

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Optical fibres –

Part 1-20: Measurement methods and test procedures – Fibre geometry

Fibres optiques –

Partie 1-20: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Géométrie de la fibre





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Optical fibres –

Part 1-20: Measurement methods and test procedures – Fibre geometry

Fibres optiques –

Partie 1-20: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Géométrie de la fibre

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 33.180.10

ISBN 978-2-8322-1884-6

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

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and symbols.....	8
4 Overview of method.....	10
4.1 General.....	10
4.2 Scanning methods	10
4.2.1 General	10
4.2.2 One-dimensional scan sources of error.....	11
4.2.3 Multidimensional scanning.....	12
4.3 Data reduction	13
4.3.1 Simple combination of few-angle scan sets.....	13
4.3.2 Ellipse fitting of several-angle or raster data sets.....	13
5 Reference test method	13
6 Apparatus.....	13
7 Sampling and specimens	13
7.1 Specimen length	13
7.2 Specimen end face	13
8 Procedure.....	13
9 Calculations.....	14
10 Results	14
11 Specification information	14
Annex A (normative) Requirements specific to Method A – Refracted near-field.....	15
A.1 Introductory remarks	15
A.2 Apparatus	15
A.2.1 Typical arrangement	15
A.2.2 Source.....	15
A.2.3 Launch optics	15
A.2.4 XYZ positioner (scanning stage).....	16
A.2.5 Blocking disc	16
A.2.6 Collection optics and detector.....	17
A.2.7 Computer system.....	17
A.2.8 Immersion cell	17
A.3 Sampling and specimens	17
A.4 Procedure	17
A.4.1 Load and centre the fibre.....	17
A.4.2 Line scan.....	18
A.4.3 Raster scan	18
A.4.4 Calibration.....	18
A.5 Index of refraction calculation	18
A.6 Calculations	20
A.7 Results	20
Annex B (normative) Requirements specific to Method B – Transmitted near-field	21
B.1 Introductory remarks	21

B.2	Apparatus	21
B.2.1	Typical arrangement	21
B.2.2	Light sources	22
B.2.3	Fibre support and positioning apparatus	23
B.2.4	Cladding mode stripper	23
B.2.5	Detection	23
B.2.6	Magnifying optics	24
B.2.7	Video image monitor (video grey-scale technique)	25
B.2.8	Computer	25
B.3	Sampling and specimens	25
B.4	Procedure	25
B.4.1	Equipment calibration	25
B.4.2	Measurement	25
B.5	Calculations	27
B.6	Results	27
Annex C (normative)	Edge detection and edge table construction	28
C.1	Introductory remarks	28
C.2	Boundary detection by decision level	28
C.2.1	General approach	28
C.2.2	Class A multimode fibre core reference level and k factor	29
C.2.3	Class B and C single-mode fibres	30
C.2.4	Direct geometry computation of one-dimensional data	30
C.3	Assembling edge tables from raw data	31
C.3.1	General	31
C.3.2	Edge tables from raster data	31
C.3.3	Edge tables from multi-angular one-dimensional scans	32
Annex D (normative)	Edge table ellipse fitting and filtering	33
D.1	Introductory remarks	33
D.2	General mathematical expressions for ellipse fitting	33
D.3	Edge table filtering	34
D.4	Geometric parameter extraction	35
Annex E (informative)	Fitting category A1 core near-field data to a power law model	36
E.1	Introductory remarks	36
E.2	Preconditioning data for fitting	36
E.2.1	Motivation	36
E.2.2	Transformation of a two-dimensional image to one-dimensional radial near-field	36
E.2.3	Pre-processing of one-dimensional near-field data	39
E.2.4	Baseline subtraction	41
E.3	Fitting a power-law function to an category A1 fibre near-field profile	41
Annex F (informative)	Mapping class A core diameter measurements	43
F.1	Introductory remarks	43
F.2	Mapping function	43
Bibliography		44
Figure 1 – Sampling on a chord		11
Figure 2 – Scan of a non-circular body		12
Figure A.1 – Refracted near-field method – Cell		16

Figure A.2 – Typical instrument arrangement	16
Figure A.3– Typical index profile line scan of a category A1 fibre	19
Figure A.4 – Typical raster index profile on a category A1 fibre.....	19
Figure B.1 – Typical arrangement, grey scale technique	21
Figure B.2 – Typical arrangement, mechanical scanning technique.....	22
Figure B.3 – Typical 1-D near-field scan, category A1 core	26
Figure B.4 – Typical raster near-field data, category A1 fibre	27
Figure C.1 – Typical one-dimensional data set, cladding only	29
Figure C.2 – Typical graded index core profile	30
Figure C.3 – Raster data, cladding only	31
Figure E.1 – Filtering concept	38
Figure E.2 – Illustration of 1-D near-field preconditioning, typical video line	40

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL FIBRES –

**Part 1-20: Measurement methods and test procedures –
Fibre geometry**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60793-1-20 has been prepared by subcommittee SC86A: Fibre and cables, of IEC technical committee TC86: Fibre optics.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 2001, and constitutes a technical revision.

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

- the reference test method for all fibre types is changed to the video grey scale transmitted near field method from the refracted near field method;
- the test lengths for all fibre types are now to be specified in the fibre's detail specification;
- the core illumination wavelength for all multimode fibre types may now to be specified in the fibre's detail specification although defaults are given;

- the core k -factor (decision level) is now to be specified in the detail specification for all multimode fibre types;
- this edition is substantially more specific in describing the measurement; data reduction and transformation is fully described;
- the data reduction methodology for both refracted near-field and transmitted near-field methods are now unified and consistent.

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

CDV	Report on voting
86A/1562/CDV	86A/1623/RVC

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

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

This standard gives two methods for measuring fibre geometry characteristics:

- Method A: Refracted near-field, described in Annex A;
- Method B: Transmitted near-field, described in Annex B.

Methods A and B apply to the geometry measurement of all class A multimode fibres, class B single-mode fibres and class C single-mode interconnection fibres. The fibre's applicable product specifications, IEC 60793-2-10, IEC 60793-2-20, IEC 60793-2-30, IEC 60793-2-40, IEC 60793-2-50 and IEC 60793-2-60, provide relevant measurement details, including sample lengths and k factors.

The geometric parameters measurable by the methods described in this standard are as follows:

- cladding diameter;
- cladding non-circularity;
- core diameter (class A fibre only);
- core non-circularity (class A fibre only);
- core-cladding concentricity error.

NOTE 1 The core diameter of class B and class C fibres is not specified. The equivalent parameter is mode field diameter, determined by IEC 60793-1-45.

NOTE 2 These methods specify both one-dimensional (1-D) and two-dimensional (2-D) data collection techniques and data analyses. The 1-D methods by themselves cannot determine non-circularity nor concentricity error. When non-circular bodies are measured with 1-D methods, body diameters suffer additional uncertainties. These limitations may be overcome by scanning and analysing multiple 1-D data sets. Clause 5 provides further information.

Information common to both methods appears in Clauses 2 through 10, and information pertaining to each individual method appears in Annexes A and B, respectively. Annex C describes normative methods used to find the optical boundaries of the core and the cladding, Annex D describes normative procedures to fit ellipses to sets of detected boundaries. Annex E provides an informative fitting procedure of power-law models to graded-index core profiles. Annex F describes an informative methodology relating to the transformation of core diameter measurements determined with methods other than the reference method to approximate reference method values.

OPTICAL FIBRES –

Part 1–20: Measurement methods and test procedures – Fibre geometry

1 Scope

This part of IEC 60793 establishes uniform requirements for measuring the geometrical characteristics of uncoated optical fibres.

The geometry of uncoated optical fibres directly affect splicing, connectorization and cabling and so are fundamental parameters requiring careful specification, quality control, and thus measurement.

2 Normative references

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

IEC 60793-2-10, *Optical fibres – Part 2-10: Product specifications – Sectional specification for category A1 multimode fibres*

IEC 60793-2-20, *Optical fibres – Part 2-20: Product specifications – Sectional specification for category A2 multimode fibres*

IEC 60793-2-30, *Optical fibres – Part 2-30: Product specifications – Sectional specification for category A3 multimode fibres*

IEC 60793-2-40, *Optical fibres – Part 2-40: Product specifications – Specification for category A4 multimode fibres*

IEC 60793-2-50, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*

IEC 60793-2-60, *Optical fibres – Part 2-60: Product specifications – Sectional specification for category C single-mode intraconnection fibres*

IEC 61745, *End-face image analysis procedure for the calibration of optical fibre geometry test sets*

3 Terms, definitions and symbols

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms, definitions and symbols apply:

3.1.1

body

general term describing an entity whose geometry is measured (i.e. cladding or core)

3.1.2**reference point**

fixed coordinate in the scan's plane

Note 1 to entry: This point is arbitrary (say the lower left corner of a video image, or the rough centre of the fibre after the fibre is located in a scanning apparatus).

3.1.3**centre**

centre of a body in the measurement plane with respect to the reference point, expressed in micrometres

3.1.4**diameter**

average diameter, in micrometres, of a nearly circular body

3.1.5**non-circularity**

difference between the maximum and minimum radial deviation from the body's centre, normalized to the body's diameter, expressed as a per cent

3.1.6**concentricity error**

scalar distance, in micrometres between two body centres

3.1.7**scan**

term used to define the collection of data along one axis of the Cartesian coordinate plane, at a fixed angular orientation and a fixed offset from the reference point

3.1.8**scan set or set**

one or more scans used together to determine the fibre's geometry

Note 1 to entry: The set can be one scan (see limitations below), a set of scans at different angular orientations with respect to the fibre, or a raster scan (like a video image).

3.1.9**edge table**

set of number pairs representing a set of points in the scanning plane which define a closed curve line of delineation between the cladding and the surrounding media (the cladding edge table) or the core and the cladding (the core edge table)

3.1.10**elliptical model**

ellipse fit

best fit ellipse to an edge table

3.2 Symbols

The symbols defined below are used to indicate various aspects of a scanned data set. Scans can be one-dimensional, or two-dimensional raster scans (where the scan axes are orthogonal on a Cartesian plane), or a set of one-dimensional scans at a set of angles.

- i* The index used for the scanning axis or the 'fast' axis in the case of a raster scan.
- j* The index used for the 'slow' axis in a raster scan.
- k* The index used for the angle in a multi-angular scan set.
- I* The set of data from one-dimensional or two-dimensional scanning. The data can be near-field intensity data (from Method B) or index of refraction (Method A); in this

standard, no delineation is made as either type of data is intermediate and is further analysed to extract the fibre's geometry. A single datum from a set is indicated by subscript in a manner consistent with the nature of the data set: I_i for the i th point of the scan in a single scan set; $I_{j,i}$ for a raster data point at the j th location on the slow axis and the i th position on the fast axis; $I_{k,i}$ for the i th point at the k th angle.

- x The positional data, in micrometres, of the set. For a single scan set, the meaning of x is clear. For a raster scan set or a multi-angle set, x refers to the positional data of the 'fast' axis (raster) or scan positions (for each angle). (Raster sets whose individual lines have different fast-axis positions or multi-angle sets where each angle uses a different set of positions are allowed by this standard, but this complication is ignored in the forthcoming analytical development).
- y The positional data, in micrometres, of the raster lines (the slow-axis locations) in a raster scan set.
- φ The angles in a multi-angle set. The k th angle in the set is indicated by subscript: φ_k .
- n_S The number of points in a single scan. In the case of raster scan sets n_S is the number of points of the fast axis. In multi-angular scan sets, n_S is the number of points in any scan. (This standard's nomenclature ignores cases where the number of points varies between raster lines or angles, although such data sets are allowed.)
- n_R The number of raster rows (slow axis scans) in a raster set.
- n_φ The number of angles in a multi-angle set.

NOTE The following symbols are used to describe an edge table.

- X,Y A set of locations in the X - Y scan plane of the fibre which delineate a body from its surroundings.
- n_e The number of edge points in an edge table.

4 Overview of method

4.1 General

In essence, each method (A or B) defined herein describes a way of producing an image of the fibre in a plane normal to its axis of propagation. This resultant image is then further analysed (as described in Annexes C, D and E) to reduce the image to an expression of the fibre's geometry. Methods A and B can produce images which are one-dimensional (i.e. along only one axis in the plane of the image), or two-dimensional. It is obvious that a two-dimensional image is more information rich, and thus these images produce more complete geometric information; the non-circularity of a body cannot be determined from a one-dimensional scan, nor can concentricity errors be determined with any certainty.

The analysis of the image consists of two steps. The first step is to quantify where in the image the body of interest is delineated (see Annex C). The second step reduces the ensemble of these points of delineation to one or more geometric parameters: diameter, non-circularity and centre (if both, the cladding and core are measured and their centres determined then concentricity error may also be determined). Annex D describes methods which can be used on both the cladding and core of all fibre types and Annex E describes a method that may be used for the core body of class A fibres.

This standard addresses a range of needs, and as such, allows for a range of for data collection and reduction. The specific limitations and uses of these approaches are discussed below.

4.2 Scanning methods

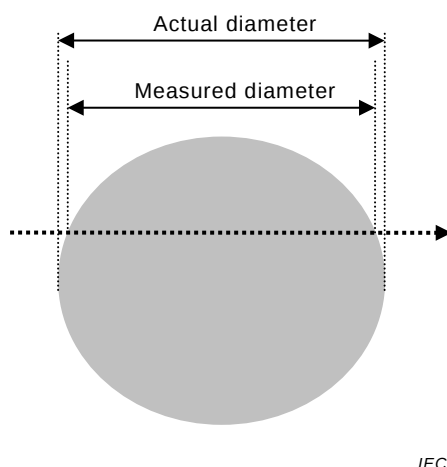
4.2.1 General

As noted above, sampling a two-dimensional body in only one-dimension has limitations. Ideal fibres are perfectly circular and the core and cladding are concentric; real fibres are

noncircular and have concentricity errors. Non-circularity and concentricity cannot be measured by a one-dimensional scan and one-dimensional scanning may under- or over-estimate the average diameter of a noncircular body. One-dimensional scanning may be useful for fibres whose non-circularity and concentricity errors are known to be small and one-dimensional scans are commonly used to determine the core diameter of class A fibres.

4.2.2 One-dimensional scan sources of error

4.2.2.1 Scanning a chord



IEC

Figure 1 – Sampling on a chord

Figure 1 illustrates the error that occurs when the sampling axis is not co-linear with the centre of the body. When the sampling axis misses the body's centre, the body's diameter is underestimated. This is a second order error.

4.2.2.2 Scanning non-circular bodies

If a body is non-circular, a one-dimensional scan will not fully describe the body's shape. Sampling a body in one dimension will generally under-estimate or over-estimate the average diameter of the body. It may be assumed that this problem can be rectified by sampling the body in two orthogonal axes (i.e. X and Y), but in general, this is not sufficient. Consider Figure 2:

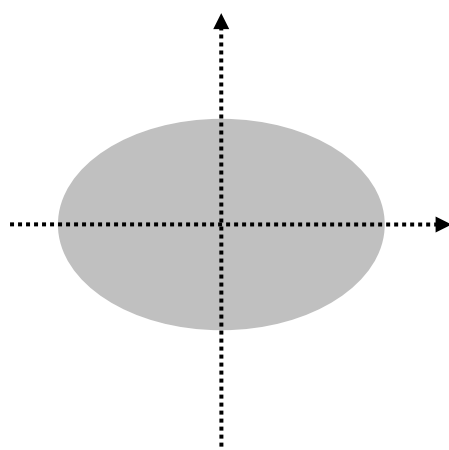


Figure 2a – Major diameter

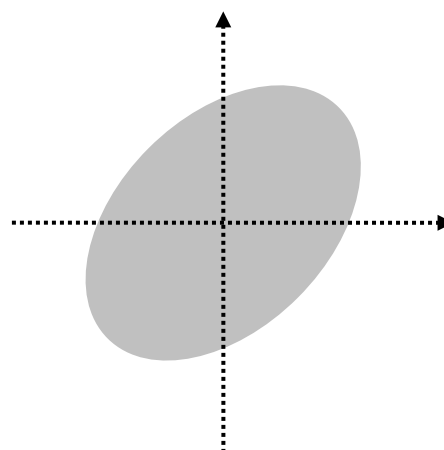


Figure 2b – Average diameter

Figure 2 – Scan of a non-circular body

Figure 2 illustrates errors that occur when an elliptical body is sampled on one or two axes. In the major diameter example (Figure 2a), the ellipse's major diameter is aligned with the X axis. In this case, sampling only in X will over-estimate the body's average diameter; the fact that the body is non-circular will be missed (likewise, sampling the body only in Y will underestimate the body's diameter). In this orientation, if the body is sampled on both axes the body will be completely characterized: both its average diameter and non-circularity are discovered. However, in the 'average diameter' case, sampling on either axes gives the same, approximately correct diameter for both axes; if both axes are sampled it would appear that the body is perfectly circular. Analysing $\pm 45^\circ$ scans will give the correct non-circularity and diameter, but there is no way to know the proper angular scan angles beforehand. At orientations other than -45° and $+45^\circ$, the body's average diameter will be measured correctly, but the body's circularity will be underestimated.

4.2.2.3 Concentricity indeterminacy

If a single axis is scanned, the core's centre relative to the cladding centre cannot be known. Scanning two orthogonal axes can provide a reasonable estimate of the core's centre. This estimate will degrade if the core is scanned on a chord far from the core's centre. If the core is substantially smaller than the cladding and is significantly non-concentric, then one or more scans may miss the core entirely.

4.2.3 Multidimensional scanning

4.2.3.1 Multi-angle scanning

As suggested in 5.2.2.2 and 5.2.2.3, the estimation of the geometry of the fibre can be improved by scanning on two orthogonal axes. Combining scans over more than two angles (for example at 0° , 45° , 90° and 135°) will improve these estimates further. Acquiring data at multiple angles can be accomplished by rotating the fibre in its holding chuck, or, if the scanner is so designed, by the mechanics of the scanner itself. Note that all angular scans shall share a single frame of reference (a common origin) or errors will be introduced.

4.2.3.2 Raster scanning

If the scanner is capable of motion on two orthogonal axes, then it is possible that a two-dimensional image of the fibre may be constructed by performing a raster scan.

Measurement of the transmitted near-field using grey-scale video is inherently a raster scan.

4.3 Data reduction

4.3.1 Simple combination of few-angle scan sets

When reducing data sets where only a few angular orientations are measured, it is generally sufficient to employ simple data reduction. For each body, the diameter can be determined by averaging the diameters of each angular scan; the non-circularity by using the maximum and minimum diameters from the set of angles. When both cladding and core are measured, the concentricity error can be determined simply from the angle showing the worst-case centration error. See Annex D for more information.

4.3.2 Ellipse fitting of several-angle or raster data sets

When many data points may be extracted from the scan set, as is the case when many angles are scanned or when raster scanning is employed, the edge tables may be fit to elliptical models. Annex E describes the methodology to fit a body's edge table (determined as described in Annex D).

For both the cladding and the core for all fibre categories, ellipse fitting is the reference method.

5 Reference test method

The reference test method (RTM) is the video grey-scale transmitted near-field method described in Annex B for all fibre categories. Data analysis shall employ boundary detection as described in Annex C, and ellipse fitting to reduce the edge tables to geometry, as described in Annex D. See Annexes A and B for a discussion of reference sample lengths for all fibre classes, and refer to Annex C for a discussion of the decision threshold factor k for class A fibres.

6 Apparatus

Annexes A and B include layout drawings and other equipment requirements for each of the Methods A and B, respectively.

7 Sampling and specimens

7.1 Specimen length

Annexes A and B specify the required sample lengths for their respective methods.

7.2 Specimen end face

Prepare a clean, flat end face, perpendicular to the fibre axis, at the input and output ends of each specimen. The accuracy of measurements is affected by a non-perpendicular end face. End angles less than 1 ° are recommended.

See Clause B.2 for the tighter requirements on end faces when using Method B.

8 Procedure

Use the procedures given in IEC 61745 for calibration. Annexes A and B document the procedures for Methods A and B, respectively.

9 Calculations

Refer to Annexes C, D and E for details regarding the calculations.

10 Results

The following information shall be provided with each measurement:

- date and title of measurement;
- identification and description of specimen;
- measurement results for each parameter specified (see the applicable annex).

The following information shall be available upon request:

- measurement method used: Method A or B;
- specimen length;
- arrangement of measurement set-up;
- details of measurement apparatus (see applicable annex);
- relative humidity and ambient temperature at the time of the measurement;
- most recent calibration information.

11 Specification information

The detail specification shall specify the following information:

- type of fibre to be measured;
- failure or acceptance criteria;
- information to be reported;
- any deviations to the procedure that apply.

Annex A (normative)

Requirements specific to Method A – Refracted near-field

A.1 Introductory remarks

The refracted near-field measurement directly measures the refractive index variation across the fibre (core and cladding). The method can be calibrated to give absolute values of refractive indices. It can be used to obtain profiles of both single-mode and multimode fibres. A refracted near-field measurement determines the radial dependence of relative index variations of a fibre by scanning a spot of light across its end-face. If a theoretical ray of light could be generated, then changes in index could be detected by injecting the ray into the fibre at an angle greater than the maximum numerical aperture of the fibre and measuring its exit angle. Since an ideal ray cannot be generated and since the fibre's physical dimensions are of the order of 100 optical wavelengths, an integral approach using an angular bundle of rays is taken. A small spot of light with a numerical aperture greater than the fibre's is scanned across the end-face of a fibre at a normal angle of incidence. The light cone which exits the fibre is then sampled at a small range of high angles (i.e. greater than the numerical aperture). The total power in this sampled region is then determined as a function of the radial location of the launch spot. As the light traverses the local index differences in the fibre, it refracts, changing its exit angle. Light that passes through the core and then the cladding will exit the fibre at shallower angles than light that passes solely through the cladding. Since only high angle light is sampled, the core region's total detected power will be lower than the cladding. The relative power at a given scan position is thus directly proportional to the fibre's index at that position.

A.2 Apparatus

A.2.1 Typical arrangement

See Figures A.1 and A.2 for schematic diagrams of the test apparatus.

A.2.2 Source

Provide a stable laser giving a few milliwatts of power in the TEM₀₀ mode.

A HeNe laser, which has a wavelength of 633 nm, may be used, and for geometrical measurements is sufficient. If the index is to be measured (not specified by this standard) a correction factor may be required to extrapolate the results for other wavelengths.

Introduce a quarter-wave plate to change the beam from linear to circular polarization to produce a time-averaged signal independent of polarization effects due to reflectance the reflectivity of light at an air-glass interface is strongly angle and polarization-dependent.

If necessary, place a spatial filter, such as a pin-hole, at the focus of the microscope objective.

A.2.3 Launch optics

Arrange the launch optics, often a high magnification, high numerical aperture microscope objective, to overfill the numerical aperture (NA) of the fibre. This brings a beam of light to a focus on the flat end of the fibre. The optical axis of the beam of light should be within 1 ° of the axis of the fibre. The spatial resolution of the equipment is limited by the size of the focused spot and so should be made as small as possible, e.g. less than 1,5 µm.

A.2.4 XYZ positioner (scanning stage)

Either the launch optics or the cell shall be mounted on a three-axis positioner capable of motion larger than the expected fibre diameter. The resolution of the focus axis (Z) shall be sufficient to ensure that the focus of the spot on the fibre end-face is sharp enough to not materially impair the spatial resolution of the instrument. The resolution of the other two axes (X and Y) shall be smaller than half the focused spot size.

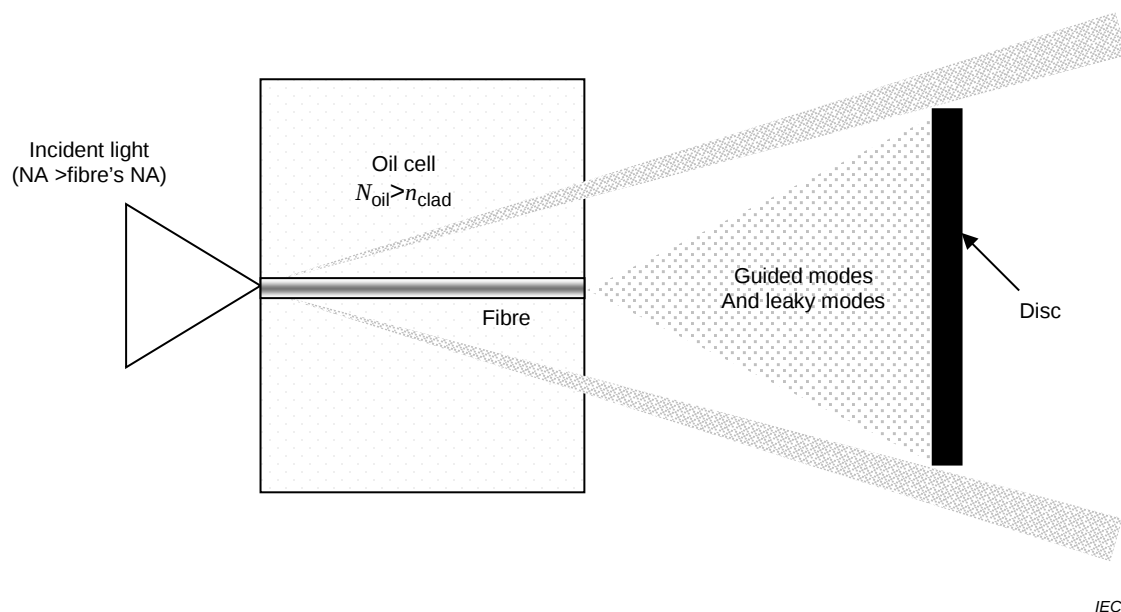


Figure A.1 – Refracted near-field method – Cell

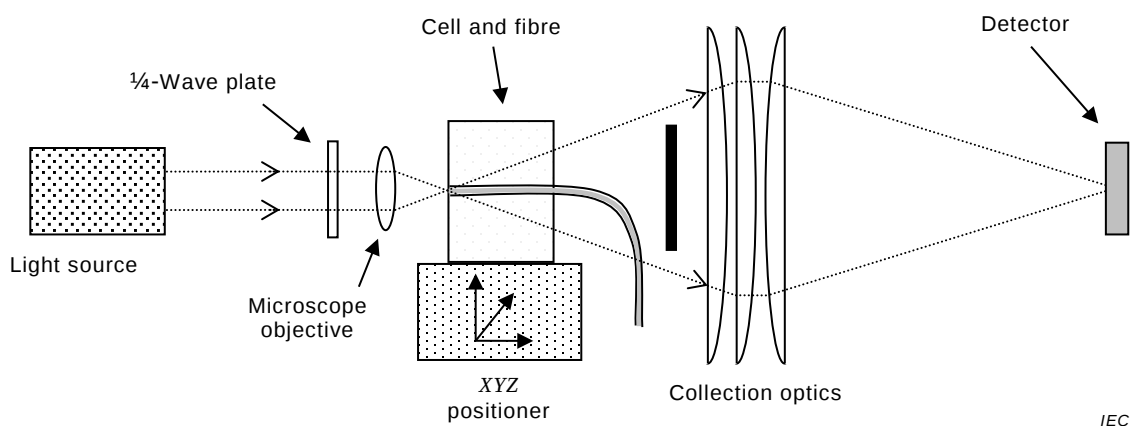


Figure A.2 – Typical instrument arrangement

A.2.5 Blocking disc

The blocking disc's purpose is to ensure that only light which passes into the fibre and refracts out of the fibre without internal reflection or guidance inside the fibre reaches the detector. The fibre itself can play part of the role of the blocking disc by making it long enough to bend out of the optical path, taking any guided light with it, but this is not sufficient. Partial internal reflection will cause some of the light at the cladding/oil interface to be reflected back into the fibre. When non-refracted light reaches the detector, the measured power will increase, causing a corresponding negative error in index determination.

The blocking disc prevents a subtended angular cone of light from reaching the detector and should be selected so that the predominant fraction of non-refracted light is blocked, but not block so much of the refracted light that the signal-to-noise performance of the instrument is degraded. Typically, the subtended cone's NA is selected to be approximately the light source's NA at the fibre end-face, divided by $\sqrt{2}$.

A.2.6 Collection optics and detector

It is essential that the total power of the light passing the blocking disc be measured. Large condenser lens systems, parabolic and elliptical mirrors, large area detectors, integrating spheres and other means may be employed. A practical implementation will need to trade off the size of the detector and optical complexity. The combination should ensure that the total light power is measured up to the NA launched into the fibre; the detector's noise and dynamic response shall not seriously impair the measurement.

The detector itself shall be responsive to the wavelength of the light source and be sufficiently linear for the range of expected optical power levels. Amplifiers and data converters are typically coupled to the detector to condition the detector's signal and measure the relative differences automatically as the stage is scanned.

A.2.7 Computer system

A computer is used to collect data by controlling the positioner and digitizing the detector signal. Once the data is collected, the computer converts the detector signal to index difference (or absolute index) by applying the appropriate calibration.

A.2.8 Immersion cell

The immersion cell is the environment around which the fibre is held and ensures that the light exiting the fibre encounters an index high enough that no light is coupled back into the fibre through total or partial reflection. It is paramount that the optical media surrounding the cladding be of an optical refractive index higher than the cladding. Index matching oils are used to accomplish this purpose. The cell itself can be of any design which does not materially affect the refraction of the rays into the collection optics.

A.3 Sampling and specimens

The length of the fibre sample is dependent on the instrument design. In no case shall the output end of the fibre, (the end not in the scanning plane of the instrument) be allowed to couple light into the detector.

Remove all fibre coatings from the section of fibre to be immersed in the liquid cell.

A.4 Procedure

A.4.1 Load and centre the fibre

Place the fibre sample in the cell and locate the rough fibre centre, X_f , Y_f , which can be determined by a method such as back illumination with a tungsten lamp, or by scanning the XY stage to search for the fibre. Adjust the stage to centre and focus the source spot on the fibre end.

If required by the instrument design, centre the disc on the output cone. For class A multimode fibre, position the disc on the optical axis to just block the leaky modes. For class B and C single-mode fibres, position the disc to give optimum resolution.

Once the fibre is centred and the disc is aligned, either line scans or a complete raster scan can be performed.

A.4.2 Line scan

Scan the stage at an angle of interest, φ : at 0 ° using only the X stage, at 90 ° using only the Y stage, or any appropriate angle, using both stages (the stage resolution and the desired scan resolution will restrict which angles can be scanned). The range of the scan should extend beyond the cladding on both sides of X_f, Y_f . The radial spacing of the scan should be selected such that the index variation is sampled sufficiently to determine the fibre's geometry with the required accuracy. A set of nS power readings is collected

where

P_i is the set of detected power readings;

x_i is the set of radii where the power readings were collected.

A.4.3 Raster scan

Scan the stage over both the X and Y axes in a raster pattern over a range sufficient to encompass the cladding in both axes. The spacing of both the X and Y scans should be selected such that the index variation is sampled sufficiently to determine the fibre's geometry with the required accuracy. A set of power readings is collected

where

$P_{j,i}$ is the set of detected power readings,

x_i is the set X -axis points where the power readings were collected,

y_j is the set Y -axis points where the power readings were collected.

A.4.4 Calibration

During the measurement, the angle of the cone of light varies according to the refractive index seen at the entry point to the fibre (hence the change of power passing the disc). With the fibre removed and the liquid index and cell thickness known, this change in angle can be simulated by translating the disc along the optic axis. By moving the disc to a number of predetermined positions, the profile can be scaled in terms of relative index, determining the instruments delta calibration factor, K_Δ . Absolute indices, i.e. n_1 and n_2 , can only be found if the cladding index or the liquid index, at the measurement wavelength and temperature, is known accurately.

The geometric scaling factors, S_x and S_y (in units of micrometres per stage step), of the scanning stage shall also be determined. They can be determined by scanning a traceable artefact such as a chrome-on-glass reticule, or by certification of the stage micrometers or indexers, or by other appropriate means.

A multi-index calibration artefact, which may be made available from national standards institutes, may also be used to determine K_Δ , S_x and S_y .

A.5 Index of refraction calculation

Determine relative index profile, Δ_i (or alternatively $\Delta_{i,j}$ for a raster scan).

$$\Delta_i = K_\Delta(P_{\text{ref}} - P_i) \quad (\text{A.1})$$

where P_{ref} is a reference power level that determines where in the profile the index difference is zero. This can be any convenient point in the profile, or can be an instrument parameter. Its value does not affect the subsequent calculations.

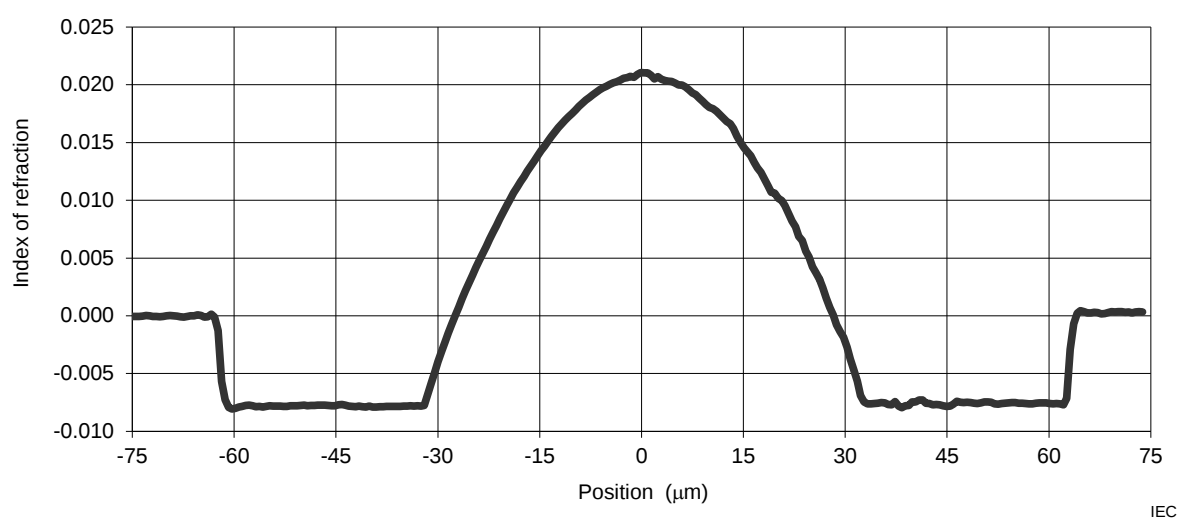


Figure A.3 – Typical index profile line scan of a category A1 fibre

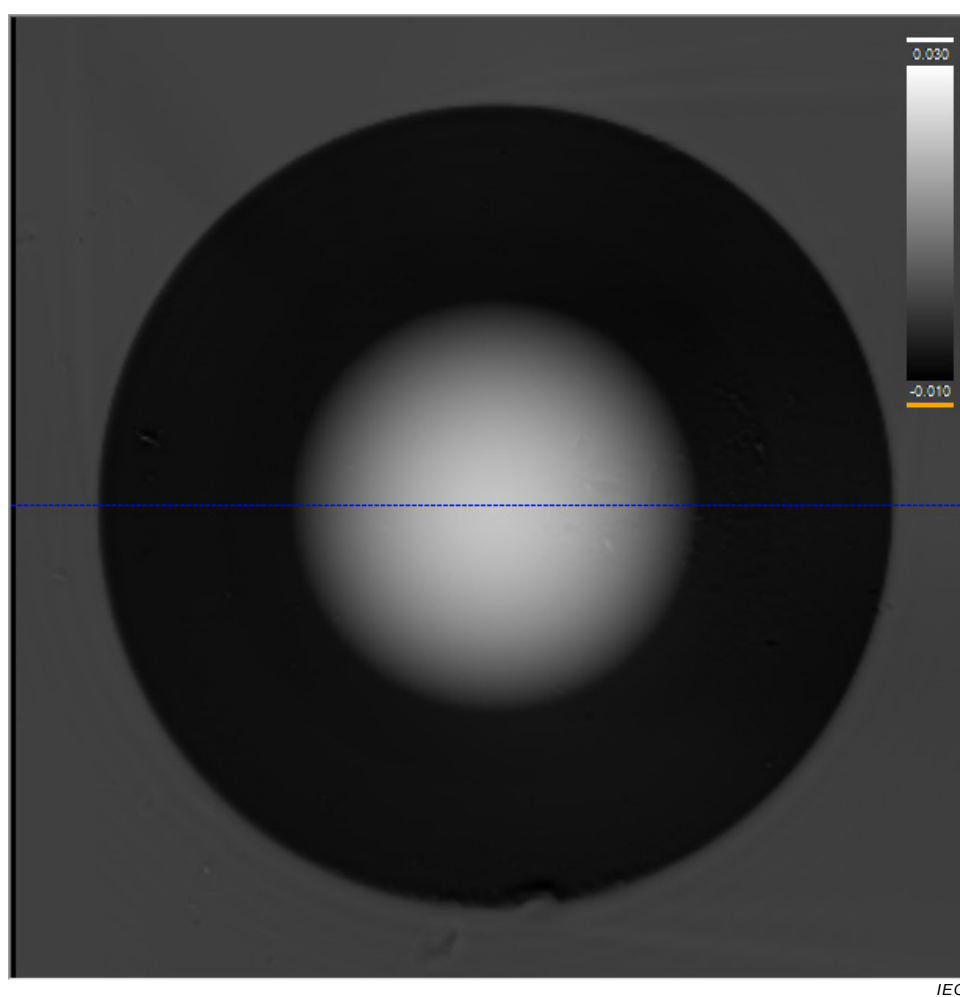


Figure A.4 – Typical raster index profile on a category A1 fibre

Figure A.3 and A.4 show typical index profile data of a category A1 fibre. Figure A.4 expresses the index of refraction as a grey-level of intensity, with whiter colours indicating higher index.

A.6 Calculations

Refer to Annexes C, D and E to reduce the index scan set to geometry, substituting Δ for I .

A.7 Results

The following parameters may be determined from the measurement:

- core diameter (class A multimode fibres only);
- cladding diameter;
- core/cladding concentricity error;
- core non-circularity (of type A fibre);
- cladding non-circularity;
- maximum theoretical numerical aperture;
- index difference;
- relative index difference.

In addition to the results listed in Clause 11, and depending on the specification requirements, the following information shall be provided on request:

- profiles at specific angles calibrated for a given wavelength;
- equipment arrangement and wavelength correction procedure.

Annex B (normative)

Requirements specific to Method B – Transmitted near-field

B.1 Introductory remarks

The transmitted near-field method determines geometric parameters of class A multimode fibres and class B and C single-mode fibres by analysing the optical power density as a function of position on a cross-section at the end of the fibre under test. There are two techniques described in this annex; both analyse the near-field image of an optical fibre end-face:

- the video grey-scale technique, employing a video camera to analyse the image two-dimensionally;
- the mechanical scan technique, in which one or more one-dimensional scans of the image are acquired for analysis.

The video grey-scale technique is the reference test method (RTM).

One-dimensional mechanical scanning is often used to measure the core diameter of class A multimode fibres. As discussed in Clause 5, one-dimensional scans have limitations when used by themselves. Multiple one-dimensional scans may be combined through the data reduction techniques of Annexes C and D to overcome these limitations at the expense of additional measurement time and complexity. Typically, one-dimensional near-field scanning is used for the determination of core diameter of class A multimode fibres.

B.2 Apparatus

B.2.1 Typical arrangement

Figures B.1 and B.2 are examples of apparatus configuration for the two techniques.

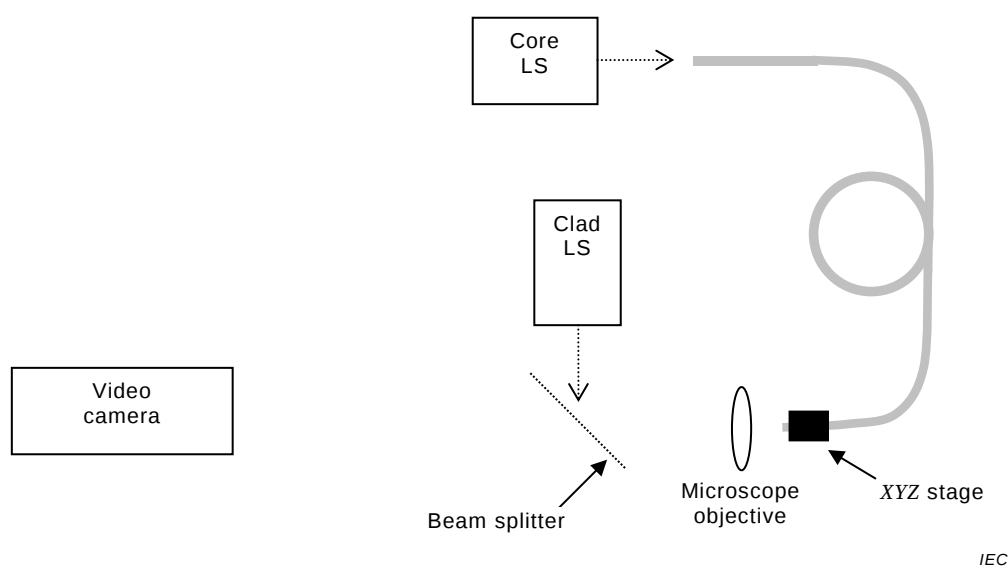


Figure B.1 – Typical arrangement, grey scale technique

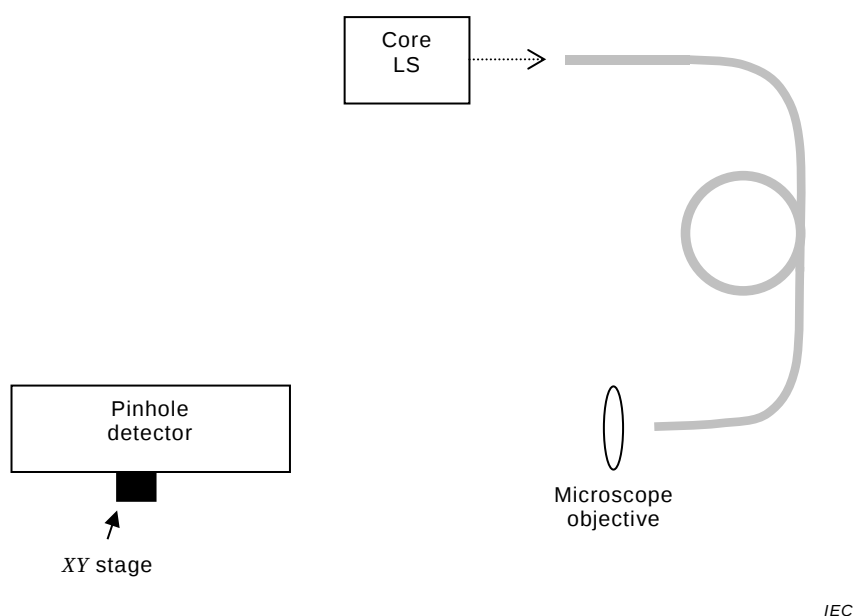


Figure B.2 – Typical arrangement, mechanical scanning technique

B.2.2 Light sources

B.2.2.1 General

Use suitable incoherent light sources for the illumination of the core and the cladding, adjustable in intensity and stable in intensity over a time period sufficient to perform the measurement.

B.2.2.2 Core illumination requirements

Class A multimode fibres' core geometry shall be determined using incoherent illumination which angularly and spatially overfills the core at the operational wavelength of the fibre, unless otherwise agreed. Class B and C single-mode fibres' core centre is determined by this technique, but core diameter and circularity are not. Therefore, the core illumination requirements for class B and C fibres are more relaxed: the wavelength can be any wavelength that is convenient to the design of the instrument and shall overfill the one to few modes propagating in the fibre at that wavelength. The implicit assumption is that class B and C core centre does not substantially change with wavelength even when more than one mode group propagates in the core.

Unless otherwise specified in the product specification, category A1, A2 and A3 multimode fibres' geometry shall be determined with a core illumination centre wavelength of 850 nm $\pm$ 10 nm. Unless otherwise specified in the product specification, category A4 fibres' geometry shall be determined with a core illumination centre wavelength of 650 nm $\pm$ 10 nm. The full-width-half-maximum width of the core illuminators for all class A fibres shall be greater than 10 nm and less than 50 nm.

At the time of writing, all class A fibre specifications were being revised, partially to include the centre wavelength used to determine core geometry. Once these specifications are published, including this information, the preceding paragraph shall be ignored and the information in the product specification be used in its place.

B.2.2.3 Cladding illumination requirements

The cladding can either be illuminated in a dark field, that is, with light reflecting off the fibre's cleaved end-face thus leaving the air surrounding the cladding unlit, or inversely, the surrounding air may be flooded with light leaving the cladding un-illuminated. The illumination

wavelength is unimportant but its relationship to the core illuminator's wavelength shall be considered with respect to the dispersion of the magnifying optics: selecting a similar wavelength or at least a wavelength inside the performance window of the optics will ensure that the core will not become defocused when the cladding is in focus.

If this method is used only to determine the core diameter of class A fibres, then usually the cladding will not be illuminated during measurement. For the video grey-scale technique, it is also allowable that the core diameter and non-circularity are determined using an image or scan with the cladding un-illuminated, and a second illuminated cladding image used to determine all other parameters.

B.2.3 Fibre support and positioning apparatus

Provide a sufficiently stable means of supporting the specimen input and output ends, for example, a vacuum chuck. Mount these supports on positioning devices so the fibre ends can be accurately positioned in the input and output paths. It may be convenient to have the support apparatus mounted to three-axis translation stages (these stages may take the role of the scanner in some embodiments of the mechanical scanning technique.)

B.2.4 Cladding mode stripper

Unless otherwise specified, use devices that strip cladding mode light from the specimen reasonably near the fibre input and output ends. When the fibre under test has a coating layer in contact with the cladding whose refractive index is higher than that of the glass, this coating acts as the cladding mode stripper.

B.2.5 Detection

B.2.5.1 General

For both techniques, it is necessary that the detection system be sufficiently linear to not impact the required measurement precision. PIN photodiodes in photovoltaic mode and modern camera sensors will generally satisfy this requirement, but care shall be taken in their selection and use. High levels of illumination can degrade the performance of these detectors as can poorly designed conditioning electronics and digitization systems.

B.2.5.2 Grey-scale detector

For the video grey-scale technique, use a video camera to detect the magnified output near-field image. A video digitizer performs the digitization of the image for analysis (often, the camera and digitizer are combined into one element). The digitized output will be an pixel array of near-field intensities, $I(r, c)$, over N_{Row} rows and N_{Col} columns. Both CCD and CMOS imaging sensors are appropriate for this application. The effective pixel size shall satisfy Equation (B.1).

The precision of the measurement can be degraded by systematic errors present in the detection system. Examples of these errors include the geometric uniformity of the resultant digitized image or the linearity of the detector/digitizer with respect to changes in optical intensity. Attention shall be paid to these and other potential errors; IEC 61745 provides the methodology required to determine the magnitude of these errors.

B.2.5.3 Mechanical scan detector and scanner

The mechanical scan detector uses a fixed-aperture detector and a scanning system to acquire the intensity of the image as a function of position. The mechanical scanner provides a means of scanning the focused image of the fibre near-field pattern; the scanner is calibrated in such a way that relative radial position is known. If the apparatus employs a very high resolution mechanical scanner it is possible to move the fibre or, equivalently, the imaging system and detector together. Another approach is to scan the detector in the image

plane, allowing the use of a lower-resolution mechanical scanner. In any case, the mechanical scanner shall be linear enough to satisfy the required measurement precision.

The detector's effective aperture shall be limited to satisfy Equation (B.1). A detector with a small active area (i.e. a 20 µm diameter detector used in conjunction with a 40X imaging system) can satisfy this requirement. The aperture can be restricted using an optical fibre with a sufficiently small core diameter whose input end is in focus in the image plane, and whose output is coupled to the detector. A mechanical pinhole may also be employed for this purpose (in this case, relay optics may be employed to image the back side of the pinhole onto the optical detector.)

B.2.6 Magnifying optics

B.2.6.1 Optical imaging system general information

Provide a suitable imaging system that magnifies the output near-field image of the specimen so that this magnified image can be suitably scanned. The numerical aperture of this imaging system shall be greater than the numerical aperture of the core of the fibre to be measured. The numerical aperture of the imaging system affects the resolving power of measurement, and thus shall be compatible with the measuring accuracy, and not lower than 0,3.

The pixels' largest dimension in the video grey-scale technique or the size of the detector (or pin-hole) in the mechanical scan technique shall be sufficiently small compared with the magnified near-field image as to be less than the system diffraction limits by a factor of 2. That is:

$$d \leq \frac{1,22 M \lambda}{4 NA} \quad (B.1)$$

where

d is the pixel size of the camera, or the detector (pin-hole) size in µm;

M is the approximate magnification of the optical system;

λ is the (lowest) test wavelength in µm;

NA is either the numerical aperture of the fibre's core for core diameter-only measurements of class A fibres, or, for all other applications, the numerical aperture of the objective (assuming the cladding illuminator completely fills the optical system in NA).

Calibrate the optical system in conjunction with the scanning system so that the system magnification is known. Knowing the magnification of the imaging optics (i.e. stamped on the side of a microscope objective) is not relevant since the scanning system (either the pixel spacing in the grey-scale microscope or the step size of the mechanical scanner) is also part of the system magnification and thus shall be calibrated.

B.2.6.2 Considerations for the video grey-scale technique

When using the video grey-scale technique, select the magnification so that the area of the sensor video camera is sufficiently filled by the image for the object to be measured (i.e. the cladding of the fibre when cladding and core are to be measured, or the core of the fibre when core-only measurements are made.) Ensure that the effective pixel size satisfies the requirements of Equation (B.1).

Both the X and Y axes shall be calibrated, and these calibrations are generally independent. IEC 61745 provides the methodology required to perform this calibration. The resultant calibration factors, in units of micrometres per pixel are S_x and S_y .

B.2.6.3 Considerations for the mechanical scanning technique

When using the mechanical scanning technique, select the imaging system magnification and detector aperture size to satisfy Equation (B.1). The scanner resolution (the minimum step size) shall be no greater than one-half the diameter of the detector aperture.

The scanner shall be calibrated. The resultant calibration, in units of micrometres per step, S_x , may be arrived at using a national-laboratory traceable calibration artefact, for example, a chrome-on-glass ruler or grid of dots. If both axes of the scanner are used, then both shall be calibrated, giving two independent factors, S_x and S_y .

B.2.7 Video image monitor (video grey-scale technique)

Use a video image monitor to display the detected image. The screen on the monitor typically shows a pattern, such as cross-hairs, to assist the operator in centring the image of the specimen. Computer-controlled alignment and/or focusing may be used. Often, this monitor and the computer's display are combined.

B.2.8 Computer

Use a computer to acquire the data, perform the analysis and produce the appropriate reports.

B.3 Sampling and specimens

Prepare the specimen to have fibre ends that are clean, smooth and perpendicular to the fibre axis. Typically, an end angle $<1^\circ$ from normal to the fibre axis is necessary for the cladding measurement. Control the end damage for minimum impact on the measurement accuracy and/or precision. Take care to avoid sharp bends when deploying the fibre.

Unless otherwise specified in the product specification, the sample length for all class A multimode fibres shall be 2 m $\pm 0,2$ m, with the exception of the bend-insensitive variants of the A1a fibres: A1a.1a, A1a.2a, A1a.3a. For these fibres, the reference test length used to resolve disputes shall be 100 ± 2 m, but day-to-day measurements are allowed to use more convenient, shorter lengths. When a length other than 2 m is specified as the reference length, it is possible to map 2 m measurements onto the reference length. Mapping is explained in Annex F.

At the time of writing, all class A fibre specifications were being revised, partially to include the reference length used to determine core geometry. Once these specifications are published including this information, the preceding paragraph shall be ignored and the information in the product specification be used in its place.

There is no length restriction for class B and C single-mode fibres. Typically a 2 m sample length can be used.

B.4 Procedure

B.4.1 Equipment calibration

Artefacts traceable to a national standards laboratory shall be used to calibrate the apparatus.

B.4.2 Measurement

B.4.2.1 Measurement by the video grey-scale technique

Align the specimen at the input end to achieve the launch condition specified. Focus the near-field image of the output end, and centre it on the camera, either through automated means,

or by using the monitor through manual means. Adjust the core and cladding illuminators to achieve optimal signal-to-noise while avoiding pixel saturation.

Record the digitized video data from the image as an array of pixel intensities I . The spacing parameters for the X and Y axes, δ_X and δ_Y are equivalent to the magnification calibration parameters, S_X and S_Y , respectively.

B.4.2.2 Measurement by the mechanical scan technique

B.4.2.2.1 One-dimension scan

Prepare, secure and align the specimen as indicated above. Adjust the output end to permit the magnified image to be scanned – this may involve focusing the image of the output end on the plane of the scanning aperture and centring the image so that the core's centre is at the expected position. Adjust the illuminator(s) to achieve optimal signal-to-noise. Often, mechanical scanning is employed to determine category A1 fibre core geometry only. In this case, only a core illuminator is used – the cladding is not illuminated.

Scan the near-field image, and record the intensities, I , and their associated positions, x .

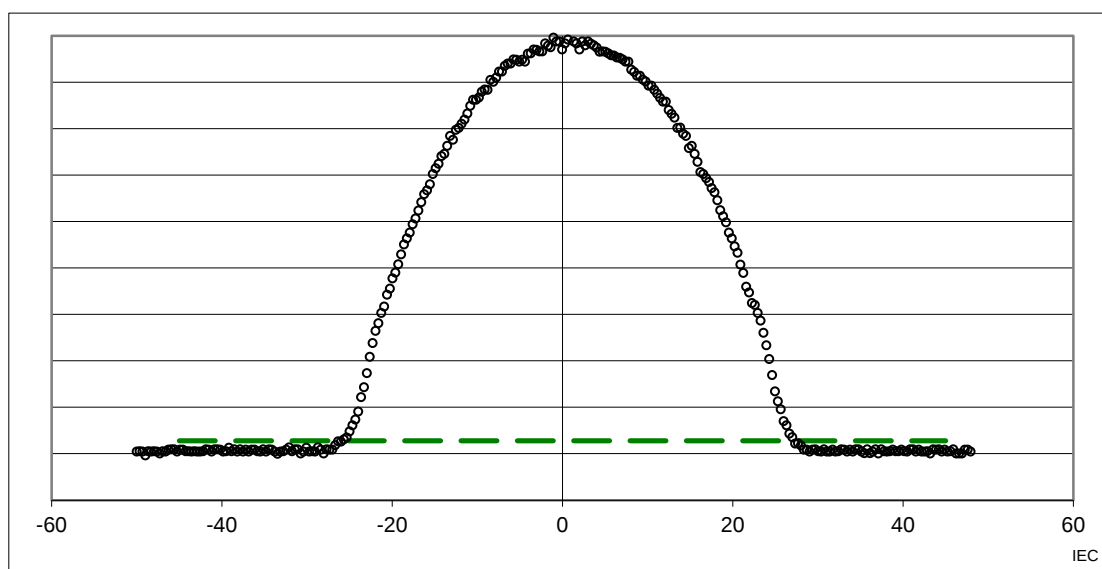


Figure B.3 – Typical 1-D near-field scan, category A1 core

B.4.2.2.2 Combinations of one-dimension scans at a set of angles

Acquire scans as described in B.4.2.2.1 at multiple angles, φ . Ensure that the scans share a common origin. For scans of a multimode core or scans including the cladding, each scan should pass through the core's (or cladding's) centre, which may mean re-aligning the scanner at each orientation.

B.4.2.2.3 Raster scanning

Acquire scans as described in B.4.2.2.1 at a set of lines perpendicular to the axis scanned in B.4.2.2.1 at raster positions recorded in y . The covered raster distance should be the same as the covered scan distance.

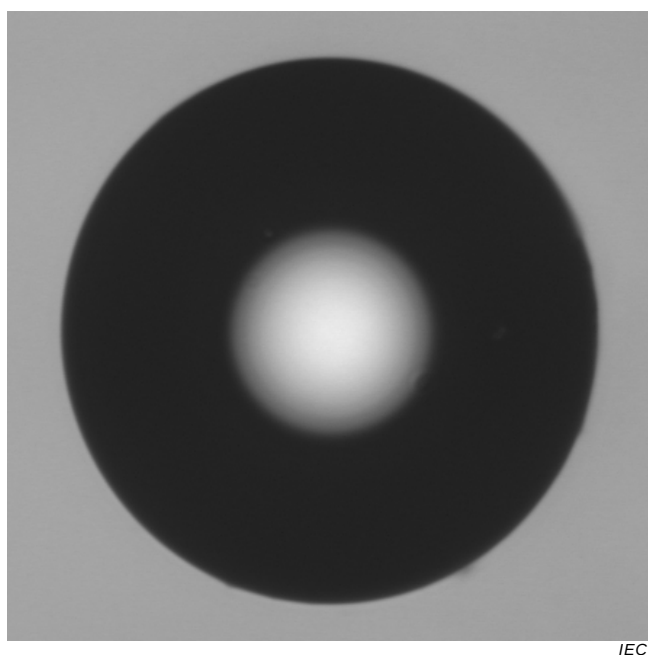


Figure B.4 – Typical raster near-field data, category A1 fibre

B.5 Calculations

Refer to Annexes C, D and E to reduce the near-field intensity data to geometry.

B.6 Results

In addition to the results listed in Clause 11, and depending on the specification requirements, the following information shall be provided on request:

- detector type and aperture size (single near-field scan technique only).

Annex C (normative)

Edge detection and edge table construction

C.1 Introductory remarks

The determination of the boundary of delineation (edge detection) of a body is a fundamental transformation of RNF or TNF data toward determination of the body's geometry. Further transformations of these boundaries determine the geometry, including simple differences (diameter) and averaging (centre) of two diametrically opposed edges, or by fitting ellipses to sets of edges, as described in Annex D. Class A, B and C optical fibres have two bodies: the core and the cladding. The edge detection techniques described in this annex assume these bodies are approximately circular and nearly concentric.

The core boundary shall be determined by the decision-level technique (described in Clause C.2) for all fibre categories. The core boundary decision-level value is specified for all class A multimode fibres, but is not specified for class B and C single-mode fibres. (A recommended value for class B and C fibres is given below.) The cladding boundary may also be determined using the decision-level technique, but other techniques are allowed (these techniques often employ various kinds of spatial filters and can act in one or two dimensions; these techniques are not described by this standard.) Note that for the video gray-scale RNF technique, as described in Annex B, it is required that whatever edge detection technique is used to determine the cladding boundary is the same technique used to calibrate the cladding diameter against a known diameter artefact.

C.2 Boundary detection by decision level

C.2.1 General approach

The decision-level boundary detection technique locates a boundary by finding a point in a data set which straddles a trigger intensity level, T . T is determined from a baseline intensity, I_{Base} , a peak intensity, I_{Max} and a fractional parameter, the decision factor K . The boundary is then defined as the interpolation of two points, x_L and x_R , that straddle T .

$$\begin{aligned} T &= I_{\text{Base}} + K(I_{\text{Max}} - I_{\text{Base}}) \\ x &= x_L + (x_R - x_L) \frac{(T - I_L)}{(I_R - I_L)} \end{aligned} \tag{C.1}$$

In Figure C.1 below, a typical one-dimensional near-field intensity is shown. In this example the cladding casts a shadow on a bright background, and the core is un-illuminated. The red line shows the baseline intensity level, the blue line shows the peak reference level, and the green line shows the decision level (using a K of 0,5, or 50 %). The cladding crosses the threshold on the left and right hand sides of the x -axis. The fibre's diameter is the difference between these two crossings.

$$\begin{aligned}
 x_- &= -62,78 + (-62,44 + 62,78) \frac{0,422 - 0,47}{0,35 - 0,47} \\
 &= -62,64 \\
 x_+ &= 62,14 + (62,48 - 62,14) \frac{0,422 - 0,33}{0,46 - 0,33} \\
 &= +62,38 \\
 D &= (62,38 - (-62,64)) = 125,02
 \end{aligned}
 \tag{C.2}$$

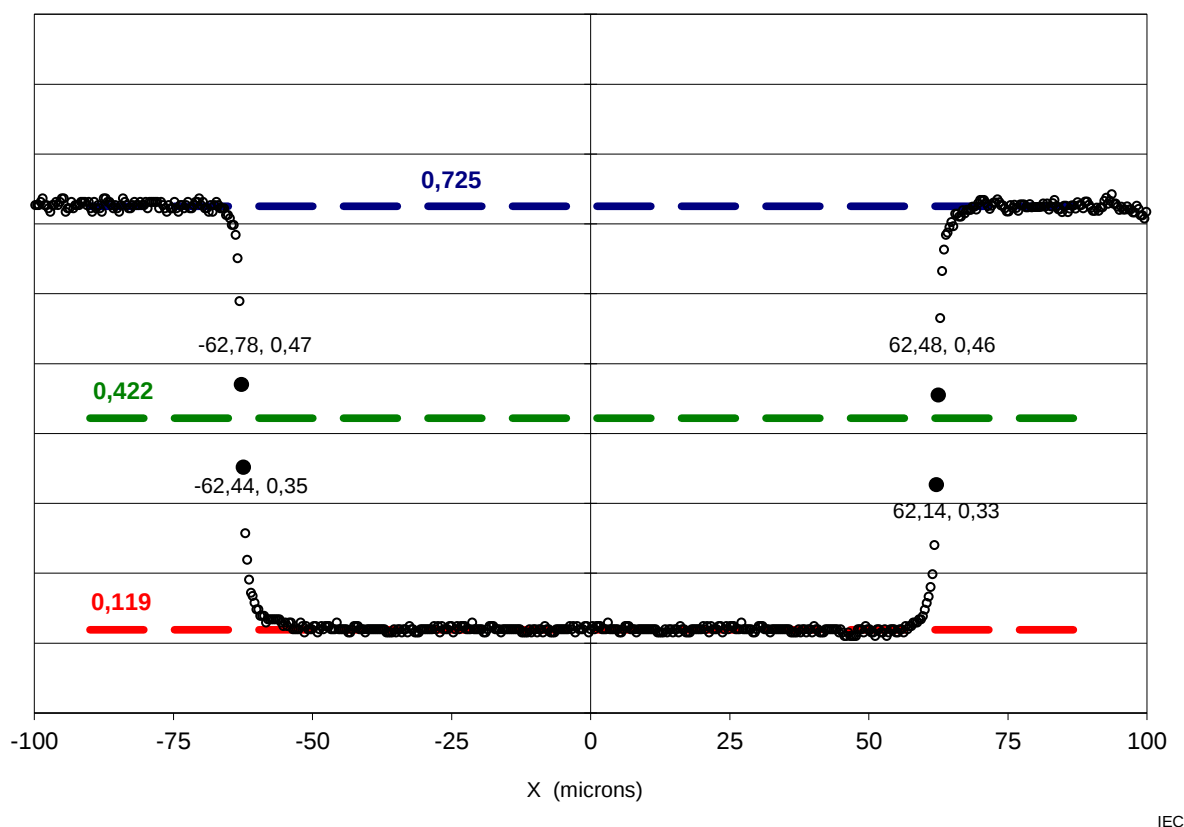
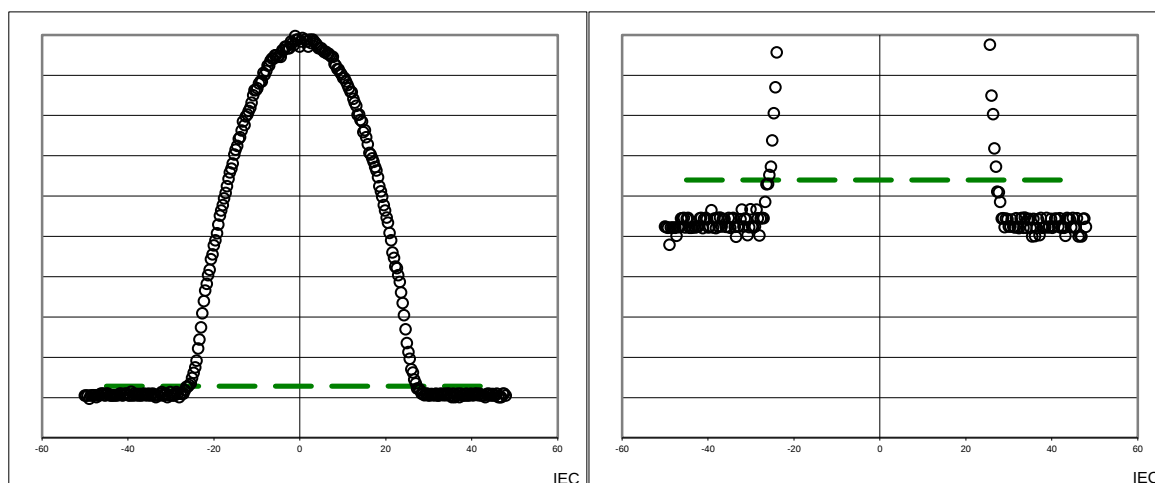


Figure C.1 – Typical one-dimensional data set, cladding only

C.2.2 Class A multimode fibre core reference level and k factor

In the example given in C.2.1, the reference levels were given. Estimation of reference levels can be crucial to valid determination of the boundary of a body, since the reference levels are used to determine the decision level. Cladding body boundaries have edge transitions that are steep, so small differences in the decision level will not greatly affect the location of a detected edge. However, as illustrated in Figure C.2, multimode core diameter is often defined using decision factors which locate features near the core boundary where the transition is shallow. Since these edge transitions are not sharp, small changes in reference levels can affect the location of the edge which will affect the final computed core diameter.



NOTE Right-hand graph is expanded in Y by 10.

Figure C.2 – Typical graded index core profile

The upper reference level of the core of graded-index fibres is taken as the highest intensity datum in the core region, or a reasonable average of data around the peak. Step-index multimode fibre core diameters use an upper reference level which needs to be determined in a fashion like the baseline since the signal inside the core may not be perfectly flat; take care to establish a reasonable upper reference level for these fibres.

In general, care should be taken to find repeatable and realistic baseline reference levels. For some transmitted near-field systems, for example one using a modulated core illuminator and demodulated signal, the baseline reference level is expected to be zero. For other systems, the baseline reference will not be zero and will need to be determined from the data set.

The default reference k -factor used for core diameter measurement of category A1 and A4 fibres is to be 0,025 (2,5 %), for category A2 and A3 fibres 0,5 (50 %) shall be used.

At the time of writing, all class A fibre specifications were being revised, partially to include the k -factor used to determine core geometry. Once these specifications are published including this information, the preceding paragraph shall be ignored and the information in the product specification be used in its place.

For day-to-day measurements, other values of k (other other core processing approaches) may be used – in these cases these non-reference measured values shall be mapped to the reference value for k (and method) as described in Annex F.

C.2.3 Class B and C single-mode fibres

Since the core edge table for single-mode fibres is only used to locate the core centre to compute concentricity error, the edge detection methodology is not critical. It is reasonable to use the maximum pixel in the core region as the upper reference level. Refer to C.2.2 to determine the baseline reference level, but note that errors in the baseline level are generally less important for these fibre classes. A k factor of 0,25 (25 %) is commonly employed.

C.2.4 Direct geometry computation of one-dimensional data

For a single-scan one-dimensional data set, once edge detection is complete, the body's diameter can be computed as the simple difference between the edge detected on the right side of the scan and the edge detected of the left side of the scan.

If both the core and cladding bodies are detected, then an estimate of the concentricity can be made. The centre of the cladding or core is simply the average of its left and right edges. The concentricity estimate is simply the difference between the two centres.

Note that if scans are made at more than one angle, geometry can be computed for each angle as above. However, if three or more angular scans are available, it is recommended that their edges be assembled into an edge table as described in Clause C.3 and fit to an ellipse as described in Annex D.

C.3 Assembling edge tables from raw data

C.3.1 General

An edge table is defined as a list of X,Y data pairs whose entries constitute the bounding points of a body. Edge tables are composed of detected edges (using the decision-level method described above, or for the cladding, and appropriate filter) and describes a nearly circular closed curve over 360°. Edge tables are extracted from two-dimensional raw intensity data of either refracted or transmitted near-field data as described in Annexes A and B. Edge tables can be assembled either from raster data sets or from multiple single scans taken at different angles. Each process is described below.

C.3.2 Edge tables from raster data

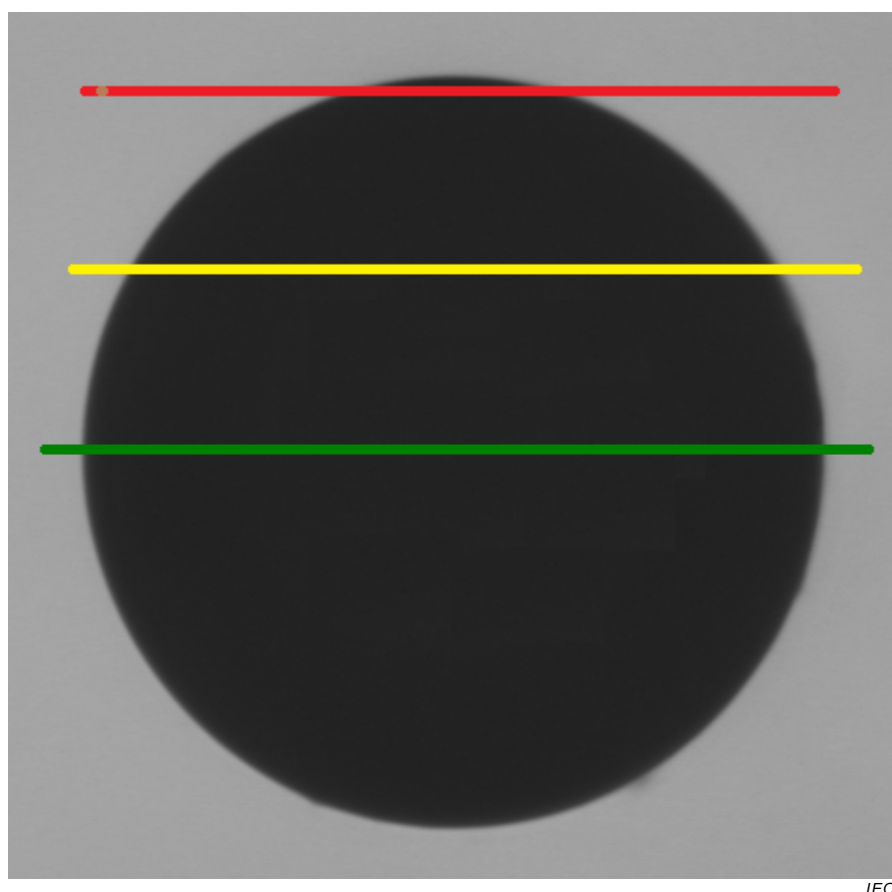


Figure C.3 – Raster data, cladding only

Figure C.3 shows a typical raster scan from a video near-field instrument showing a dark cladding against a bright background without the core illuminated. To construct a cladding edge table for this example, the image is inspected essentially pixel by pixel using the edge

detection techniques discussed in Clause C.2, and a list constructed of the locations (X,Y) of detected edges.

Each row and column in the image may have two detectable edges (if the core were illuminated, then a subset of the rows and columns would have four detectable edges). The rows outside the fibre area contain no edges (nor do the columns outside the fibre). The green line shows a row near a diameter of the cladding. The red line highlights a row that scans nearly tangential to the cladding. Scans that pass near the centre of the cladding will have the sharpest edges, whilst tangential scans will produce very weak, hard-to-detect edges. It is therefore desirable to detect edges on rows or columns which pass as close as possible to the centre.

One approach to edge-detection in this image is to detect edges only on rows that pass near the centre, and to switch to column-wise edge detection for the remainder of the periphery. Generally, the best trade-off is to make this transition at the 45° and 135° angles on the image. The yellow line indicates the transition point where detection should switch from row-wise to column-wise.

Another approach is to only perform edge detection on scans which pass through the rough centre of the body. To use the entire image, two-dimensional interpolation can be employed to construct synthetic one-dimensional scans at a set of angles fine enough to capture the video resolution: the angular increment employed produces an arc length equal to the pixel spacing at the body's radius. The detected edges from each synthetic scan are then transformed onto the zero-angle coordinate system and added to the edge table.

When complete, a n_e length table of X_i, Y_i edges will be determined for each body analysed.

C.3.3 Edge tables from multi-angular one-dimensional scans

To assemble an edge table from a multi-angle scan set, process each scan as outlined in Clause C.2. It is important that each detected edge's location be referenced to a centre that is the point of rotation of the fibre. At the end, each body detected will have an associated list of length n_ϕ of R_k, ϕ_k pairs. The R data are detected edges for the body, both from the left and right sides of a scan. At this point, the R data are signed numbers; the left side edges will be negative (to the left of the rotation centre.) Next, transform the R_k, ϕ_k pairs into the Cartesian coordinate X,Y edge table.

$$\begin{aligned} X_k &= R_k \cos \phi_k \\ Y_k &= R_k \sin \phi_k \end{aligned} \tag{C.3}$$

Annex D (normative)

Edge table ellipse fitting and filtering

D.1 Introductory remarks

The general for fitting an ellipse to an edge table is given below. Both the core and cladding edge tables are fit to ellipses whose parameters are then used to compute the fibre's geometry.

D.2 General mathematical expressions for ellipse fitting

A general form for an ellipse is given as

$$0 = \left[1 - \frac{(x - x_0)^2}{A^2} + \frac{(x - x_0)(y - y_0)}{B^2} + \frac{(y - y_0)^2}{C^2} \right] \quad (\text{D.1})$$

Expansion and substitution gives

$$0 = ax^2 + 2bxy + cy^2 + 2dx + 2fy + g \quad (\text{D.2})$$

where

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{cd - bf}{b^2 - ac} \\ y_0 &= \frac{af - bd}{b^2 - ac} \\ A &= \frac{1}{\sqrt{-a}} \\ B &= -\frac{1}{\sqrt{-c}} \\ C &= -\frac{1}{\sqrt{-2b}} \end{aligned} \quad (\text{D.3})$$

The rotation of the ellipse, φ is given by

$$\varphi = \frac{1}{2} \cot^{-1} \left(\frac{c - a}{2b} \right) \quad (\text{D.4})$$

The major and minor radial dimensions of the ellipse are computed by

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Major}} &= \frac{2(af^2 + cd^2 + gb^2 - 2bdf - acg)}{\sqrt{(b^2 - ac) \left[(c - a) \sqrt{1 + \frac{4b^2}{(a - c)^2}} - (c + a) \right]}} \\
 R_{\text{Minor}} &= \frac{2(af^2 + cd^2 + gb^2 - 2bdf - acg)}{\sqrt{(b^2 - ac) \left[(a - c) \sqrt{1 + \frac{4b^2}{(a - c)^2}} - (c + a) \right]}}
 \end{aligned} \tag{D.5}$$

The ellipse can be expressed parametrically as

$$\begin{aligned}
 x' &= R_{\text{Major}} \cos(\theta) \cos(\varphi) - R_{\text{Minor}} \sin(\theta) \sin(\varphi) + x_0 \\
 y' &= R_{\text{Major}} \cos(\theta) \sin(\varphi) + R_{\text{Minor}} \sin(\theta) \cos(\varphi) + y_0
 \end{aligned} \tag{D.6}$$

or, in cylindrical coordinates as

$$r(\theta) = \frac{R_{\text{Major}}^2}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_{\text{Major}}^2}{R_{\text{Minor}}^2} - 1 \right) \sin^2(\theta - \varphi)}} \tag{D.7}$$

To fit the pixel data one solves the following linear system:

$$\begin{pmatrix}
 \sum X^4 & \sum X^3Y & \sum X^2Y^2 & \sum X^3 & \sum X^2Y & \sum X^2 \\
 \sum X^3Y & \sum X^2Y^2 & \sum XY^3 & \sum X^2Y & \sum XY^2 & \sum XY \\
 \sum X^2Y^2 & \sum XY^3 & \sum Y^4 & \sum XY^2 & \sum Y^3 & \sum Y^2 \\
 \sum X^3 & \sum X^2Y & \sum XY^2 & \sum X^2 & \sum XY & \sum X \\
 \sum X^2Y & \sum XY^2 & \sum Y^3 & \sum XY & \sum Y^2 & \sum Y \\
 \sum X^2 & \sum XY & \sum Y^2 & \sum X & \sum Y & n_e
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 a \\
 2b \\
 c \\
 2d \\
 2f \\
 g
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 \sum X^2 \\
 \sum XY \\
 \sum Y^2 \\
 \sum X \\
 \sum Y \\
 n_e
 \end{pmatrix} \tag{D.8}$$

Each summation above is computed using the n_e data pairs of X, Y points in the edge table.

NOTE The numerical precision of practical computers can affect the results. The principle contribution to precision-limited errors results from taking small differences of large yet similar numbers. In the system described above, the major cause of numerical precision problems is in using data pairs whose relative origin is outside the boundary of the body being fitted. For example, if the origin of the cladding edge table is taken as the lower left hand corner of the image, the x and y data set will be all positive. To avoid these errors, subtract from each x, y datum a rough centre somewhere inside the body.

D.3 Edge table filtering

Active filtering, or removal of raw edge points that represent cleave damage (or other flaws like dirt) from the set of fitted edges is allowed. An example of edge filtering is given below:

- For each edge in the edge table
 - a) after fitting, compute the distance, d , between each edge in the fitted set and ellipse using Equation (C.8),

- b) if d is greater than T micrometres, remove the edge from the edge table, and increment a counter of rejected edges, N_{bad} ,
 - c) If N_{bad} is greater than 1 % of the edges in the edge table, refit using the remaining edges.
- Repeat the above steps until step c) is false.

D.4 Geometric parameter extraction

In this clause, the subscripts "cl" and "co" differentiate the elliptical fit parameters of the cladding and core bodies.

Using the fitted ellipses, the following geometric parameters can be extracted:

$X_{\text{co}}, Y_{\text{co}}$ (μm):	fitted core centre
$R_{\text{Major co}}$ (μm):	major radius of the core
$R_{\text{Minor co}}$ (μm):	minor radius of the core
Core diameter (μm):	$(R_{\text{Major co}} + R_{\text{Minor co}})$
Core non-circularity (%):	$200 (R_{\text{Major co}} - R_{\text{Minor co}}) / \text{Core diameter}$
$X_{\text{cl}}, Y_{\text{cl}}$ (μm):	fitted cladding centre
$R_{\text{Major cl}}$ (μm):	major radius of the cladding
$R_{\text{Minor cl}}$ (μm):	minor radius of the cladding
Cladding diameter (μm):	$(R_{\text{Major cl}} + R_{\text{Minor cl}})$
Cladding non-circularity (%):	$200 (R_{\text{Major cl}} - R_{\text{Minor cl}}) / \text{Cladding diameter}$
Core/cladding concentricity error (μm):	$[(X_{\text{cl}} - X_{\text{co}})^2 + (Y_{\text{cl}} - Y_{\text{co}})^2]^{1/2}$

Annex E (informative)

Fitting category A1 core near-field data to a power law model

E.1 Introductory remarks

Annex E describes the methodology to fit a power law profile to a raw near-field data set of a category A1 fibre core. Both transmitted and refracted near-field data can be processed using this approach. Core diameter, core centre (with limitations), and α , the power-law exponent, can be determined with this fitting technique. Pre-processing steps are generally required to successfully perform this fit. Clause E.2 identifies these pre-processing steps. Clause E.3 describes the fitting methodology in detail.

E.2 Preconditioning data for fitting

E.2.1 Motivation

The fitting process described in Clause E.3 requires a data set which satisfies two conditions: the data set is one-sided (only exists in positive radius) and, has a zero intensity baseline (zero intensity outside the core region). Two-dimensional data from Annex A, raster scanning, and Annex B, grey-scale technique can be pre-processed in similar ways as described in E.2.2. One-dimensional data from Method A or Method B share pre-processing requirements as described in E.2.3.

E.2.2 Transformation of a two-dimensional image to one-dimensional radial near-field

E.2.2.1 When to use

Use this processing method to convert a two-dimensional image of a category A1 fibre core to a one-dimensional data set which can then be fit to the power law profile as described in Clause E.3. Typically, these images will be gray-scale video images acquired using the transmitted near-field grey-scale method described in Annex B. Raster images taken using the refracted near-field method of Annex A can also be processed with this method.

E.2.2.2 Area of interest (optional)

Often, the initial raster or image will contain areas outside the core. These areas include the surrounding cladding and illumination field for a gray-scale image. When reducing the image to the one-dimensional near-field profile, these other areas can bias the fitting process described in Clause E.3. It is therefore useful to extract from the raw image a square area surrounding the core which the remainder of the algorithm will use. Since the baseline subtraction required in Clause E.3 uses information 1,2 times the nominal radial dimension of the core, extracting and using only this area is recommended. This extracted image will then be the image to be processed.

Of course, if an area of interest image is extracted from the original image, N_{Row} , N_{Col} and I will change. This subtlety is ignored for brevity's sake for the remainder of this annex.

E.2.2.3 Centroid

Using the image, the near-field centre is computed by finding the centre of gravity of each Cartesian axis independently. To find the centroid, first find P_{Max} and P_{Min} respectively the intensities of the brightest and dimmest valid pixels in the entire centroid image and then compute the threshold T .

$$T = 0,1(P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}}) + P_{\text{Min}} \quad (\text{E.1})$$

Next, compute the following three summations over all pixels, excluding pixels with intensities less than T , over the row and column indices r and c :

$$\begin{aligned} S_p &= \sum_{r=1}^{N_{\text{Row}}} \sum_{c=1}^{N_{\text{Col}}} \begin{cases} 0 & I_{r,c} < T \\ I_{r,c} & I_{r,c} \geq T \end{cases} \\ S_r &= \sum_{r=1}^{N_{\text{Row}}} \sum_{c=1}^{N_{\text{Col}}} \begin{cases} 0 & I_{r,c} < T \\ rI_{r,c} & I_{r,c} \geq T \end{cases} \\ S_c &= \sum_{r=1}^{N_{\text{Row}}} \sum_{c=1}^{N_{\text{Col}}} \begin{cases} 0 & I_{r,c} < T \\ cI_{r,c} & I_{r,c} \geq T \end{cases} \end{aligned} \quad (\text{E.2})$$

Finally, compute the centroid, X_0, Y_0

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{S_c}{S_p} \\ Y_0 &= \frac{S_r}{S_p} \end{aligned} \quad (\text{E.3})$$

NOTE If P_{Min} is significant when compared to P_{Max} (i.e. when the cladding is illuminated) then the centroid can be biased if the core image is not centred on the overall image. In these cases, the centroid estimation will be improved if P_{Min} (or some other estimate of the baseline or pedestal on which the core image sits) is subtracted from the image before centroid calculation.

E.2.2.4 Computation of radial data functions

This computation step reduces the 2-D pixel data into a 1-D radial function by averaging the pixels in sets of nested and overlapping annular rings (centred on X_0, Y_0) of thickness $2W$ (where W is 0,2 mm unless otherwise specified) centred on the optical centre of the fibre, X_0, Y_0 , as defined in E.2.2.3. The spacing of the rings is W micrometres, although the ring's radial coordinate in the resulting radial data functions will be the radial centroid of the radial coordinates of the pixels in the ring.

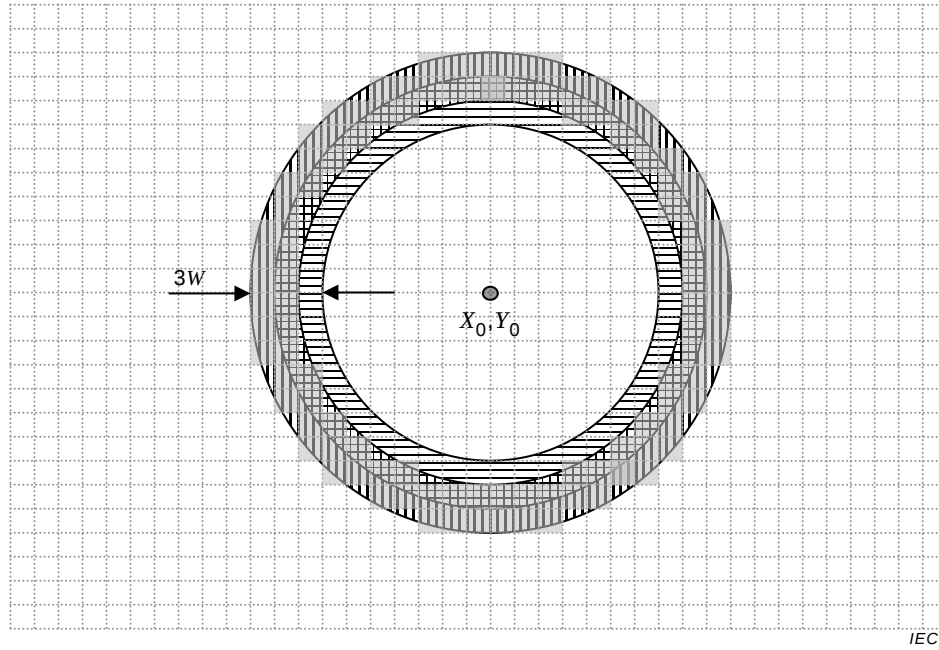


Figure E.1 – Filtering concept

In Figure E.1, the filtering concept is illustrated. The elements of the square grid are the pixels of the image. Two rings, centred on the optical centre X_0, Y_0 , are shown: the outer ring is hatched vertically and the inner ring is hatched horizontally. Each ring has a width $2W$, and overlap in a region W wide. The overlap region in the diagram is cross-hatched. The grayed-in pixels are the pixels which will be averaged into the outer ring, since their centres fall inside the outer ring's boundary.

Use the following steps to compute the radial functions:

- Determine the maximum radius of a complete ring. This step finds the largest ring that will fit in the image without being truncated by an image boundary. Compute the shortest distance to the edge of the image from the image centre

$$\begin{aligned}
 D_L &= S_X X_0 \\
 D_R &= S_X (N_C - X_0) \\
 D_T &= S_Y Y_0 \\
 D_B &= S_Y (N_R - Y_0) \\
 D &= \min(D_L, D_R, D_T, D_B)
 \end{aligned}
 \tag{E.4}$$

where "min" finds the minimum of the four distances. Next, compute the number of rings, N_R , as

$$N_R = \frac{D - W}{W}
 \tag{E.5}$$

- Allocate and zero the three summation arrays, $S_R(0..N_R)$, $S_I(0..N_R)$, and $S_N(0..N_R)$

For each and every pixel (on row r and column c), perform the following steps:

- Compute the radial coordinate:

$$R = \sqrt{S_Y^2(r - Y_0)^2 + S_X^2(c - X_0)^2} \quad (\text{E.6})$$

c) Compute the ring index i

$$i = \text{trunc}\left(\frac{R}{W}\right) + 1 \quad (\text{E.7})$$

d) If i is less than or equal to N_R then sum into both ring i and ring $i-1$

$$\begin{aligned} S_R(i) &= S_R(i) + R \\ S_I(i) &= S_I(i) + I(r, c) \\ S_N(i) &= S_N(i) + 1 \end{aligned} \quad (\text{E.8})$$

$$\begin{aligned} S_R(i-1) &= S_R(i-1) + R \\ S_I(i-1) &= S_I(i-1) + I(r, c) \\ S_N(i-1) &= S_N(i-1) + 1 \end{aligned} \quad (\text{E.9})$$

The above double sum implements the overlapping-ring smoother.

e) Finally, compute the parametric function pair (where i is the parameter) for each ring by computing the average radius and average intensity in each ring:

$$\begin{aligned} R(i) &= \frac{S_R(i)}{S_N(i)} \\ NF'(i) &= \frac{S_I(i)}{S_N(i)} \end{aligned} \quad (\text{E.10})$$

Depending on the camera's resolution and the ring thickness selected, it is possible for some of the interior rings to contain no pixels, and so the corresponding S_N values will be zero. In this case, the ring should be omitted and the subsequent array elements shifted up, and N_R should be decremented. It is also possible for two or more adjacent rings to have the same $\bar{R}$ (or trivially identical, say within 0,01 mm) – in these cases the radii and intensities in these adjacent rings should be averaged, and those rings replaced with one ring of averaged $\bar{R}$ and averaged intensity, and N_R should be decremented appropriately.

E.2.3 Pre-processing of one-dimensional near-field data

E.2.3.1 General

One-dimensional near-field category A1 fibre core data can be measured as a single line scan using the refracted near-field method, the mechanical scanning transmitted near-field method, or as individual video lines from the grey-scale transmitted near-field method. Generally, data of this form have a left and right hand side, i.e. in the line there is intensity data a negative radius and positive radius. The fitting process described in Clause E.3 can only use positive radii, and so the centre of the data shall be found to determine where $R = 0$. Once the centre is known, the radial positions can be re-centred. Then, either the data has to be folded around the centre (moving the left side data to the right by reflection), or one side of the data should be extracted from the set to be processed alone. Generally, folding the data is preferred.

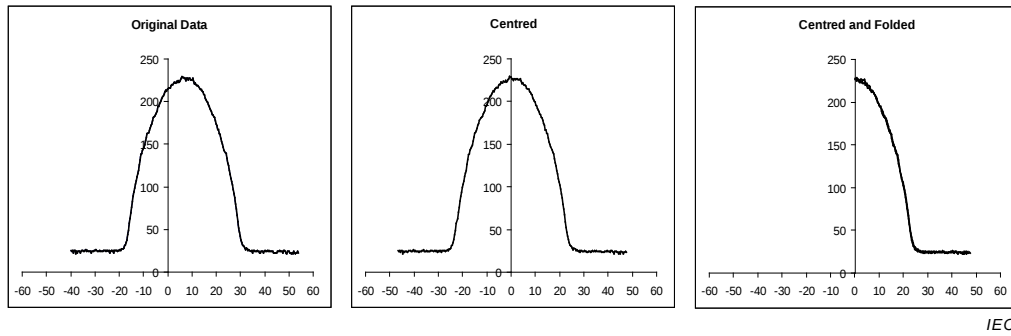


Figure E.2 – Illustration of 1-D near-field preconditioning, typical video line

The input data are N pairs R'_i, I'_i .

E.2.3.2 Centre determination

Using the image, the near-field centre is computed by finding the centre of gravity of the measured profile in radius. To find the centroid, first find P_{Max} and P_{Min} respectively the largest and smallest intensities in the measured profile, and then compute the threshold T :

$$T = 0,1(P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}}) + P_{\text{Min}} \quad (\text{E.11})$$

Next, compute the following summations over the entire profile, excluding profile data with intensities less than T :

$$\begin{aligned} S &= \sum_{i=1}^N \begin{cases} 0 & I_{1-D_i} < T \\ I_{1-D_i} & I_{1-D_i} \geq T \end{cases} \\ SR &= \sum_{i=1}^N \begin{cases} 0 & I_{1-D_i} < T \\ iI_{1-D_i} & I_{1-D_i} \geq T \end{cases} \end{aligned} \quad (\text{E.12})$$

Finally, compute the centroid,

$$R_0 = \frac{SR}{S} \quad (\text{E.13})$$

NOTE If P_{Min} is significant when compared to P_{Max} (i.e. when the cladding is illuminated) then the centroid can be biased if the core image is not centred on the overall image. In these cases, the centroid estimation will be improved if P_{Min} (or some other estimate of the baseline or pedestal on which the core image sits) is subtracted from the image before centroid calculation.

E.2.3.3 Folding the profile

Once the centre is known, folding the profile is trivial:

$$R_i = |R'_i - R_0| \quad (\text{E.14})$$

where the vertical bars denote the absolute value. Once the data is folded, it is convenient to sort the data set in increasing R so as to not complicate the remainder of the fitting algorithm.

E.2.4 Baseline subtraction

Usually, once the radial functions have been computed, the N_F' function outside of the core region will have a non-zero value, herein referred to as the baseline, or B . This baseline value, B , can be attributed to video dark signal, cladding illumination, a non-zero cladding refractive index or other causes. To properly condition the data to prepare for fitting as described in Clause D.3, this baseline shall be subtracted. One approach is to compute B as the average of N_F' over the radial range from 0,575 times the fibre's nominal core diameter, to 0,6 times the nominal core diameter.

Subtract the baseline from T :

$$I_i = I_i' - B \quad 0 \leq i \leq N_R \quad (\text{E.15})$$

There are cases where B is expected to be zero: for example, when a chop-in amplifier is used to demodulate a modulated signal from a one-dimensional mechanical near-field scan. In these cases it is allowable to take B as zero.

E.3 Fitting a power-law function to an category A1 fibre near-field profile

The conditioned near-field data from Clause E.2 is fit to the following power-law model:

$$IF(r) = I_0 \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right] \quad (\text{E.16})$$

where I_0 is the maximum intensity according to the best-fit model, α is the power law shape factor, and a is the best fit core radius. This model shall be fit to the R and I data set using the least squares criteria by minimizing S :

$$S = \sum_{i=i_{10}}^{i_{80}} \left[I_i - I_0 \left[1 - \left(\frac{R_i}{a} \right)^\alpha \right] \right]^2 \quad (\text{E.17})$$

where i_{10} and i_{80} are the indices that bracket the data set where I lies between 10 % and 80 % of the maximum of I , respectively. The reason to limit the fit region is two-fold: first, the 80 % limit excludes near-core-centre anomalies; second, the 10 % limit excludes the tail of these profiles, which do not conform well to the model due to diffusion and intentional design features.

To use Equation (E.17) as written, the data set should be established by increasing R and ignore any data very near the core which falls below the 80 % limit.

Minimizing S in Equation (E.17) requires non-linear equation solving techniques, however it is important to notice that the fit parameters I_0 , α and a are coupled. Conventional non-linear solvers will generally fail to find a solution for a given data set and so special techniques should be employed. First, combining terms, Equation (E.16) is recast as

$$\begin{aligned} IF(r) &= I_0 + Kr^\alpha \\ \text{where } a &= -K^{-\frac{1}{\alpha}} \end{aligned} \quad (\text{E.18})$$

Equation (E.17) can be rewritten as

$$S = \sum_{i=i_0}^{i_{80}} \left[I_i - I_0 - Kr^\alpha \right]^2 \quad (\text{E.19})$$

S is minimum when

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial I_0} &= 0 = 2nI_0 + 2K \sum r_i^\alpha - 2 \sum I_i \\ \frac{\partial S}{\partial K} &= 0 = 2I_0 \sum r_i^\alpha + 2K \sum r_i^{2\alpha} - 2 \sum r_i^\alpha I_i \\ \frac{\partial S}{\partial \alpha} &= 0 = 2KI_0 \sum \log(r_i) r_i^\alpha + 2K^2 \sum \log(r_i) r_i^{2\alpha} - 2K \sum \log(r_i) r_i^\alpha I_i \end{aligned} \quad (\text{E.20})$$

Combining the first two derivatives and solving simultaneously for I_0 and K , we get

$$\begin{aligned} K &= \frac{\sum I_i r_i^\alpha - \frac{\sum I_i \sum r_i^\alpha}{n}}{\sum r_i^{2\alpha} - \frac{(\sum r_i^\alpha)^2}{n}} \\ I_0 &= \frac{\sum I_i - K \sum r_i^\alpha}{n} \end{aligned} \quad (\text{E.21})$$

From Equation (E.21) it can be observed that for any α , both K and I_0 can be calculated directly. It is therefore possible to reduce the three-parameter nonlinear minimization of Equation (E.17) to a one-parameter minimization of Equation (E.19) by exploiting Equation (E.21). The process for solving the system is then simply to solve Equation (E.18) with a one-dimensional nonlinear solver (i.e. Newton's method) on α , with the kernel function using first Equation (E.21) to compute K and I_0 and returning Equation (E.19) as the function to be minimized.

Once the solution is found, the core diameter is found as twice a , which is computed from K , using Equation (E.18).

Annex F (informative)

Mapping class A core diameter measurements

F.1 Introductory remarks

Annex B, in combination with Annexes C and D, describes the reference test method (RTM) to determine the core diameter for class A multimode fibre core diameter. The sample length for various categories and sub-categories of A fibre can extend into the hundreds of metres, and is specified in the detail specification for that category or class. For day-to-day measurements it is impractical to require the stress-free deployment of many metres of fibre to determine its core diameter and so it is desirable to allow shorter lengths (2 m) to be employed. Additionally, as a practical matter the methodology of Annex C to determine the curve of delineation of the core boundary may be impractical dependent on the design of the fibre when such short lengths are employed with overfilling launch conditions. To accommodate these difficulties, the mapping of the reference test condition may be mapped onto a more practical test condition.

If alternate measurement conditions are employed for daily production measurements, the alternate condition's core diameter can be transformed to estimate the reference condition diameter.

F.2 Mapping function

For a given fibre process and measurement regime, if it can be proven that a determination of a steady-state bias exists between the reference test method for determining class A fibre core diameter, including the reference length and analysis conditions and another method (for example employing a shorter test length and/or decision threshold or analysis technique), then a mapping function may be employed which transforms a core diameter measured using the alternative method to an approximation of the core diameter resulting from the reference method. It is allowable that these mapped diameters be reported as the core diameter. The mapping function can take any form.

An additive offset, Z :

$$CD_{Ref} = CD_{Prod} + Z \quad (F.1)$$

A multiplicative scaling factor, M :

$$CD_{Ref} = M \times CD_{Prod} \quad (F.2)$$

Or any other provably utile function, f :

$$CD_{Ref} = f(CD_{Prod}) \quad (F.3)$$

Bibliography

IEC 60793-1-45, *Optical fibres – Part 1-45: Measurement methods and test procedures – Mode field diameter*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	49
INTRODUCTION.....	51
1 Domaine d'application	52
2 Références normatives	52
3 Termes, définitions et symboles	52
4 Vue d'ensemble de la méthode	54
4.1 Généralités	54
4.2 Méthodes de balayage	55
4.2.1 Généralités	55
4.2.2 Sources d'erreur du balayage unidimensionnel	55
4.2.3 Balayage multidimensionnel	56
4.3 Réduction de données	57
4.3.1 Combinaison simple de jeux de balayages à quelques angles	57
4.3.2 Ajustement d'ellipse de séries de données à plusieurs angles ou rémanentes	57
5 Méthode d'essai de référence	57
6 Appareillage	57
7 Echantillonnage et spécimens	57
7.1 Longueur de spécimen.....	57
7.2 Extrémité de spécimen.....	57
8 Procédure.....	58
9 Calculs	58
10 Résultats	58
11 Informations à mentionner dans la spécification.....	58
Annexe A (normative) Exigences spécifiques à la Méthode A – Champ proche réfracté	59
A.1 Remarques préliminaires	59
A.2 Appareillage.....	59
A.2.1 Montage type.....	59
A.2.2 Source.....	59
A.2.3 Composants optiques d'injection.....	60
A.2.4 Positionneur XYZ (table de balayage)	60
A.2.5 Disque écran	60
A.2.6 Optique de collecte et détecteur	61
A.2.7 Système informatique	61
A.2.8 Cellule d'immersion	61
A.3 Echantillonnage et spécimens.....	61
A.4 Procédure	62
A.4.1 Chargement et centrage de la fibre.....	62
A.4.2 Balayage de ligne	62
A.4.3 Balayage rémanent.....	62
A.4.4 Étalonnage	62
A.5 Calcul de l'indice de réfraction	63
A.6 Calculs	64
A.7 Résultats	64

Annexe B (normative) Exigences spécifiques à la Méthode B – Champ proche transmis	66
B.1 Remarques préliminaires	66
B.2 Appareillage	66
B.2.1 Montage type	66
B.2.2 Sources de rayonnement lumineux	67
B.2.3 Support de fibre et appareillage de positionnement	68
B.2.4 Extracteur de modes de gaine	68
B.2.5 Détection	69
B.2.6 Système optique d'agrandissement	69
B.2.7 Moniteur d'image vidéo (technique de la vidéo en niveaux de gris)	70
B.2.8 Ordinateur	71
B.3 Echantillonnage et spécimens	71
B.4 Procédure	71
B.4.1 Etalonnage de l'équipement	71
B.4.2 Mesure	71
B.5 Calculs	73
B.6 Résultats	73
Annexe C (normative) Détection des limites et construction d'un tableau représentatif des limites	74
C.1 Remarques préliminaires	74
C.2 Détection de limite par la méthode du niveau de décision	74
C.2.1 Approche générale	74
C.2.2 Niveau de référence du cœur de fibre multimodale de classe A et facteur k	75
C.2.3 Fibres unimodales de classes B et C	76
C.2.4 Calcul de géométrie directe des données unidimensionnelles	77
C.3 Constitution de tableaux représentatifs de limite à partir des données brutes	77
C.3.1 Généralités	77
C.3.2 Constitution de tableaux représentatifs des limites à partir des données rémanentes	78
C.3.3 Tableaux représentatifs de limite à partir de balayages unidimensionnels multi-angulaires	79
Annexe D (normative) Ajustement elliptique et filtrage du tableau représentatif des limites	80
D.1 Remarques préliminaires	80
D.2 Expressions mathématiques générales relatif à l'ajustement elliptique	80
D.3 Filtrage du tableau représentatif des limites	81
D.4 Extraction des paramètres géométriques	82
Annexe E (informative) Ajustement des données en champ proche du cœur de catégorie A1 à un modèle de loi de puissance	83
E.1 Remarques préliminaires	83
E.2 Préconditionnement des données pour l'ajustement	83
E.2.1 Motivation	83
E.2.2 Transformation d'une image bidimensionnelle en un champ proche radial unidimensionnel	83
E.2.3 Prétraitement des données en champ proche unidimensionnelles	86
E.2.4 Soustraction de référence	88
E.3 Ajustement d'une fonction de loi de puissance à un profil en champ proche de fibre de catégorie A1	88

Annexe F (informative) Correspondances des mesures de diamètre de cœur de classe	
A.....	90
F.1 Remarques préliminaires	90
F.2 Fonction de correspondance	90
Bibliographie.....	91
Figure 1 – Echantillonnage sur une corde	55
Figure 2 – Balayage d'un corps non-circulaire.....	56
Figure A.1 – Méthode du champ proche réfracté – Cellule	60
Figure A.2 – Montage des instruments type	60
Figure A.3 – Balayage de ligne de profil d'indice type dans une fibre de catégorie A1.....	63
Figure A.4 – Profil d'indice rémanent type sur une fibre de catégorie A1.....	64
Figure B.1 – Montage type, technique des niveaux de gris.....	67
Figure B.2 – Montage type, technique du balayage mécanique	67
Figure B.3 – Balayage en champ proche unidimensionnel type, cœur de catégorie A1.....	72
Figure B.4 – Données en champ proche rémanentes types, fibre de catégorie A1.....	73
Figure C.1 – Série de données unidimensionnelles type, relative à la gaine seulement.....	75
Figure C.2 – Profil de cœur à gradient d'indice type.....	76
Figure C.3 – Données rémanentes, gaine uniquement	78
Figure E.1 – Concept de filtrage	85
Figure E.2 – Illustration du préconditionnement en champ proche unidimensionnel, ligne vidéo type.....	87

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FIBRES OPTIQUES –

**Partie 1-20: Méthodes de mesure et procédures d'essai –
Géométrie de la fibre**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 60793-1-20 a été établie par le sous-comité SC86A: Fibres et câbles du comité d'études TC86 de l'IEC: Fibres optiques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, publiée en 2001, dont elle constitue une révision technique.

Cette édition contient les modifications techniques principales suivantes par rapport à l'édition précédente:

- la méthode d'essai de référence pour tous les types de fibres est modifiée de la méthode du champ proche réfracté à la méthode du champ proche transmis sur vidéo en niveaux de gris;

- les longueurs d'essai de tous les types de fibres doivent désormais être spécifiées dans la spécification particulière de la fibre;
- bien que des valeurs par défaut soient données, la longueur d'onde d'illumination du cœur pour tous les types de fibres multimodales peut désormais être spécifiée dans la spécification particulière de la fibre;
- le facteur k appliqué sur le cœur (niveau de décision) doit maintenant être spécifié dans la spécification particulière pour tous les types de fibres multimodales;
- la présente édition décrit le mesurage de manière bien plus spécifique; la réduction et la transformation des données sont décrites de manière exhaustive.
- la méthodologie de réduction des données pour la méthode du champ proche réfracté et pour la méthode du champ proche transmis est maintenant unifiée et cohérente.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86A/1562/CDV	86A/1623/RVC

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

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

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

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

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Il convient donc que les utilisateurs impriment ce document en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La présente norme présente deux méthodes destinées à mesurer les caractéristiques géométriques de la fibre:

- Méthode A: Champ proche réfracté, décrite dans l'Annexe A;
- Méthode B: Champ proche transmis, décrite dans l'Annexe B.

Les méthodes A et B s'appliquent à la mesure de la géométrie de toutes les fibres multimodales de classe A, aux fibres unimodales de classe B et aux fibres d'interconnexion unimodales de classe C. Les spécifications produit applicables pour les fibres, l'IEC 60793-2-10, l'IEC 60793-2-20, l'IEC 60793-2-30, l'IEC 60793-2-40, l'IEC 60793-2-50 et l'IEC 60793-2-60, fournissent les détails de mesure correspondants, y compris les longueurs d'échantillons et les facteurs k .

Les paramètres géométriques mesurables par les méthodes décrites dans la présente norme sont les suivants:

- diamètre du gainage;
- non-circularité du gainage;
- diamètre du cœur (fibre de catégorie A seulement);
- non-circularité du cœur (fibre de catégorie A seulement);
- erreur de concentricité entre le cœur et le gainage.

NOTE 1 Le diamètre de cœur des fibres de classe B et de classe C n'est pas spécifié. Le paramètre équivalent est le diamètre de champ de mode, déterminé par l'IEC 60793-1-45.

NOTE 2 Ces méthodes spécifient les techniques de collecte de données et les analyses de données unidimensionnelle (1-D) et bidimensionnelle (2-D). Les méthodes 1-D proprement dites ne peuvent pas déterminer la non-circularité ni l'erreur de concentricité. Lorsque des corps non-circulaires sont mesurés à l'aide des méthodes 1-D, les diamètres des corps présentent des incertitudes supplémentaires. Ces limitations peuvent être résolues par le balayage et l'analyse de plusieurs séries de données 1-D. L'Article 5 donne de plus amples informations.

Les informations communes aux deux méthodes apparaissent dans les Articles 2 à 10, et les informations spécifiques à chaque méthode apparaissent, respectivement, dans les Annexes A et B. L'Annexe C décrit les méthodes normatives utilisées pour déterminer les limites optiques du cœur et de la gaine, l'Annexe D décrit les procédures normatives pour ajuster des ellipses aux ensembles de limites détectées. L'Annexe E fournit une procédure d'ajustement informative des modèles de loi de puissance aux profils de cœur à gradient d'indice. L'Annexe F décrit une méthodologie informative concernant la transformation des mesures de diamètre du cœur déterminées par d'autres méthodes que la méthode de référence pour évaluer approximativement les valeurs de la méthode de référence.

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1–20: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Géométrie de la fibre

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60793 établit des exigences uniformes pour mesurer les caractéristiques géométriques des fibres optiques nues.

La géométrie des fibres optiques nues affecte directement l'épissurage, le montage des connecteurs (connectorisation) et le câblage et est donc un paramètre fondamental nécessitant une spécification minutieuse, un contrôle qualité et par la même, des mesures.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60793-2-10, *Fibres optiques – Partie 2-10: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A1*

IEC 60793-2-20, *Fibres optiques – Partie 2-20: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A2*

IEC 60793-2-30, *Fibres optiques – Partie 2-30: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A3*

IEC 60793-2-40, *Fibres optiques – Partie 2-40: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A4*

IEC 60793-2-50, *Fibres optiques – Partie 2-50: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres unimodales de classe B*

IEC 60793-2-60, *Fibres optiques – Partie 2-60: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire des fibres unimodales pour connexions internes en catégorie C*

IEC 61745, *Procédure d'analyse d'image d'extrémité pour l'étalonnage de dispositifs d'essais de géométrie des fibres optiques*

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes, définitions et symboles suivants s'appliquent:

3.1.1**corps**

terme général décrivant une entité dont la géométrie est mesurée (c'est-à-dire gainage ou cœur)

3.1.2**point de référence**

coordonnée fixe dans le plan de balayage

Note 1 à l'article: Ce point est arbitraire (il peut s'agir par exemple de l'angle inférieur gauche d'une image vidéo ou du centre approximatif de la fibre après que la fibre a été placée dans un appareil de balayage).

3.1.3**centre**

centre d'un corps dans le plan de mesure par rapport au point de référence, exprimé en micromètres

3.1.4**diamètre**

diamètre moyen, en micromètres, d'un corps quasi circulaire

3.1.5**non-circularité**

différence entre les écarts radiaux maximal et minimal par rapport au centre du corps, normalisée en fonction du diamètre du corps et exprimée en pourcentage

3.1.6**erreur de concentricité**

distance scalaire, en micromètres, entre deux centres de corps

3.1.7**balayage**

terme définissant la collecte des données sur un axe du plan de coordonnées cartésiennes, à une orientation d'angle fixe et à un décalage fixe par rapport au point de référence

3.1.8**ensemble de données de balayage ou ensemble de données**

un ou plusieurs balayages utilisés conjointement pour déterminer la géométrie de la fibre

Note 1 à l'article: Le jeu peut être constitué d'un balayage (voir les limitations ci-après), d'un ensemble de balayages à différentes orientations d'angle par rapport à la fibre, ou d'un balayage rémanent (tel qu'une image vidéo).

3.1.9**tableau représentatif des limites**

série de paires de nombres dans le plan de balayage qui définit une ligne courbe fermée de délimitation entre la gaine et le support environnant (tableau représentatif des limites de la gaine) ou le cœur et la gaine (tableau représentatif des limites du cœur)

3.1.10**modèle elliptique**

ajustement d'elliptique

ellipse de meilleur ajustement à un tableau représentatif des limites

3.2 Symboles

Les symboles définis ci-après permettent de décrire différents aspects d'une série de données balayées. Les balayages peuvent être des balayages rémanents unidimensionnels ou bidimensionnels (où les axes de balayage sont orthogonaux sur un plan cartésien), ou un jeu de balayages unidimensionnels sur une série d'angles.

- i* Indice utilisé pour l'axe de balayage ou l'axe "rapide" dans le cas d'un balayage rémanent.
 - j* Indice utilisé pour l'axe "lent" dans un balayage rémanent.
 - k* Indice utilisé pour l'angle dans un jeu de balayages multi-angulaire.
 - I* Série de données obtenues par un balayage unidimensionnel ou bidimensionnel. Les données peuvent être relatives à l'intensité du champ proche (obtenues par la Méthode B) ou à l'indice de réfraction (Méthode A); dans la présente norme, aucune délimitation n'est effectuée car l'un ou l'autre type de données est intermédiaire et est ensuite analysé pour extraire la géométrie de la fibre. Une seule donnée dans une série est indiquée par indexation de manière cohérente avec la nature de la série de données: I_i pour le *i*e point du balayage dans un unique jeu de balayages; $I_{j,i}$ pour un point de données rémanent au *j*e emplacement sur l'axe lent et la *i*e position sur l'axe rapide; $I_{k,i}$ pour le *i*e point au *k*e angle.
 - x* Les données de position, en micromètres, du jeu. Pour un jeu de balayages unique, la signification de *x* est claire. Pour un jeu de balayages rémanents ou un jeu multi-angulaire, *x* fait référence aux données de position de l'axe "rapide" (rémanent) ou aux positions de balayage (pour chaque angle). (Les jeux rémanents dont les lignes individuelles présentent des positions d'axe rapide différentes ou les jeux multi-angulaires dans lesquels chaque angle utilise un ensemble différent de positions sont admis par la présente norme, mais cette complication est ignorée dans l'aboutissement du développement analytique).
 - y* Données de position, en micromètres, des lignes rémanentes (les emplacements d'axe lent) dans un jeu de balayages rémanents.
 - φ Angles dans un jeu multi-angulaire. Le *k*e angle dans le jeu est indiqué par indexation: φ_k .
 - nS* Nombre de points dans un balayage unique. Dans le cas de jeux de balayages rémanents, *nS* est le nombre de points de l'axe rapide. Dans des jeux de balayages multi-angulaires, *nS* est le nombre de points d'un balayage quelconque. (La nomenclature de la présente norme ignore les cas dans lesquels le nombre de points varie entre les lignes rémanentes ou les angles, bien que ces séries de données soient admises.)
 - nR* Nombre de rangs rémanents (balayages d'axe lent) dans un jeu de balayages.
 - n φ* Nombre d'angles dans un jeu multi-angulaire.
- NOTE Les symboles suivants servent à décrire un tableau représentatif de limites.
- X,Y* jeu d'emplacements dans le plan de balayage *X-Y* de la fibre qui délimite un corps de son environnement.
 - n_e* nombre de points de limites dans un tableau représentatif de limite.

4 Vue d'ensemble de la méthode

4.1 Généralités

Intrinsèquement, chaque méthode (A ou B) définie ici décrit la manière de produire une image de la fibre dans un plan normal par rapport à son axe de propagation. L'image résultante est alors ensuite analysée (comme décrit dans les Annexes C, D et E) pour réduire l'image à une expression de la géométrie de la fibre. Les méthodes A et B peuvent produire des images qui sont unidimensionnelles (c'est-à-dire, le long d'un seul axe dans le plan de l'image) ou bidimensionnelles. Une image bidimensionnelle est bien évidemment plus riche en informations et donc ces images produisent ainsi des informations géométriques plus complètes; la non-circularité d'un corps ne peut pas être déterminée à partir d'un balayage unidimensionnel ni les erreurs de concentricité être déterminées avec certitude.

L'analyse de l'image comprend deux étapes. La première étape consiste à quantifier à quel emplacement dans l'image le corps étudié est délimité (voir l'Annexe C). La seconde étape réduit l'ensemble de ces points de délimitation à un ou plusieurs paramètres géométriques:

diamètre, non-circularité et centre (si la gaine et le cœur sont tous deux mesurés et leurs centres déterminés, l'erreur de concentricité peut également être déterminée). L'Annexe D décrit les méthodes qui peuvent être utilisées sur la gaine et le cœur de tous les types de fibres et l'Annexe E décrit une méthode qui peut être utilisée pour le corps de cœur des fibres de classe A.

La présente norme traite des besoins variés, et comme telle, admet une large plage de collecte et de réduction de données. Les limitations et utilisations spécifiques de ces approches sont présentées ci-après.

4.2 Méthodes de balayage

4.2.1 Généralités

Comme mentionné ci-dessus, l'échantillonnage d'un corps bidimensionnel en une seule dimension présente des limites. Les fibres idéales sont parfaitement circulaires et le cœur et la gaine sont concentriques; les fibres réelles ne sont pas circulaires et présentent des erreurs de concentricité. La non-circularité et la concentricité ne peuvent pas être mesurées par un balayage unidimensionnel qui peut sous-estimer ou surestimer le diamètre moyen d'un corps non-circulaire. Un balayage unidimensionnel peut être utile pour les fibres dont la non-circularité et les erreurs de concentricité sont connues pour être faibles et des balayages unidimensionnels sont couramment utilisés pour déterminer le diamètre du cœur des fibres de classe A.

4.2.2 Sources d'erreur du balayage unidimensionnel

4.2.2.1 Balayage d'une corde

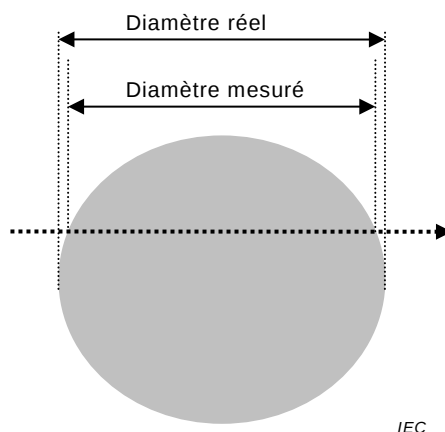


Figure 1 – Echantillonnage sur une corde

La Figure 1 illustre l'erreur qui se produit lorsque l'axe d'échantillonnage n'est pas colinéaire avec le centre du corps. Lorsque l'axe d'échantillonnage ne passe pas par le centre du corps, le diamètre du corps est sous-estimé. Il s'agit d'une erreur de second ordre.

4.2.2.2 Balayage de corps non-circulaires

Si un corps est non-circulaire, un balayage unidimensionnel ne décrira pas complètement la forme du corps. L'échantillonnage d'un corps en une dimension sous-estimera ou surestimera généralement le diamètre moyen du corps. On peut émettre l'hypothèse que ce problème puisse être rectifié en échantillonnant le corps en deux axes orthogonaux (c'est-à-dire X et Y), mais en règle générale, cela n'est pas suffisant. Considérer la Figure 2:

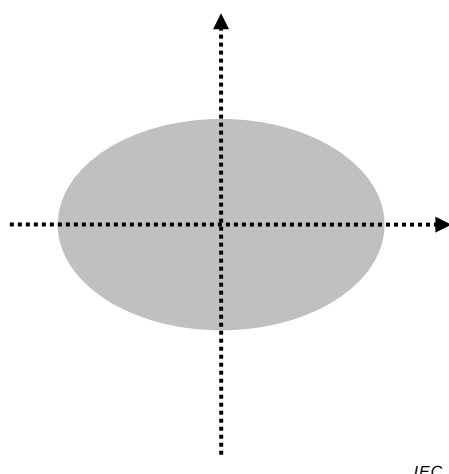


Figure 2a – Diamètre majeur

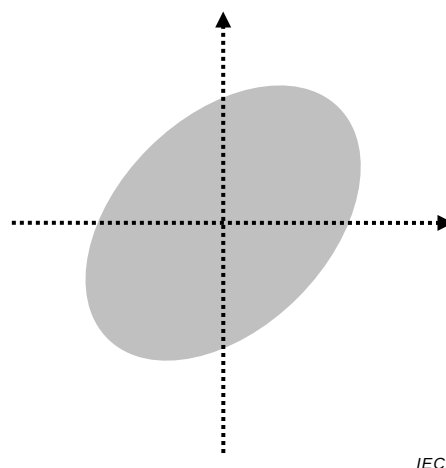


Figure 2b – Diamètre moyen

Figure 2 – Balayage d'un corps non-circulaire

La Figure 2 illustre les erreurs qui se produisent lorsqu'un corps elliptique est échantillonné sur un ou deux axes. Dans l'exemple du diamètre majeur (Figure 2a), le diamètre majeur de l'ellipse est aligné à l'axe X. Dans ce cas, un échantillonnage du seul axe X surestimera le diamètre moyen du corps; la non-circularité du corps ne sera pas décelée (de même, l'échantillonnage du corps sur le seul axe Y sous-estimera le diamètre du corps). Dans cette orientation, s'il est échantillonné sur les deux axes, le corps sera caractérisé entièrement: son diamètre moyen et sa non-circularité sont déterminés. Cependant, dans le cas du "diamètre moyen", l'échantillonnage sur l'un ou l'autre axe donne le même diamètre correct approximatif pour les deux axes; si les deux axes étaient échantillonnés, le corps apparaîtrait comme parfaitement circulaire. L'analyse des balayages de $\pm 45^\circ$ donnera la non-circularité et le diamètre corrects, mais il n'est pas possible de connaître à l'avance les angles de balayage angulaire appropriés. A des orientations différentes de -45° et $+45^\circ$, le diamètre moyen du corps sera mesuré correctement, mais la circularité du corps sera sous-estimée.

4.2.2.3 Indétermination de concentricité

Si un seul axe est balayé, le centre du cœur relatif au centre de la gaine ne peut être connu. Le balayage de deux axes orthogonaux peut fournir une estimation raisonnable du centre du cœur. Cette estimation sera moins fine si le cœur est balayé sur une corde située à distance du centre du cœur. Si le cœur est beaucoup plus petit et que la gaine est significativement non-concentrique, un ou plusieurs balayages peuvent manquer le cœur complètement.

4.2.3 Balayage multidimensionnel

4.2.3.1 Balayage à angles multiples

Comme suggéré en 5.2.2.2 et 5.2.2.3, l'estimation de la géométrie de la fibre peut être améliorée par un balayage sur les deux axes orthogonaux. La combinaison des balayages sur plus de deux angles (par exemple à 0° , 45° , 90° et 135°) améliorera encore ces estimations. L'acquisition des données à plusieurs angles peut être accomplie en tournant la fibre dans son mandrin de support, ou, si le scanneur est ainsi conçu, par la mécanique du scanneur proprement dit. Noter que tous les balayages angulaires doivent partager une unique trame de référence (une origine commune) sinon des erreurs seront générées.

4.2.3.2 Balayage rémanent

Si le scanneur est à même de se déplacer sur deux axes orthogonaux, une image bidimensionnelle de la fibre peut alors être créée par l'exécution d'un balayage rémanent.

La mesure du champ proche transmis sur vidéo en niveaux de gris est par nature un balayage rémanent.

4.3 Réduction de données

4.3.1 Combinaison simple de jeux de balayages à quelques angles

Lors de la réduction des séries de données dans lesquelles seules quelques orientations angulaires sont mesurées, il est généralement suffisant d'utiliser une réduction de données simple. Pour chaque corps, le diamètre peut être déterminé en moyennant les diamètres de chaque balayage angulaire; la non-circularité peut être déterminée en utilisant les diamètres maximal et minimal à partir du jeu d'angles. Lorsque la gaine et le cœur sont tous deux mesurés, l'erreur de concentricité peut être simplement déterminée à partir de l'angle présentant l'erreur de centrage dans le pire cas. Pour plus d'informations, voir l'Annexe D.

4.3.2 Ajustement d'ellipse de séries de données à plusieurs angles ou rémanentes

Lorsque de nombreux points de données peuvent être extraits du jeu de balayages, comme c'est le cas lorsque de nombreux angles sont balayés ou lorsque le balayage rémanent est utilisé, les tableaux représentatifs de limite peuvent être ajustés aux modèles elliptiques. L'Annexe E décrit la méthodologie pour ajuster le tableau représentatif des limites d'un corps (déterminé comme décrit dans l'Annexe D).

Pour la gaine et le cœur de toutes les catégories de fibres, l'ajustement d'ellipse est la méthode de référence.

5 Méthode d'essai de référence

La méthode d'essai de référence (RTM) est la méthode du champ proche transmis sur vidéo en niveaux de gris décrite dans l'Annexe B, pour toutes les catégories de fibres. L'analyse des données doit employer la détection des limites telle que décrite dans l'Annexe C, et l'ajustement d'ellipse pour réduire les tableaux représentatifs des limites à la géométrie, tel que décrit dans l'Annexe D. Voir les Annexes A et B pour une présentation des longueurs des échantillons de référence pour toutes les classes de fibres, et se reporter à l'Annexe C pour une description du facteur de seuil de décision k pour les fibres de classe A.

6 Appareillage

Les Annexes A et B contiennent les dessins et autres exigences d'équipement qui s'appliquent respectivement aux méthodes A et B.

7 Échantillonnage et spécimens

7.1 Longueur de spécimen

Les Annexes A et B spécifient les longueurs d'échantillon requises pour leurs méthodes respectives.

7.2 Extrémité de spécimen

Préparer une extrémité propre, plane, perpendiculaire à l'axe de la fibre, à l'extrémité d'entrée et de sortie de chaque spécimen. La précision des mesures est affectée par la non-perpendicularité de l'extrémité. Des angles d'extrémité inférieurs à 1° sont recommandés.

Voir l'Article B.2 pour des exigences plus précises sur les extrémités si la Méthode B est utilisée.

8 Procédure

Utiliser les procédures indiquées dans la spécification IEC 61745 pour l'étalonnage. Les annexes A et B montrent respectivement les procédures pour les Méthodes A et B.

9 Calculs

Se reporter aux Annexes C, D et E pour des détails concernant les calculs.

10 Résultats

Les informations suivantes doivent être fournies pour chaque mesure:

- la date et le titre de la mesure;
- l'identification et la description du spécimen;
- les résultats de mesure pour chaque paramètre spécifié (voir l'annexe applicable).

Les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- la méthode de mesure utilisée: Méthode A ou B;
- la longueur du spécimen;
- le montage du dispositif de mesure;
- les détails de l'appareil de mesure (voir annexe applicable);
- l'humidité relative et température ambiante à un moment de la mesure;
- les informations relatives au dernier étalonnage.

11 Informations à mentionner dans la spécification

La spécification particulière doit spécifier les informations suivantes:

- le type de fibre à mesurer;
- les critères de refus et d'acceptation;
- les informations à relever;
- toute divergence applicable par rapport à la procédure.

Annexe A (normative)

Exigences spécifiques à la Méthode A – Champ proche réfracté

A.1 Remarques préliminaires

La mesure du champ proche réfracté donne directement les variations de l'indice de réfraction transversalement à la fibre (cœur et gaine). La méthode peut être calibrée pour donner des valeurs absolues des indices de réfraction. Elle peut être utilisée indifféremment pour obtenir des profils à la fois des fibres optiques unimodales et multimodales. Une mesure par champ proche réfracté détermine la dépendance radiale des variations d'indice relatives d'une fibre par balayage d'une tache lumineuse sur son extrémité. Si un rayon lumineux théorique pouvait être généré, les changements d'indice pourraient alors être détectés en injectant le rayon dans la fibre à un angle supérieur à l'ouverture numérique maximale de la fibre et en mesurant son angle de sortie. Etant donné qu'un rayon idéal ne peut être généré et que les dimensions physiques de la fibre sont de l'ordre de 100 longueurs d'onde optique, on adopte une approche intégrale utilisant un faisceau de rayons angulaires. Une petite tache lumineuse dont l'ouverture numérique est supérieure à celle de la fibre est balayée sur l'extrémité d'une fibre à un angle d'incidence normal. Le cône lumineux qui sort de la fibre est alors échantillonné sur une petite plage de grands angles (c'est-à-dire supérieurs à l'ouverture numérique). La puissance totale dans cette zone échantillonnée est alors déterminée en fonction de l'emplacement radial de la tache d'injection. Au fur et à mesure que le rayonnement lumineux traverse les différences d'indice locales dans la fibre, il se réfracte et modifie son angle de sortie. Le rayonnement lumineux qui traverse le cœur puis la gaine sort de la fibre à des angles de moindre incidence que le rayonnement lumineux qui traverse uniquement la gaine. Etant donné que seul le rayonnement lumineux de grand angle est échantillonné, la puissance totale détectée pour la zone du cœur sera inférieure à la gaine. La puissance relative à une position de balayage donnée est ainsi directement proportionnelle à l'indice de la fibre à cette position.

A.2 Appareillage

A.2.1 Montage type

Voir les Figures A.1 et A.2 pour les représentations schématiques de l'appareillage.

A.2.2 Source

Fournir un laser stable émettant quelques milliwatts de puissance optique sur le mode TEM₀₀.

Un laser hélium-néon émettant sur la longueur d'onde de 633 nm peut être utilisé et est suffisant pour les mesures géométriques. Si l'indice doit être mesuré (non spécifié par la présente norme), un facteur de correction peut être requis afin d'extrapoler les résultats à d'autres longueurs d'onde.

Introduire une lame quart d'onde pour transposer le faisceau d'une polarisation rectiligne à une polarisation circulaire, pour produire un signal continu indépendant des effets de la polarisation dus au facteur de réflexion, car la réflexion du rayonnement lumineux sur une interface air-verre dépend étroitement de l'angle et de la polarisation.

Si nécessaire, placer un filtre spatial, tel qu'une microperforation, au foyer de l'objectif du microscope.

A.2.3 Composants optiques d'injection

Organiser l'optique d'injection, souvent à haute résolution avec un objectif de microscope à grande ouverture numérique, pour saturer l'ouverture numérique de la fibre. Cela délimite un faisceau de rayonnement lumineux focalisé sur l'extrémité plane de la fibre. Il convient que l'angle de ce faisceau avec l'axe de la fibre soit inférieur à 1° . La résolution spatiale de l'équipement est limitée par la taille de la tache focale; il convient donc que cette tache soit aussi petite que possible, par exemple plus petite que $1,5 \mu\text{m}$.

A.2.4 Positionneur XYZ (table de balayage)

L'optique d'injection ou la cellule doit être montée sur un positionneur à trois axes capable d'un mouvement supérieur au diamètre de fibre prévu. La résolution de l'axe du foyer (Z) doit être suffisante pour garantir que le foyer de la tache sur l'extrémité de la fibre soit assez net pour n'avoir pas d'impact matériel négatif sur la résolution spatiale de l'instrument. La résolution des deux autres axes (X et Y) doit être inférieure à la moitié de la taille de la tache focale.

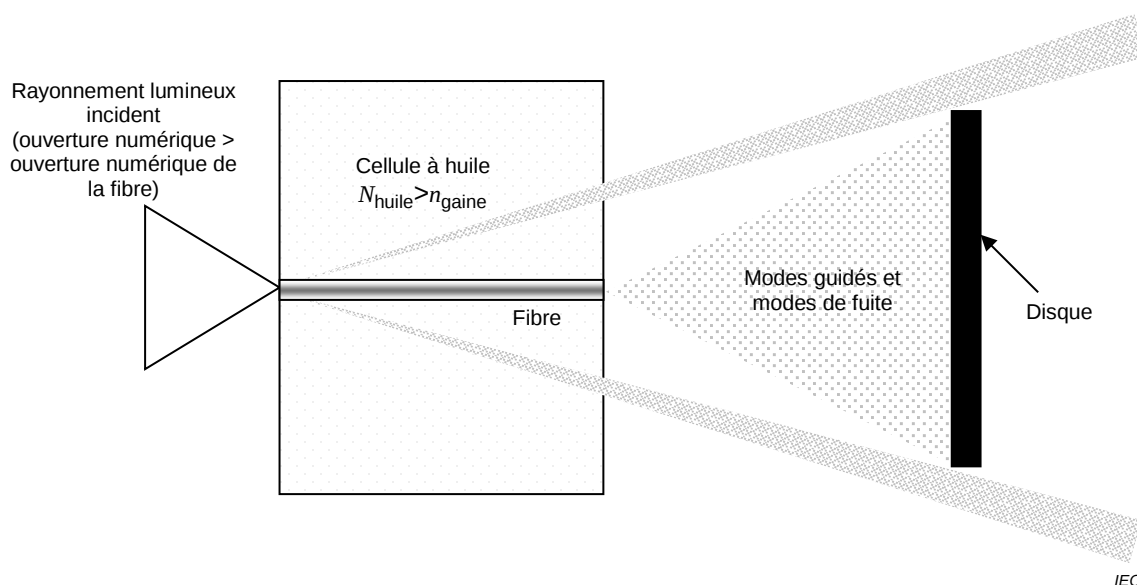


Figure A.1 – Méthode du champ proche réfracté – Cellule

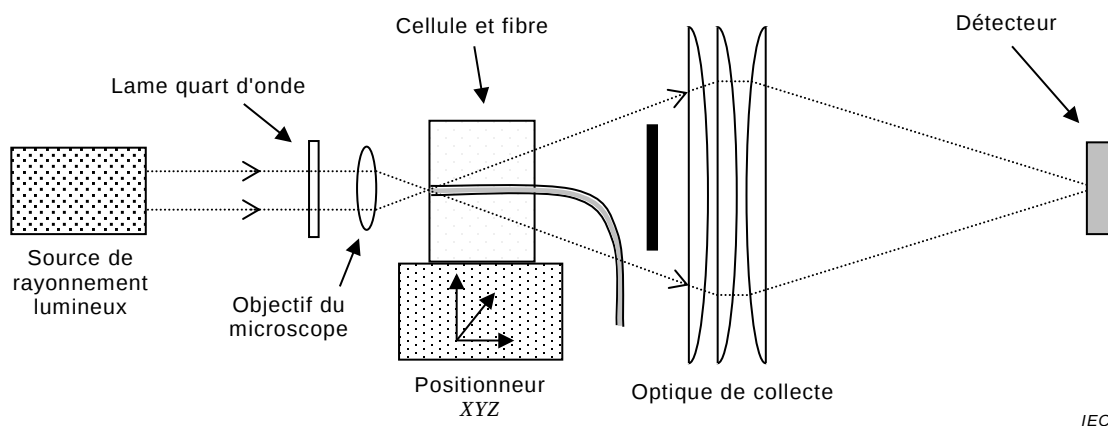


Figure A.2 – Montage des instruments type

A.2.5 Disque écran

Le disque écran a pour objet d'assurer que seul le rayonnement lumineux qui traverse la fibre et se réfracte en dehors de la fibre sans réflexion interne ou sans guidage à l'intérieur de la

fibre, atteint le détecteur. La fibre proprement dite peut jouer partiellement le rôle de disque écran si on lui donne une longueur suffisante pour se plier et sortir du chemin optique, en attirant à elle tout le rayonnement lumineux guidé, mais cela ne suffit pas. La réflexion interne partielle causera la réflexion de retour dans la fibre d'une partie du rayonnement lumineux présent sur l'interface gaine/huile. Lorsque le rayonnement lumineux non-réfracté atteint le détecteur, la puissance mesurée augmente, ce qui cause une erreur négative correspondante dans la détermination d'indice.

Le disque écran empêche qu'un cône de rayonnement lumineux angulaire non circulaire n'atteigne le détecteur; il convient de le sélectionner de sorte qu'il bloque la fraction prédominante de rayonnement lumineux non réfracté, mais qu'il ne bloque pas une quantité trop importante de rayonnement lumineux réfracté, ce qui dégraderait la performance signal/bruit de l'instrument. L'ouverture numérique du cône non circulaire est typiquement sélectionnée comme étant approximativement l'ouverture numérique de la source de rayonnement lumineux sur l'extrémité de la fibre, divisée par $\sqrt{2}$.

A.2.6 Optique de collecte et détecteur

Il est essentiel de mesurer la puissance totale de rayonnement lumineux traversant le disque écran. On peut employer des systèmes à lentille de type grands condenseurs, des miroirs paraboliques et elliptiques, des détecteurs de grandes zones, des sphères d'intégration et d'autres moyens. Dans une mise en œuvre pratique, on devra trouver un compromis entre la taille du détecteur et la complexité optique. Il convient que la combinaison adoptée assure que la puissance de rayonnement lumineux totale soit mesurée jusqu'à l'ouverture numérique injectée dans la fibre; le bruit du détecteur et la réponse dynamique ne doivent pas avoir un impact négatif grave sur les mesures.

Le détecteur lui-même doit être réactif à la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux et doit être suffisamment rectiligne pour la plage des niveaux de puissance optique attendus. Des amplificateurs et des convertisseurs de données sont typiquement couplés au détecteur pour conditionner le signal du détecteur et mesurer automatiquement les différences relatives, au fur et à mesure que la table est balayée.

A.2.7 Système informatique

Un ordinateur est utilisé pour collecter les données en contrôlant le positionneur et en numérisant le signal du détecteur. Une fois que les données sont collectées, l'ordinateur convertit le signal du détecteur en différence d'indice (ou indice absolu) en appliquant l'étalonnage approprié.

A.2.8 Cellule d'immersion

La cellule d'immersion est l'environnement autour duquel la fibre est maintenue, et garantit que le rayonnement lumineux sortant de la fibre trouve un indice assez grand pour qu'aucun rayonnement lumineux ne soit renvoyé dans la fibre par réflexion totale ou partielle. Il est primordial que le support optique entourant la gaine soit d'un indice de réfraction supérieur à la gaine. Des huiles d'adaptation d'indice sont utilisées dans ce but. La cellule proprement dite peut être de toute conception qui n'affecte pas matériellement la réfraction des faisceaux dans l'optique de collecte.

A.3 Echantillonnage et spécimens

La longueur de l'échantillon de fibre dépend de la conception de l'instrument. L'extrémité de sortie de la fibre (l'extrémité non comprise dans le plan de balayage de l'instrument) ne doit en aucun cas permettre de coupler le rayonnement lumineux dans le détecteur.

Éliminer l'ensemble des revêtements de la section de fibre destinée à être immergée dans la cellule à liquide d'indice.

A.4 Procédure

A.4.1 Chargement et centrage de la fibre

Placer l'échantillon de fibre dans la cellule et localiser le centre approximatif de la fibre, X_f , Y_f , qui peut être déterminé par une méthode telle que l'illumination de la fibre par l'arrière avec une lampe à filament de tungstène, ou en balayant la table XY pour rechercher la fibre. Régler la table au centre et centrer la tache de la source sur l'extrémité de la fibre.

Si la conception de l'instrument le requiert, centrer le disque sur le cône de sortie. Pour les fibres multimodales de classe A, positionner le disque sur l'axe optique de manière à n'occulter que les modes de fuite. Pour les fibres unimodales de classes B et C, positionner le disque pour obtenir la résolution maximale.

Une fois que la fibre est centrée et que le disque est aligné, on peut effectuer des balayages de ligne ou un balayage rémanent complet.

A.4.2 Balayage de ligne

Balayer la table à l'angle souhaité, φ : à 0 ° au moyen de la seule table en X , à 90 ° au moyen de la seule table en Y , ou à tout angle approprié au moyen des deux tables (la résolution de la table et la résolution de balayage souhaitée limiteront les angles qui peuvent être balayés). Il convient que la portée du balayage s'étende au-delà de la gaine sur les deux côtés de X_f , Y_f . Il convient de sélectionner l'espacement radial du balayage de façon que les variations d'indice soient suffisamment échantillonnées pour déterminer la géométrie de la fibre avec la précision requise. Un ensemble de lectures de puissance nS est collecté dans lequel

P_i est l'ensemble des lectures de puissance détectées;

x_i est l'ensemble des rayons dans lesquels les lectures de puissance ont été collectées.

A.4.3 Balayage rémanent

Balayer la table sur les axes X et Y sur un modèle rémanent avec une portée suffisante pour englober la gaine sur les deux axes. Il convient de sélectionner l'espacement des deux balayages X et Y de façon que les variations d'indice soient suffisamment échantillonnées pour déterminer la géométrie de la fibre avec la précision requise. Un ensemble de lectures de puissance est collecté dans lequel

$P_{j,I}$ est l'ensemble des lectures de puissance détectées,

x_i est l'ensemble des points d'axe X dans lequel les lectures de puissance ont été collectées,

y_j est l'ensemble des points d'axe Y dans lequel les lectures de puissance ont été collectées.

A.4.4 Étalonnage

Pendant la mesure, l'angle du cône de rayonnement lumineux varie en fonction de l'indice de réfraction vu au point d'entrée sur la fibre (entraînant une variation de la puissance optique au-delà du disque). Connaissant l'indice du liquide et l'épaisseur de la cellule, cette variation peut être simulée, fibre ôtée, par translation du disque le long de l'axe optique. En amenant le disque sur un certain nombre de positions prédéterminées, on peut ainsi étalonner le profil en termes d'indices relatifs, ce qui détermine le facteur d'étalonnage delta des instruments, $K_{\square}$. Les indices absolus, par exemple n_1 et n_2 , peuvent être déterminés seulement si l'indice de gaine ou celui du liquide sont connus avec précision pour la longueur d'onde utilisée et à la température de mesure.

Les facteurs d'étalonnage géométriques, S_X et S_Y (en unités de micromètres par pas de table), de la table de balayage doivent également être déterminés. Ils peuvent être déterminés par le balayage d'un artefact traçable tel qu'un réticule de chrome sur verre, ou

par la certification des micromètres ou équipements d'indexation de la table, ou par d'autres moyens appropriés.

Un artefact d'étalonnage multi-indices, que l'on peut se procurer auprès d'instituts de norme nationaux, peut également être utilisé pour déterminer K_{Δ} , S_X et S_Y .

A.5 Calcul de l'indice de réfraction

Déterminer le profil d'indice relatif, Δ_i (ou sinon $\Delta_{i,j}$ pour un balayage rémanent).

$$\Delta_i = K_{\Delta}(P_{\text{ref}} - P_i) \quad (\text{A.1})$$

dans lequel P_{ref} est un niveau de puissance de référence, ce qui détermine où dans le profil la différence d'indice est zéro. Il peut s'agir de n'importe quel point commode dans le profil, ou d'un paramètre d'instrument. Sa valeur n'affecte pas les calculs suivants.

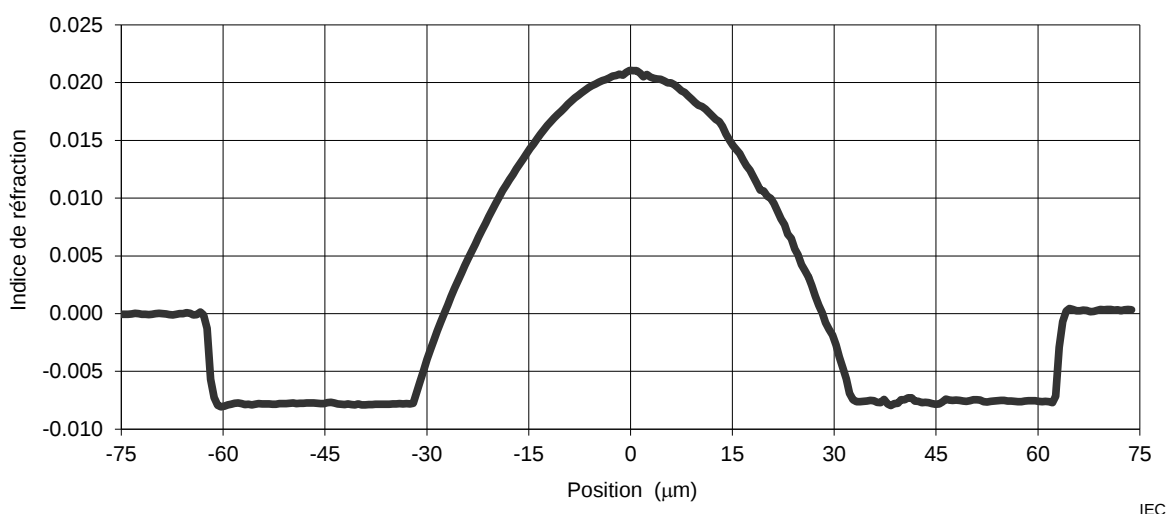


Figure A.3 – Balayage de ligne de profil d'indice type dans une fibre de catégorie A1

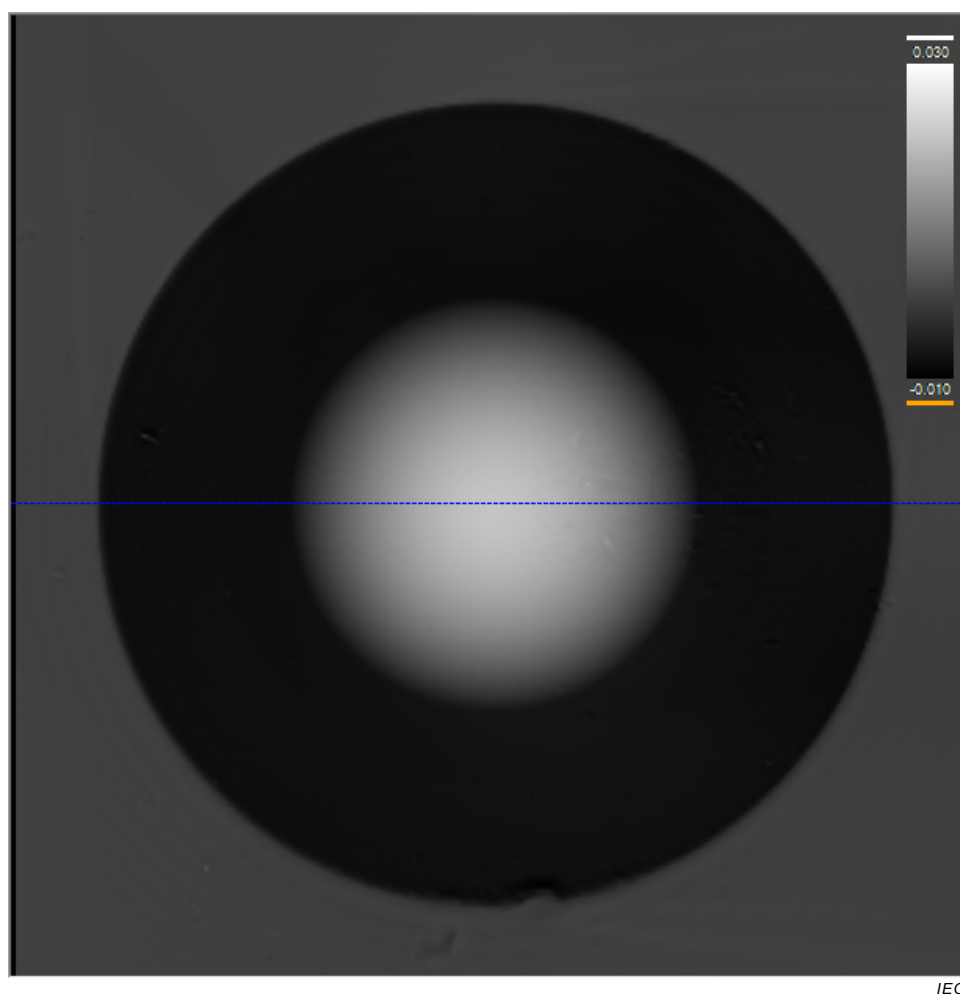


Figure A.4 – Profil d'indice rémanent type sur une fibre de catégorie A1

Les Figures A.3 et A.4 présentent des données de profil d'indice types pour une fibre de catégorie A1. La Figure A.4 exprime l'intensité de l'indice de réfraction en grisé, les couleurs plus claires indiquant les indices plus élevés.

A.6 Calculs

Se reporter aux Annexes C, D et E pour réduire le jeu de balayages d'indice à la géométrie, en remplaçant I par Δ .

A.7 Résultats

Les paramètres suivants peuvent être déterminés à partir des mesures:

- diamètre du cœur (fibres multimodales de classe A seulement);
- diamètre du gainage;
- erreur de concentricité entre le cœur et le gainage;
- non-circularité du cœur (des fibres de type A);
- non-circularité de la gaine;
- ouverture numérique théorique maximale;
- différence d'indice;
- différence d'indice relative.

En complément des résultats listés à l'Article 11, et en fonction des exigences de la spécification, les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- profils à des angles spécifiques étalonnés pour une longueur d'onde donnée;
- disposition de l'appareillage et procédure de correction de la longueur d'onde.

Annexe B (normative)

Exigences spécifiques à la Méthode B – Champ proche transmis

B.1 Remarques préliminaires

La méthode du champ proche transmis détermine les paramètres géométriques des fibres multimodales de classe A et des fibres unimodales de classes B et C en analysant la densité de puissance optique en fonction de la position sur une section droite à l'extrémité de la fibre soumise à essai. La présente annexe contient la description de deux techniques; celles-ci analysent toutes deux l'image en champ proche d'une extrémité de fibre optique.

- la technique de la vidéo en niveaux de gris, qui emploie une caméra vidéo pour analyser l'image de manière bidimensionnelle.
- la technique du balayage mécanique, dans laquelle un ou plusieurs balayages unidimensionnels sont réalisés pour analyse.

La technique de la vidéo en niveaux de gris est la méthode d'essai de référence (RTM)¹.

Le balayage unidimensionnel est souvent utilisé pour mesurer le diamètre du cœur des fibres multimodales de classe A. Comme décrit dans l'Article 5, les balayages unidimensionnels présentent des limites lorsqu'ils sont utilisés seuls. De multiples balayages unidimensionnels peuvent être combinés par le biais des techniques de réduction de données des Annexes C et D pour résoudre ces limites, mais cela augmente le temps nécessaire aux mesures et leur complexité. Le balayage unidimensionnel est typiquement utilisé pour mesurer le diamètre du cœur des fibres multimodales de classe A.

B.2 Appareillage

B.2.1 Montage type

Les Figures B.1 et B.2 sont des exemples de configuration d'appareillage pour les deux techniques.

¹ RTM = en anglais: reference test method.

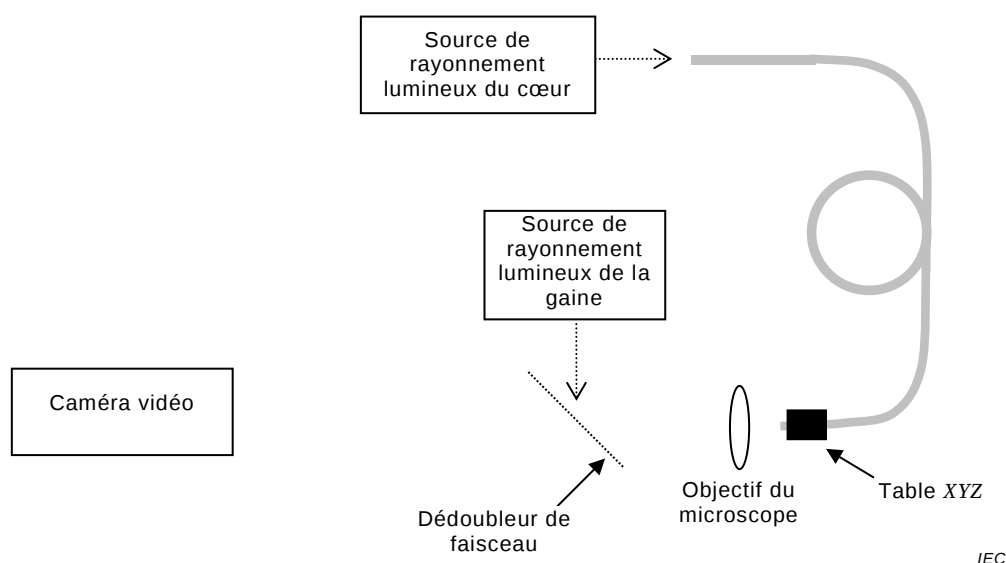


Figure B.1 – Montage type, technique des niveaux de gris

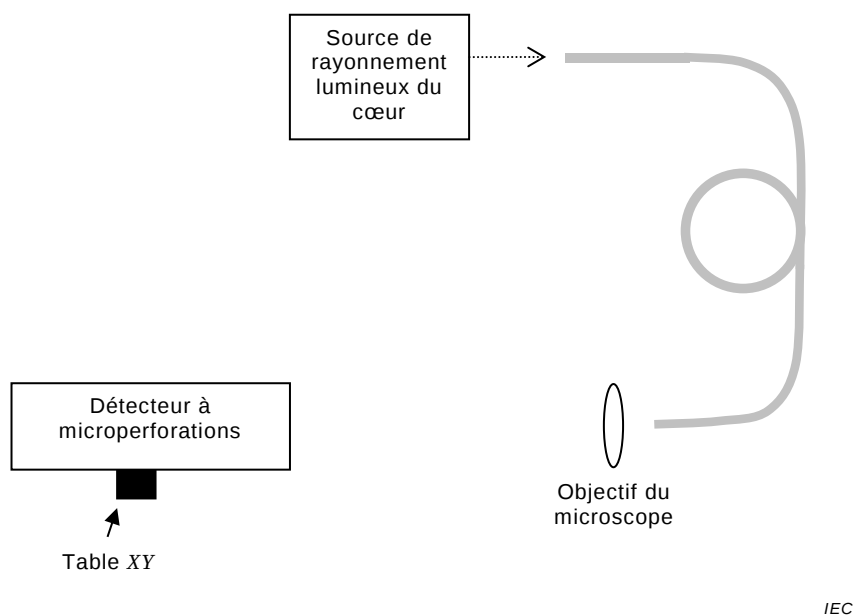


Figure B.2 – Montage type, technique du balayage mécanique

B.2.2 Sources de rayonnement lumineux

B.2.2.1 Généralités

Utiliser des sources de rayonnement lumineux incohérentes et appropriées pour l'illumination du cœur et de la gaine; avoir une intensité réglable et stable sur une période de temps suffisante pour effectuer la mesure.

B.2.2.2 Exigences relatives à l'illumination du cœur

La géométrie du cœur des fibres multimodales de classe A doit être déterminée à l'aide d'une illumination incohérente qui sature angulairement et spatialement le cœur à la longueur d'onde opérationnelle de la fibre, sauf décision contraire. Le centre du cœur des fibres unimodales de classes B et C est déterminé par cette technique, contrairement au diamètre du cœur et à la circularité. Par conséquent, les exigences relatives à l'illumination du cœur pour les fibres des classes B et C sont moins contraignantes: la longueur d'onde peut être

toute longueur d'onde pratique pour la conception de l'instrument, et doit saturer le mode ou les quelques modes qui se propagent dans la fibre à cette longueur d'onde. On émet l'hypothèse implicite que le centre du cœur des classes B et C ne change pas beaucoup avec la longueur d'onde, même quand plusieurs groupes de modes se propagent dans le cœur.

Sauf définition contraire dans la spécification des produits, la géométrie des fibres multimodales de catégories A1, A2 et A3 doit être déterminée avec une longueur d'onde centrale d'illumination du cœur de $850 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$. Sauf définition contraire dans la spécification des produits, la géométrie des fibres de catégorie A4 doit être déterminée par une longueur d'onde centrale d'illumination du cœur de $650 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$. La largeur maximale à mi-hauteur des éléments d'illumination du cœur pour toutes les fibres de classe A doit être supérieure à 10 nm et inférieure à 50 nm.

Au moment de la rédaction, toutes les spécifications des fibres de classe A étaient en cours de révision, en partie pour inclure la longueur d'onde centrale utilisée pour déterminer la géométrie du cœur. Après la publication des spécifications contenant ces informations, y compris la présente information, l'alinéa précédent doit être ignoré et les informations figurant dans la spécification des produits doivent être utilisées à sa place.

B.2.2.3 Exigences relatives à l'illumination de la gaine

La gaine peut soit être illuminée en champ noir, c'est-à-dire au moyen du rayonnement lumineux qui est réfléchi en dehors de l'extrémité séparée de la fibre, laissant ainsi non illuminé la zone entourant la gaine, soit inversement, la zone entourant la gaine peut être inondée de rayonnement lumineux en laissant la gaine non illuminée. La longueur d'onde d'illumination n'a pas d'importance mais sa relation à la longueur d'onde de l'élément d'illumination du cœur doit être prise en compte particulièrement en ce qui concerne la dispersion du système optique d'agrandissement: la sélection d'une longueur d'onde similaire ou au moins d'une longueur d'onde comprise dans la plage de performances du système optique garantit que le cœur ne subit pas un effet de défocalisation lorsque la mise au point se fait sur la gaine.

Si cette méthode est utilisée seulement pour déterminer le diamètre du cœur des fibres de classe A, la gaine ne sera généralement pas illuminée pendant les mesures. Pour la technique de la vidéo en niveaux de gris, il est également admis que le diamètre du cœur et la non-circularité soient déterminés à l'aide d'une image ou d'un balayage, la gaine n'étant pas illuminée, et qu'une seconde image de gaine illuminée soit utilisée pour déterminer tous les autres paramètres.

B.2.3 Support de fibre et appareillage de positionnement

Prévoir un dispositif suffisamment stable permettant de soutenir les extrémités d'entrée et de sortie du spécimen, tel qu'un mandrin à vide. Monter ces supports sur des dispositifs de positionnement de façon que les extrémités de la fibre puissent être repositionnées avec précision dans les chemins d'entrée et de sortie. Il peut être pratique de faire monter l'appareillage de support sur des tables de translation à trois axes (ces tables peuvent jouer le rôle de scanneur dans certaines mises en œuvre de la technique du balayage mécanique.)

B.2.4 Extracteur de modes de gaine

Sauf spécification contraire, utiliser des dispositifs d'extraction du rayonnement lumineux des modes de gaine du spécimen à distance raisonnablement proche des extrémités d'entrée et de sortie de la fibre. Lorsque la fibre soumise à l'essai a une couche de revêtement au contact de la gaine, dont l'indice de réfraction est supérieur à celui du verre, le revêtement agit comme extracteur de modes de gaine.

B.2.5 Détection

B.2.5.1 Généralités

Pour les deux techniques, le système de détection doit être suffisamment linéaire pour ne pas nuire à la précision de mesure requise. Des photodiodes PIN en mode photovoltaïque et des capteurs de caméra modernes satisferont généralement à cette exigence, mais on doit les sélectionner et les utiliser avec soin. De hauts niveaux d'illumination peuvent dégrader les performances de ces détecteurs, comme peuvent aussi le faire des composants électroniques et de systèmes de numérisation de conception mal conçus.

B.2.5.2 Détecteur de niveaux de gris

Pour la technique des niveaux de gris, utiliser une caméra vidéo pour détecter la sortie grossie de l'image en champ proche. Un numériseur vidéo réalise la numérisation de l'image destinée à l'analyse (la caméra et le numériseur sont souvent combinés en un élément). La sortie numérisée se présentera sous forme d'une série de pixels représentant les intensités du champ proche, $I(r, c)$, sur N_{Ligne} lignes et N_{Col} colonnes. Les capteurs d'imagerie CCD et CMOS sont tous deux appropriés pour cette application. La taille du pixel effective doit satisfaire à l'Equation (B.1).

La précision des mesures peut être affectée par des erreurs systématiques présentes dans le système de détection. Ces erreurs sont par exemple l'uniformité géométrique de l'image numérisée produite ou la linéarité du détecteur/numériseur par rapport aux variations d'intensité optique. On doit tenir compte de ces erreurs et d'autres erreurs potentielles; l'IEC 61745 fournit la méthodologie nécessaire pour déterminer leur amplitude.

B.2.5.3 Détecteur et scanneur de balayage mécanique

Le détecteur de balayage mécanique utilise un détecteur à ouverture fixe et un système de balayage pour obtenir l'intensité de l'image par rapport à sa position. Le scanneur mécanique constitue un moyen de balayer l'image mise au point du modèle en champ proche de la fibre; le scanneur est étalonné de manière à ce que la position radiale relative soit connue. Si l'appareillage utilise un scanneur mécanique à très haute résolution, on peut déplacer la fibre ou, ce qui revient au même, déplacer ensemble le système d'imagerie et le détecteur. Une autre approche consiste à balayer le détecteur dans le plan de l'image, ce qui permet d'utiliser un scanneur mécanique de moindre résolution. Dans tous les cas, le scanneur mécanique doit présenter une linéarité suffisante pour satisfaire à la précision de mesure requise.

L'ouverture effective du détecteur doit être limitée pour satisfaire à l'Equation (B.1). Un détecteur à petite zone active (c'est-à-dire un détecteur de diamètre de 20 μm utilisé conjointement à un système d'imagerie 40X) peut satisfaire à cette exigence. L'ouverture peut être limitée par le biais d'une fibre optique d'un diamètre de cœur suffisamment petit dont l'extrémité d'entrée est mise au point dans le plan de l'image et dont la sortie est couplée au détecteur. Une microperforation mécanique peut également être employée dans ce but (dans ce cas, un système optique de relais peut être utilisé pour transmettre l'image présente à l'arrière de la microperforation au détecteur optique.)

B.2.6 Système optique d'agrandissement

B.2.6.1 Informations générales sur le système optique d'imagerie

Il est nécessaire d'utiliser un système d'imagerie permettant d'agrandir l'image de sortie en champ proche du spécimen de façon que l'image agrandie puisse être correctement balayée. L'ouverture numérique de ce système d'imagerie doit être supérieure à l'ouverture numérique du cœur de la fibre à mesurer. L'ouverture numérique du système d'imagerie affecte le pouvoir de résolution de la mesure; elle doit ainsi être compatible avec la précision de mesure et ne doit pas être inférieure à 0,3.

La dimension la plus grande des pixels dans la technique de la vidéo en niveaux de gris ou la taille du détecteur (ou de sa microperforation) dans la technique du balayage mécanique doit être suffisamment faible comparativement à l'image agrandie du champ proche de façon à être deux fois inférieure aux limites de diffraction du système. Ce qui signifie que:

$$d \leq \frac{1,22 M \lambda}{4 NA} \quad (B.1)$$

où

- d est la taille du pixel de la caméra ou la taille du détecteur (microperforation) en μm ;
- M est l'agrandissement approximatif du système optique;
- λ est la longueur d'onde d'essai (la plus faible) en μm ;
- NA est soit l'ouverture numérique du cœur de la fibre pour les mesures du seul diamètre de cœur des fibres de classe A, soit, pour toutes les autres applications, l'ouverture numérique de l'objectif (on suppose que l'élément d'illumination de gaine sature le système optique en ouverture numérique).

Étalonner le système optique conjointement au système de balayage afin de connaître l'agrandissement du système. Il importe peu de connaître l'agrandissement du système optique d'imagerie (c'est-à-dire ce qui est poinçonné sur le côté d'un objectif de microscope) car le système de balayage (soit l'espacement des pixels des niveaux de gris dans le microscope, soit la taille du pas du scanneur mécanique) fait également partie intégrante de l'agrandissement du système et doit donc être étalonné.

B.2.6.2 Considérations relatives à la technique de la vidéo en niveaux de gris

Lors de l'utilisation de la technique de la vidéo en niveaux de gris, sélectionner l'agrandissement de sorte que la zone de la caméra vidéo du capteur soit suffisamment remplie par l'image de l'objet à mesurer (c'est-à-dire la gaine de la fibre lorsque la gaine et le cœur doivent être mesurés ou le cœur de la fibre lorsque des mesures du cœur uniquement sont effectuées.) S'assurer que la taille de pixel effective satisfait aux exigences de l'Equation (B.1).

Les axes X et Y doivent être étalonnés, et ces étalonnages sont généralement indépendants. L'IEC 61745 fournit la méthodologie requise pour effectuer cet étalonnage. Les facteurs d'étalonnage résultants, en unités de micromètres par pixel, sont S_x et S_y .

B.2.6.3 Considérations relatives à la technique de balayage mécanique

Lors de l'utilisation de la technique du balayage mécanique, sélectionner l'agrandissement du système d'imagerie et la taille d'ouverture du détecteur pour satisfaire à l'Equation (B.1). La résolution du scanneur (taille de pas minimale) ne doit pas être supérieure à la moitié du diamètre d'ouverture du détecteur.

Le scanneur doit être étalonné. L'étalonnage résultant, en unités de micromètres par pas, S_x , peut être obtenu en utilisant l'artefact d'étalonnage traçable d'un laboratoire conforme aux normes nationales, par exemple, une règle de chrome sur verre ou une grille de points. Si les deux axes du scanneur sont utilisés, ils doivent tous deux être étalonnés, ce qui génère deux facteurs indépendants, S_x et S_y .

B.2.7 Moniteur d'image vidéo (technique de la vidéo en niveaux de gris)

Utiliser un moniteur d'image vidéo pour l'affichage de l'image détectée. L'écran du moniteur affiche généralement une mire, telle qu'un réticule, pour aider l'opérateur à centrer l'image de l'échantillon à l'essai. Un alignement et/ou une mise au point commandé par ordinateur peuvent être utilisés. Ce moniteur et l'écran de l'ordinateur sont souvent combinés.

B.2.8 Ordinateur

Utiliser un ordinateur pour collecter les données, effectuer l'analyse et produire les rapports appropriés.

B.3 Echantillonnage et spécimens

Préparer le spécimen de façon telle que les extrémités de la fibre soient propres, lisses et perpendiculaires à l'axe de la fibre. De manière générale, un angle d'extrémité $<1^\circ$ par rapport à la perpendiculaire à l'axe de la fibre est nécessaire pour la mesure de la gaine. Contrôler l'état de l'extrémité afin que les éventuels dommages aient un impact minimal sur l'exactitude de la mesure. Eviter des courbures importantes lorsque vous déployez la fibre.

Sauf définition contraire dans la spécification du produit, la longueur de l'échantillon pour toutes les fibres multimodales de classe A doit être de $2\text{ m} \pm 0,2\text{ m}$, excepté les variantes des fibres A1a insensibles à la courbure: A1a.1a, A1a.2a, A1a.3a. Pour ces fibres, la longueur d'essai de référence utilisée pour résoudre les litiges doit être de $100\text{ m} \pm 2\text{ m}$, mais on admet pour les mesures quotidiennes des longueurs plus courtes et plus pratiques. Lorsque la longueur de référence spécifiée est différente de 2 m , on peut établir la correspondance des mesures de 2 m à la longueur de référence. La méthode d'établissement des correspondances est expliquée en Annexe F.

Au moment de la rédaction, toutes les spécifications des fibres de classe A étaient en cours de révision, en partie pour inclure la longueur de référence utilisée pour déterminer la géométrie du cœur. Après la publication des spécifications contenant ces informations, l'alinéa précédent doit être ignoré et les informations figurant dans la spécification des produits doivent être utilisées à sa place.

Il n'y a pas de restriction quant à la longueur des fibres unimodales de classe B et C. En règle générale, une longueur d'échantillon de 2 m peut être utilisée.

B.4 Procédure

B.4.1 Etalonnage de l'équipement

Pour étalonner l'appareillage, on doit utiliser les artefacts traçables auprès d'un laboratoire conforme aux normes nationales.

B.4.2 Mesure

B.4.2.1 Mesure par la technique de la vidéo en niveaux de gris

Aligner le spécimen à l'extrémité d'entrée pour réaliser les conditions d'injection spécifiées. Mettre au point l'image en champ proche de l'extrémité de sortie et la centrer sur la caméra, soit par le biais de moyens automatisés, soit en utilisant le moniteur manuellement. Régler les éléments d'illumination du cœur et de la gaine pour obtenir un rapport signal-bruit optimal tout en évitant la saturation des pixels.

Enregistrer les données vidéo numérisées à partir de l'image sous forme d'un tableau d'intensités de pixels I . Les paramètres d'espacement pour les axes X et Y , δ_X et δ_Y sont équivalents aux paramètres des étalonnages d'agrandissement, S_X et S_Y , respectivement.

B.4.2.2 Mesure par la technique du balayage mécanique

B.4.2.2.1 Balayage unidimensionnel

Préparer, fixer et aligner le spécimen, comme indiqué ci-dessus. Régler l'extrémité de sortie pour permettre de balayer l'image agrandie – cela peut demander de mettre au point l'image

de l'extrémité de sortie sur le plan de l'ouverture de balayage et de centrer cette image de façon que le centre du cœur soit à la position prévue. Régler l'(les) élément(s) d'illumination pour obtenir un rapport signal-bruit optimal. Le balayage mécanique est souvent employé pour déterminer uniquement la géométrie du cœur des fibres de catégorie A1. Le cas échéant, seul un élément d'illumination du cœur est utilisé – la gaine n'est pas illuminée.

Balayer l'image en champ proche et enregistrer les intensités, I , et leurs positions associées, x .

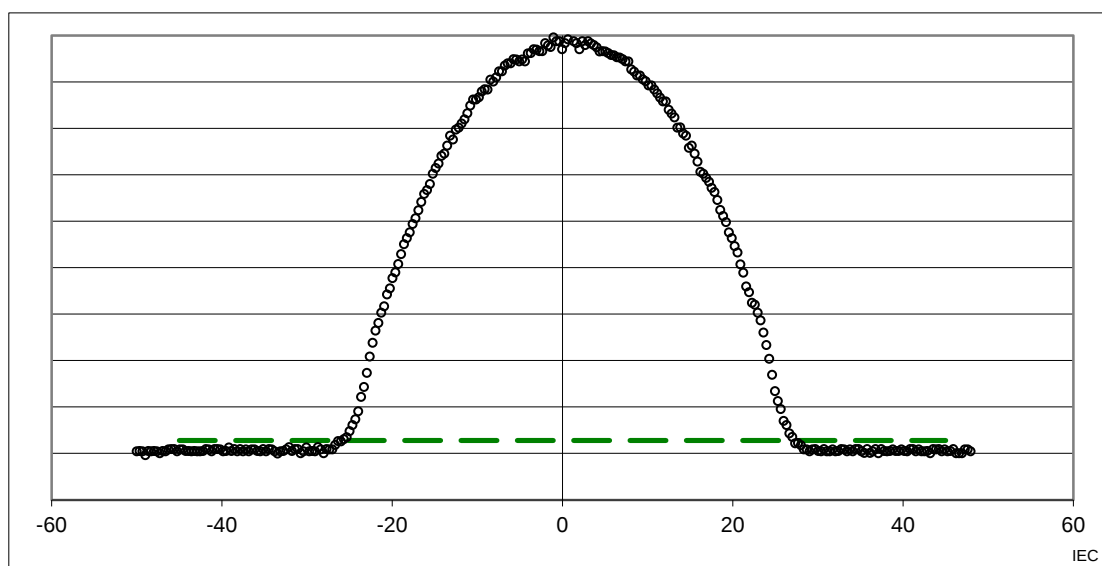


Figure B.3 – Balayage en champ proche unidimensionnel type, cœur de catégorie A1

B.4.2.2.2 Combinaisons de balayages unidimensionnels pour un jeu d'angles

Réaliser les balayages tels que décrits en B.4.2.2.1 à de multiples angles, φ . S'assurer que les balayages partent d'une origine commune. Pour les balayages d'un cœur multimodal ou pour ceux qui comprennent la gaine, il convient que chaque balayage traverse le centre du cœur (ou de la gaine), ce qui peut impliquer de ré-aligner le scanneur à chaque orientation.

B.4.2.2.3 Balayage rémanent

Réaliser les balayages tels que décrits en B.4.2.2.1 pour un ensemble de lignes perpendiculaires à l'axe scanné en B.4.2.2.1, aux positions rémanentes enregistrées en y . Il convient que la distance de balayage rémanent couverte soit identique à la distance de balayage couverte.

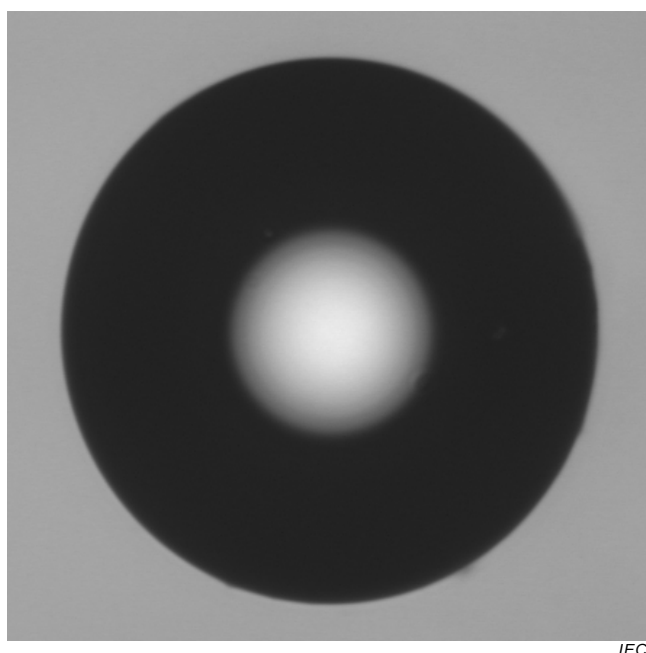


Figure B.4 – Données en champ proche rémanentes types, fibre de catégorie A1

B.5 Calculs

Se reporter aux Annexes C, D et E pour réduire les données d'intensité en champ proche à la géométrie.

B.6 Résultats

En complément des résultats énumérés à l'Article 11, et en fonction des exigences de la spécification, les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- type de détecteur et taille de l'ouverture (seulement pour la technique de balayage simple en champ proche).

Annexe C (normative)

Détection des limites et construction d'un tableau représentatif des limites

C.1 Remarques préliminaires

La détermination de la ligne de délimitation (détection de limites) d'un corps est une transformation fondamentale des données RNF ou TNF en vue de la détermination de la géométrie de ce corps. Les transformations ultérieures de ces limites déterminent la géométrie, en incluant des différences simples (diamètre) et la moyenne (centre) de deux limites diamétralement opposées ou en ajustant des ellipses à des ensembles de limites, tel que décrit dans l'Annexe D. Les fibres optiques des classes A, B et C ont deux corps: le cœur et la gaine. Les techniques de détection de limites décrites dans la présente annexe supposent que ces corps aient une circularité approximative et soient presque concentriques.

La limite du cœur doit être déterminée par la technique du niveau de décision (décrite dans l'Article C.2) pour toutes les catégories de fibres. La valeur de niveau de décision pour la limite du cœur est spécifiée pour toutes les fibres multimodales de Classe A, mais ne l'est pas pour les fibres unimodales des classes B et C. (Une valeur recommandée pour les fibres des Classes B et C est indiquée ci-après.) La limite de gaine peut également être déterminée par le biais de la technique du niveau de décision, mais d'autres techniques sont autorisées (ces techniques emploient souvent différents types de filtres spatiaux et peuvent être mises en œuvre dans une ou deux dimensions; elles ne sont pas décrites par la présente norme.) Noter que pour la technique RNF de la vidéo en niveaux de gris, telle que décrite dans l'Annexe B, il est exigé que quelle que soit la technique de détection de limite choisie pour déterminer la limite de gaine, ce soit la même technique que pour l'étalonnage du diamètre de la gaine par rapport à un artefact de diamètre connu.

C.2 Détection de limite par la méthode du niveau de décision

C.2.1 Approche générale

La technique de détection de limite au moyen du niveau de décision localise une limite en détectant dans une série de données un point qui passe par-dessus le niveau d'intensité de déclenchement, T . T est déterminé à partir d'une intensité de référence, I_{Base} , une intensité de crête, I_{Max} et un paramètre fractionnel, le facteur de décision K . La limite est ensuite définie comme l'interpolation de deux points, x_L et x_R , qui passent au-dessus de T .

$$\begin{aligned} T &= I_{\text{Base}} + K(I_{\text{Max}} - I_{\text{Base}}) \\ x &= x_L + (x_R - x_L) \frac{(T - I_L)}{(I_R - I_L)} \end{aligned} \quad (\text{C.1})$$

La Figure C.1 ci-dessous montre une intensité en champ proche unidimensionnelle type. Dans cet exemple, la gaine projette une ombre sur un arrière-plan clair et le cœur n'est pas illuminé. La ligne rouge montre le niveau d'intensité de référence, la ligne bleue indique le niveau de référence de crête et la ligne verte indique le niveau de décision (en utilisant un facteur K de 0,5, ou 50 %). La gaine franchit le seuil sur le côté gauche et le côté droit de l'axe x . Le diamètre de la fibre correspond à la différence entre ces deux franchissements.

$$\begin{aligned}
 x_- &= -62,78 + (-62,44 + 62,78) \frac{0,422 - 0,47}{0,35 - 0,47} \\
 &= -62,64 \\
 x_+ &= 62,14 + (62,48 - 62,14) \frac{0,422 - 0,33}{0,46 - 0,33} \\
 &= +62,38 \\
 D &= (62,38 - (-62,64)) = 125,02
 \end{aligned}
 \tag{C.2}$$

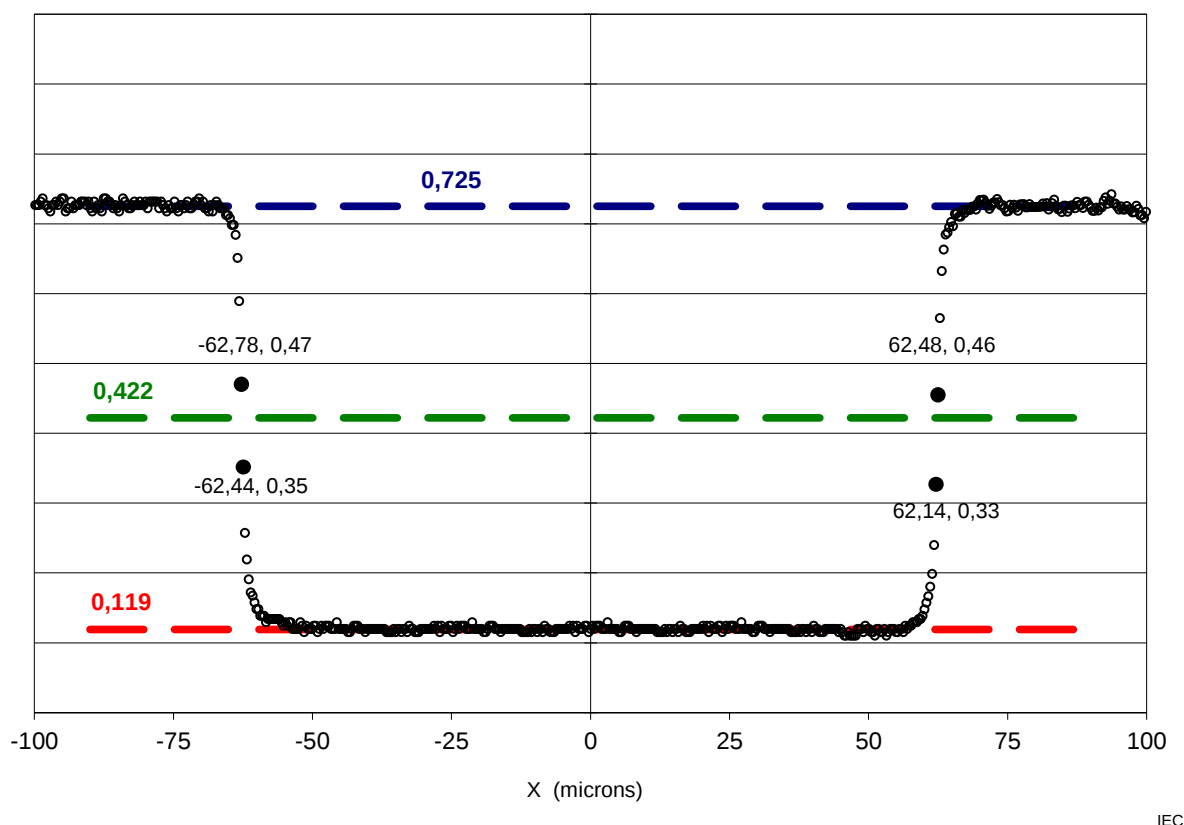
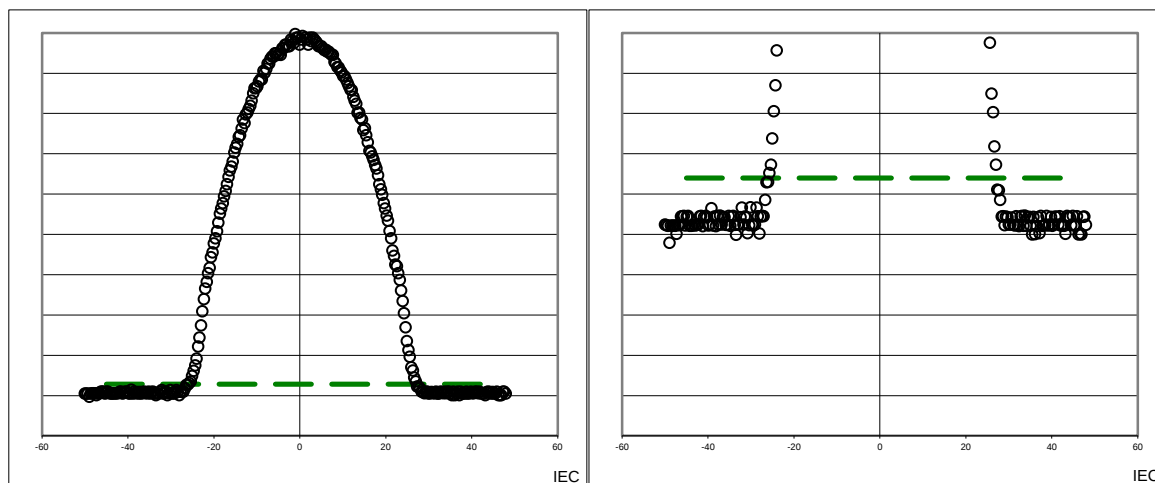


Figure C.1 – Série de données unidimensionnelles type, relative à la gaine seulement

C.2.2 Niveau de référence du cœur de fibre multimodale de classe A et facteur k

Dans l'exemple présenté en C.2.1, les niveaux de référence étaient donnés. Estimer les niveaux de référence peut être crucial pour déterminer de façon valide la limite d'un corps, car ceux-ci sont utilisés pour déterminer le niveau de décision. Les limites des corps de gaine comportent des transitions d'extrémités courtes, et les petites différences dans le niveau de décision n'affecteront donc pas beaucoup l'emplacement d'une extrémité détectée. Toutefois, comme illustré en Figure C.2, le diamètre d'un cœur multimodal est souvent défini par le biais des facteurs de décision qui localisent les caractéristiques à proximité de la limite du cœur où la transition est peu profonde. Etant donné que ces transitions d'extrémité manquent de netteté, les petits changements dans les niveaux de référence peuvent affecter l'emplacement de l'extrémité, ce qui aura une incidence sur le diamètre du cœur final calculé.



NOTE Le graphique de droite correspond à un agrandissement en Y par 10.

Figure C.2 – Profil de cœur à gradient d'indice type

Le niveau de référence supérieur du cœur des fibres à gradient d'indice qui est pris en compte correspond à la donnée d'intensité la plus haute dans la zone du cœur ou à une moyenne raisonnable des données entourant la crête. Les diamètres du cœur des fibres multimodales à saut d'indice utilisent un niveau de référence supérieur qui a besoin d'être déterminé de même manière que la référence car le signal à l'intérieur du cœur peut ne pas être parfaitement plat; veiller à établir un niveau de référence supérieur raisonnable pour ces fibres.

En règle générale, il convient de prendre soin de trouver des niveaux de référence de ligne de base reproductibles et réalistes. Pour certains systèmes de champ proche transmis, par exemple un système utilisant un élément d'illumination du cœur modulé et un signal démodulé, le niveau de référence de ligne de base attendu est zéro. Pour d'autres systèmes, la référence de ligne de base ne sera pas zéro et devra être déterminée à partir de la série de données.

Le facteur k de référence par défaut utilisé pour la mesure du diamètre du cœur des fibres de catégories A1 et A4 doit être de 0,025 (2,5 %), et pour les fibres des catégories A2 et A3, 0,5 (50 %) doit être utilisé.

Au moment de la rédaction, toutes les spécifications des fibres de classe A étaient en cours de révision, en partie pour inclure le facteur k utilisé pour déterminer la géométrie du cœur. Après la publication des spécifications contenant ces informations, l'alinéa précédent doit être ignoré et les informations figurant dans la spécification des produits doivent être utilisées à sa place.

Pour les mesures quotidiennes, d'autres valeurs de k (d'autres approches de traitement du cœur) peuvent être utilisées – dans ce cas, ces valeurs mesurées qui ne sont pas de référence doivent être mises en correspondance avec la valeur de référence de k (et la méthode suivie) tel que décrit en Annexe F de la présente norme.

C.2.3 Fibres unimodales de classes B et C

Le tableau représentatif de limite du cœur pour les fibres unimodales étant seulement utilisé pour localiser le centre du cœur afin de calculer l'erreur de concentricité, il n'est pas essentiel d'utiliser une méthodologie de détection des limites. Il est raisonnable d'utiliser le pixel maximum dans la zone du cœur en tant que niveau de référence supérieur. Se reporter à C.2.2 pour déterminer le niveau de référence de ligne de base; noter cependant que les erreurs dans le niveau de référence sont généralement de moindre importance pour ces classes de fibres. Un facteur k de 0,25 (25 %) est couramment utilisé.

C.2.4 Calcul de géométrie directe des données unidimensionnelles

Pour une série de données unidimensionnelles à balayage simple, une fois que la détection des extrémités est terminée, le diamètre du cœur peut être calculé simplement en effectuant la différence entre l'extrémité détectée à droite du balayage et l'extrémité détectée à gauche du balayage.

Si les corps du cœur et de la gaine sont tous deux détectés, on peut alors estimer leur concentricité. Le centre de la gaine ou du cœur correspond simplement à la moyenne de ses extrémités gauche et droite. L'estimation de concentricité correspond simplement à la différence entre les deux centres.

Noter que si les balayages sont effectués à plus d'un angle, la géométrie peut être calculée pour chaque angle comme ci-dessus. Toutefois, si au moins trois balayages angulaires sont disponibles, il convient que leurs limites soient regroupées en un tableau représentatif de limite, tel que décrit à l'Article C.3 et ajustées à une ellipse, tel que décrit dans l'Annexe D.

C.3 Constitution de tableaux représentatifs de limite à partir des données brutes

C.3.1 Généralités

Un tableau représentatif des limites est défini comme une liste de paires de données X, Y dont les entrées constituent les points de liaison d'un corps. Les tableaux représentatifs des limites sont composés des limites détectées (à l'aide de la méthode du niveau de décision décrite ci-dessus, ou pour la gaine et le filtre approprié) et décrivent une courbe fermée quasi circulaire sur 360 °. Les tableaux représentatifs des limites sont extraits des données d'intensité brutes bidimensionnelles provenant des données en champ proche réfracté ou transmis décrites dans les Annexes A et B. Les tableaux représentatifs des limites peuvent être constitués à partir des séries de données rémanentes ou de plusieurs balayages simples effectués à différents angles. Chaque procédé est décrit ci-après.

C.3.2 Constitution de tableaux représentatifs des limites à partir des données rémanentes

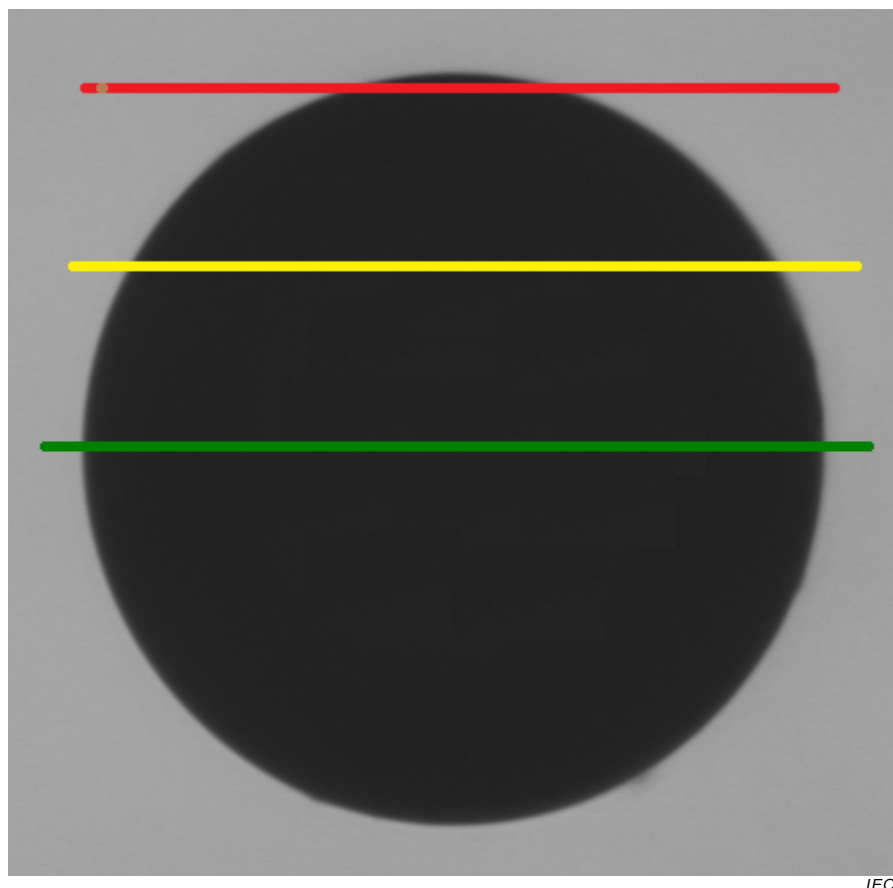


Figure C.3 – Données rémanentes, gaine uniquement

La Figure C.3 montre un balayage rémanent type effectué à l'aide d'un instrument vidéo en champ proche qui présente une gaine noire sur fond lumineux sans illumination du cœur. Afin de constituer un tableau représentatif des limites de gaine pour cet exemple, l'image est essentiellement examinée pixel par pixel à l'aide des techniques de détection de limite présentées à l'Article C.2, et une liste des emplacements (X,Y) des limites est créée.

Chaque ligne et chaque colonne de l'image peuvent avoir deux limites détectables (si le cœur était illuminé, un sous-ensemble des lignes et des colonnes comporterait quatre limites détectables). Les lignes à l'extérieur de la zone de la fibre ne contiennent pas de limites (ni les colonnes à l'extérieur de la fibre). La ligne verte indique une ligne proche d'un diamètre de la gaine. La ligne rouge met en évidence la ligne d'un balayage proche de la tangente de la gaine. Les balayages qui passent près du centre de la gaine auront les limites les plus nettes, tandis que les balayages tangentiels produiront des limites très faibles difficiles à détecter. Il est par conséquent souhaitable de détecter des lignes ou des colonnes qui passent aussi près du centre que possible.

Une approche de la détection de limite dans cette image consiste à détecter seulement les lignes qui passent près du centre et à basculer à une détection de limite sur les colonnes pour le reste de la périphérie. En règle générale, le meilleur compromis consiste à effectuer cette transition aux angles de 45 ° et 135 ° sur l'image. La ligne jaune indique le point de transition auquel il convient que la détection passe du mode ligne au mode colonne.

Une autre approche consiste à effectuer la détection de limite seulement sur les balayages qui traversent le centre approximatif du corps. Pour utiliser l'image entière, une interpolation bidimensionnelle peut être employée afin de créer des balayages unidimensionnels de

synthèse à un jeu d'angles assez fins pour capturer la résolution vidéo: l'incrément angulaire employé génère une longueur d'arc égale à l'espacement des pixels sur le rayon du corps. Les limites détectées à partir de chaque balayage de synthèse sont ensuite transformées sur le système de coordonnées d'angle zéro puis ajoutées au tableau représentatif de limite.

Une fois parachevé, un tableau de longueur n_e comportant les limites X_i, Y_i sera déterminé pour chaque corps analysé.

C.3.3 Tableaux représentatifs de limite à partir de balayages unidimensionnels multi-angulaires

Pour constituer un tableau représentatif des limites à partir d'un jeu de balayages multi-angulaire, traiter chaque balayage comme décrit à l'Article C.2. Il est important que l'emplacement de chaque limite détectée soit référencé par rapport à un centre correspondant au point de rotation de la fibre. A la fin du processus, chaque corps détecté sera associé à une liste de longueur n_ϕ de paires R_k, ϕ_k . Les données R correspondent aux limites détectées pour le corps, à partir des côtés droit et gauche d'un balayage. A ce stade, les données R sont des nombres signés; les limites du côté gauche seront négatives (à gauche du centre de rotation.) Transformer ensuite les paires R_k, ϕ_k en un tableau représentatif des limites de coordonnées cartésiennes X, Y .

$$\begin{aligned} X_k &= R_k \cos \phi_k \\ Y_k &= R_k \sin \phi_k \end{aligned} \tag{C.3}$$

Annexe D (normative)

Ajustement elliptique et filtrage du tableau représentatif des limites

D.1 Remarques préliminaires

Les aspects généraux pour l'ajustement elliptique du tableau représentatif des limites sont décrits ci-après. Les tableaux représentatifs des limites du cœur et de la gaine sont ajustés à des ellipses dont les paramètres sont ensuite utilisés pour calculer la géométrie de la fibre.

D.2 Expressions mathématiques générales relatif à l'ajustement elliptique

La forme générale d'une ellipse est exprimée par

$$0 = \left[1 - \frac{(x - x_0)^2}{A^2} + \frac{(x - x_0)(y - y_0)}{B^2} + \frac{(y - y_0)^2}{C^2} \right] \quad (D.1)$$

L'extension et la substitution donnent

$$0 = ax^2 + 2bxy + cy^2 + 2dx + 2fy + g \quad (D.2)$$

où

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{cd - bf}{b^2 - ac} \\ y_0 &= \frac{af - bd}{b^2 - ac} \\ A &= \frac{1}{\sqrt{-a}} \\ B &= -\frac{1}{\sqrt{-c}} \\ C &= -\frac{1}{\sqrt{-2b}} \end{aligned} \quad (D.3)$$

La rotation de l'ellipse, φ est donnée par

$$\varphi = \frac{1}{2} \cot^{-1} \left(\frac{c - a}{2b} \right) \quad (D.4)$$

Les dimensions radiales majeure et mineure de l'ellipse sont calculées par

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Major}} &= \frac{2(af^2 + cd^2 + gb^2 - 2bdf - acg)}{\sqrt{(b^2 - ac) \left[(c - a) \sqrt{1 + \frac{4b^2}{(a - c)^2}} - (c + a) \right]}} \\
 R_{\text{Minor}} &= \frac{2(af^2 + cd^2 + gb^2 - 2bdf - acg)}{\sqrt{(b^2 - ac) \left[(a - c) \sqrt{1 + \frac{4b^2}{(a - c)^2}} - (c + a) \right]}}
 \end{aligned} \tag{D.5}$$

L'ellipse peut être exprimée paramétriquement sous la forme suivante

$$\begin{aligned}
 x' &= R_{\text{Major}} \cos(\theta) \cos(\varphi) - R_{\text{Minor}} \sin(\theta) \sin(\varphi) + x_0 \\
 y' &= R_{\text{Major}} \cos(\theta) \sin(\varphi) + R_{\text{Minor}} \sin(\theta) \cos(\varphi) + y_0
 \end{aligned} \tag{D.6}$$

ou, en coordonnées cylindriques, sous la forme

$$r(\theta) = \frac{R_{\text{Major}}^2}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_{\text{Major}}^2}{R_{\text{Minor}}^2} - 1 \right) \sin^2(\theta - \varphi)}} \tag{D.7}$$

Pour ajuster les données de pixels, on résout le système linéaire suivant:

$$\begin{pmatrix} \sum X^4 & \sum X^3Y & \sum X^2Y^2 & \sum X^3 & \sum X^2Y & \sum X^2 \\ \sum X^3Y & \sum X^2Y^2 & \sum XY^3 & \sum X^2Y & \sum XY^2 & \sum XY \\ \sum X^2Y^2 & \sum XY^3 & \sum Y^4 & \sum XY^2 & \sum Y^3 & \sum Y^2 \\ \sum X^3 & \sum X^2Y & \sum XY^2 & \sum X^2 & \sum XY & \sum X \\ \sum X^2Y & \sum XY^2 & \sum Y^3 & \sum XY & \sum Y^2 & \sum Y \\ \sum X^2 & \sum XY & \sum Y^2 & \sum X & \sum Y & n_e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ 2b \\ c \\ 2d \\ 2f \\ g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum X^2 \\ \sum XY \\ \sum Y^2 \\ \sum X \\ \sum Y \\ n_e \end{pmatrix} \tag{D.8}$$

Chaque total ci-dessus est calculé au moyen des paires de données n_e de points X, Y dans le tableau représentatif des limites.

NOTE La précision numérique des ordinateurs utilisés peut affecter les résultats. La contribution principale aux erreurs liées aux limites de la précision est due à la prise en compte des petites différences de nombres grands mais similaires. Dans le système décrit ci-dessus, la cause principale des problèmes de précision numérique est due à l'utilisation de paires de données dont l'origine relative est située en dehors de la limite du corps ajusté. Par exemple, si l'origine du tableau représentatif des limites de la gaine est l'angle inférieur gauche de l'image, les séries de données x et y seront toutes deux positives. Pour éviter ces erreurs, soustraire de chaque donnée x, y un centre approximatif situé à un emplacement quelconque dans le corps.

D.3 Filtrage du tableau représentatif des limites

Il est admis de procéder au filtrage actif ou de retirer les points de limite bruts dus au découpage (ou à d'autres nuisances comme la saleté) de l'ensemble des limites ajustées. Un exemple de filtrage des limites est donné ci-après:

- Pour chaque limite dans le tableau

- a) après l'ajustement, calculer la distance, d , entre chaque limite de l'ensemble ajusté et l'ellipse à l'aide de l'Equation (C.8),
 - b) si d est supérieur à T micromètres, retirer la limite du tableau et incrémenter un compteur de limites rejetées, N_{bad} ,
 - c) si N_{bad} est supérieur à 1 % des limites du tableau, procéder à un nouvel ajustement en utilisant les limites restantes.
- Répéter les étapes ci-dessus jusqu'à ce que l'étape c) soit fausse.

D.4 Extraction des paramètres géométriques

Dans cette article, les indices «cl» et «co» différencient les paramètres d'ajustement elliptique des corps de la gaine et du cœur.

En utilisant les ellipses ajustées, les paramètres géométriques suivants peuvent être extraits:

$X_{\text{co}}, Y_{\text{co}}$ (μm):	centre du cœur ajusté
$R_{\text{Major co}}$ (μm):	rayon majeur du cœur
$R_{\text{Minor co}}$ (μm):	rayon mineur du cœur
Diamètre du cœur (μm):	$(R_{\text{Major co}} + R_{\text{Minor co}})$
Non-circularité du cœur (%):	$200 (R_{\text{Major co}} - R_{\text{Minor co}}) / \text{Diamètre du cœur}$
$X_{\text{cl}}, Y_{\text{cl}}$ (μm):	centre de la gaine ajustée
$R_{\text{Major cl}}$ (μm):	rayon majeur de la gaine
$R_{\text{Minor cl}}$ (μm):	rayon mineur de la gaine
Diamètre de la gaine (μm):	$(R_{\text{Major cl}} + R_{\text{Minor cl}})$
Non-circularité de la gaine (%):	$200 (R_{\text{Major cl}} - R_{\text{Minor cl}}) / \text{Diamètre de la gaine}$
Erreur de concentricité cœur/gaine (μm):	$\left[(X_{\text{cl}} - X_{\text{co}})^2 + (Y_{\text{cl}} - Y_{\text{co}})^2 \right]^{1/2}$

Annexe E (informative)

Ajustement des données en champ proche du cœur de catégorie A1 à un modèle de loi de puissance

E.1 Remarques préliminaires

L'Annexe E décrit la méthodologie à suivre pour ajuster un profil de loi de puissance à une série de données brutes en champ proche relatives à un cœur de fibre de catégorie A1. Grâce à cette approche, les données de champ proche transmis et réfracté peuvent être traitées. Le diamètre du cœur, le centre du cœur (avec des limitations) et α , l'exposant de loi de puissance, peuvent être déterminés par le biais de cette technique d'ajustement. Pour réussir cet ajustement, des étapes de traitement préalables sont généralement nécessaires. L'Article E.2 identifie ces étapes de traitement préalable. L'Article E.3 décrit en détail la méthodologie d'ajustement.

E.2 Préconditionnement des données pour l'ajustement

E.2.1 Motivation

Le procédé d'ajustement décrit dans l'Article E.3 nécessite une série de données qui satisfait à deux conditions: la série de données est unilatérale (n'existe qu'en rayon positif) et elle comporte une référence d'intensité de zéro (intensité de zéro en dehors de la zone du cœur). On peut appliquer un traitement préalable aux données bidimensionnelles de l'Annexe A, au balayage rémanent et à la technique des niveaux de gris de l'Annexe B, tel que décrit en E.2.2. Les données unidimensionnelles obtenues par la Méthode A ou la Méthode B ont les mêmes exigences de prétraitement, telles que décrites en E.2.3.

E.2.2 Transformation d'une image bidimensionnelle en un champ proche radial unidimensionnel

E.2.2.1 Quand l'utiliser

Utiliser cette méthode de traitement pour convertir l'image bidimensionnelle d'un cœur de fibre de catégorie A1 en une série de données unidimensionnelles qui peut ensuite être ajustée au profil de loi de puissance tel que décrit dans l'Article E.3. Ces images seront généralement des images vidéo en niveaux de gris obtenues par le biais de la méthode du champ proche transmis en niveaux de gris décrite dans l'Annexe B. Les images rémanentes obtenues à l'aide de la méthode du champ proche réfracté de l'Annexe A peuvent également être traitées au moyen de cette méthode.

E.2.2.2 Zone d'intérêt (facultative)

Le balayage rémanent initial ou l'image rémanente contiendra souvent des zones en dehors du cœur. Ces zones comprennent la gaine d'encadrement et la zone d'illumination pour une image en niveaux de gris. Lors de la réduction de l'image au profil de champ proche unidimensionnel, ces autres zones peuvent biaiser le processus d'ajustement décrit dans l'Article E.3. Il est donc utile d'extraire de l'image brute une zone carrée entourant le cœur, que le reste de l'algorithme utilisera. Etant donné que la soustraction de référence requise dans l'Article E.3 utilise des informations égales à 1,2 fois la dimension radiale nominale du cœur, il est recommandé d'extraire et d'utiliser seulement cette zone. Cette image extraite sera alors l'image à traiter.

Si une image de zone d'intérêt est extraite de l'image d'origine, N_{Ligne} , N_{Col} et I seront évidemment modifiés. Pour une question de brièveté, cette subtilité est ignorée dans le reste de cette annexe.

E.2.2.3 Centroïde

Au moyen de l'image, le centre en champ proche est calculé en recherchant le centre de gravité de chaque axe cartésien indépendamment. Pour trouver le centroïde, rechercher d'abord P_{Max} et P_{Min} , respectivement les intensités des pixels valides les plus lumineux et les plus sombres dans l'image centroïde entière puis calculer le seuil T :

$$T = 0,1(P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}}) + P_{\text{Min}} \quad (\text{E.1})$$

Calculer ensuite les trois totaux suivants sur tous les pixels, à l'exclusion des pixels dont les intensités sont inférieures à T , sur les indices de ligne et de colonne r et c :

$$\begin{aligned} S_p &= \sum_{r=1}^{N_{\text{Row}}} \sum_{c=1}^{N_{\text{Col}}} \begin{cases} 0 & I_{r,c} < T \\ I_{r,c} & I_{r,c} \geq T \end{cases} \\ S_r &= \sum_{r=1}^{N_{\text{Row}}} \sum_{c=1}^{N_{\text{Col}}} \begin{cases} 0 & I_{r,c} < T \\ rI_{r,c} & I_{r,c} \geq T \end{cases} \\ S_c &= \sum_{r=1}^{N_{\text{Row}}} \sum_{c=1}^{N_{\text{Col}}} \begin{cases} 0 & I_{r,c} < T \\ cI_{r,c} & I_{r,c} \geq T \end{cases} \end{aligned} \quad (\text{E.2})$$

Enfin, calculer le centroïde, X_0, Y_0

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{S_c}{S_p} \\ Y_0 &= \frac{S_r}{S_p} \end{aligned} \quad (\text{E.3})$$

NOTE Si P_{Min} est significatif par comparaison à P_{Max} (c'est-à-dire lorsque la gaine est illuminée), le centroïde peut être biaisé si l'image du cœur n'est pas centrée sur l'image entière. Dans ce cas, l'estimation du centroïde sera améliorée si l'on soustrait P_{Min} (ou une autre estimation de la référence ou la base sur laquelle repose l'image du cœur) de l'image avant d'effectuer le calcul du centroïde.

E.2.2.4 Calcul des fonctions de données radiales

Cette étape de calcul réduit les données de pixels bidimensionnelles en une fonction radiale unidimensionnelle en calculant la moyenne des pixels dans des ensembles d'anneaux en chevauchement et imbriqués (centrés sur X_0, Y_0) d'une épaisseur de $2W$ (où W est égal à $0,2 \mu\text{m}$ sauf spécification contraire), centrés sur le centre optique de la fibre, X_0, Y_0 , tel que défini en E.2.2.3. L'écartement des anneaux est de W micromètres, bien que la coordonnée radiale de l'anneau dans les fonctions de données radiales obtenues soit le centroïde radial des coordonnées radiales des pixels dans l'anneau.

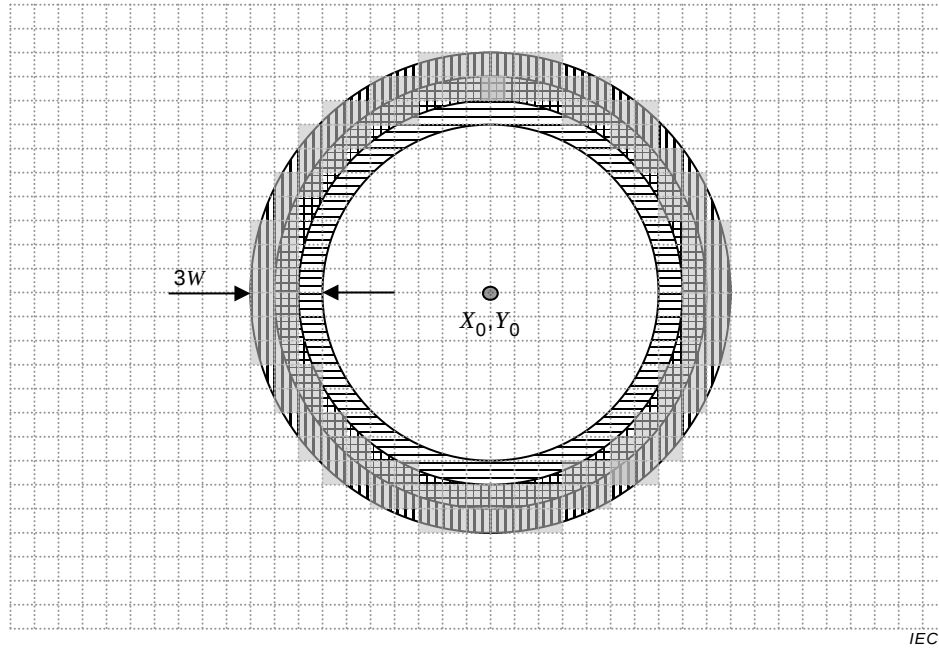


Figure E.1 – Concept de filtrage

La Figure E.1 illustre le concept de filtrage. Les éléments de la grille carrée sont les pixels de l'image. Il est montré deux anneaux, centrés sur le centre optique X_0, Y_0 : l'anneau extérieur est haché verticalement et l'anneau intérieur est haché horizontalement. Chaque anneau a une largeur de $2W$, et un chevauchement sur une zone de largeur W . La région de chevauchement dans le schéma est hachée transversalement. Les pixels en grisé sont les pixels dont on calculera la moyenne dans l'anneau extérieur, car leurs centres sont compris dans les limites de cet anneau.

Procéder comme suit pour calculer les fonctions radiales:

- Déterminer le rayon maximal d'un anneau complet. Cette étape recherche l'anneau le plus grand qui s'ajustera dans l'image sans être tronqué par une limite d'image. Calculer la distance la plus courte du centre de l'image à l'extrémité de l'image

$$\begin{aligned}
 D_L &= S_X X_0 \\
 D_R &= S_X (N_C - X_0) \\
 D_T &= S_Y Y_0 \\
 D_B &= S_Y (N_R - Y_0) \\
 D &= \min(D_L, D_R, D_T, D_B)
 \end{aligned}
 \tag{E.4}$$

où "min" détermine la valeur minimale des quatre distances. Calculer ensuite le nombre d'anneaux, N_R , de la manière suivante:

$$N_R = \frac{D - W}{W} \tag{E.5}$$

- Allouer et définir à zéro les trois lignes de totaux, $S_R(0..N_R)$, $S_I(0..N_R)$, and $S_N(0..N_R)$

Pour chacun des pixels (sur la ligne r et la colonne c), effectuer les étapes suivantes:

- Calculer la coordonnée radiale:

$$R = \sqrt{S_Y^2(r - Y_0)^2 + S_X^2(c - X_0)^2} \quad (\text{E.6})$$

c) Calculer l'indice d'anneau i

$$i = \text{trunc}\left(\frac{R}{W}\right) + 1 \quad (\text{E.7})$$

d) Si i est inférieur ou égal à N_R , calculer la somme des deux anneaux i et $i-1$

$$\begin{aligned} S_R(i) &= S_R(i) + R \\ S_I(i) &= S_I(i) + I(r, c) \\ S_N(i) &= S_N(i) + 1 \end{aligned} \quad (\text{E.8})$$

$$\begin{aligned} S_R(i-1) &= S_R(i-1) + R \\ S_I(i-1) &= S_I(i-1) + I(r, c) \\ S_N(i-1) &= S_N(i-1) + 1 \end{aligned} \quad (\text{E.9})$$

La double somme ci-dessus met en œuvre l'anneau en chevauchement de manière plus régulière.

e) Enfin, calculer la paire de fonctions paramétriques (où i est le paramètre) pour chaque anneau en calculant le rayon moyen et l'intensité moyenne dans chaque anneau:

$$\begin{aligned} R(i) &= \frac{S_R(i)}{S_N(i)} \\ NF'(i) &= \frac{S_I(i)}{S_N(i)} \end{aligned} \quad (\text{E.10})$$

Selon la résolution de la caméra et l'épaisseur de l'anneau sélectionné, certains des anneaux intérieurs pourront ne contenir aucun pixel, et les valeurs S_N correspondantes seront donc égales à zéro. Dans ce cas, il convient d'omettre l'anneau, de décaler les éléments de série suivants, et de décrémenter N_R . Deux ou plus de deux anneaux adjacents peuvent également avoir la même valeur $\bar{R}$ (ou être approximativement identiques, mettons à 0,01 μm près) – dans ces cas, il convient de calculer la moyenne des rayons et des intensités dans ces anneaux adjacents, de remplacer ces derniers par un anneau avec une valeur $\bar{R}$ moyenne et une intensité moyenne et de décrémenter N_R de manière appropriée.

E.2.3 Prétraitement des données en champ proche unidimensionnelles

E.2.3.1 Généralités

Les données du cœur des fibres de catégorie A1 en champ proche unidimensionnelles peuvent être mesurées au moyen d'un balayage de ligne simple à l'aide de la méthode du champ proche réfracté, de la méthode du champ proche transmis à balayage mécanique ou des lignes vidéo individuelles obtenues par la méthode du champ proche transmis en niveaux de gris. En règle générale, les données de cette forme ont un côté gauche et un côté droit, c'est à dire dans la ligne où se trouvent des données d'intensité, un rayon négatif et un rayon positif. Le processus d'ajustement décrit dans l'Article E.3 ne peut utiliser que des rayons positifs, et on doit donc trouver le centre des données pour déterminer où $R = 0$. Une fois que le centre est connu, les positions radiales peuvent être à nouveau centrées. Après cela, soit les données doivent être pliées autour du centre (en déplaçant les données de gauche vers la droite par réflexion), soit il convient d'extraire un côté des données de l'ensemble afin de le traiter seul. Il est généralement préférable de plier les données.

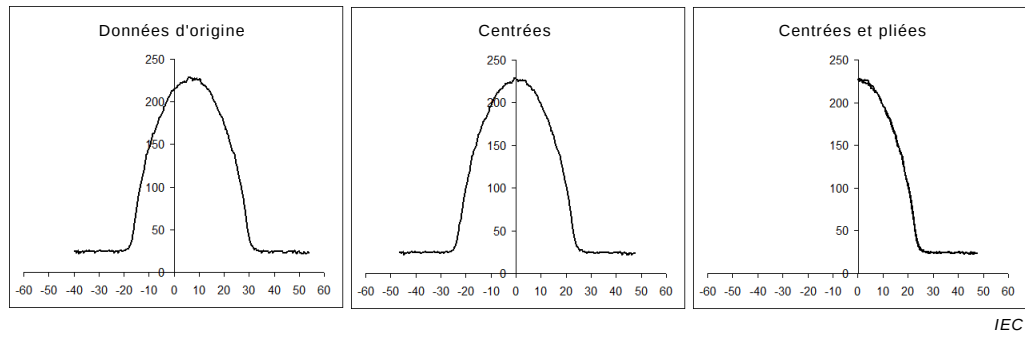


Figure E.2 – Illustration du préconditionnement en champ proche unidimensionnel, ligne vidéo type

Les données d'entrée sont N paires R'_i, I'_i .

E.2.3.2 Détermination du centre

Au moyen de l'image, le centre du champ proche est calculé en recherchant le centre de gravité du profil mesuré dans le rayon. Pour trouver le centroïde, rechercher d'abord P_{Max} et P_{Min} qui sont respectivement l'intensité la plus grande et l'intensité la plus petite dans le profil mesuré, puis calculer le seuil T :

$$T = 0,1(P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}}) + P_{\text{Min}} \quad (\text{E.11})$$

Calculer ensuite les sommes suivantes sur l'ensemble du profil, à l'exclusion des données de profil dont les intensités sont inférieures à T :

$$\begin{aligned} S &= \sum_{i=1}^N \begin{cases} 0 & I_{1-D_i} < T \\ I_{1-D_i} & I_{1-D_i} \geq T \end{cases} \\ SR &= \sum_{i=1}^N \begin{cases} 0 & I_{1-D_i} < T \\ iI_{1-D_i} & I_{1-D_i} \geq T \end{cases} \end{aligned} \quad (\text{E.12})$$

Enfin, calculer le centroïde,

$$R_0 = \frac{SR}{S} \quad (\text{E.13})$$

NOTE Si P_{Min} est significatif par comparaison à P_{Max} (c'est-à-dire lorsque la gaine est illuminée), le centroïde peut être biaisé si l'image du cœur n'est pas centrée sur l'image entière. Dans ce cas, l'estimation du centroïde sera améliorée si l'on soustrait P_{Min} (ou une autre estimation de la référence ou la base sur laquelle repose l'image du cœur) de l'image avant d'effectuer le calcul du centroïde.

E.2.3.3 Pliage du profil

Une fois que le centre est connu, il est facile de plier le profil:

$$R_i = |R'_i - R_0| \quad (\text{E.14})$$

où les barres verticales indiquent la valeur absolue. Une fois que les données sont pliées, il est pratique de trier la série de données en augmentant R de sorte de ne pas compliquer le reste de l'algorithme d'ajustement.

E.2.4 Soustraction de référence

Habituellement, une fois que les fonctions radiales ont été calculées, la fonction N_F' située à l'extérieur de la zone du cœur aura une valeur différente de zéro, appelée ici référence, ou B . Cette valeur de référence B , peut être attribuée à un signal noir vidéo, à l'illumination de gaine, un indice de réfraction de gaine différent de zéro ou d'autres causes. Pour conditionner les données de manière appropriée afin de les préparer à l'ajustement tel que décrit dans l'Article D.3, cette référence doit être soustraite. Une approche consiste à calculer B comme la moyenne de N_F' sur la plage radiale allant de 0,575 fois le diamètre de cœur nominal de la fibre à 0,6 fois le diamètre de cœur nominal.

Soustraire la référence de T :

$$I_i = I_i' - B \quad 0 \leq i \leq N_R \quad (\text{E.15})$$

Dans certains cas, on attend une valeur zéro pour B : par exemple, lorsqu'un amplificateur de découpage est utilisé pour démoduler un signal modulé reçu d'un balayage mécanique en champ proche unidimensionnel. Dans ces cas, il est admis de prendre une valeur B de zéro.

E.3 Ajustement d'une fonction de loi de puissance à un profil en champ proche de fibre de catégorie A1

Les données de champ proche conditionnées obtenues dans l'Article E.2 sont ajustées au modèle de loi de puissance suivant:

$$IF(r) = I_0 \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right] \quad (\text{E.16})$$

où I_0 est l'intensité maximale selon le modèle de meilleur ajustement, α est le facteur de forme de la loi de puissance et a est le rayon de cœur de meilleur ajustement. Ce modèle doit être ajusté aux séries de données R et I à l'aide des critères des moindres carrés en minimisant S :

$$S = \sum_{i=i_{10}}^{i_{80}} \left[I_i - I_0 \left[1 - \left(\frac{R_i}{a} \right)^\alpha \right] \right]^2 \quad (\text{E.17})$$

où i_{10} et i_{80} sont les indices qui encadrent la série de données dans laquelle I est compris entre 10 % et 80 % de son maximum, respectivement. La raison de limiter la zone d'ajustement est double: d'abord, la limite de 80 % exclut les anomalies du centre à proximité du cœur; deuxièmement, la limite de 10 % exclut la queue de ces profils, qui ne se conforment pas bien au modèle à cause de dispersions et de caractéristiques de conception particulières.

Pour utiliser l'Equation (E.17) telle qu'elle est écrite, il convient d'établir la série de données en augmentant R et en ignorant toutes les données très proches du cœur qui sont inférieures à la limite de 80 %.

Minimiser S dans l'Equation (E.17) nécessite des techniques de résolution d'équation non-linéaires, cependant, il est important de noter que les paramètres d'ajustement I_0 , α et a sont

couplés. Les résolveurs non-linéaires traditionnels ne parviendront généralement pas à trouver une solution pour une série de données en question; il convient donc d'employer des techniques spéciales. Tout d'abord, en combinant les termes, l'Equation (E.16) est reformulée de la manière suivante:

$$IF(r) = I_0 + Kr^\alpha$$

$$\text{where } a = -K^{-\frac{1}{\alpha}}$$
(E.18)

L'Equation (E.17) peut être réécrite sous la forme:

$$S = \sum_{i=i_0}^{i_{80}} [I_i - I_0 - Kr^\alpha]^2$$
(E.19)

S a la valeur minimum lorsque

$$\frac{\partial S}{\partial I_0} = 0 = 2nI_0 + 2K \sum r_i^\alpha - 2 \sum I_i$$

$$\frac{\partial S}{\partial K} = 0 = 2I_0 \sum r_i^\alpha + 2K \sum r_i^{2\alpha} - 2 \sum r_i^\alpha I_i$$

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = 0 = 2KI_0 \sum \log(r_i) r_i^\alpha + 2K^2 \sum \log(r_i) r_i^{2\alpha} - 2K \sum \log(r_i) r_i^\alpha I_i$$
(E.20)

En combinant les deux premières dérivées et en les résolvant simultanément pour I_0 et K , on obtient:

$$K = \frac{\sum I_i r_i^\alpha - \frac{\sum I_i \sum r_i^\alpha}{n}}{\sum r_i^{2\alpha} - \frac{(\sum r_i^\alpha)^2}{n}}$$

$$I_0 = \frac{\sum I_i - K \sum r_i^\alpha}{n}$$
(E.21)

A partir de l'Equation (E.21), on peut observer que pour tout α , K et I_0 peuvent tous deux être calculés directement. La minimalisation non-linéaire à trois paramètres de l'Equation (E.17) peut par conséquent être réduite à une minimalisation à un paramètre de l'Equation (E.19) en exploitant l'Equation (E.21). Le procédé de résolution du système consiste alors simplement à résoudre l'Equation (E.18) par le biais d'un solveur non-linéaire unidimensionnel (c'est-à-dire la méthode de Newton) sur α , avec la fonction de noyau qui utilise la première Equation (E.21) pour calculer K et I_0 et en réutilisant l'Equation (E.19) pour obtenir la fonction à minimiser.

Une fois la solution trouvée, on obtient le diamètre du cœur calculé comme deux fois α , à partir de K , au moyen de l'Equation (E.18).

Annexe F (informative)

Correspondances des mesures de diamètre de cœur de classe A

F.1 Remarques préliminaires

L'Annexe B, en combinaison avec les Annexes C et D, décrit la méthode d'essai de référence (RTM) permettant de déterminer le diamètre de cœur des fibres multimodales de classe A. La longueur d'échantillon pour les différentes catégories et sous-catégories de fibre A peut s'étendre à plusieurs centaines de mètres et est définie dans la spécification particulière de cette classe ou catégorie. Pour les mesures quotidiennes, il n'est pas pratique de devoir déployer sans contraintes de nombreux mètres de fibre pour en déterminer le diamètre de cœur et il est donc souhaitable d'admettre l'utilisation de longueurs plus courtes (2 m). En outre, dans la pratique, la méthodologie de l'Annexe C permettant de déterminer la courbe de délimitation de la limite du cœur peut manquer de commodité quant à la conception de la fibre lorsque ces longueurs courtes sont utilisées dans des conditions d'injection à saturation. Pour résoudre ces difficultés, on peut établir une correspondance de la condition d'essai de référence à une condition d'essai plus pratique.

Si des conditions de mesure alternatives sont employées pour les mesures de production quotidiennes, le diamètre du cœur, avec la condition alternative, peut être transformé afin d'estimer le diamètre de la condition de référence.

F.2 Fonction de correspondance

Pour un procédé de fibre et un régime de mesures donnés, s'il peut être prouvé que la détermination d'une polarisation de régime permanent existe entre la méthode d'essai de référence permettant de déterminer le diamètre de cœur d'une fibre de classe A, y compris la longueur de référence et les conditions d'analyse, et une autre méthode (telle que l'utilisation d'une longueur d'essai plus courte et/ou un seuil de décision ou une technique d'analyse), on peut alors employer une fonction de correspondance qui transforme un diamètre de cœur mesuré à l'aide de la méthode alternative en une approximation du diamètre de cœur obtenu par la méthode de référence. Il est admis de rendre compte de ces diamètres transposés comme s'il s'agissait du diamètre de cœur. La fonction de correspondance peut prendre n'importe quelle forme.

Un décalage additionnel, Z :

$$CD_{Re f} = CD_{Prod} + Z \quad (F.1)$$

Un facteur d'échelle multiplicatif, M :

$$CD_{Re f} = M \times CD_{Prod} \quad (F.2)$$

Ou toute autre fonction qui s'avère utile, f .

$$CD_{Re f} = f(CD_{Prod}) \quad (F.3)$$

Bibliographie

IEC 60793-1-45, *Fibres optiques – Partie 1-45: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Diamètre du champ de mode*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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