

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
793-1-2**

Première édition
First edition
1995-10

Fibres optiques –

Partie 1:

Spécification générique –

Section 2: Méthodes de mesure des dimensions

Optical fibres –

Part 1:

Generic specification –

Section 2: Measuring methods for dimensions



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 793-1-2: 1995

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
793-1-2**

Première édition
First edition
1995-10

Fibres optiques –

Partie 1:

Spécification générique –

Section 2: Méthodes de mesure des dimensions

Optical fibres –

Part 1:

Generic specification –

Section 2: Measuring methods for dimensions

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

W

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application et objet	8
2 Référence normative.....	8
3 Essais relatifs aux dimensions	8
4 Surface de référence	12
5 Erreur de concentricité.....	12
6 Tolérances.....	12
7 Définitions opérationnelles	12
8 Méthode CEI 793-1-A1 – Profil d'indice de réfraction.....	14
9 Méthode CEI 793-1-A2 – Géométrie de la section droite à l'extrémité d'une fibre optique déterminée à partir de la répartition de la lumière en champ proche	34
10 Méthode CEI 793-1-A3 – Répartition de la lumière en vue latérale pour la mesure du revêtement primaire	48
11 Méthode CEI 793-1-A4 – Mesure mécanique du diamètre.....	56
12 Méthode CEI 793-1-A5 – Mesure mécanique de la longueur	60
13 Méthode CEI 793-1-A6 – Mesure de la longueur par mesure du retard de l'impulsion transmise et/ou de l'impulsion réfléchie	60
14 Méthode CEI 793-1-A7 – Mesure de l'allongement d'une fibre	72

CONTENTS

	Page
FOREWORD.....	5
Clause	
1 Scope and object	9
2 Normative reference.....	9
3 Dimensional tests.....	9
4 Reference surface.....	13
5 Concentricity error	13
6 Tolerances.....	13
7 Operational definitions	13
8 Method IEC 793-1-A1 – Refractive index profile.....	15
9 Method IEC 793-1-A2 – End face geometry of optical fibre determined from the near-field light distribution	35
10 Method IEC 793-1-A3 – Side view light distribution for primary coating	49
11 Method IEC 793-1-A4 – Mechanical diameter measurement	57
12 Method IEC 793-1-A5 – Mechanical length measurement	61
13 Method IEC 793-1-A6 – Length measurement by delay measuring of transmitted pulse and/or reflected pulse	61
14 Method IEC 793-1-A7 – Fibre elongation measurement method	73

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1: Spécification générique – Section 2: Méthodes de mesure des dimensions

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparées par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment, dans la plus grande mesure possible, un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 793-1-2 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

La quatrième édition de la CEI 793-1, parue en 1992, a fait l'objet d'une révision. Elle a été divisée en cinq normes regroupant chacune une section.

Cette première édition de la CEI 793-1-2 annule et remplace la section 2 de la CEI 793-1, dont elle constitue une révision technique.

Cette norme doit être utilisée conjointement avec les normes suivantes:

CEI 793-1-1: 1995, *Fibres optiques – Partie 1: Spécification générique – Section 1: Généralités*

CEI 793-1-3: 1995, *Fibres optiques – Partie 1: Spécification générique – Section 3: Méthodes de mesure des caractéristiques mécaniques*

CEI 793-1-4: 1995, *Fibres optiques – Partie 1: Spécification générique – Section 4: Méthodes de mesure des caractéristiques optiques et de transmission*

CEI 793-1-5: 1995, *Fibres optiques – Partie 1: Spécification générique – Section 5: Méthodes de mesure des caractéristiques d'environnement*

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL FIBRES –

**Part 1: Generic specification –
Section 2: Measuring methods for dimensions**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 793-1-2 has been prepared by sub-committee 86A: Fibres and cables, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

The fourth edition of IEC 793-1, published in 1992, has been subject to revision. It has been divided into five standards each of which incorporates one section.

This first edition of IEC 793-1-2 cancels and replaces section 2 of IEC 793-1, of which it constitutes a technical revision.

This standard shall be used in conjunction with the following standards:

IEC 793-1-1: 1995, *Optical fibres – Part 1: Generic specification – Section 1: General*

IEC 793-1-3: 1995, *Optical fibres – Part 1: Generic specification – Section 3: Measuring methods for mechanical characteristics*

IEC 793-1-4: 1995, *Optical fibres – Part 1: Generic specification – Section 4: Measuring methods for transmission and optical characteristics*

IEC 793-1-5: 1995, *Optical fibres – Part 1: Generic specification – Section 5: Measuring methods for environmental characteristics*

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
86A/301/DIS	86A/327/RVD

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60793-1-2:1995

Withdrawn

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

DIS	Report on voting
86A/301/DIS	86A/327/RVD

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

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60793-1-2:1995

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1: Spécification générique – Section 2: Méthodes de mesure des dimensions

1 Domaine d'application et objet

La présente section de la CEI 793-1 présente les méthodes de mesure applicables à la mesure pratique de la longueur et des dimensions en section droite d'une fibre optique. Elles sont à utiliser pour le contrôle des fibres lors des relations commerciales.

L'objet de cette section est d'établir des prescriptions uniformes relatives aux caractéristiques géométriques des fibres optiques.

2 Référence normative

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente section de la CEI 793-1. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente section de la CEI 793-1 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente du document normatif indiqué ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 794-1: 1993, *Câbles à fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*

3 Essais relatifs aux dimensions

Les dimensions des fibres optiques doivent être déterminées en soumettant les échantillons à des essais choisis dans le tableau 1. Les essais appliqués, les critères d'acceptation et le nombre d'échantillons doivent être tels que ceux qui sont indiqués dans la spécification particulière. Il est clair que ce tableau englobe toutes les catégories de fibres, mais que les essais ne sont pas tous applicables à n'importe quelle catégorie de fibre.

Lorsque le revêtement primaire comporte au moins deux couches concentriques coaxiales constituées de matériaux différents, la couche qui recouvre la gaine doit être définie comme première couche, la couche concentrique suivante qui la recouvre sera la deuxième couche, etc.

OPTICAL FIBRES –

Part 1: Generic specification – Section 2: Measuring methods for dimensions

1 Scope and object

This section of IEC 793-1 gives the measuring methods applicable to the practical measurement of the length and the cross-sectional dimensions of an optical fibre. The methods are to be used for inspection of optical fibres for commercial purposes.

The object of this section is to establish uniform requirements for geometrical characteristics of optical fibres.

2 Normative reference

The following normative document contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this section of IEC 793-1. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this section of IEC 793-1 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the normative document indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 794-1: 1993, *Optical fibre cables – Part 1: Generic specification*

3 Dimensional tests

The dimensions of the optical fibres shall be determined by subjecting samples to tests selected from table 1. The tests applied, acceptance criteria and number of samples shall be as specified in the detail specification. It should be clear that this table encompasses all categories of fibres, but not all tests are applicable to any one fibre category.

When the primary coating is composed of two or more coaxial and concentric layers of different materials, the layer applied immediately over the cladding shall be defined as the first layer, the layer applied concentrically over it shall be defined second layer, etc.

Tableau 1 – Dimensions des fibres optiques

Méthode d'essai	Essai	Caractéristiques faisant l'objet de la méthode d'essai
CEI 793-1-A1A	Champ proche réfracté	Diamètre du coeur Diamètre de gaine Non-circularités
CEI 793-1-A1B	Interférométrie transversale	Erreurs de concentricité
CEI 793-1-A2	Géométrie de la section droite à l'extrémité d'une fibre optique déterminée à partir de la répartition de la lumière en champ proche	Diamètre du coeur Diamètre de gaine Diamètre du revêtement primaire Diamètre du revêtement protecteur Non-circularités Erreurs de concentricité
CEI 793-1-A3	Répartition de la lumière en vue latérale pour revêtement primaire	Diamètre du revêtement primaire Non-circularité des couches du revêtement primaire Erreurs de concentricité des couches du revêtement primaire
CEI 793-1-A4	Mesure mécanique du diamètre	Diamètre de gaine Diamètre du revêtement primaire Diamètre du revêtement protecteur Non-circularités
CEI 793-1-A5	Mesure mécanique de la longueur (à l'étude)	Longueur de la fibre
CEI 793-1-A6	Retard d'impulsion transmise et/ou réfléchi	Longueur de la fibre
CEI 793-1-C1C de la CEI 793-1-4	Technique de rétrodiffusion	Longueur de la fibre
CEI 793-1-A7	Allongement d'une fibre	Variation de longueur

NOTES

- 1 La technique du champ proche réfracté est une application directe de la définition du coeur basée sur le profil de l'indice de réfraction. Cette méthode donne le profil d'indice de réfraction à partir duquel les dimensions et l'ouverture numérique peuvent être calculées.
- 2 Avec la répartition de la lumière en champ proche, les dimensions obtenues sont corrélées au profil d'indice de réfraction, mais ne sont pas strictement en accord avec la définition du diamètre de coeur.
- 3 Pour les dimensions liées à la partie transmission des fibres unimodales (c'est-à-dire diamètre du champ de mode, concentricité du champ de mode) voir la CEI 793-1-4.
- 4 Pour des raisons pratiques, le diamètre du coeur des fibres unimodales n'est normalement pas spécifié.
- 5 Une définition du diamètre du coeur des fibres unimodales est à l'étude.

Table 1 – Dimensions of optical fibres

Test method	Test	Characteristics covered by test method
IEC 793-1-A1A	Refracted near-field	Diameter of core Diameter of cladding Non-circularities
IEC 793-1-A1B	Transverse interference method	Concentricity errors
IEC 793-1-A2	End face geometry of optical fibre determined from the near-field light distribution	Diameter of core Diameter of cladding Diameter of primary coating Diameter of buffer Non-circularities Concentricity errors
IEC 793-1-A3	Side view light distribution for primary coating	Diameter of primary coating layers Non-circularity of primary coating layers Concentricity error of primary coating layers
IEC 793-1-A4	Mechanical diameter measurement	Diameter of cladding Diameter of primary coating Diameter of buffer Non-circularities
IEC 793-1-A5	Mechanical length measurement (under consideration)	Length of fibre
IEC 793-1-A6	Delay of transmitted and/or reflected pulse	Length of fibre
IEC 793-1-C1C of IEC 793-1-4	Backscattering technique	Length of fibre
IEC 793-1-A7	Fibre elongation	Length variation

NOTES

- 1 The refracted near-field technique is a direct application of core definition based on the refractive index profile. This method gives the refractive index profile from which the dimensions and numerical aperture can be calculated.
- 2 With the near-field light distribution the dimensions obtained are correlated to the refractive index profile, but are not strictly in accordance with the definition of core diameter.
- 3 For dimensions linked to transmission part of single-mode fibres (i.e. diameter of mode field, concentricity of mode field) see IEC 793-1-4.
- 4 For practical reasons, the core diameter of single-mode fibres is not normally specified.
- 5 A definition of the core diameter of single-mode fibres is under consideration.

4 Surface de référence

La surface de référence sera déterminée dans la spécification particulière et pourra être soit la surface du coeur, de gaine, du revêtement primaire, soit celle du revêtement protecteur.

5 Erreur de concentricité

L'erreur de concentricité peut être spécifiée entre deux quelconques des diamètres mentionnés ci-dessus, et peut être indiquée dans la spécification particulière.

6 Tolérances

Les tolérances sur les diamètres peuvent être indiquées dans la spécification particulière.

7 Définitions opérationnelles

7.1 Définition du diamètre du coeur d'une fibre optique multimodale

Le diamètre du coeur d'une fibre optique multimodale est défini à partir du profil d'indice de réfraction comme le diamètre passant par le centre du coeur et coupant le profil d'indice au point n_3 , de sorte que:

$$n_3 = n_2 + k(n_1 - n_2)$$

où

n_2 est l'indice de réfraction de la gaine homogène;

n_1 est l'indice de réfraction maximal; et

k est une constante communément désignée par «facteur k ».

Le profil d'indice de réfraction peut être déterminé par des techniques de mesures de profil telles que la mesure du champ proche réfracté ou l'interférométrie transversale ou par la mesure du champ proche d'un coeur entièrement éclairé telle que la mesure du champ proche transmis.

Il est recommandé d'utiliser un ajustement de courbe avec les techniques de mesure de profil d'indice et les techniques de mesure du champ proche afin d'améliorer la précision de la mesure du diamètre du coeur.

NOTES

1 De façon typique, $k = 0,025$ pour les techniques ajustées de mesure de profil ou pour la méthode de mesure du champ proche transmis non ajustée est équivalente à $k = 0$ pour la méthode de mesure du champ proche transmis avec ajustement.

2 Pour ce qui concerne les fibres présentant des profils d'indice de réfraction ayant une région de transition progressive au niveau de leur limite coeur/gaine, une valeur de $k = 0,05$ pour la méthode de mesure du champ proche transmis non ajustée est équivalente à $k = 0$ pour la méthode de mesure du champ proche transmis avec ajustement.

4 Reference surface

The reference surface will be defined in the detail specification and may be either the core, cladding, primary coating, or buffer surface.

5 Concentricity error

The concentricity error may be specified between any two of the above-mentioned diameters, and can be specified in the detail specification.

6 Tolerances

Tolerances on diameters can be specified in the detail specification.

7 Operational definitions

7.1 Definition of multimode fibre diameter

The core diameter of a multimode optical fibre is defined from the refractive index profile as that diameter passing through the core center and intersecting the index profile at the points n_3 such that:

$$n_3 = n_2 + k(n_1 - n_2)$$

where

n_2 is the refractive index of the homogeneous cladding

n_1 is the maximum refractive index, and

k is a constant commonly called the "k factor"

The refractive index profile can be measured by profiling techniques such as the refracted near-field measurement (RNF) or transverse interferometry (TI), and by measurement of the near-field of a fully illuminated core such as the transmitted near-field measurement (TNF).

It is recommended that curve fitting be used with both the index profiling and the TNF techniques to improve the measurement precision of the core diameter.

NOTES

1 Typically, $k = 0,025$ for either the fitted profiling methods or the unfitted TNF method is equivalent to $k = 0$ for the fitted TNF method.

2 For fibres with refractive index profiles that have gradual transition region at their core/cladding boundary, a value of $k = 0,05$ for the unfitted TNF method is equivalent to $k = 0$ for the fitted TNF method.

8 Méthode CEI 793-1-A1 – Profil d'indice de réfraction

8.1 Méthode CEI 793-1-A1A – Profil d'indice de réfraction – Méthode du champ proche réfracté

8.1.1 Objet

La mesure du champ proche réfracté est simple, précise et mesure directement les variations de l'indice de réfraction transversalement à la fibre (cœur et gaine). La mesure présente une bonne résolution et peut être calibrée pour donner des valeurs absolues de l'indice de réfraction. Elle peut être utilisée indifféremment pour les fibres unimodales et multimodales.

8.1.2 Appareillage

Une représentation schématique de l'appareillage est donnée par les figures 1 et 2.

8.1.2.1 Source

Un laser stable émettant quelques milliwatts de puissance optique sur le mode TEM_{00} est nécessaire.

Un laser hélium-néon émettant sur la longueur d'onde de 633 nm peut être utilisé, mais un facteur de correction est à apporter pour extrapoler les résultats à des longueurs d'onde différentes. Il est à noter que la mesure à 633 nm peut ne pas donner des informations complètes à des longueurs d'onde plus élevées, en particulier un dopage non uniforme de la fibre peut affecter la correction.

Une lame quart d'onde est introduite pour transposer le faisceau d'une polarisation rectiligne à une polarisation circulaire, car la réflexion de la lumière sur une interface air-verre dépend étroitement de l'angle et de la polarisation.

Un diaphragme au foyer de la lentille 1 agit en tant que filtre spatial.

8.1.2.2 Optique d'injection

L'optique d'injection, qui est déterminée pour saturer l'ouverture numérique de la fibre, délimite un faisceau de lumière focalisée sur la face plane de la fibre. Il convient que l'angle de ce faisceau avec l'axe de la fibre soit inférieur à 1° . La résolution de l'équipement est déterminée par la taille de la tache focale, qui doit être aussi petite que possible pour maximiser la résolution, par exemple plus petite que $1,5 \mu m$. L'équipement permet de déplacer cette tache focale le long du diamètre de la fibre.

8.1.2.3 Cellule à liquide d'indice

Le liquide de la cellule à liquide d'indice doit avoir un indice de réfraction légèrement plus grand que celui de la gaine de la fibre.

8.1.2.4 Détection

La lumière réfractée est collectée et envoyée sur le détecteur en s'assurant que toute la lumière est collectée. La dimension nécessaire pour le disque et sa position le long de l'axe central peuvent être déterminées par calcul.

8 Method IEC 793-1-A1 – Refractive index profile

8.1 Method IEC 793-1-A1A – Refractive index profile – Refracted near-field method

8.1.1 Object

The refracted near-field measurement is straightforward, accurate and measures directly the refractive index variation across the fibre (core and cladding). The measurement is capable of good resolution and can be calibrated to give absolute values of refractive indexes. It can be used to obtain profiles of both single-mode and multimode fibres.

8.1.2 Test apparatus

A schematic diagram of the test apparatus is shown in figures 1 and 2.

8.1.2.1 Source

A stable laser giving a few milliwatts of power in the TEM_{00} mode is required.

A HeNe laser, which has a wavelength of 633 nm, may be used, but a correction factor must be applied to the results for extrapolation at different wavelengths. It shall be noted that measurement at 633 nm may not give complete information at longer wavelengths, in particular non-uniform fibre doping can affect the correction.

A quarter-wave plate is introduced to change the beam from linear to circular polarization because the reflectivity of light at an air-glass interface is strongly angle and polarization dependent.

A pinhole placed at the focus of lens 1 acts as a spatial filter.

8.1.2.2 Launch optics

The launch optics, which are arranged to overfill the NA of the fibre, 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 resolution of the equipment is determined by the size of the focused spot, which should be as small as possible in order to maximize the resolution, for example less than $1,5 \mu m$. The equipment enables the focused spot to be scanned across the fibre diameter.

8.1.2.3 Liquid cell

The liquid in the liquid cell shall have a refractive index slightly higher than that of the fibre cladding.

8.1.2.4 Sensing

The refracted light is collected and brought to the detector in any convenient manner provided that all the refracted light is collected. By calculation, the required size of disc and its position along the central axis can be determined.

8.1.3 Préparation de l'échantillon

Une longueur de fibre d'environ 1 m est nécessaire.

L'ensemble des protections mécaniques doit être éliminé de la section de fibre immergée dans la cellule à liquide d'indice.

Les faces de la fibre doivent être propres, planes et perpendiculaires à l'axe de la fibre.

8.1.4 Procédure

On se référera au schéma représentant l'appareillage (figure 2).

8.1.4.1 Courbe de profil d'indice de la fibre

La face d'entrée de la fibre à mesurer est immergée dans une cellule à liquide d'indice dont l'indice de réfraction est légèrement supérieur à l'indice de la gaine de la fibre. La fibre est illuminée par l'arrière par un flux lumineux issu d'une lampe à filament de tungstène. Les objectifs 2 et 3 produisent une image de la fibre.

La position de l'objectif 3 est ajustée pour centrer et mettre au point l'image de la fibre; le faisceau laser est en même temps centré et focalisé sur la fibre.

Le disque est centré sur le cône de sortie. Pour les fibres multimodales, le disque est positionné sur l'axe optique de manière à n'occulter que les modes de fuite. Pour les fibres unimodales, le disque est positionné pour obtenir la résolution maximale.

Les modes réfractés passant au-delà du disque sont collectés et focalisés sur une photodiode. La tache laser focalisée est déplacée le long de la section de l'extrémité de la fibre et un enregistrement de la variation de l'indice de réfraction est obtenu directement.

8.1.4.2 Etalonnage de l'équipement

L'étalonnage de l'équipement est réalisé lorsque la fibre n'est pas présente dans la cellule à liquide d'indice. Pendant la mesure, l'angle du cône de lumière varie en fonction de l'indice de réfraction vu au point d'impact 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 terme d'indices relatifs. 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.

8.1.3 *Sample preparation*

A length of fibre of about 1 m is required.

All fibre coatings shall be removed from the section of fibre immersed in the liquid cell.

The fibre ends shall be clean, smooth and perpendicular to the fibre axis.

8.1.4 *Procedure*

Refer to the schematic diagram of the test apparatus (figure 2).

8.1.4.1 *Fibre index profile plot*

The launch end of the fibre to be measured is immersed in a liquid cell whose refractive index is slightly higher than that of the fibre cladding. The fibre is back illuminated by light from a tungsten lamp. Lenses 2 and 3 produce a focused image of the fibre.

The position of lens 3 is adjusted to centre and focus the fibre image, and the laser beam is simultaneously centred and focused on the fibre.

The disc is centred on the output cone. For multimode fibre, the disc is positioned on the optical axis to just block the leaky modes. For single-mode fibre, the disc is positioned to give optimum resolution.

Refracted modes passing the disc are collected and focused onto a photodiode. The focused laser spot is traversed across the fibre end and a plot of fibre refractive index variation is directly obtained.

8.1.4.2 *Equipment calibration*

The equipment is calibrated with the fibre removed from the liquid cell. 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. Absolute indices, that is 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.

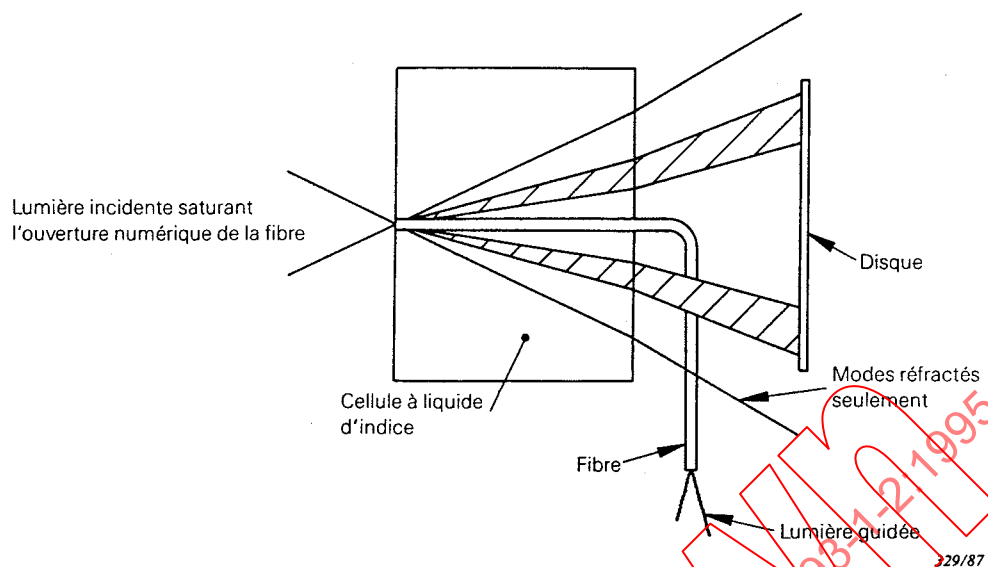


Figure 1 – Technique du champ proche réfracté – Représentation schématique

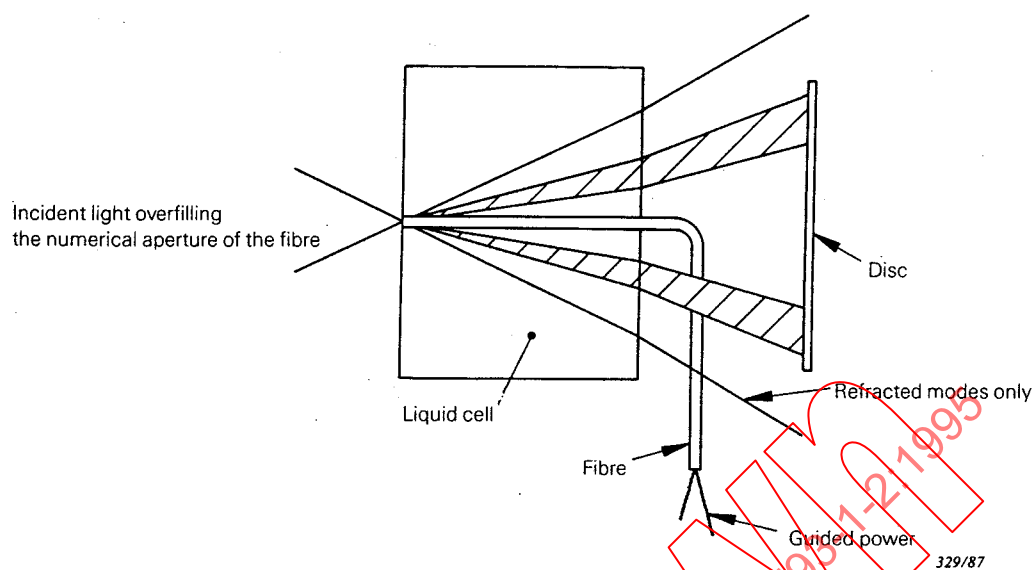


Figure 1 – Refracted near-field technique – Schematic diagram

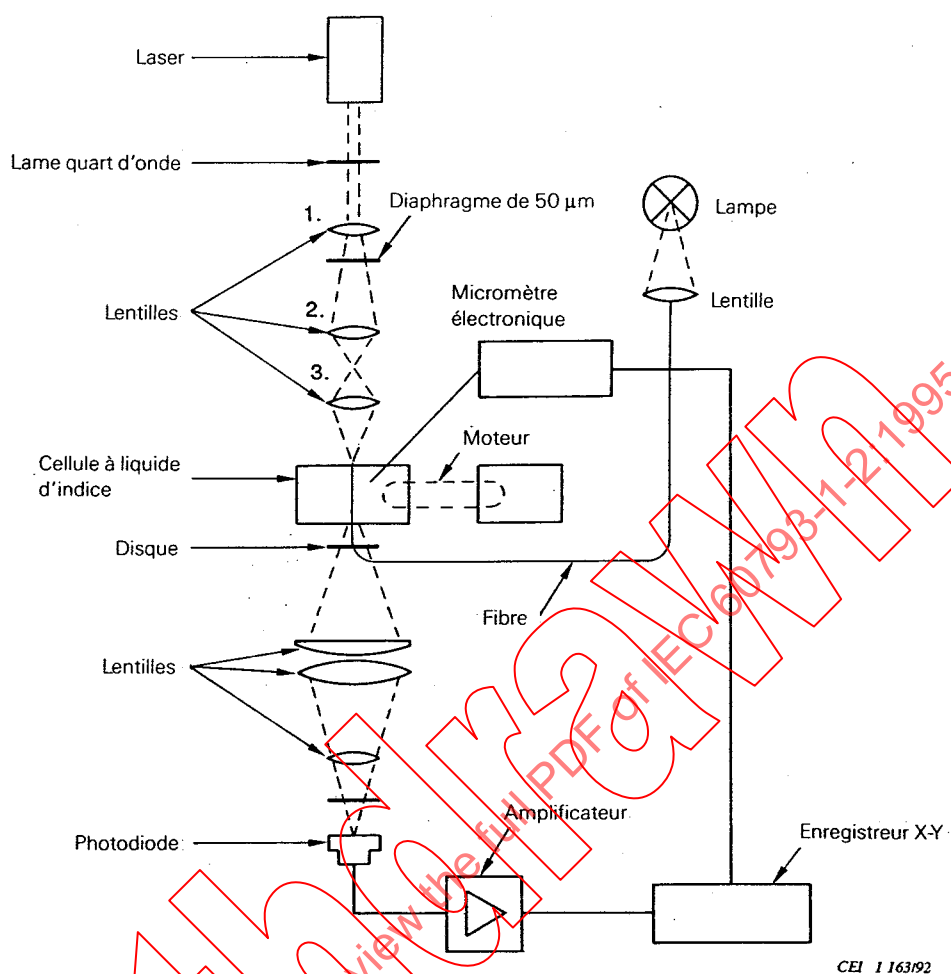


Figure 2 – Exemple typique d'un appareillage de mesure du champ proche réfracté

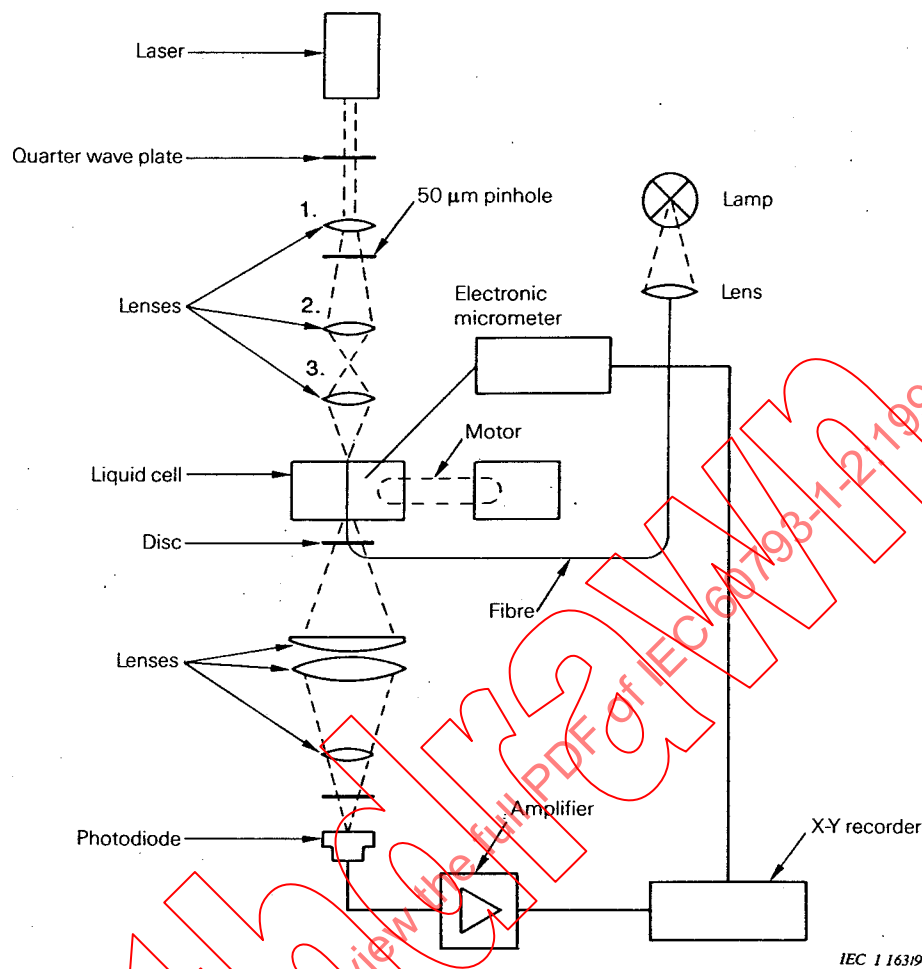


Figure 2 - Typical arrangement of the refracted near-field test set

8.1.4.3 Résultats

Les renseignements suivants doivent être fournis:

- disposition du montage d'essai et procédure de correction en longueur d'onde;
- humidité relative et température ambiante;
- identification de la fibre. Suivant les prescriptions de la spécification:
 - profil correspondant aux centres du coeur et de la gaine et étalonné pour une longueur d'onde déterminée;
 - profils le long des axes principaux du coeur étalonnés pour une longueur d'onde déterminée;
 - profils le long des axes principaux de la gaine étalonnés pour une longueur d'onde déterminée.

A partir du balayage d'une section du profil, les grandeurs suivantes peuvent être calculées:

- diamètre du coeur;
- diamètre de gaine;
- erreur de concentricité entre le coeur et la gaine;
- non-circularité du coeur;
- non-circularité de la gaine;
- ouverture numérique théorique maximale;
- différence d'indice;
- différence d'indice relative;
- indications sur la précision et la reproductibilité.

8.2 Méthode CEI 793-1 A1B – Profil d'indice de réfraction – Méthode d'interférométrie transversale

8.2.1 Objet

La présente méthode d'essai établit les procédures à suivre afin de déterminer le profil d'indice de réfraction $n(r)$ d'un échantillon de fibre optique par interférométrie transversale. Au moyen d'un microscope interférentiel, l'échantillon de fibre est éclairé perpendiculairement à son axe afin de générer un diagramme de franges. Le profil d'indice de réfraction est obtenu par détection vidéo et numérisation des franges d'interférence par moyen informatique.

Il est également admis de déterminer le diamètre du coeur d'une fibre de catégorie A1 sur la base des résultats de cette procédure d'essai.

Il est permis de déterminer l'ouverture numérique maximale d'une fibre de catégorie A1 sur la base des résultats de cette procédure d'essai.

8.2.2 Appareillage

Pour effectuer cette mesure, les équipements d'essai illustrés sur la figure 3 ci-après sont nécessaires.

8.1.4.3 Results

The following details shall be presented:

- test arrangement and wavelength correction procedure;
- relative humidity and ambient temperature;
- fibre identification. Depending on specification requirement:
 - profile through core and cladding centres calibrated for a given wavelength;
 - profiles along the core major and minor axes calibrated for a given wavelength;
 - profiles along the cladding major and minor axes calibrated for a given wavelength.

By the raster scan of the cross-section of the profile, the following quantities may be calculated:

- diameter of core;
- diameter of cladding;
- concentricity error core/cladding;
- non-circularity of core;
- non-circularity of cladding;
- maximum theoretical numerical aperture;
- index difference;
- relative index difference;
- indications of accuracy and reproducibility.

8.2 Method IEC 793-1-A1B – Refractive index profile, transverse interference method

8.2.1 Object

The intent of this test method is to establish procedures to be followed to determine the refractive index profile $n(r)$ of an optical fibre sample by transverse interferometry. Using an interference microscope, the fibre sample is illuminated perpendicular to its axis to generate a fringe pattern. The refractive index profile is obtained from video detection and digitization of the interference fringes under computer control.

Determination of the core diameter of a category A1 fibre may also be made from the results of this test procedure.

Determination of the maximum theoretical numerical aperture of a category A1 fibre may also be made from the results of this test procedure.

8.2.2 Apparatus

The following test equipment shown in figure 3 is necessary to make this measurement:

8.2.2.1 *Microscope interférentiel de lumière transmise*

Ce microscope spécial est constitué par la combinaison de deux microscopes et d'un interféromètre permettant d'obtenir une image agrandie des objets soumis à l'essai avec des franges interférentielles. Un condenseur parallèle ainsi qu'un objectif génère un chemin optique au travers de l'échantillon en essai et un chemin de référence pour la lumière d'éclairage quasi cohérente obtenue au moyen d'un filtre à bande étroite et d'une source de lumière blanche.

8.2.2.2 *Caméra et moniteur de télévision*

La caméra produit une image électronique qui permet de quantifier les nuances de frange de façon que des méthodes analytiques puissent être utilisées pour localiser de manière précise les coordonnées centrales d'une frange. Ceci permet également d'effectuer des mesures à des longueurs d'onde non incluses dans le spectre visible. Le moniteur permet à l'opérateur de visualiser facilement l'échantillon d'essai et l'aide à mettre en place les procédures nécessaires au réglage adéquat de l'échantillon et des franges.

8.2.2.3 *Numériseur vidéo*

Cet ensemble fonctionne avec la caméra et l'ordinateur de façon que le champ de sortie du microscope, tel que vu par la caméra, puisse être numérisé. L'ordinateur adresse un emplacement sur le vidicon de la caméra et le numériseur renvoie à l'ordinateur un nombre binaire, par exemple à 8 bits, indiquant la nuance de gris au niveau de l'emplacement adressé. L'emplacement du point en cours de codage est indiqué sur le moniteur par un curseur point qui sert d'aide à l'opérateur.

8.2.2.4 *Calculateur programmable et traceur*

L'ordinateur (calculateur programmable) cumule des informations d'intensité par rapport à la position de façon que le déplacement d'une frange à partir de son niveau de gaine puisse être déterminé en fonction de la position radiale du coeur. L'ordinateur calcule Δn puis trace le profil d'indice en même temps que les coordonnées radiales. L'ordinateur détermine alors une courbe du profil d'indice ajustée en puissance et la courbe est dessinée par le traceur.

8.2.3 *Echantillon en essai*

Un échantillon en essai doit être constitué d'une longueur de 20 mm de fibre propre non revêtue.

8.2.4 *Procédure d'essai*

8.2.4.1 *Préparation*

L'échantillon en essai est placé à plat sous l'objectif du microscope d'essai, sur un porte-éprouvette optiquement plat (fourni avec le microscope). Des quantités égales d'huile ayant un indice de réfraction égal à celui de la gaine sont alors placées sur le porte-éprouvette et sur la plaque de référence. En utilisant des objectifs à immersion de grossissement X 100, on monte la platine porte-objet du microscope jusqu'à ce que les objectifs soient en contact avec l'huile. La fibre est alors placée dans le champ de l'objectif et mise au point en bloquant le faisceau de référence. Le faisceau de référence est ensuite débloquent et les commandes du microscope réglées de manière à visualiser sur le moniteur d'affichage un diagramme de franges très contrasté comme illustré sur la figure 3, où les courbes des franges sont dues au coeur.

8.2.2.1 *Transmitted light interference microscope*

This special purpose microscope is a combination of two microscopes and an interferometer in such a way that the magnified image of the test objects appears together with interference fringes. A parallel condenser and objective lens system create a sample test path and a reference path for the quasi-coherent illuminating light obtained using a narrow band filter and a white light source.

8.2.2.2 *Television camera and monitor*

The camera produces an electronic picture that permits the quantification of fringe shading so that analytical methods can be utilized to locate precisely the centre coordinates of a fringe. It also permits measurements to be made at wavelengths outside the visible spectrum. The monitor allows the operator to view the test sample easily and aids in the set-up procedures necessary to provide proper adjustment of the sample and the fringes.

8.2.2.3 *Video digitizer*

This unit operates with the camera and computer controller so that the output field of the microscope as seen by the camera can be digitized. The computer addresses a location on the camera vidicon and the digitizer returns to the calculator, for example, an 8-bit binary number indicating shade of grey at the addressed location. The location of the point being encoded is indicated by a dot cursor on the monitor as an operator aid.

8.2.2.4 *Programmable calculator and plotter*

The computer (programmable calculator) accumulates intensity versus position data so that the displacement of a fringe from its cladding level can be determined as a function of core radial position. The computer calculates Δn and then plots the index profile along with the radial coordinates. The computer then determines a best-fit power-law curve to the index profile and the curve is drawn by the plotter.

8.2.3 *Test sample*

A test sample shall consist of a 20 mm length of clean uncoated fibre.

8.2.4 *Test procedure*

8.2.4.1 *Preparation*

The test sample is placed on its side under the test objective of the microscope on an optically flat specimen plate (supplied with the microscope). Equal amounts of oil having a refractive index equal to that of the cladding are then placed on the specimen plate and on the reference plate. Using 100 X immersion objectives, the stage of the microscope is raised until the objectives contact the oil. The fibre is then located in the field of view of the objective and focused with the reference beam blocked. The reference beam is then unlocked and the microscope controls adjusted to produce a high-contrast fringe pattern as illustrated on the display monitor in figure 3, where the curves in the fringes are caused by the core.

L'axe de la fibre est alors orienté perpendiculairement aux lignes de franges et la séparation entre les lignes de franges est réglée au moyen des commandes du microscope de telle façon qu'environ quatre franges soient visibles sur le moniteur. Pour faciliter l'analyse, les lignes de franges sont affichées parallèlement aux lignes de balayage horizontal de la caméra, également au moyen des commandes du microscope.

Une fois les franges correctement orientées, le calculateur programmable et le numériseur balaient automatiquement une frange donnée afin d'obtenir la valeur de décalage (axe Y) dans le coeur en utilisant la position de la frange dans la gaine comme étant la position de décalage nul ($Y = 0$). Un balayage séparé est effectué verticalement sur les deux franges adjacentes de la gaine de manière à obtenir la séparation de frange L . Une fois terminé le balayage de la frange, on détermine un ensemble de points de décalage de frange Q_p ainsi que la séparation de frange L pour les utiliser dans le calcul de n_p . Ici, p est le nombre de positions radiales auxquelles le décalage de frange est mesuré.

8.2.4.2 Calculs

Aux fins d'analyse, le profil de l'indice de réfraction du coeur de la fibre est calculé par approximation au moyen d'une série d'anneaux concentriques (figure 4). La partie supérieure de la figure 4 illustre la frange et la corrélation entre points de décalage de frange et chemins optiques rectilignes traversant le coeur. Selon la valeur de la résolution spatiale requise en $n(r)$, il n'est pas nécessaire que ces franges coïncident avec les couches de dépôt dans la fibre. L'indice de réfraction dans un anneau donné est supposé être constant dans cette approximation. L'indice de l'anneau p est supérieur à celui des gaines d'une valeur:

$$\Delta n_p = \frac{1}{S_{p,j}} \left[\frac{\lambda Q_p}{L} - \sum_{j=1}^{p-1} \Delta n_j S_{p,j} \right] \quad (1)$$

où $S_{p,j}$ est la distance parcourue par le rayon p dans l'anneau j :

$$S_{p,j} = 2 \left\{ \left[R_{j-1}^2 - R_p^2 \right]^{1/2} - \left[R_j^2 - R_p^2 \right]^{1/2} \right\} \quad (2)$$

Ici R_j est le rayon de l'anneau j , Q_p est le décalage de frange sur la distance p , et L est l'espacement des franges adjacentes.

Après avoir calculé Δn_p , ces données sont alors dessinées sur le traceur X-Y. Ceci fournit le profil d'indice de la fibre. D'autres calculs supplémentaires au moyen des techniques d'ajustement de la courbe sont utilisés pour obtenir les paramètres qui répondent le mieux à l'équation de l'indice de réfraction type:

$$\Delta n(r) = \Delta n_0 [1 - (r/a)^g] \quad (3)$$

Ici Δn_0 est la différence d'indice de réfraction pour $r = 0$, a est le rayon du coeur et g est le facteur de forme, d'une valeur d'environ 2.

La procédure d'ajustement détermine les valeurs Δn_0 , g et a qui donnent le meilleur ajustement au profil réel. Dans la procédure d'ajustement, seules les données entre 0,15 a et 0,95 a sont utilisées pour éviter les perturbations inacceptables dues aux irrégularités de limites coeur/gaine et du trou central d'indice. Il est admis d'utiliser une valeur nominale de a pour déterminer les limites d'ajustement de la courbe.

The fibre axis is then oriented perpendicular to the fringe lines, and the separation between fringe lines is adjusted using microscope controls so that about four fringes are visible on the monitor. For convenience of analysis, the fringe lines are made parallel to the horizontal scan lines of the camera, again using microscope controls.

Once the fringes are properly oriented, the programmable calculator and digitizer automatically scan a selected fringe to obtain the amount of shift (Y axis) in the core using the position of the fringe in the cladding as the zero shift ($Y = 0$) position. A separate scan is made vertically across two adjacent fringes in the cladding to obtain the fringe separation L . At the conclusion of scanning the fringe, a set of fringe shift points Q_p and fringe separation L are determined for use in calculating n_p . Here p is the number of radial positions at which the fringe shift is measured.

8.2.4.2 Calculations

For the purpose of analysis, the refractive index profile of the fibre core is approximated by a series of concentric rings (figure 4). The top portion of figure 4 shows the fringe and the correlation of fringe shift points to unbent paths traversing the core. These fringes need not coincide with the deposition layers in the fibre, depending on how much spatial resolution is desired in $n(r)$. The refractive index within a ring is assumed to be constant in this approximation. The index of the ring p exceeds that of the cladding by:

$$\Delta n_p = \frac{1}{S_{p,j}} \left[\frac{\lambda Q_p}{L} \left(\sum_{j=1}^{p-1} D n_j S_{p,j} \right) \right] \quad (1)$$

where $S_{p,j}$ is the distance the p ray travels in the j ring:

$$S_{p,j} = 2 \left\{ \left[R_{j-1}^2 - R_p^2 \right]^{1/2} - \left[R_j^2 - R_p^2 \right]^{1/2} \right\} \quad (2)$$

Here R_j is the radius of ring j , Q_p is the fringe shift at p , and L is the spacing of adjacent fringes.

Once the calculated Δn_p is complete, these data are then plotted on the X - Y plotter. This is the index profile of the fibre. Additional calculations using curve fitting techniques are utilized to obtain parameters that best match the model refractive index equation:

$$\Delta n(r) = \Delta n_0 [1 - (r/a)^g] \quad (3)$$

Here Δn_0 is the refractive index difference at $r = 0$, a is the core radius, and g is the shape factor, approximately 2.

The fitting procedure determines the Δn_0 , g , and a values that result in the best fit to the actual profile. In the fitting procedure, only data between $0.15a$ and $0.95a$ are utilized to avoid unacceptable disturbances caused by the center index dip and the core/cladding boundary irregularities. A nominal value of a may be used to determine the limits of the curve fit.

L'écart au sens des moindres carrés de la courbe ajustée par rapport au profil réel est également calculé à partir de la procédure d'ajustement de la courbe. Une faible valeur d'écart correspond à un profil lisse. Il est admis de déterminer les valeurs du diamètre du coeur et de l'ouverture numérique à partir des valeurs des paramètres ajustés obtenus au cours de cette procédure d'essai. Les méthodes pour déterminer le diamètre du coeur de la fibre et l'ouverture numérique sont à l'étude.

8.2.5 Résultats

8.2.5.1 Les informations suivantes doivent être fournies:

- intitulé de l'essai;
- date de l'essai;
- identification de l'échantillon d'essai;
- données de l'essai;
- humidité relative et température ambiante.

8.2.5.2 Les informations suivantes doivent être disponibles:

- désignation de l'échantillon;
- numéro de la procédure;
- condition de l'essai;
- longueur d'onde centrale et largeur spectrale (pleine largeur mi-hauteur) de la lumière d'éclairage;
- interféromètre à une seule passe ou à double passe;
- critère d'échec ou d'acceptation.

Also calculated from the curve fitting routine is the r.m.s. deviation of the fitted curve from the actual profile. A low value of deviation corresponds to a smooth profile. Values for core diameter and numerical aperture may be determined from the values of the fitted parameters obtained in this test procedure. Methods to determine the fibre core diameter and numerical aperture are under consideration.

8.2.5 Results

8.2.5.1 The following information shall be reported:

- title of test;
- test date;
- test sample identification;
- test data;
- relative humidity and ambient temperature.

8.2.5.2 The following information shall be available:

- sample description;
- procedure number;
- test condition;
- center wavelength and spectral width (FWHM) of illuminating light;
- single pass or double pass interferometer;
- failure or acceptance criteria.

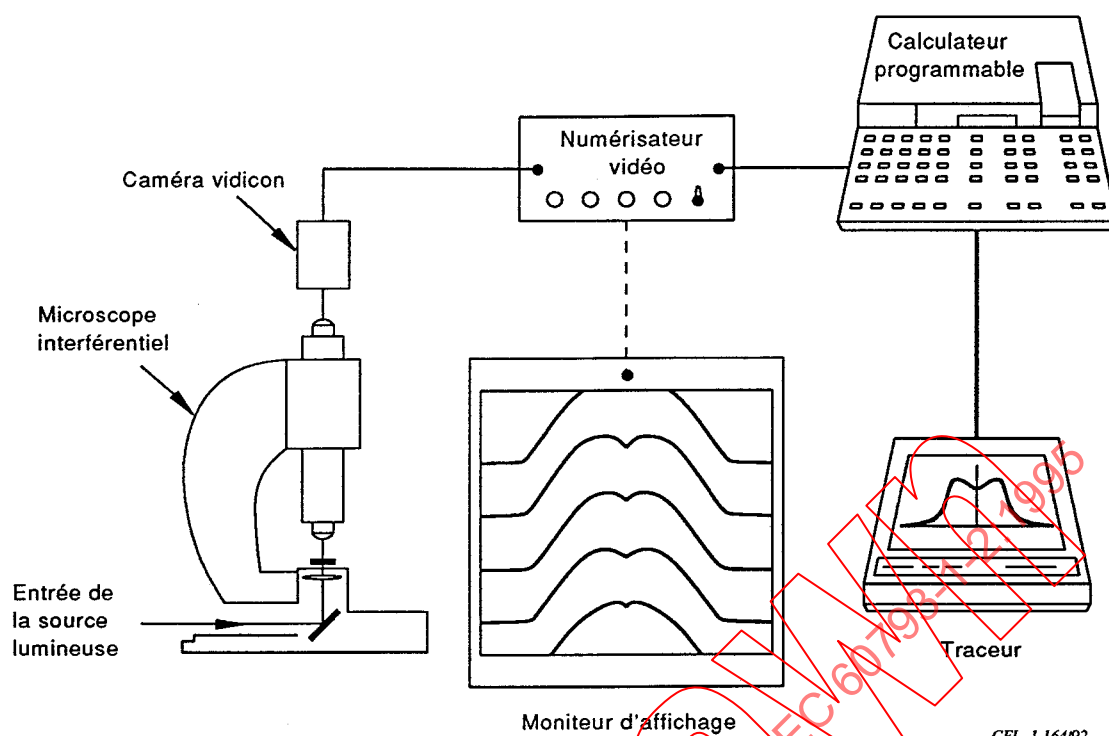


Figure 3 – Appareillage d'essai

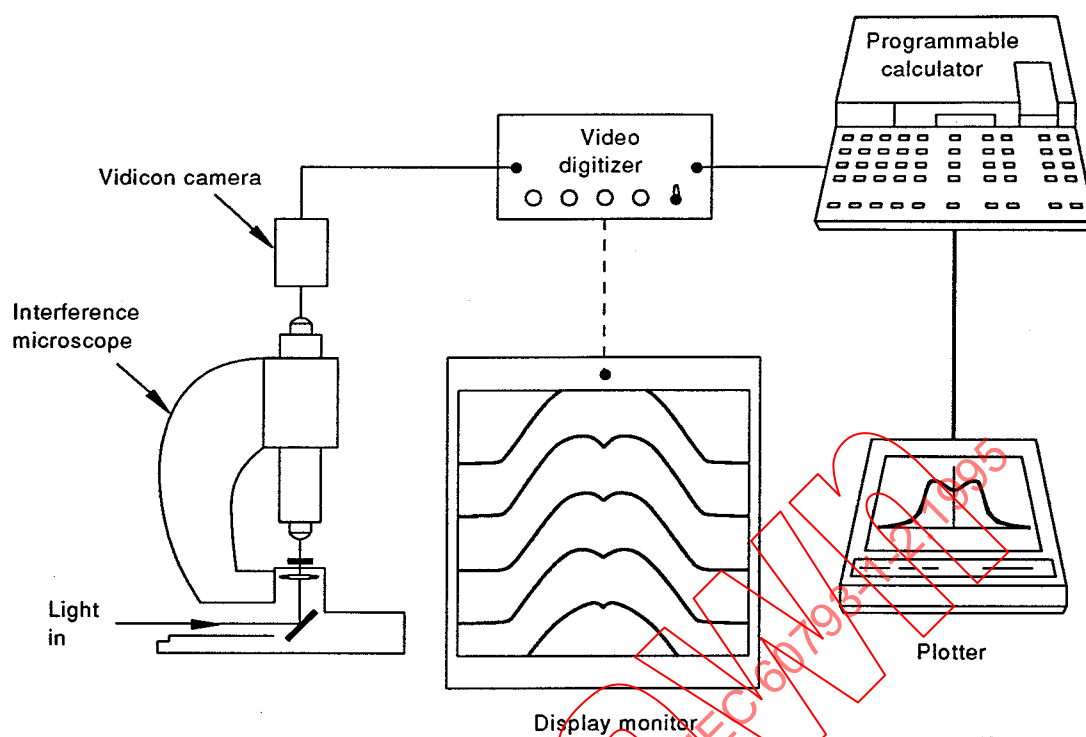
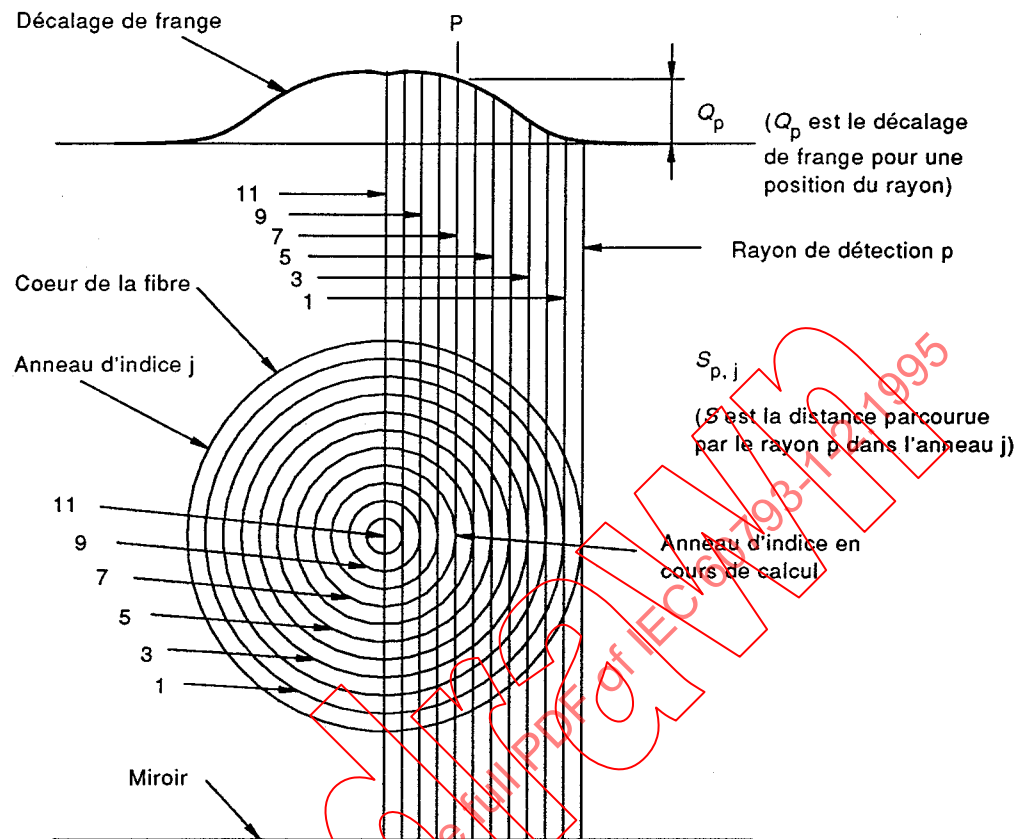
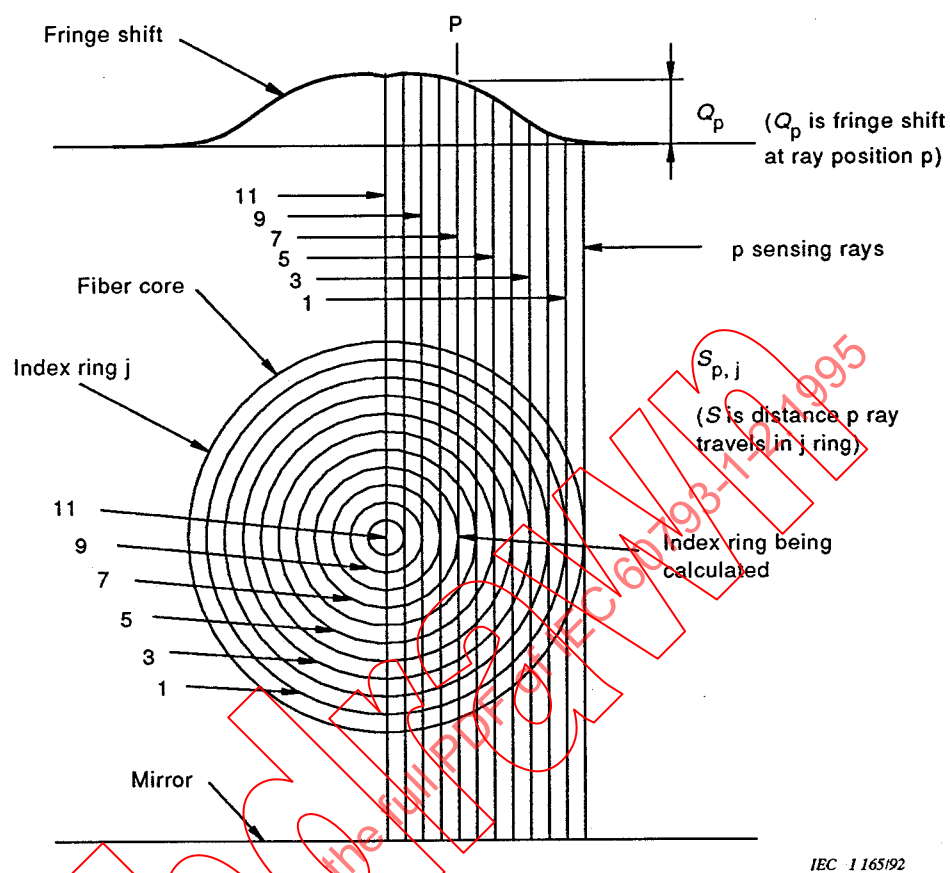


Figure 3 – Test apparatus



CEI 1165/92

Figure 4 – Profil d'indice de réfraction – Diagramme annulaire



IEC 1165/92

Figure 4 – Refractive index profile – Ring pattern

9 Méthode CEI 793-1-A2 – Géométrie de la section droite à l'extrémité d'une fibre optique déterminée à partir de la répartition de la lumière en champ proche

9.1 Objet

Cette méthode d'essai est destinée à déterminer les paramètres géométriques des fibres de catégories A et B par analyse de la répartition de la lumière en champ proche sur une section droite à l'extrémité de la fibre soumise à l'essai. Les deux techniques décrites sont la méthode des échelles de gris utilisant un balayage du champ proche bidimensionnel, sur les axes X et Y au moyen d'un système vidéo et la méthode du simple balayage en champ proche qui utilise un balayage unidimensionnel. Il convient que le fabricant et le client s'accordent sur la technique particulière à utiliser.

9.2 Paramètres géométriques

La méthode des échelles de gris peut être utilisée pour déterminer les paramètres géométriques suivants:

Paramètre	Catégorie de fibre
Diamètre du coeur	A1, A2, A3, A4
Non-circularité du coeur	A1, A2, A3
Erreur de concentricité coeur/gaine	A1, A2, A3, B
Diamètre de la gaine	A1, A2, A3, B
Non-circularité de la gaine	A1, A2, A3, B

Le simple balayage en champ proche peut être utilisé pour déterminer un diamètre de section droite du coeur des fibres de catégorie A1. Il est admis que ce diamètre de section droite soit différent du diamètre du coeur déterminé par la méthode des échelles de gris à cause des effets de la non-circularité du coeur. Une valeur de non-circularité du coeur peut être déterminée par balayage suivant plusieurs axes.

9.3 Appareillage

9.3.1 Sources lumineuses

Des sources de lumière incohérentes et appropriées doivent être utilisées pour l'éclairage du coeur et de la gaine; ces sources doivent avoir une intensité réglable et stable sur une période de temps suffisante pour effectuer la mesure.

9.3.2 Longueur d'onde de la source lumineuse

Pour l'éclairage du coeur et de la gaine, longueur d'onde centrale et largeur spectrale doivent être indiquées.

NOTE – Rien ne montre que le diamètre du coeur des fibres de catégorie A dépende de la longueur d'onde de la source. On peut même utiliser un éclairage en lumière blanche.

Pour l'éclairage de la gaine, la largeur spectrale doit être inférieure ou égale à 100 nm; la longueur d'onde centrale peut être de 620 nm, 850 nm, ou une autre valeur spécifiée.

9 Method IEC 793-1-A2 – End face geometry of optical fibre determined from the near-field light distribution

9.1 Object

This test method determines the geometry parameters of category A and category B fibres by analyzing the near-field light distribution on a cross-section at the end of the fibre under test. The two techniques described are grey-scale method, performing a two dimensional X-Y near-field scan using a video system and the single near-field scan method, performing a one-dimensional scan. The particular technique should be agreed upon by the manufacturer and the customer.

9.2 Geometry parameters

The grey-scale method can be used to determine the following geometrical parameters:

<i>Parameter</i>	<i>Fibre category</i>
Core diameter	A1, A2, A3, A4
Core non-circularity	A1, A2, A3
Core/cladding concentricity error	A1, A2, A3, B
Cladding diameter	A1, A2, A3, B
Cladding non-circularity	A1, A2, A3, B

The single near-field scan method can be used to determine a cross-sectional diameter of the core of category A1 fibres. This cross-sectional diameter may deviate from the core diameter determined by the grey-scale method due to effects of core non-circularity. A core non-circularity value can be determined by scanning in multiple axes.

9.3 Apparatus

9.3.1 Light sources

Suitable incoherent light sources shall be used 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.

9.3.2 Light source wavelength

For the core and cladding illumination the centre wavelength and the spectral width shall be stated.

NOTE – The core diameter of category A fibres has not been found to be dependent on the wavelength of the source. Even white light illumination can be used.

For the cladding illumination the spectral width shall be less than or equal to 100 nm; the centre wavelength may be 620 nm, 850 nm or as otherwise specified.

9.3.3 Conditions d'injection

L'optique d'injection doit être déterminée de façon que la source lumineuse sature angulairement et spatialement l'échantillon en essai de façon homogène. De même, à l'extrémité de sortie, la gaine doit être éclairée uniformément.

9.3.4 Support de fibre et appareillage de positionnement

Un dispositif suffisamment stable permettant de supporter les extrémités d'entrée et de sortie de l'échantillon en essai, tel qu'un mandrin à succion, doit être prévu. Ce support doit être monté sur un dispositif de positionnement de façon que l'extrémité de la fibre puisse être repositionnée avec précision dans le faisceau d'entrée et dans le chemin de sortie.

9.3.5 Extracteur de modes de gaine

Sauf spécification contraire, des dispositifs d'extraction de la lumière des modes de gaine de l'échantillon en essai doivent être utilisés à distance raisonnablement proche des extrémités d'entrée et de sortie de la fibre. Lorsque la fibre soumise à l'essai a un revêtement primaire dont l'indice de réfraction est supérieur à celui du verre, le revêtement agit comme extracteur de modes de gaine.

9.3.6 Système optique de grandissement

Il est nécessaire d'utiliser un système optique permettant d'agrandir l'image de sortie en champ proche de l'échantillon en essai de façon que l'image agrandie puisse être correctement balayée. L'ouverture numérique et, par conséquent, le pouvoir de résolution de cet objectif doivent être compatibles avec la précision de mesure et l'ouverture numérique ne doit pas être inférieure à 0,3.

Dans le cas de la méthode des échelles de gris, il convient de choisir le grandissement de façon que le dispositif à couplage de charge (DCC) de la caméra vidéo soit presque saturé par l'image de la gaine.

Le système optique doit être étalonné conjointement au système de balayage de façon à connaître les dimensions dans le plan de l'extrémité de sortie de la fibre optique. (Il n'est pas nécessaire de connaître avec précision le grandissement du système optique.)

9.3.7 Détection

Pour la méthode des échelles de gris, une caméra vidéo doit être utilisée pour détecter la sortie grossie de l'image en champ proche et la transmettre sur un moniteur vidéo. Le numériseur vidéo effectue la numérisation de l'image pour l'analyse ultérieure par ordinateur. Ce système vidéo doit être suffisamment linéaire pour qu'après l'étalonnage, l'incertitude ne soit pas supérieure à ce qui est requis.

Pour la méthode de simple balayage en champ proche, il faut utiliser un dispositif permettant le balayage de l'image focalisée du diagramme de rayonnement en champ proche et qui permette de connaître la distance balayée. On peut par exemple utiliser un détecteur unique (tel qu'un détecteur diaphragmé) placé sur un support mobile entraîné par un moteur pas à pas, avec un dispositif de contre-réaction en position, ou une barrette de détecteurs vidéo dont la taille et l'espacement des éléments sont connus. Le détecteur doit être linéaire sur la gamme d'intensités rencontrées.

9.3.3 *Launching conditions*

The launch optics shall be arranged such that the light source uniformly overfills the test sample angularly and spatially. At the output end the cladding has to be illuminated uniformly as well.

9.3.4 *Fibre support and positioning apparatus*

A sufficiently stable means of supporting the test sample input and output ends, such as a vacuum chuck, shall be provided. This support shall be mounted on a positioning device so the fibre end can be accurately positioned in the input beam and output path.

9.3.5 *Cladding mode stripper*

Unless otherwise specified, devices which strip cladding mode light from the test sample shall be used reasonably near the fibre input and output ends. When the fibre under test has a primary coating with a refractive index higher than that of the glass, this coating is acting as the cladding mode stripper.

9.3.6 *Magnifying optics*

Suitable optics shall be provided which magnify the output near-field image of the test sample such that this magnified image can be suitably scanned. The numerical aperture and hence the resolving power of this lens shall be compatible with the measuring accuracy, and not lower than 0,3.

In the case of the grey-scale method, the magnification should be selected so that the charged-coupled device (CCD) array of the video camera is nearly filled by the cladding image.

The optical system shall be calibrated in conjunction with the scanning system such that the dimensions in the plane of the fibre output endface are known. (It is not necessary to know the optical system magnification exactly.)

9.3.7 *Detection*

For the grey-scale method a CCD video camera shall be used to detect the magnified output near-field image and transmit it to a video monitor. The video digitizer performs the digitization of the image for further computer analysis. This video system shall be sufficiently linear such that, after calibration, the measurement uncertainty is not greater than required.

For the single near-field scan method a means shall be provided to scan the focused image of the fibre near-field pattern which provides knowledge of the distance scanned. An example is a single detector (such as a pin-hole) placed on a stepper-motor driven translator with position feedback device, or a video array detector of known element size and spacing. The detector shall be linear over the range of intensities encountered.

La taille du pixel de la caméra ou la taille du détecteur (ou de son diaphragme) doit être suffisamment faible comparée à l'image agrandie du champ proche de façon à être deux fois inférieure aux limites de diffraction du système. Ce qui signifie que:

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

où

d est la taille du pixel de la caméra ou la taille du détecteur (diaphragme) (en μm);

M est le grandissement approximatif du système optique;

λ est la longueur d'onde d'essai (la plus faible);

NA est l'ouverture numérique de la fibre optique pour la mesure du diamètre du coeur des fibres de catégorie A. NA de l'objectif dans le cas de la mesure du diamètre de gaine.

9.3.8 Moniteur d'image vidéo (méthode des échelles de gris)

Un moniteur d'image vidéo doit être utilisé 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 en essai. Il est admis d'utiliser un alignement et/ou une mise au point commandé par ordinateur.

9.3.9 Système informatique

Pour la méthode des échelles de gris, les mesures, les acquisitions de données et les calculs sont effectués au moyen d'un ordinateur. Une imprimante fournit une sortie papier des informations et des résultats de mesures.

Pour la méthode de simple balayage en champ proche, des moyens appropriés doivent être prévus pour enregistrer l'intensité du champ proche en fonction de la position de balayage. Ce dispositif pourrait être un enregistreur X-Y, un processeur numérique ou tout autre dispositif approprié.

9.4 Echantillon en essai

L'échantillon doit être préparé de façon 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. Il convient de contrôler l'état de la face d'extrémité afin que les éventuels dommages aient un impact minimum sur l'exactitude de la mesure. La longueur de la fibre doit être de $2 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ pour les catégories A1, A2, A3, A4. Il n'y a pas de restriction quant à la longueur de la fibre de catégorie B. Il convient d'éviter des courbures importantes de la fibre.

9.5 Procédure

9.5.1 Etalonnage de l'équipement

A l'étude.

The pixel-size of the camera or the size of the detector (or pin-hole) 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:

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

where

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

M is the approximate magnification of the optical system;

λ is the (lowest) test wavelength;

NA is the NA of the test fibre for core diameter measurements of category A fibres. NA of the objective in case of cladding diameter measurements.

9.3.8 Video image monitor (grey-scale method)

A video image monitor shall be used to display the detected image. The screen on the monitor typically shows a pattern, such as cross-hairs, to assist the operator in centering the image of the test sample. Computer-controlled alignment and/or focusing may be used.

9.3.9 Data system

For the grey-scale method, the measurements, the data acquisitions and the calculations are performed using a computer. A printer provides a hard copy of the information and measurement results.

For the single near-field scan method, appropriate means shall be provided to record the near-field intensity as a function of scan position. This could be an X-Y chart recorder, a digital processor, or other suitable device.

9.4 Test sample

The test sample shall be prepared to have fibre ends which 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. End damage should be controlled for minimum impact on the measurement accuracy and/or precision. The length shall be $2 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ for fibre categories A1, A2, A3, A4. There is no length restriction for category B fibre. Care should be taken to avoid sharp bends on the fibres.

9.5 Procedure

9.5.1 Equipment calibration

Under consideration.

9.5.2 *Mesure*

9.5.2.1 *Mesure par la méthode des échelles de gris*

Au moyen du support de fibres, l'échantillon en essai préparé doit être aligné à l'extrémité d'entrée pour réaliser les conditions d'injection prescrites. L'image du champ proche de l'extrémité de sortie doit être mise au point et centrée sur l'écran du moniteur. L'intensité d'éclairement du coeur à l'extrémité d'entrée et l'intensité de l'éclairement de la gaine à l'extrémité de sortie doivent être réglées conformément à une norme interne établie pour l'équipement d'essai particulier.

Les données vidéo numérisées de l'image de la face d'extrémité de sortie doivent être enregistrées. Il est admis de calculer la moyenne de plusieurs séries de données.

9.5.2.2 *Mesure par la technique de simple balayage en champ proche*

L'échantillon doit être préparé, fixé et aligné comme indiqué ci-dessus. L'extrémité de sortie doit être positionnée de manière à permettre le balayage de l'image agrandie. L'image du champ proche doit être balayée et l'intensité, en fonction de la position dans le plan de l'extrémité de sortie de la fibre, doit être enregistrée.

9.5.3 *Niveaux de décision*

Les niveaux de décision des différentes limites du coeur et de la gaine dans l'image du champ proche sont les suivants:

Limite du coeur

Pour les fibres de catégorie A, ce niveau est conforme à la définition donnée en 7.1.

Pour les fibres de catégorie B, il est admis que ce niveau soit à 50 % de l'intensité maximale du coeur.

Limite de la gaine

Différentes méthodes de détermination de la limite de la gaine peuvent être utilisées: la méthode du niveau de décision en est un exemple. Il est essentiel d'utiliser le même niveau de décision pour la limite de la gaine que celui utilisé dans la procédure d'étalonnage.

NOTE – D'autres méthodes de détection de la limite de la gaine sont actuellement à l'étude et peuvent fournir une performance équivalente ou supérieure. La méthode de détermination de la limite de la gaine doit être indiquée.

9.5.4 *Calculs*

9.5.4.1 *Calculs pour la méthode des échelles de gris*

Les données brutes de la limite du coeur et de la gaine ainsi que le coeur sont ajustées à des courbes monotones, mathématiquement fermées afin de déterminer les estimations des contours réels. Ces courbes monotones mathématiquement fermées sont ensuite ajustées à des cercles afin de déterminer les caractéristiques géométriques, y compris l'écart par rapport à la forme circulaire idéale de chacun des contours. Ces valeurs ainsi que les représentations mathématiques des contours sont utilisées pour déterminer les paramètres en 9.2 de la manière suivante:

9.5.2 *Measurement*

9.5.2.1 *Measurement by the grey-scale method*

Using fibre holders, the prepared test sample shall be aligned at the input end to achieve the launch condition specified. The near-field image of the output end shall be focused and centered in the monitor. The intensity of the core illumination at the input end and the intensity of the cladding illumination at the output end shall be adjusted according to an established, internal standard for the particular test equipment.

The digitized video data from the image of the output end face shall be recorded. Several data sets may be averaged.

9.5.2.2 *Measurement by the single near-field scan technique*

The sample shall be prepared, secured and aligned as indicated above. The output end shall be adjusted to permit the magnified image to be scanned. The near-field image shall be scanned and the intensity as a function of position in the plane of the fibre output end shall be recorded.

9.5.3 *Decision levels*

The decision levels of the different boundaries of core and cladding in the near-field image are the following:

Core boundary

For category A fibres this level is according to the definition of 7.1.

For category B fibres this level may be at 50 % of the maximum core intensity.

Cladding boundary

Different methods for determining the cladding boundary can be used; one example is the decision level method. It is essential to use the same decision level for the cladding boundary as the one used in the calibration procedure.

NOTE – Other cladding boundary detection methods than the above are under consideration and may provide equivalent or superior performance. The method of determining the cladding boundary should be stated.

9.5.4 *Calculations*

9.5.4.1 *Calculations for the grey-scale method*

The raw data of the core and cladding boundary and the core are fitted to smooth, mathematically closed forms to determine best estimates of the actual edges. These smooth mathematically closed forms are then fitted to an ellipse in order to determine the geometrical characteristics including the first order deviations from the ideal circular shape of each respective edge boundary. These values and the mathematical edge representations are used to determine the parameters of 9.2 as follows:

R_{co} (μm):	rayon du coeur ajusté,
X_{co}, Y_{co} (μm):	centre du coeur ajusté,
$R_{min\ co}$ (μm):	distance minimale du bord du coeur au centre,
$R_{max\ co}$ (μm):	distance maximale du bord du coeur au centre,
Diamètre du coeur (μm):	$2 R_{co}$
Non-circularité du coeur (%):	$100 (R_{max\ co} - R_{min\ co}) / R_{co}$
R_{cl} (μm):	rayon de la gaine ajusté,
X_{cl}, Y_{cl} (μm):	centre de la gaine ajusté,
$R_{min\ cl}$ (μm):	distance minimale du bord de la gaine au centre,
$R_{max\ cl}$ (μm):	distance maximale du bord de la gaine au centre,
Diamètre de la gaine (μm):	$2 R_{cl}$
Non-circularité de la gaine (%):	$100 (R_{max\ cl} - R_{min\ cl}) / R_{cl}$
Erreur de concentricité coeur/gaine (μm):	$((X_{cl} - X_{co})^2 + (Y_{cl} - Y_{co})^2)^{1/2}$

NOTE – Pour les fibres de catégorie B, il est supposé que l'erreur de concentricité du champ de mode et l'erreur de concentricité du coeur déterminées par la méthode de la répartition de la lumière en champ proche, au moyen de longueurs d'onde bien inférieures à 1310 nm (en utilisant une lumière blanche) sont équivalentes.

Les courbes lissées et mathématiquement fermées, utilisées pour représenter les contours sont choisies afin de permettre une variation de courbure qui soit supérieure ou égale à celle d'une ellipse. Pour des formes non elliptiques, les données peuvent être converties en coordonnées polaires par rapport à un centre estimé approximativement avant le calcul d'ajustement du rayon en fonction de la position angulaire. Les formes suivantes sont des exemples de fonctions d'ajustement qu'il est admis d'utiliser selon la disponibilité des équipements.

Méthode de l'ellipse: Les paires x, y sont ajustées à une ellipse par la méthode de la «somme des moindres carrés». Il est admis d'utiliser un calcul itératif avec filtrage actif. Un cercle est alors ajusté aux données (filtrées) au moyen de la méthode des moindres carrés et les paramètres sont déterminés à partir de ce cercle.

Transformée de Fourier: La transformée est filtrée en mettant à zéro les coefficients au-dessus d'une certaine période, la période de troncature. La période de troncature maximale est de 180°, ce qui correspond à une ellipse. Typiquement, la période de troncature est de 90°. (Pour 64 points de données, ceci correspond au quatrième terme de Fourier après le terme constant.)

Fonction spline fermée du 3^e degré: En coordonnées polaires, l'abscisse est divisée en un certain nombre d'intervalles égaux. Chaque intervalle est représenté par une équation cubique distincte. Les équations sont contraintes à être égales en valeur, en dérivée première et dérivée seconde, aux limites de l'intervalle, y compris la limite 0°, 360°. Le nombre d'intervalles doit être d'au moins cinq, correspondant à une ellipse. On utilise jusqu'à douze intervalles.

R_{co} (μm):	fitted core radius,
X_{co}, Y_{co} (μm):	fitted core centre,
$R_{min\ co}$ (μm):	minimum distance of core edge to centre,
$R_{max\ co}$ (μm):	maximum distance of core edge to centre,
Core diameter (μm):	$2 R_{co}$
Core non-circularity (%):	$100 (R_{max\ co} - R_{min\ co}) / R_{co}$
R_{cl} (μm):	fitted cladding radius,
X_{cl}, Y_{cl} (μm):	fitted cladding centre,
$R_{min\ cl}$ (μm):	minimum distance of cladding edge to centre,
$R_{max\ cl}$ (μm):	maximum distance of cladding edge to centre,
Cladding diameter (μm):	$2 R_{cl}$
Cladding non-circularity (%):	$100 (R_{max\ cl} - R_{min\ cl}) / R_{cl}$
Core/cladding concentricity error (μm):	$((X_{cl} - X_{co})^2 + (Y_{cl} - Y_{co})^2)^{1/2}$

NOTE – For category B fibres it is assumed that the mode field concentricity error and the concentricity error of the core represented by the near-field light distribution method using wavelengths much less than 1 310 nm (using white light) are equivalent.

The smooth, mathematically closed forms used to represent the edges are required in order to allow a variation of curvature that is greater than or equal to that found in an ellipse. For non-elliptical forms, the data can be converted to polar coordinates about a roughly estimated centre before fitting radius vs. angular position. The following forms are examples of fitting functions that may be used depending upon equipment availability:

- Ellipse method:** The x, y pairs are fit to the ellipse by using the "least sum of squares (LSS) method". An iterative process of active filtering may be used. A circle is then fitted to the (filtered) data using the LSS method and the parameters are determined from the circle fit.
- Fourier transform:** The transform is filtered by setting the coefficients above some period, the truncation period, to zero. The maximum truncation period is 180° , corresponding to an ellipse. Typically, the truncation period is 90° . (For 64 data points, this corresponds to the fourth Fourier term above the zero frequency reference.)
- Circular cubic spline:** In polar coordinates, the abscissa is divided into a number of equal intervals. Each interval is represented with a distinct cubic equation. The equations are constrained to be equal in value, first derivative and second derivative at the interval boundaries, including the $0^\circ, 360^\circ$ boundary. The number of intervals shall be at least five, corresponding to an ellipse. As many as twelve intervals are used.

Il est admis d'effectuer un filtrage actif ou une élimination des points de données brutes qui correspondent aux défauts de coupe, de ceux qui sont ajustés à la forme mathématique. Le choix de la courbe, l'équipement d'essai, la méthode de coupe ainsi que l'algorithme de filtrage sont interactifs et contribuent à la qualité des résultats de mesure de la gaine.

9.5.4.2 *Calculs pour la technique du simple balayage en champ proche*

Le diagramme de rayonnement en champ proche doit être normalisé par rapport à l'intensité maximale détectée et tracé en fonction de la position réelle de balayage dans le plan de l'extrémité de sortie de la fibre. Deux possibilités sont disponibles pour le calcul du diamètre du coeur.

NOTE – Il est admis que le diamètre de la section droite présente un écart par rapport au diamètre du coeur déterminé par la méthode des échelles de gris, du fait de la non-circularité du coeur.

Option 1 - Sans ajustement de la courbe

Détermination du diamètre dans la section droite directement à partir du diagramme mesuré avec un niveau k tel que défini en 7.1 (figure 5)

Option 2 - Ajustement de la courbe

Ajustement par la méthode des moindres carrés de la portion du diagramme de rayonnement normalisé, $I(r)/I(0)$, entre les points 10 % et 80 % pour cents selon une loi en puissance de la forme suivante:

$$I(r)/I(0) = 1 - (r/a)^g \quad (2)$$

où a est le rayon du coeur et g est l'exposant de la loi en puissance. Les variables d'ajustement étant a , $I(0)$ et g . Il convient de choisir l'algorithme d'ajustement de la courbe de façon que les résultats ne dépendent pas de manière significative des détails de l'algorithme.

Le diamètre dans la section droite est obtenu à partir de la courbe ajustée à une loi en puissance pour $I(a) = 0$, ce qui signifie que le diamètre est égal à $2a$, où a est le rayon (figure 6).

NOTE – Des études ont montré que les options 1 et 2 donnent approximativement la même valeur de diamètre du coeur dans la section droite (figure 7).

9.6 Résultats

9.6.1 Les données suivantes doivent être notées:

- date de l'essai;
- titre de l'essai (échelles de gris ou simple balayage en champ proche);
- identification de la fibre;
- paramètres mesurés.

9.6.2 Les données suivantes doivent être disponibles sur demande:

- montage d'essai;
- conditions d'injection;
- caractéristiques spectrales de la(des) source(s);

Active filtering, or removal of raw data points that represent cleave damage from those that are fitted to the mathematical form, is allowed. The choice of the curve, the test equipment, the cleave method, and the filtration algorithm are interactive in their contribution to the quality of the cladding measurement results.

9.5.4.2 Calculations for the single near-field scan technique

The output near-field pattern shall be normalized to the peak detected intensity and plotted as a function of the effective scan position in the plane of the fibre output end. Two options are available to calculate the core diameter.

NOTE – The cross sectional diameter may deviate from the core diameter determined by the grey-scale method due to core non-circularity.

Option 1 – No curve fit

Determine the cross sectional diameter directly from the measured pattern at the k level defined in 7.1 (figure 5).

Option 2 – Curve fit

Least squares fit the portion of the normalized radiation pattern, $I(r)/I(0)$, between the 10 and 80 percent points to the following power law expression:

$$I(r)/I(0) = 1 - (r/a)^g \quad (2)$$

where a is the core radius and g is the power law exponent. Variables in the fit include a , $I(0)$, and g . The curve fitting algorithm should be chosen so that the results do not significantly depend upon details of the algorithm.

The cross-sectional diameter is obtained from the fitted power law curve at $I(a) = 0$, i.e., the diameter is equal to $2a$, where a is the radius (figure 6).

NOTE – Studies have shown that options 1 and 2 give approximately the same value for cross-sectional core diameter (figure 7).

9.6 Results

9.6.1 The following data shall be reported:

- date of the test;
- title of the test (grey scale or single near-field scan);
- fibre identification;
- parameters measured.

9.6.2 The following data shall be available upon request:

- test set-up arrangement;
- launch conditions;
- spectral characteristics of the source(s);

- détails du dispositif optique de sortie;
- type de détecteur et dimension de l'ouverture (seulement pour la méthode de simple balayage en champ proche);
- indication de l'exactitude et de la répétabilité;
- procédure d'étalonnage;
- méthode de détection de la limite de la gaine (seulement pour la méthode des échelles de gris);
- correction de l'erreur systématique le cas échéant (seulement pour la méthode des échelles de gris);
- détails relatifs à la méthode de simple balayage en champ proche et résolution estimée (uniquement pour la méthode de simple balayage en champ proche).

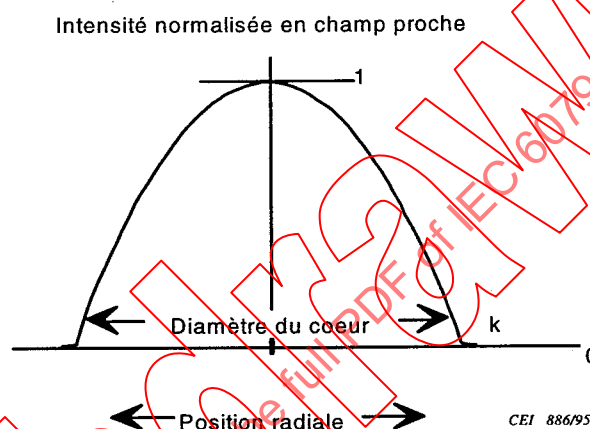
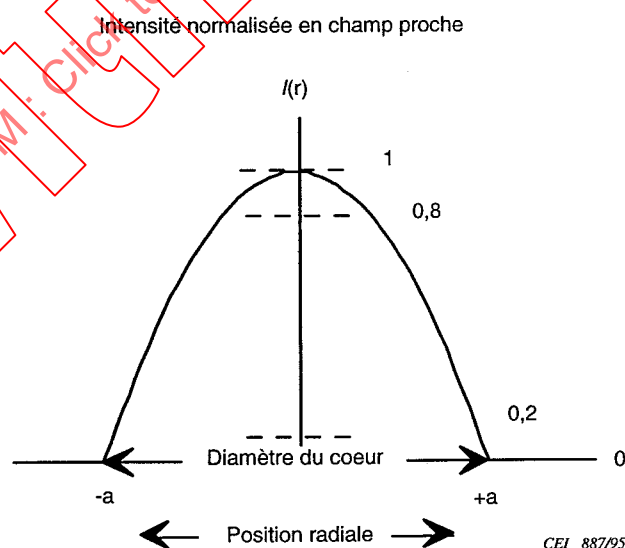


Figure 5 – Diamètre du cœur dans une section droite déterminé par balayage d'intensité en champ proche, option 1



NOTE – La courbe en pointillé est le profil théorique de la loi en puissance pour le diagramme de rayonnement en champ proche ajusté aux données expérimentales dans les zones indiquées par les traits pleins.

Figure 6 – Diamètre du cœur dans une section droite déterminé par balayage d'intensité en champ proche, option 2

- details of output optics;
- detector type and aperture size (single near-field scan method only);
- indication of accuracy and repeatability;
- calibration procedure;
- cladding boundary detection method (grey-scale method only);
- offset correction if applicable (grey-scale method only);
- details of single near-field scan method and estimated resolution (single near-field scan method only).

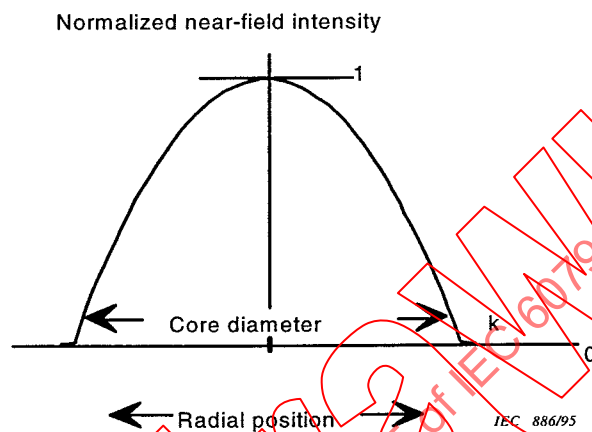
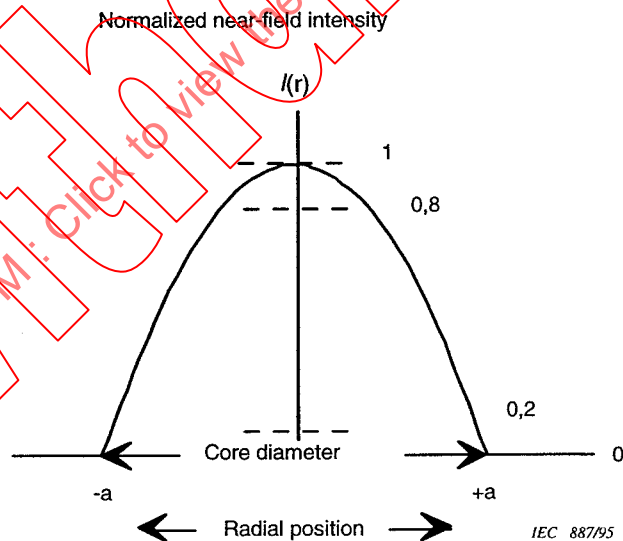
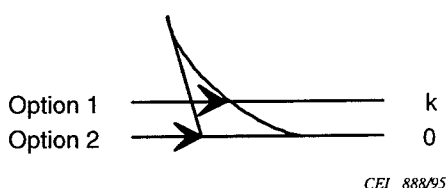


Figure 5 – Cross-sectional core diameter as determined by the near-field intensity scan – option 1



NOTE - The dotted curve is the theoretical power law profile for the near-field radiation pattern fitted to the experimental data in the regions indicated by the solid lines.

Figure 6 – Cross-sectional core diameter as determined by the near-field intensity scan – option 2



NOTE – La ligne courbe correspond aux valeurs expérimentales.

Equivalence des balayages d'intensité selon les options 1 et 2.

Figure 7 – Distribution de l'intensité en champ proche dans la région de la frontière coeur-gaine

10 Méthode CEI 793-1-A3 – Répartition de la lumière en vue latérale pour la mesure du revêtement primaire

10.1 Objet

Cet article décrit l'équipement et la technique d'analyse des données pour la détermination du diamètre, de la non-circularité et de la concentricité de la couche primaire par rapport à la partie en verre de la fibre. Cet essai est effectué à part pendant le contrôle. Il n'est pas adapté à des mesures directes, en cours de processus.

Afin d'évaluer certains paramètres du revêtement, il est nécessaire d'évaluer également le diamètre de la gaine par cette procédure; cependant, du fait de l'exactitude relativement médiocre de cette méthode, la valeur du diamètre de la gaine ainsi obtenue ne peut être considérée comme une alternative aux valeurs obtenues par les méthodes d'essai déjà établies pour la géométrie du verre.

10.2 Préparation de l'échantillon

L'échantillon doit être une courte longueur de la fibre à mesurer. Cette longueur doit être notée.

10.3 Appareillage

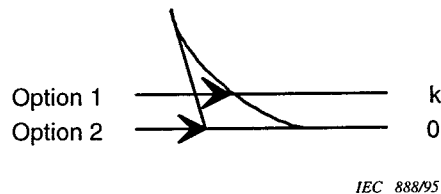
L'appareillage peut être constitué d'un microscope optique ou d'une jauge laser.

10.3.1 Microscope optique

Un objectif de microscope de grande qualité, avec éclairage en lumière transmise, doit être utilisé.

L'image peut être visualisée directement au moyen d'un oculaire à fil ou projetée sur une caméra munie d'un dispositif à couplage de charge (DCC) et affichée sur un moniteur. Le grossissement utilisé est en général de 100 fois à 200 fois pour la méthode visuelle et de 20 fois pour la méthode utilisant une caméra; dans ce dernier cas, l'image est formée directement sur le DCC. Les dimensions de l'image de la fibre sont déterminées au moyen de l'oculaire à fil pour la méthode visuelle et en positionnant un curseur électronique sur le moniteur ou encore par analyse informatique des données d'une image stockée pour la méthode utilisant la caméra.

Un schéma de l'équipement d'essai typique est illustré à la figure 8.



NOTE - The curved line is the experimental data; the equivalence of intensity scan options 1 and 2.

Figure 7 – Near-field intensity distribution in the region of the core-cladding boundary

10 Method IEC 793-1-A3 – Side view light distribution for primary coating

10.1 Object

This clause describes the equipment and the data analysis technique for the determination of diameter, non-circularity and concentricity of the primary coating with respect to the glass part of the fibre. This method is conducted off-line during inspection. It is not suitable for on-line, in-process measurements.

In order to evaluate some coating parameters, it is necessary to evaluate also the cladding diameter by this procedure. However, due to the relatively poor accuracy of the method, this value of cladding diameter can not be considered as an alternative to the values obtained by the already established test methods for glass geometry.

10.2 Sample preparation

The sample shall be a short length of the fibre to be measured. This length shall be noted.

10.3 Apparatus

The apparatus may consist of an optical microscope or a laser gauge.

10.3.1 Optical microscope

A high-quality microscope lens objective, with transmitted light illumination, shall be used.

The image may be viewed directly using a filar eyepiece or projected onto a charge-coupled device (CCD) camera and displayed on a monitor. A typical system magnification for the visual method is 100 times to 200 times and for the camera method is typically 20 times; in the latter case the image is formed directly onto the CCD. The dimensions of the fibre image are determined using the filar eyepiece in the visual method and by positioning an electronic cursor on the monitor, or by computer data analysis of a stored image in the camera method.

A schematic diagram of a typical test equipment is shown in figure 8.

10.3.1.1 *Dispositif de maintien de la fibre*

La fibre à mesurer doit être maintenue dans le plan focal du microscope, en s'assurant que l'axe de la fibre soit perpendiculaire à l'axe optique de l'objectif. L'échantillon est immergé dans un liquide approprié d'adaptation d'indice et contenu dans une cellule réalisée en matériau transparent; cette cellule doit être fixée (si nécessaire) sur une table tournante afin de positionner l'échantillon parallèlement au curseur. L'ensemble de la cellule ou la fibre contenue dans la cellule doit être maintenu par la pince de façon qu'il puisse tourner sur 180°, et pouvoir être fixé en un nombre suffisant de positions pour mesurer les dimensions du revêtement. Il convient que les tolérances mécaniques soient telles qu'un repositionnement et une remise au point minimales soient nécessaires lorsque la fibre est déplacée d'une position de rotation à une autre.

10.3.2 *Jauge laser*

L'appareillage doit comprendre une source laser fonctionnant à une longueur d'onde appropriée (par exemple 633 nm), un dispositif de balayage et un détecteur. Si nécessaire, il est admis d'utiliser un système d'objectifs pour collimater le faisceau sur l'échantillon.

Une représentation schématique de l'équipement d'essai est donnée à la figure 9.

10.3.2.1 *Dispositif de maintien de la fibre*

L'échantillon, maintenu par une pince tournante appropriée, doit pouvoir tourner sur 180° et doit être fixé en un nombre suffisant de positions tout en maintenant l'axe de la fibre perpendiculaire à l'axe optique de l'appareillage.

10.3.3 *Étalonnage*

L'appareil doit être étalonné en mesurant un objet de dimensions connues (échantillon d'étalonnage). Cependant, l'exactitude de cette méthode d'essai étant typiquement de 1 μm , les dimensions de l'échantillon d'étalonnage ne doivent être connues qu'avec une précision de 0,5 μm ou mieux.

10.4 *Procédure*

Les dimensions du revêtement primaire sous différents angles de rotation sont déterminées par analyse de l'image de la fibre; il est admis de mesurer les dimensions au moyen de la jauge laser en évaluant la fonction de déflexion du faisceau laser à travers la fibre.

Après acquisition des données, il est admis de suivre deux approches différentes:

10.4.1 *Analyse plane*

Les diamètres minimal et maximal doivent être mesurés en faisant tourner l'échantillon, au moyen d'une pince appropriée. Il est nécessaire de faire tourner la fibre pour déterminer la position angulaire pour laquelle la taille de l'image est maximale ou minimale. Le diamètre de la gaine et les épaisseurs des couches du revêtement primaire sont alors mesurés pour ces positions angulaires; la même procédure est appliquée après rotation de la fibre; les valeurs maximale et minimale (respectivement A et B) des diamètres mesurés à différentes positions angulaires sont alors calculées.

10.3.1.1 *Fibre holding arrangement*

The fibre to be measured shall be held in the focal plane of the microscope, with the fibre axis perpendicular to the optical axis of the objective. The sample is immersed into a suitable index matching fluid, and retained by means of a cell made with a transparent material; this cell shall be fixed (if necessary) on a rotating table, in order to position the sample parallel to the cursor. The cell assembly as a whole, or the fibre within the cell, shall be held by the fibre clamp in such a way that it may be rotated through 180°, and be capable of being fixed in a sufficient number of positions for the purpose of measuring coating dimensions. The mechanical tolerances should be such that minimal repositioning and refocusing is required when the fibre is moved from one rotational position to another.

10.3.2 *Laser gauge*

The apparatus shall consist of a laser source operating at a suitable wavelength (e.g. 633 nm), a scanning device and a detector. If necessary, a system of lenses may be used to collimate the beam onto the sample.

A schematic diagram of the measurement set-up is shown in figure 9.

10.3.2.1 *Fibre holding arrangement*

The sample, held by a suitable rotating fibre clamp, shall be capable of rotating through 180° and shall be fixed in a sufficient number of positions while maintaining the fibre axis perpendicular to the optical axis of the apparatus.

10.3.3 *Calibration*

The apparatus shall be calibrated by measuring an object of known dimensions (calibration sample). However, since the accuracy of this test method is typically 1 µm, the dimensions of the calibration sample need only to be known with an accuracy of 0.5 µm or better.

10.4 *Procedure*

The dimensions of the primary coating under different rotation angles are determined by the analysis of the image of the fibre. Using the laser gauge the dimensions may be measured by evaluating the deflection function of the laser beam across the fibre.

After the acquisition of the data, two different approaches may be followed:

10.4.1 *Plane analysis*

The minimum and maximum diameters shall be measured by rotating the sample, using a suitable fibre clamp. It is necessary to rotate the fibre to find the angular position where the size of the image is a maximum or a minimum. The cladding diameter and the thicknesses of the primary coating layers in such an angular position are then measured; the same procedure is followed after rotating the fibre; the maximum and minimum values (respectively A and B) of the diameters measured at the different angular positions are then computed.

10.4.2 Analyse avec ajustement à une ellipse

Une image grossie de la vue latérale de la fibre est analysée pour obtenir des données relatives au diamètre du revêtement extérieur. Si un nombre suffisant de points de mesure est disponible, des ellipses sont ajustées aux données du revêtement par la «méthode de la somme des moindres carrés» (SMC) afin de déterminer le grand axe (A) et le petit axe (B).

Il convient que l'analyse ne soit effectuée que si suffisamment de données sont disponibles pour obtenir la précision et la répétabilité requises.

10.4.3 Définitions

Les définitions peuvent être choisies parmi l'une de celles des clauses 10.4.3.1 ou 10.4.3.2 ci-après, selon le type d'approche utilisée pour l'analyse des données; l'approche choisie doit être définie dans la spécification particulière.

10.4.3.1 Définitions des paramètres géométriques du revêtement primaire pour analyse d'ajustement en ellipse:

Paramètres	Définition
Diamètre du revêtement (μm)	$\frac{A+B}{2}$
Non-circularité (%)	$\frac{A-B}{\text{Diamètre du revêtement}} \times 100$
Erreur de concentricité (μm)	$((X_{pc} - X_{gl})^2 + (Y_{pc} - Y_{gl})^2)^{1/2}$
où	
A et B	sont respectivement le grand axe et le petit axe de l'ellipse la mieux ajustée, mesurés en microns;
X_{pc} et Y_{pc}	sont les coordonnées du centre du revêtement intérieur / revêtement extérieur;
X_{gl} et Y_{gl}	sont les coordonnées du centre de la gaine.

10.4.3.2 Définitions des paramètres géométriques du revêtement primaire pour analyse plane

Paramètres	Définition
Diamètre du revêtement (μm)	$\frac{A+B}{2}$
Non-circularité (%)	$\frac{A-B}{\text{Diamètre du revêtement}} \times 100$
Rapport des épaisseurs (%)	$\frac{\text{Min}}{\text{Max}} \times 100$
où	
A et B	sont respectivement les diamètres maximal et minimal;
Min et Max	sont respectivement les épaisseurs minimale et maximale mesurées du revêtement primaire.

10.4.2 Ellipse fitting analysis

A magnified image of the side view of the fibre is analysed to obtain data on the outer coating diameter. Providing enough data points are available, ellipses are fitted to coating data using a "least sum of squares (LSS) method" to determine the major axis (A) and the minor axis (B).

Analysis should only proceed provided sufficient data to achieve the required accuracy and repeatability is available.

10.4.3 Definitions

The definitions can be chosen either from 10.4.3.1 or 10.4.3.2 hereafter, according to the type of approach for the data analysis; the chosen approach shall be defined in the detail specification.

10.4.3.1 Definitions for primary coating geometric parameters for elliptical fitting analysis:

Parameter	Definition
Coating diameter (μm)	$\frac{A + B}{2}$
Non-circularity (%)	$\frac{A - B}{\text{coating diameter}} \times 100$
Concentricity error (μm)	$((X_{pc} - X_{gl})^2 + (Y_{pc} - Y_{gl})^2)^{1/2}$

where

A and B respectively are the major and minor axis of the best-fit ellipse measured in microns;

X_{pc} and Y_{pc} are the outer coating/inner coating centre coordinates;

X_{gl} and Y_{gl} are the cladding centre coordinates.

10.4.3.2 Definitions for primary coating geometric parameters for plane analysis

Parameter	Definition
Coating diameter (μm)	$\frac{A + B}{2}$
Non-circularity (%)	$\frac{A - B}{\text{coating diameter}} \times 100$
Thickness ratio (%)	$\frac{\text{Min}}{\text{Max}} \times 100$

where

A and B respectively are the maximum and minimum diameters;

Min and Max respectively are the minimum and maximum measured thicknesses of the primary coating.

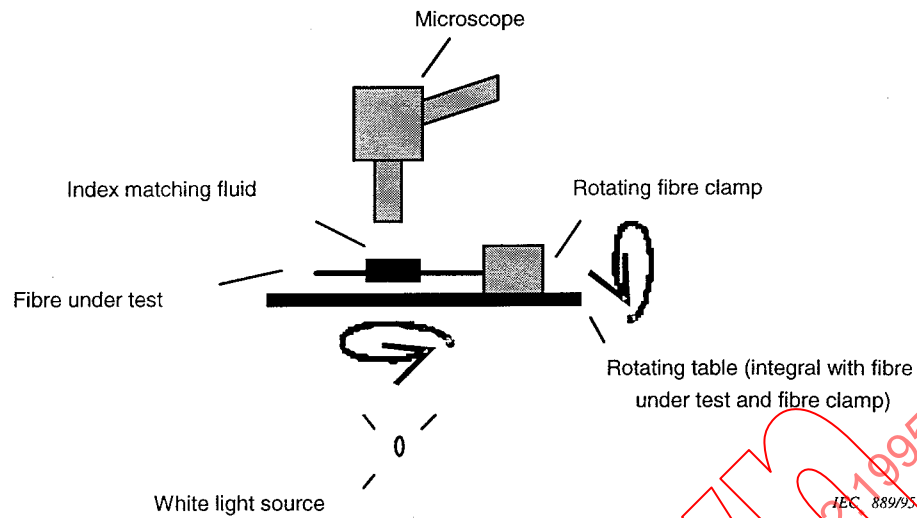


Figure 8 – Schematic diagram of a typical test equipment

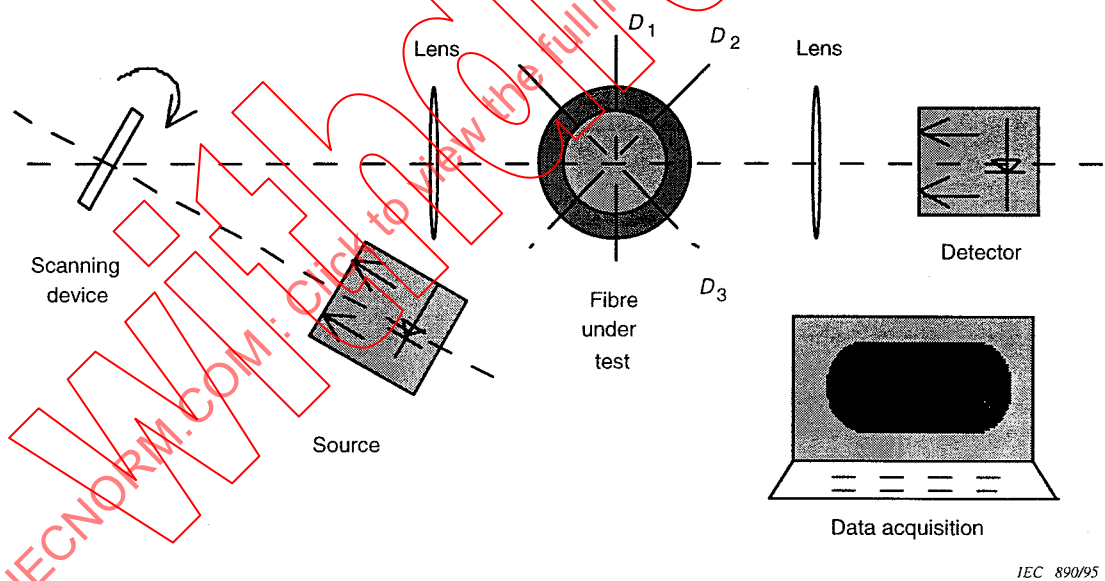


Figure 9 – Measurement set-up (side view)

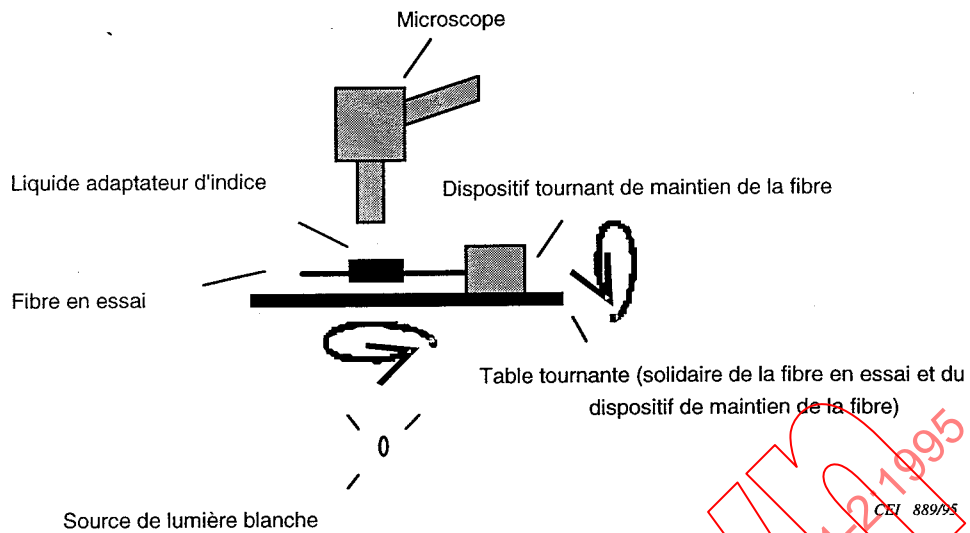


Figure 8 – Représentation schématique d'un appareillage d'essai typique

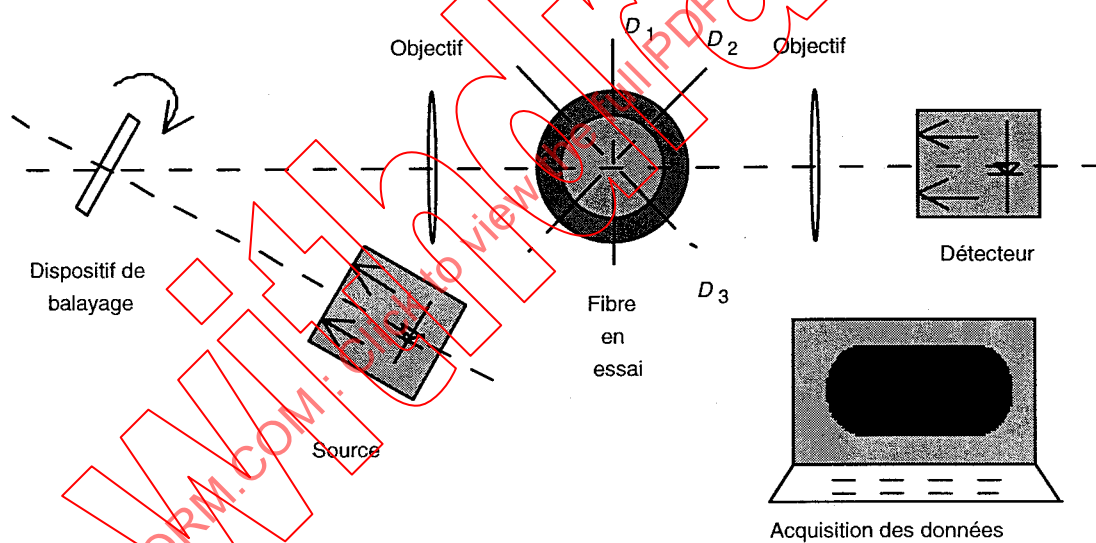


Figure 9 – Appareillage de mesure (vue en plan)

11 Méthode CEI 793-1-A4 – Mesure mécanique du diamètre

11.1 *Objet*

La méthode suivante s'applique à la mesure mécanique du diamètre de gaine d'une fibre optique de verre ou de silice. En pratique, pour des fibres lisses et sensiblement circulaires, elle donne un résultat semblable à celui obtenu par les méthodes A1 et A2, auquel cas la non-circularité de la fibre peut aussi être déterminée. Cette méthode peut aussi être utilisée pour la mesure du diamètre du revêtement de certains types de fibres revêtues ou de fibres A3 ou A4. Dans cette méthode, les deux côtés de l'objet sont mis en contact avec des surfaces planes parallèles et la distance des surfaces est mesurée avec précision.

11.2 *Domaine d'application*

Le diamètre d'une fibre et d'une fibre revêtue sont des valeurs fondamentales et doivent être connues pour les procédures suivantes: manipulation, épissurage, montage de connecteurs, câblage et mesures.

11.3 *Appareillage d'essai*

11.3.1 *Généralités*

La mesure utilise deux palpeurs ayant des faces très planes pour être mises en contact avec les deux côtés de la fibre. Les faces des palpeurs doivent être parallèles entre elles et la force de contact à l'appui des palpeurs sur la fibre doit être contrôlée avec précision de façon à éviter toute déformation physique de l'échantillon ou des palpeurs.

11.3.2 *Appareillage*

On se référera au schéma représentant l'appareillage d'essai (figure 10).

11.3.2.1 *Palpeurs*

Il y a deux palpeurs, l'un fixe et l'autre monté sur une plate-forme de précision. Les faces des palpeurs sont parallèles entre elles et perpendiculaires à la direction du mouvement de la plate-forme. Elles sont faites d'un matériau dur, résistant à la corrosion tel que l'acier inoxydable ou la silice fondue.

11.3.2.2 *Plate-forme de précision*

La plate-forme de précision supporte le palpeur mobile et le rétro réflecteur pour le système de micromètre électronique. La plate-forme est déplacée par une vis micrométrique et elle est maintenue au contact de la vis par des ressorts. L'action des ressorts tend à rapprocher les palpeurs.

11.3.2.3 *Système de micromètre électronique*

Un système de micromètre électronique tel qu'un interféromètre double de Michelson peut être utilisé avec un rétro réflecteur pour mesurer avec précision le mouvement de la plate-forme et par conséquent du palpeur mobile.

11 Method IEC 793-1-A4 – Mechanical diameter measurement

11.1 Object

The following method applies to the mechanical measurement of the cladding diameter of an optical glass or silica fibre. In practice, for smooth and substantially circular fibres, it gives a similar result to that obtained by methods A1 and A2, in which case non-circularity of fibre can also be determined. This method can also be used for the measurement of the coating diameter of some types of coated or buffered fibres or A3 or A4 fibres. In this method both sides of the object are contacted with flat parallel surface, and the separation of the surfaces is accurately measured.

11.2 Scope

The diameter of a fibre and coated fibre are fundamental values and shall be known for subsequent procedures such as handling, splicing, connectorization, cabling and measurements.

11.3 Test apparatus

11.3.1 General

The measurement uses two anvils with very flat faces to contact each side of the fibre. The faces of the anvils shall be parallel to each other and the contact force which the anvils apply to the fibre shall be precisely controlled to prevent physical distortion of the specimen or the anvils.

11.3.2 Apparatus

Refer to the schematic diagram of the test apparatus (figure 10).

11.3.2.1 Anvils

There are two anvils, one fixed and the other mounted on a precision stage. The anvil faces are parallel to each other and perpendicular to the stage movement direction. They are made of a hard non-corrosive material, for example stainless steel or fused silica.

11.3.2.2 Precision stage

The precision stage holds the movable anvil and the retroreflector for the electronic micrometer system. The stage is moved by a micrometer screw: the stage is held against the screw by springs. The springs act to pull the anvils together.

11.3.2.3 Electronic micrometer system

An electronic micrometer system, such as a double-pass Michelson interferometer, may be used with a retroreflector to measure accurately the movement of the stage and thus the movable anvil.

11.3.2.4 *Supports d'échantillon*

Ils maintiennent l'échantillon entre les faces des palpeurs.

11.3.3 *Procédure*

11.3.3.1 *Principe de la mesure*

Le diamètre de l'échantillon est mesuré en amenant les palpeurs au contact sur les deux côtés. La force de contact qui est contrôlée par le ressort de tension de la plate-forme et la surface de contact des palpeurs doit être ajustée de telle façon qu'il n'apparaisse qu'une déformation négligeable de l'échantillon ou des palpeurs. Les valeurs pour chaque type de matériau doivent être déterminées en accord entre le fabricant et le client.

A titre d'exemple, pour une fibre de silice fondue de 125 μm de diamètre, cette force sur les palpeurs est typiquement de 0,2 N avec une longueur de contact de 1 mm le long de la fibre.

La distance des palpeurs est mesurée avec précision par le micromètre électronique.

11.3.3.2 *Mesure*

Les faces des palpeurs sont nettoyées et la vis micrométrique réglée de façon à amener en contact les deux faces des palpeurs. On tourne un peu plus la vis micrométrique de façon que les palpeurs soient maintenus ensemble uniquement par le ressort de tension. La valeur de distance lue sur le micromètre électronique est enregistrée. Le micromètre est ensuite réglé de façon que la distance entre les faces des palpeurs soit supérieure au diamètre de l'échantillon. L'échantillon de fibre est placé sur son support entre les deux faces des palpeurs. La vis micrométrique est tournée lentement pour amener les faces des palpeurs en contact avec la fibre de façon que les palpeurs soient maintenus sur la fibre par le ressort de tension seul. La valeur de distance lue sur le micromètre électronique est enregistrée. La différence entre la première et la deuxième lecture est le diamètre de l'échantillon. La mesure devra être répétée plusieurs fois pour s'assurer de la répétabilité.

11.3.4 *Résultats*

Le diamètre moyen de l'échantillon et l'écart type obtenus à partir de plusieurs mesures seront donnés pour indiquer la répétabilité de la mesure.

La non-circularité de la fibre peut être déterminée par une série de mesures en faisant tourner la fibre entre chaque mesure.

11.3.2.4 *Specimen supports*

These support the specimen between the faces of the anvils.

11.3.3 *Procedure*

11.3.3.1 *Principle of measurement*

The diameter of the specimen is measured by contacting opposite sides with the anvils. The contact force, which is controlled by the stage spring tension and the anvil contact surface, is adjusted so that negligible distortion of the specimen or anvils occurs. Values for individual materials shall be agreed between manufacturer and customer.

For example, for a 125 μm diameter fused silica fibre this force is typically 0,2 N for anvils with a length of contact of 1 mm along the fibre.

The separation of the anvils is accurately measured with the electronic micrometer.

11.3.3.2 *Measurement*

The anvil faces are cleaned and the micrometer screw turned to bring the anvil faces into contact with each other. The micrometer screw is turned an extra amount so that the anvils are held together by the spring tension only. The electronic micrometer distance reading is recorded. The micrometer is next adjusted so that the gap between the anvil faces is larger than the specimen diameter. The specimen fibre is placed on the supports between the anvil faces. The micrometer screw is turned slowly to bring the anvil faces into contact with the fibre so that the anvils are held against the fibre by the spring tension only. The electronic micrometer distance reading is recorded. The difference between the first and second reading is the specimen diameter. The measurement should be repeated a few times to ensure repeatability.

11.3.4 *Results*

The specimen average diameter and standard deviation derived from a number of measurements should be given to indicate measurement repeatability.

Non-circularity of fibre can be determined by a series of measurements in which the fibre is rotated between each measurement.

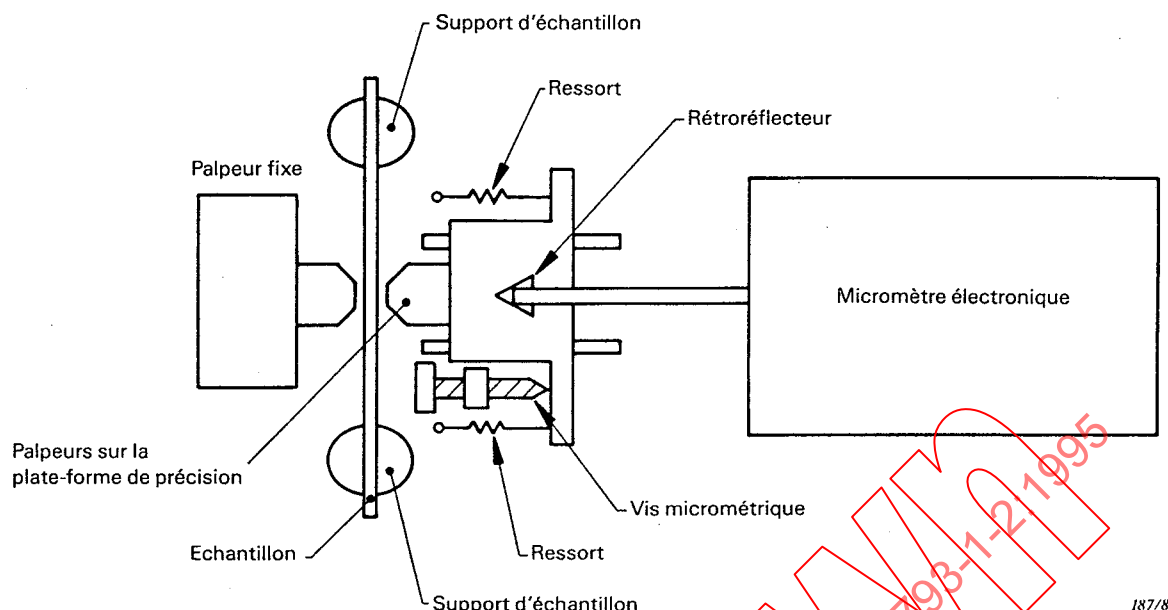


Figure 10 – Vue de dessus du système de micromètre électronique

12 Méthode CEI 793-1-A5 – Mesure mécanique de la longueur

A l'étude.

13 Méthode CEI 793-1-A6 – Mesure de la longueur par mesure du retard de l'impulsion transmise et/ou de l'impulsion réfléchie

13.1 Objet

La méthode suivante permet la mesure de la longueur de la fibre par la mesure du temps de propagation d'une impulsion optique ou d'un train d'impulsions en se fondant sur une valeur connue de l'indice de groupe de la fibre.

En variante, cette méthode peut convenir pour mesurer l'indice de groupe d'une fibre de longueur connue. En pratique, cette méthode de mesure de la longueur de la fibre est étalonnée par rapport à une longueur connue d'une fibre de même type.

La longueur d'une fibre optique constitue l'une des valeurs les plus fondamentales et doit être connue pour l'évaluation des caractéristiques de transmission telles que les pertes et la bande passante.

13.2 Principe

Une impulsion optique se propageant dans une fibre optique de longueur L et d'indice de groupe moyen N aura un temps de transmission de retard Δt :

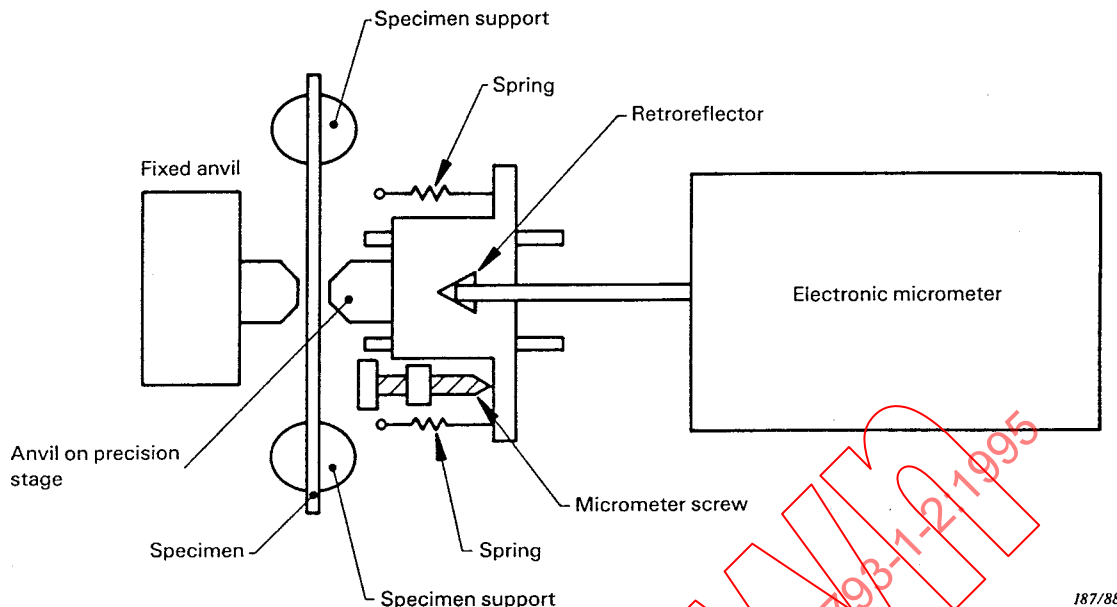


Figure 10 – Top view of electronic micrometer system

12 Method IEC 793-1-A5 - Mechanical length measurement

Under consideration.

13 Method IEC 793-1-A6 – Length measurement by delay measuring of transmitted pulse and/or reflected pulse

13.1 Object

The following method applies to measurements of the fibre length by the measurement of the propagation time of an optical pulse or a pulse train on the basis of a known value of the group index of the fibre.

Alternatively, this method is suitable to measure the group index of a fibre of known length. Therefore in practice this fibre length measurement method is calibrated against a known length of fibre of the same type.

The length of an optical fibre is one of the most fundamental values and shall be known for the evaluation of the transmission characteristics such as losses and bandwidths.

13.2 Principle

An optical pulse travelling through an optical fibre with length L and average group index N , experiences a travelling/delay time Δt :

$$\Delta t = \frac{NL}{c}$$

où

Δt est le temps de retard, et

c est la vitesse de la lumière dans le vide.

Si N est connu, la mesure de Δt donne L et, d'autre part, la mesure de Δt donne la valeur de N lorsque L est connu.

NOTE – Il convient que les tolérances sur l'indice de groupe provoquées par les tolérances sur l'ouverture numérique soient prises en compte.

13.3 Echantillon

L'échantillon peut être constitué par une fibre (éventuellement dans un câble). Il convient de vérifier la valeur de N dans les conditions applicables à l'échantillon soumis à l'essai (par exemple tension mécanique, température).

13.4 Appareillage

13.4.1 Généralités

Il existe deux méthodes pour mesurer le temps de propagation d'une impulsion optique, à savoir:

- a) mesure du temps de propagation d'une impulsion transmise (Δt mesuré);
- b) mesure du temps de propagation d'une impulsion réfléchie ($2 \Delta t$ mesuré).

Les deux montages différents, correspondant aux deux techniques utilisant un oscilloscope à échantillonnage, sont illustrés dans la figure 11.

A la place de l'oscilloscope à échantillonnage, un équipement de rétrodiffusion ou un compteur muni de portes démarrage/arrêt séparées, et avec possibilité de moyennage (par exemple au moins 10^4 coups) peuvent être utilisés.

13.4.2 Source optique

a) Mesure avec l'oscilloscope à échantillonnage

Un générateur d'impulsions optiques doit être de préférence une diode laser à grande puissance, excitée par un générateur à trains d'impulsions électriques, réglable en fréquence et en largeur. La longueur d'onde et la largeur spectrale doivent être enregistrées.

b) Mesure avec un compteur ou un appareil de rétrodiffusion

Un générateur d'impulsions optiques doit être de préférence une diode laser de grande puissance, excitée par un générateur à trains d'impulsions électriques réglable en largeur. Le temps entre deux impulsions doit être plus long que le temps de transmission de l'impulsion transmise (Δt , avec le compteur) ou rétrodiffusée ($2 \Delta t$, avec l'équipement de rétrodiffusion). La longueur d'onde et la largeur spectrale doivent être enregistrées.

$$\Delta t = \frac{NL}{c}$$

where

Δt is the time delay, and

c is the velocity of light in vacuum.

If N is known, the measurement of Δt gives L and on the other hand, the measurement of Δt gives the value of N when L is known.

NOTE – Tolerances on the group index caused by tolerances on numerical aperture should be taken into account.

13.3 Sample

The sample can be a fibre (possibly in a cable). The value of N should be ascertained under conditions applicable to the sample under test (for example tension, temperature).

13.4 Apparatus

13.4.1 General

There are two methods for measuring the propagation time of an optical pulse as follows:

- a) time measurement of the transmitted pulse (Δt measured);
- b) time measurement of the reflected pulse ($2 \Delta t$ measured).

Two different arrangements corresponding to the two techniques applying a sampling oscilloscope, are illustrated in figure 11.

Instead of the sampling oscilloscope, backscattering equipment or a counter with separate start/stop gate and averaging capability (for example at least 10^4 counts) can be used.

13.4.2 Optical source

- a) Measurement with the sampling oscilloscope

An optical pulse generator shall preferably be a high-power laser diode, excited by an electrical pulse train generator tunable in frequency and width. The wavelength and the spectral width shall be recorded.

- b) Measurement with a counter or a backscattering apparatus

An optical pulse generator shall preferably be a high-power laser diode, excited by an electrical pulse train generator tunable in width. The time between two pulses shall be longer than the travelling time of the transmitted pulse (Δt , with counter) or the reflected pulse ($2 \Delta t$, with backscattering equipment). The wavelength and the spectral width of the laser diode shall be recorded.

13.4.3 Détecteur optique

Le récepteur doit être, de préférence, une photodiode à avalanche à grande vitesse. La sensibilité du détecteur optique doit être suffisante à la longueur d'onde de mesure et sa bande passante doit être suffisamment grande pour que la forme de l'impulsion ne soit pas influencée.

13.5 Procédure

a) Etalonnage

On doit mesurer le retard de la source optique au point d'injection (le retard du montage de mesure proprement dit).

b) Valeur moyenne de l'indice de groupe

Sur une fibre de longueur connue, mesurée par un moyen mécanique, la mesure de Δt donne la valeur moyenne N de l'indice de groupe de cette fibre.

c) Mesure de la longueur

La mesure de la longueur consiste en la lecture d'un intervalle de temps sur l'écran d'un oscilloscope¹⁾ (ou la lecture du temps moyen de parcours sur l'affichage d'un compteur électronique à corriger par la valeur obtenue à l'étalonnage).

13.6 Résultats

La longueur de la fibre est obtenue à partir de l'équation suivante:

a) Méthode par transmission

$$L = \frac{\Delta t \cdot c}{N}$$

b) Méthode par réflexion

$$L = \frac{\Delta t \cdot c}{2N}$$

où

L est la longueur de la fibre (m);

Δt est le temps de transmission ou de réflexion (ns);

c est la vitesse de la lumière dans le vide (m/ns);

N est l'indice de groupe moyen.

¹⁾ Une amélioration pratique importante peut être obtenue en rendant la précision de la méthode de mesure indépendante de la longueur réelle de la fibre en utilisant la méthode de l'oscilloscope à double trace (voir figure 12)

13.4.3 Optical detector

The receiver shall preferably be a high-speed avalanche photodiode. The sensitivity of the optical detector shall be sufficient at the measuring wavelength, and its bandwidth shall be large enough so as not to influence the shape of the pulse.

13.5 Procedure

a) Calibration

The delay time of the optical source to the launching point shall be measured (the delay time of the measurement apparatus itself).

b) Average group index value

On a known length of fibre, mechanically measured, the measurement of Δt gives the average value N of the group index of the fibre.

c) Length measurement

The length measurement is a time domain reading on the screen of an oscilloscope¹⁾ (or the reading of the averaged travelling time on the display of an electronic counter to be corrected for the calibration value).

13.6 Results

The fibre length is obtained from the following equation:

a) Transmitted pulse method

$$L = \frac{\Delta t \cdot c}{N}$$

b) Reflected pulse method

$$L = \frac{\Delta t \cdot c}{2N}$$

where

L is the fibre length (m);

Δt is the transmission or reflection time (ns);

c is the light velocity in vacuum (m/ns);

N is the average group index.

¹⁾ An important practical improvement can be achieved in making the accuracy of the measurement independent from the actual length of the fibre by means of a dual channel oscilloscope method (see figure 12).