NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60793-1-45

Première édition
First edition
2001-07

Fibres optiques –

Partie 1-45:
Méthodes de mesure et procédures d'essai –
Diamètre du champ de mode

Optical fibres –

Part 1-45:
Measurement methods and test procedures –
Mode field diameter

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60793-1-45:2001

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

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

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

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

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

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

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

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

.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60793-1-45

Première édition
First edition
2001-07

Fibres optiques –

Partie 1-45:
Méthodes de mesure et procédures d'essai – Diamètre du champ de mode

Optical fibres –

Part 1-45:
Measurement methods and test procedures – Mode field diameter

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

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

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

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

International Electrotechnical Commission 3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
Telefax: +41 22 919 0300 e-mail: inmail@iec.ch IEC web site http://www.iec.ch

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE U

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 6
INTRODUCTION 10

1 Domaine d'application 12
2 Références normatives 14
3 Méthode d'essai de référence 14
4 Appareillage 14
4.1 Source lumineuse 14
4.2 Système optique d'entrée 14
4.3 Dispositif de positionnement d'entrée 16
4.4 Extracteur de modes de gaine 16
4.5 Filtre des modes d'ordre supérieur 16
4.6 Dispositif de positionnement de sortie 16
4.7 Dispositif optique de sortie 16
4.8 Détecteur 16
4.9 Calculateur 16
5 Echantillonnage et échantillons à l'essai 16
5.1 Longueur de l'échantillon à l'essai 16
5.2 Surface d'extrémité de l'échantillon à l'essai 18
6 Procédure 18
7 Calculs 18
7.1 Méthode A – Exploration directe du champ lointain 18
7.2 Méthode B – Ouverture variable en champ lointain 20
7.3 Méthode C – Exploration en champ proche 22
8 Résultats 22
8.1 Informations à fournir pour chaque mesure 22
8.2 Informations disponibles sur demande 22
9 Informations à mentionner dans la spécification 24

Annexe A (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode A – Diamètre du champ de mode par la technique de l'exploration directe en champ lointain 26
Annexe B (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode B – Diamètre du champ de mode par la technique de l'ouverture variable en champ lointain 32
Annexe C (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode C – Diamètre du champ de mode par la technique de l'exploration en champ proche 38
Annexe D (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode D – Diamètre du champ de mode par réflectomètre optique dans le domaine temporel (RODT) 46
Annexe E (informative) Ensemble de données sur échantillon et valeurs calculées 56

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

CONTENTS

FOREWORD 7
INTRODUCTION 11

1 Scope 13
2 Normative references 15
3 Reference test method 15
4 Apparatus 15
4.1 Light source 15
4.2 Input optics 15
4.3 Input positioner 17
4.4 Cladding mode stripper 17
4.5 High-order mode filter 17
4.6 Output positioner 17
4.7 Output optics 17
4.8 Detector 17
4.9 Computer 17
5 Sampling and specimens 17
5.1 Specimen length 17
5.2 Specimen end face 19
6 Procedure 19
7 Calculations 19
7.1 Method A – Direct far-field scan 19
7.2 Method B – Variable aperture in the far field 21
7.3 Method C – Near-field scan 23
8 Results 23
8.1 Information to be provided with each measurement 23
8.2 Information available upon request 23
9 Specification information 25

Annex A (normative) Requirements specific to method A – Mode field diameter by direct far-field scan 27
Annex B (normative) Requirements specific to method B – Mode field diameter by variable aperture in the far field 33
Annex C (normative) Requirements specific to method C – Mode field diameter by near-field scan 39
Annex D (normative) Requirements specific to method D – Mode field diameter by optical time domain reflectometer (OTDR) 47
Annex E (informative) Sample data sets and calculated values 57

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Figure 1 – Relations de transformées entre les résultats de mesure 12
Figure A.1 – Montage de mesure en champ lointain 26
Figure B.1 – Montage de mesure par ouverture variable en champ lointain 32
Figure C.1 – Montage de mesure en champ proche 40
Figure D.1 – Disposition de commutation optique 48
Figure D.2 – Vue de la fibre de référence A 50
Figure D.3 – Vue de la fibre de référence B 50
Figure D.4 – Exemple de validation: comparaison de méthodes 52

Tableau E.1 – Données sur échantillon, méthode A – DCM par exploration directe en champ lointain 56
Tableau E.2 – Données sur échantillon, méthode B – DCM par la méthode de l'ouverture variable en champ lointain 58
Tableau E.3 – Données sur échantillon, méthode C – DCM par exploration en champ proche 58

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Figure 1 – Transform relationships between measurement results 13
Figure A.1 – Far-field measurement set 27
Figure B.1 – Variable aperture by far-field measurement set 33
Figure C.1 – Near-field measurement set-ups 41
Figure D.1 – Optical switch arrangement 49
Figure D.2 – View from reference fibre A 51
Figure D.3 – View from reference fibre B 51
Figure D.4 – Validation example – Comparison of methods 53

Table E.1 – Sample data, method A – MFD by direct far-field scan 57
Table E.2 – Sample data set, method B – MFD by variable aperture in the far field 59
Table E.3 – Sample data set, method C – MFD by near-field scan 59

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1-45: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Diamètre du champ de mode

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 concernant les questions techniques, représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60793-1-45 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

La présente norme, ainsi que les autres normes de la série CEI 60793-1-4X, annulent et remplacent la deuxième édition de la CEI 60793-1-4, dont elles constituent une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86A/674/FDIS	86A/698/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Les annexes A, B, C et D font partie intégrante de cette norme.

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

La CEI 60793-1-1 et la CEI 60793-1-2 couvrent les spécifications génériques.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL FIBRES –

Part 1-45: Measurement methods and test procedures – Mode field diameter

FOREWORD

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

International Standard IEC 60793-1-45 has been prepared by subcommittee 86A: Fibres and cables, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This standard, together with the other standards in the IEC 60793-1-4X series, replaces the second edition of IEC 60793-1-4, of which it constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
86A/674/FDIS	86A/698/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annexes A, B, C and D form an integral part of this standard.

Annex E is for information only.

IEC 60793-1-1 and IEC 60793-1-2 cover generic specifications.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

La CEI 60793-1-4X comprend les parties suivantes présentées sous le titre général: Fibres optiques:

– Partie 1-40: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Affaiblissement
– Partie 1-41: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Largeur de bande
– Partie 1-42: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion chromatique
– Partie 1-43 Méthodes de mesure et procédures d'essai – Ouverture numérique
– Partie 1-44: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Longueur d'onde de coupure
– Partie 1-45: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Diamètre du champ de mode
– Partie 1-46: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Contrôle des variations du facteur de transmission optique
– Partie 1-47: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Pertes dues aux macrocourbures
– Partie 1-48: Méthodes de mesure et procédures d'essai – A l'étude
– Partie 1-49: Méthodes de mesure et procédures d'essai – A l'étude

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2003. A cette date, la publication sera

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

Le contenu du corrigendum de juillet 2002 a été pris en considération dans cet exemplaire.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

IEC 60793-1-4X consists of the following parts, under the general title: Optical fibres:

– Part 1-40: Measurement methods and test procedures – Attenuation
– Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth
– Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion
– Part 1-43: Measurement methods and test procedures – Numerical aperture
– Part 1-44: Measurement methods and test procedures – Cut-off wavelength
– Part 1-45: Measurement methods and test procedures – Mode field diameter
– Part 1-46: Measurement methods and test procedures – Monitoring of changes in optical transmittance
– Part 1-47: Measurement methods and test procedures – Macrobending loss
– Part 1-48: Measurement methods and test procedures – Under consideration
– Part 1-49: Measurement methods and test procedures – Under consideration

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2003. At this date, the publication will be

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

The contents of the corrigendum of July 2002 have been included in this copy.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTRODUCTION

Les publications de la série CEI 60793-1 concernent les informations essentielles sur les méthodes de mesures et les procédures d'essai s'appliquant aux fibres optiques.

Cette même série traite des différents domaines regroupés de la façon suivante:

– parties 1-10 à 1-19: Généralités
– parties 1-20 à 1-29: Méthodes de mesure et procédures d'essai des dimensions
– parties 1-30 à 1-39: Méthodes de mesure et procédures d'essai des caractéristiques mécaniques
– parties 1-40 à 1-49: Méthodes de mesure et procédures d'essai des caractéristiques optiques et de transmission
– parties 1-50 à 1-59: Méthodes de mesure et procédures d'essai des caractéristiques d'environnement.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTRODUCTION

Publications in the IEC 60793-1 series concern measurement methods and test procedures as they apply to optical fibres.

Within the same series several different areas are grouped, as follows:

– parts 1-10 to 1-19: General
– parts 1-20 to 1-29: Measurement methods and test procedures for dimensions
– parts 1-30 to 1-39: Measurement methods and test procedures for mechanical characteristics
– parts 1-40 to 1-49: Measurement methods and test procedures for transmission and optical characteristics
– parts 1-50 to 1-59: Measurement methods and test procedures for environmental characteristics.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1-45: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Diamètre du champ de mode

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60793 établit des prescriptions uniformes pour mesurer le diamètre de champ de mode (DCM) contribuant ainsi au contrôle des fibres et câbles dans des relations commerciales.

Le DCM représente une mesure de l'étendue transversale de l'intensité du champ électromagnétique du mode dans la section droite d'une fibre, et il est défini à partir de la distribution de l'intensité du champ lointain comme un rapport d'intégrales, connu comme étant la définition de Petermann II. Voir équation (1).

Les définitions du DCM sont strictement liées aux configurations de mesure. L'équivalence mathématique de ces définitions résulte des relations de transformées entre les résultats de mesure obtenus par différents outils résumés à la figure 1 ci-dessous:

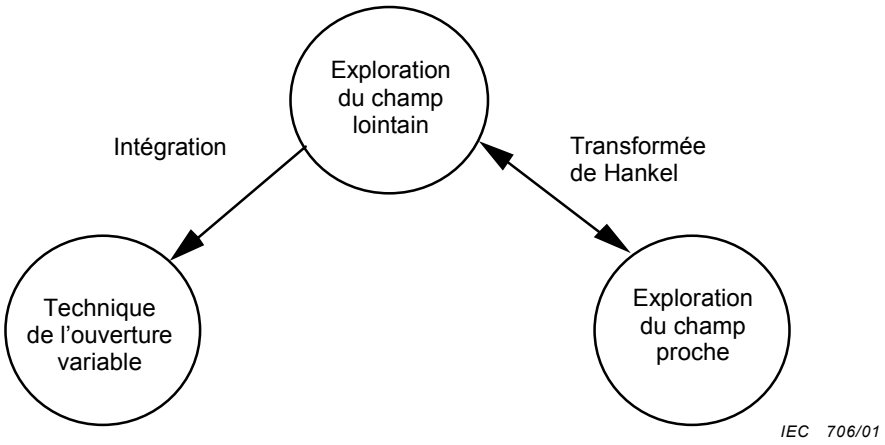


Figure 1 – Relations de transformées entre les résultats de mesure

Quatre méthodes de mesure du DCM sont décrites ci-après:

- méthode A: exploration directe en champ lointain;
- méthode B: ouverture variable en champ lointain;
- méthode C: exploration en champ proche;
- méthode D: rétrodiffusion bidirectionnelle utilisant un réflectomètre optique fonctionnant dans le domaine temporel (RODT).

Ces quatre méthodes s'appliquent à toutes les catégories de fibres unimodales de type B de la CEI 60793-2 et opérant au voisinage de 1 310 nm ou de 1 550 nm. La méthode D n'est pas recommandée pour la mesure des fibres de type ou de modèle inconnus.

L'information commune aux quatre méthodes est contenue dans les articles 1 à 8, et l'information concernant individuellement chaque méthode se trouve respectivement aux annexes A, B, C et D.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

OPTICAL FIBRES –

Part 1-45: Measurement methods and test procedures – Mode field diameter

1 Scope

This part of IEC 60793 establishes uniform requirements for measuring the mode field diameter (MFD) of optical fibre, thereby assisting in the inspection of fibres and cables for commercial purposes.

The MFD represents a measure of the transverse extent of the electromagnetic field intensity of the mode in a fibre cross section, and it is defined from the far-field intensity distribution as a ratio of integrals known as the Petermann II definition. See equation (1).

The definitions of MFD are strictly related to the measurement configurations. The mathematical equivalence of these definitions results from transform relationships between measurement results obtained by different implementations summarized in figure 1 as follows:

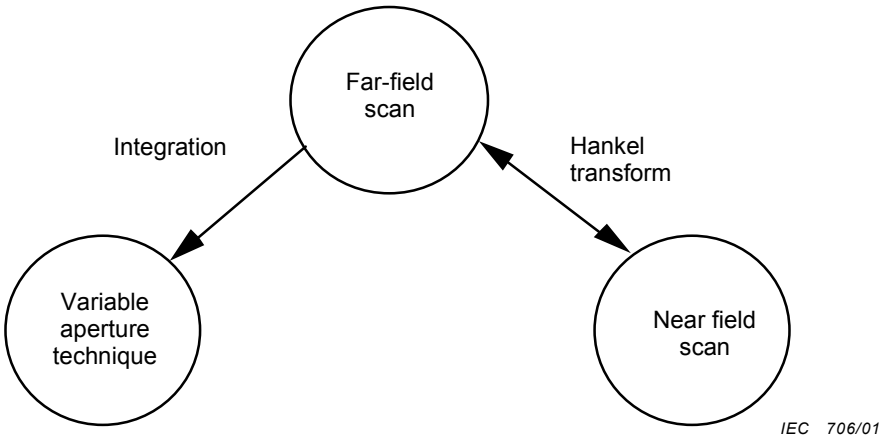


Figure 1 – Transform relationships between measurement results

Four methods are described for measuring MFD:

– method A: direct far-field scan;

– method B: variable aperture in the far field;

– method C: near-field scan;

– method D: bi-directional backscatter using an optical time domain reflectometer (OTDR).

All four methods apply to all categories of type B single-mode fibre shown in IEC 60793-2 and operating near 1 310 nm or 1 550 nm. Method D is not recommended for the measurement of fibres of unknown type or design.

Information common to all four methods is contained in clauses 1 to 8, and information pertaining to each individual method appears in annexes A, B, C and D, respectively.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60793. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60793 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

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

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

3 Méthode d'essai de référence

La méthode A, exploration directe en champ lointain, est la méthode d'essai de référence (MTR), qui sera celle utilisée pour résoudre les contestations.

4 Appareillage

L'appareillage suivant est commun à toutes les méthodes de mesure. Les annexes A, B, C et D contiennent respectivement les dessins et les prescriptions des autres équipements pour chacune des quatre méthodes.

4.1 Source lumineuse

Pour les méthodes A, B et C, utiliser une source appropriée de lumière cohérente ou incohérente, telle qu'un laser à semiconducteur ou une source de lumière blanche filtrée suffisamment puissante. La source doit produire une radiation suffisante à la longueur d'onde voulue et doit être stable en intensité pendant une période suffisante pour permettre d'effectuer la mesure.

Si nécessaire, il est possible d'utiliser un monochromateur ou un ou des filtres interférentiels pour la sélection des longueurs d'onde. La longueur d'onde de la source doit être indiquée dans la spécification particulière. La largeur spectrale à mi-hauteur (LMH) de la source doit être inférieure ou égale à 10 nm, sauf spécification contraire.

Voir l'annexe D pour la méthode D.

4.2 Système optique d'entrée

Pour les méthodes A, B et C, il est admis d'utiliser un système de lentilles optiques ou une fibre amorce pour exciter la fibre à l'essai. Il est recommandé que la puissance couplée dans la fibre à l'essai soit relativement insensible à la position de la face d'entrée de la fibre à l'essai. Cela peut être réalisé en utilisant un faisceau d'injection permettant une saturation à la fois spatiale et angulaire de la face d'entrée.

Si une épissure en bout est utilisée, employer un matériau d'adaptation d'indice entre la fibre amorce et la fibre à l'essai pour éviter les phénomènes d'interférence. Le couplage doit rester stable pendant toute la durée de l'essai.

Voir l'annexe D pour la méthode D.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60793. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 60793 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60793-1-40, *Optical fibres – Part 1-40: Measurement methods and test procedures – Attenuation*

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

3 Reference test method

Method A, direct far-field scan, is the reference test method (RTM), which shall be the one used to settle disputes.

4 Apparatus

The following apparatus is common to all measurement methods. Annexes A, B, C and D include layout drawings and other equipment requirements for each of the four methods, respectively.

4.1 Light source

For methods A, B and C, use a suitable coherent or non-coherent light source such as a semiconductor laser or a sufficiently powerful filtered white light source. The source shall produce sufficient radiation at the intended wavelength(s) and be stable in intensity over a time period sufficient to perform the measurement.

A monochromator or interference filter(s) may be used, if required, for wavelength selection. The detail specification shall specify the wavelength of the source. The FWHM (full width half maximum) spectral line width of the source shall be less than or equal to 10 nm, unless otherwise specified.

See annex D for method D.

4.2 Input optics

For method A, B, and C, an optical lens system or fibre pigtail may be employed to excite the specimen. It is recommended that the power coupled into the specimen be relatively insensitive to the position of its input end face. This can be accomplished by using a launch beam that spatially and angularly overfills the input end face.

If using a butt splice, employ index-matching material between the fibre pigtail and the specimen to avoid interference effects. The coupling shall be stable for the duration of the measurement.

See annex D for method D.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

4.3 Dispositif de positionnement d'entrée

Prévoir un dispositif pour le positionnement de l'extrémité d'entrée de l'échantillon à l'essai par rapport à la source lumineuse. Des exemples comprennent l'utilisation de plateaux de micropositionneur x-y-z, ou des dispositifs de couplage mécanique tels que des connecteurs, des épissures sous vide, des épissures à trois piges, etc. La position de la fibre doit rester stable pendant toute la durée de la mesure.

4.4 Extracteur de modes de gaine

Utiliser un dispositif d'extraction de modes de gaine. Dans certains cas, c'est le revêtement de la fibre qui assure cette fonction.

4.5 Filtre des modes d'ordre supérieur

Utiliser un moyen pour éliminer la propagation des modes d'ordre supérieur dans la plage des longueurs d'ondes supérieures à la longueur d'onde de coupure de la fibre à l'essai. Par exemple, une boucle d'un seul tour d'un rayon de 30 mm environ sur la fibre à l'essai suffit généralement.

4.6 Dispositif de positionnement de sortie

Prévoir un dispositif approprié pour l'alignement de la face d'extrémité de sortie de la fibre de façon à permettre un ajustement axial précis de l'extrémité de sortie, tel que, à la longueur d'onde de mesure le balayage soit focalisé convenablement sur le plan du détecteur de balayage. Un tel couplage peut comprendre l'utilisation de lentilles ou peut être un connecteur mécanique à une fibre amorce du détecteur.

Prévoir un moyen tel qu'un microscope à vision latérale ou un appareil photographique muni d'un réticule pour localiser la fibre à une distance fixe par rapport aux ouvertures ou au détecteur. Un réglage longitudinal seul peut s'avérer suffisant si la fibre est maintenue dans le plan latéral par un dispositif tel qu'un mandrin à succion. (Cela dépend essentiellement de la taille du détecteur de lumière.)

4.7 Dispositif optique de sortie

Voir l'annexe appropriée: A, B, C ou D.

4.8 Détecteur

Voir l'annexe appropriée: A, B, C ou D.

4.9 Calculateur

Utiliser un calculateur pour effectuer les opérations telles que le contrôle de l'appareil, l'exécution des mesures d'intensité et le traitement des données pour obtenir les résultats finals. Pour les détails des opérations, voir les annexes appropriées: A, B, C ou D.

5 Echantillonnage et échantillons à l'essai

5.1 Longueur de l'échantillon à l'essai

Pour les méthodes A, B et C, la longueur de l'échantillon à l'essai doit être une longueur connue, généralement de 2 m ± 0,2 m, de fibre unimodale.

NOTE Pour la méthode D, RODT, il faut que l'échantillon soit suffisamment long pour dépasser (ou placé au-delà de) la zone morte du RODT, avec les deux extrémités accessibles, comme décrit dans la méthode d'essai de rétrodiffusion de la CEI 60793-1-40.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

4.3 Input positioner

Provide means of positioning the input end of the specimen to the light source. Examples include the use of x-y-z micropositioner stages, or mechanical coupling devices such as connectors, vacuum splices, three-rod splices, etc. The position of the fibre shall remain stable over the duration of the measurement.

4.4 Cladding mode stripper

Use a device that extracts cladding modes. Under some circumstances the fibre coating will perform this function.

4.5 High-order mode filter

Use a means to remove high-order propagating modes in the wavelength range that is greater than or equal to the cut-off wavelength of the specimen. For example, a one-turn bend with a radius of 30 mm on the fibre is generally sufficient.

4.6 Output positioner

Provide a suitable means for aligning the fibre output end face in order to allow an accurate axial adjustment of the output end, such that, at the measurement wavelength, the scan pattern is suitably focused on the plane of the scanning detector. Such coupling may include the use of lenses, or may be a mechanical connector to a detector pigtail.

Provide means such as a side-viewing microscope or camera with a crosshair to locate the fibre at a fixed distance from the apertures or detectors. It may be sufficient to provide only longitudinal adjustment if the fibre is constrained in the lateral plane by a device such as a vacuum chuck. (This depends mainly upon the size of the light detector.)

4.7 Output optics

See the appropriate annex: A, B, C or D.

4.8 Detector

See the appropriate annex: A, B, C or D.

4.9 Computer

Use a computer to perform operations such as controlling the apparatus, taking intensity measurements, and processing the data to obtain the final results. For individual details, see the appropriate annex: A, B, C or D.

5 Sampling and specimens

5.1 Specimen length

For methods A, B and C, the specimen shall be a known length, typically 2 m ± 0,2 m of single-mode fibre.

NOTE For method D, OTDR, the sample must be long enough to exceed (or be positioned beyond) the dead zone of the OTDR, with both ends accessible, as described in the backscatter test method IEC 60793-1-40.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

5.2 Surface d'extrémité de l'échantillon à l'essai

Préparer une surface plane, perpendiculaire à l'axe de la fibre, à l'extrémité d'entrée et à l'extrémité de sortie de l'échantillon à l'essai.

6 Procédure

Voir respectivement les annexes A, B, C et D pour les méthodes A, B, C et D.

7 Calculs

Les équations de base pour le calcul du DCM pour chacune des méthodes A, B, et C sont indiquées ci-après. Pour des calculs complémentaires, voir les annexes appropriées: A, B, C ou D. Des ensembles de données sur échantillons pour les méthodes A, B et C figurent à l'annexe E.

7.1 Méthode A – Exploration directe du champ lointain

L'équation suivante définit le DCM pour la méthode A en termes de champ électromagnétique émis à partir de l'extrémité de l'échantillon à l'essai.

Calculer le DCM à partir des données de l'exploration en champ lointain et de l'évaluation de l'intégrale de Petermann II qui est définie à partir de la distribution de l'intensité en champ lointain:

$$2W_0 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi}\left[\frac{\int_0^{\pi/2} P_F(\theta)\sin(\theta)\cos(\theta)\mathrm{d}\theta}{\int_0^{\pi/2} P_F(\theta)\sin^3(\theta)\cos(\theta)\mathrm{d}\theta}\right] \quad (1)$$

où

$2W_0$ est le DCM, en μm;

$P_F(\theta)$ est la distribution de l'intensité en champ lointain;

λ est la longueur d'onde de mesure, en μm;

θ est l'angle dans la mesure en champ lointain à partir de l'axe de la fibre.

NOTE 1 Les limites d'intégration vont de zéro à π/2; il est cependant entendu que, les intégrandes tendent vers zéro lorsque la variable d'intégration augmente, de sorte, qu'en pratique, les intégrales peuvent être tronquées.

NOTE 2 P_F est la $F^2(\theta)$ dans les publications de l'UIT-T.

La méthode du champ lointain pour déterminer le DCM d'une fibre unimodale est une procédure en deux étapes. La première étape consiste à mesurer le diagramme de rayonnement de la fibre en champ lointain. La seconde étape est une procédure mathématique fondée sur la définition de Petermann II du champ lointain pour calculer le champ de mode à partir des données en champ lointain, comme décrit dans l'équation (1) ci-dessus.

L'annexe E fournit des données sur échantillon et des valeurs calculées pour $2W_0$, afin de pouvoir vérifier l'évaluation numérique de l'intégrale de Petermann II. Les données sur échantillon sont sous la forme de la puissance symétrisée par moyennes des écarts, $P_F(\theta)$, fonction de l'angle, θ.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

5.2 Specimen end face

Prepare a flat end face, orthogonal to the fibre axis, at the input and output ends of each specimen.

6 Procedure

See annex A, B, C and D for methods A, B, C and D, respectively.

7 Calculations

The basic equations for calculating MFD by methods A, B and C are given below. For additional calculations, see the appropriate annex: A, B, C or D. Sample data sets for methods A, B and C are included in annex E.

7.1 Method A – Direct far-field scan

The following equation defines the MFD for method A in terms of the electromagnetic field emitted from the end of the specimen.

Calculate the MFD by scanning the far-field data and evaluating the Petermann II integral, which is defined from the far-field intensity distribution:

$$2W_0 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi}\left[\frac{\int_0^{\pi/2} P_F(\theta)\sin(\theta)\cos(\theta)\mathrm{d}\theta}{\int_0^{\pi/2} P_F(\theta)\sin^3(\theta)\cos(\theta)\mathrm{d}\theta}\right] \quad (1)$$

where

$2W_0$ is the MFD in μm;

$P_F(\theta)$ is the far-field intensity distribution;

λ is the wavelength of measurement in μm;

θ is the angle in the far-field measurement from the axis of the fibre.

NOTE 1 The integration limits are shown to be from zero to π/2, but it is understood that the integrands approach zero with increasing argument so that, in practice, the integrals can be truncated.

NOTE 2 P_F is the $F^2(\theta)$ in ITU-T publications.

The far-field method for obtaining the MFD of a single-mode fibre is a two-step procedure. First, measure the far-field radiation pattern of the fibre. Second, use a mathematical procedure based on the Petermann II far-field definition to calculate the mode field from far-field data, as described in equation (1) above.

Annex E provides sample data and calculated values for $2W_0$ to enable one to check the numerical evaluation of the Petermann II Integral. The sample data are in the form of the folded power, $P_F(\theta)$, as a function of the angle, θ.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

7.2 Méthode B – Ouverture variable en champ lointain

Les équations suivantes définissent le DCM pour la méthode B en termes de champ électromagnétique émis à partir de l'extrémité de l'échantillon à l'essai.

Calculer le DCM, $2W_0$, comme suit:

$$2W_0 = \left(\frac{\lambda}{\pi D}\right)\left[\int_0^{\infty} a(x)\frac{x}{\left(x^2 + D^2\right)^2}\,\mathrm{d}x\right]^{1/2} \tag{2}$$

où

$2W_0$ est le DCM, en µm;

λ est la longueur d'onde de mesure, en µm;

D est la distance entre l'ouverture et la fibre, en mm;

$a(x)$ est la fonction de transmission de l'ouverture complémentaire, calculée comme:

$$a(x) = 1 - \frac{P(x)}{P(\max)} \tag{3}$$

où

$P(x)$ est la puissance mesurée à travers une ouverture de rayon, x, ou de demi-angle, θ;

$P(\max)$ est la puissance maximale, supposant une ouverture infinie;

x est le rayon d'ouverture, calculé comme:

$$x = D\,\tan(\theta) \tag{4}$$

où D est la distance entre l'ouverture et la fibre, en mm.

L'équivalence mathématique des équations (1) et (2) est valide dans le cas de l'approximation des petits angles, θ. Sous cette approximation, l'équation (2) peut être tirée de l'équation (1) par intégration. Une autre expression équivalente de l'équation (2) est:

$$2W_0 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi}\left[\int_0^{\infty} a(\theta)\sin 2\theta\,\mathrm{d}\theta\right]^{1/2} \tag{5}$$

où

$2W_0$ est le DCM, en µm;

$a(\theta)$ est la fonction de l'ouverture complémentaire, calculée suivant:

$$a(\theta) = 1 - \frac{P(\theta)}{P(\max)} \tag{6}$$

où

$P(\theta)$ est la puissance à travers l'ouverture la plus grande;

$P(\max)$ est la puissance maximale, supposant une ouverture infinie.

La méthode de l'ouverture variable en champ lointain pour calculer le DCM d'une fibre unimodale est une procédure en deux étapes. La première étape consiste à mesurer la répartition bidimensionnelle en champ lointain comme la puissance passant à travers des ouvertures de différentes tailles. La seconde étape est une procédure mathématique qui consiste à calculer le DCM à partir des données en champ lointain.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

7.2 Method B – Variable aperture in the far field

The following equations define the MFD for method B in terms of the electromagnetic field emitted from the end of the specimen.

Calculate the MFD, $2W_0$, as follows:

$$2W_0 = \left(\frac{\lambda}{\pi D}\right)\left[\int_0^{\infty} a(x)\frac{x}{\left(x^2 + D^2\right)^2}\,\mathrm{d}x\right]^{1/2} \tag{2}$$

where

$2W_0$ is the MFD, in μm;

λ is the wavelength of measurement, in μm;

D is the distance between the aperture and the fibre, in mm;

$a(x)$ is the complementary aperture transmission function, calculated as

$$a(x) = 1 - \frac{P(x)}{P(\max)} \tag{3}$$

where

$P(x)$ is the power measured through an aperture of radius, x, or half angle, θ;

$P(\max)$ is the maximum power, assuming an infinite aperture;

x is the aperture radius, calculated as

$$x = D\tan(\theta) \tag{4}$$

where D is the distance between the aperture and the fibre, in mm.

The mathematical equivalence of equations (1) and (2) is valid in the approximation of small angles, θ. Under this approximation, equation (2) can be derived from equation (1) by integration. Another equivalent expression of equation (2) is:

$$2W_0 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi}\left[\int_0^{\infty} a(\theta)\sin 2\theta\ \mathrm{d}\theta\right]^{1/2} \tag{5}$$

where

$2W_0$ is the MFD, in μm;

$a(\theta)$ is the complementary aperture function, calculated as

$$a(\theta) = 1 - \frac{P(\theta)}{P(\max)} \tag{6}$$

where

$P(\theta)$ is the power through the largest aperture;

$P(\max)$ is the maximum power, assuming an infinite aperture.

The variable aperture far-field method for obtaining the MFD of a single-mode fibre is a two-step procedure. First, measure the two-dimensional far-field pattern as the power passing through a series of transmitting apertures of various size. Second, use a mathematical procedure to calculate the MFD from the far-field data.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

La base mathématique pour le calcul du DCM est fondée sur la définition de Petermann II du champ lointain à partir de l'équation (1). L'équivalence mathématique des équations (1) et (3) est valable dans le cas de l'approximation des petits angles, θ. Tirer l'équation (5) de l'équation (1) par intégration.

7.3 Méthode C – Exploration en champ proche

L'équation suivante définit le DCM pour la méthode C en termes de champ électromagnétique émis à partir de l'extrémité de l'échantillon à l'essai.

Calculer le DCM à partir de la répartition de l'intensité en champ proche mesurée, au moyen de l'intégrale suivante:

$$2W_0 = 2\left[2\frac{\int_0^\infty r\, f^2(r)\mathrm{d}r}{\int_0^\infty \left(\frac{\mathrm{d}f(r)}{\mathrm{d}r}\right)^2 \mathrm{d}r}\right] \quad (7)$$

où

$2W_0$ est le DCM, en μm;

r est la coordonnée radiale, en μm;

$f^2(r)$ est la répartition de l'intensité en champ proche.

NOTE La limite d'intégration supérieure va jusqu'à l'infini; il est cependant entendu que, les intégrandes tendant vers zéro lorsque la variable d'intégration augmente, en pratique les intégrales peuvent être tronquées. Un algorithme de lissage peut être utilisé pour le calcul de la dérivée.

La méthode d'exploration en champ proche pour déterminer le DCM d'une fibre unimodale est une procédure en deux étapes. La première étape consiste à mesurer le diagramme de rayonnement de la fibre en champ proche. La seconde étape utilise une procédure mathématique pour calculer le champ de mode à partir des données en champ proche.

La base mathématique du calcul du DCM se fonde sur la définition de Petermann II à partir de l'équation (1). L'équivalence mathématique des équations (1) et (5) est valable dans le cas de l'approximation des petits angles, θ. Sous cette approximation, le champ proche, $f(r)$, et le champ lointain, $F(\theta)$, forment une paire Hankel. Au moyen de la transformation de Hankel, il est possible de passer de l'équation (1) à l'équation (7), et vice versa.

8 Résultats

8.1 Informations à fournir pour chaque mesure

Relever les informations suivantes pour chaque mesure:

– date et titre de l'essai;
– identification de l'échantillon à l'essai;
– longueur d'onde de la source optique;
– diamètre(s) du champ de mode, en μm.

8.2 Informations disponibles sur demande

Les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

– méthode de mesure utilisée: A, B, C ou D;
– type de source optique utilisée et largeur de raie spectrale (LMH);

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

The mathematical basis for the calculation of MFD is based on the Petermann II far-field definition from equation (1). The mathematical equivalence of equations (1) and (3) is valid in the approximation of small angles, θ. Derive equation (5) from equation (1) by integration.

7.3 Method C – Near-field scan

The following equation defines the MFD for method C in terms of the electromagnetic field emitted from the end of the specimen.

Calculate the MFD from the measured near-field intensity distribution, using the following integral:

$$2W_0 = 2\left[2\frac{\int_0^\infty r\ f^2(r)\mathrm{d}r}{\int_0^\infty \left(\frac{\mathrm{d}f(r)}{\mathrm{d}r}\right)^2 \mathrm{d}r}\right] \tag{7}$$

where

$2W_0$ is the MFD, in μm;

r is the radial coordinate, in μm;

$f^2(r)$ is the near-field intensity distribution.

NOTE The upper integration limits is shown to infinity, but it is understood that since the integrands approach zero with increasing argument, in practice the integrals can be truncated. A smoothing algorithm can be used for the calculation of the derivative.

The near-field scan method for obtaining the MFD of a single-mode fibre is a two-step procedure. First, measure the radial near-field pattern. Second, use a mathematical procedure to calculate the MFD from the near-field data.

The mathematical basis for the calculation of the MFD is based on the Petermann II definition from equation (1). The mathematical equivalence of equations (1) and (5) is valid in the approximation of small angles, θ. Under this approximation, the near field, $f(r)$, and the far field, $F(\theta)$, form a Hankel pair. By means of the Hankel transformation it is possible to pass from equation (1) to equation (7), and reverse.

8 Results

8.1 Information to be provided with each measurement

Report the following information with each measurement:

– date and title of measurement;
– identification of specimen;
– optical source wavelength;
– MFD(s), in μm.

8.2 Information available upon request

The following information shall be available upon request:

– measurement method used: A, B, C or D;
– type of optical source used and its spectral width (FWHM);

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

– description du dispositif;
– détails relatifs à la méthode de calcul;
– date du dernier étalonnage de l'équipement de mesure.

9 Informations à mentionner dans la spécification

La spécification particulière doit préciser les informations suivantes:

– type de fibre à mesurer;
– critères de refus ou d'acceptation;
– information à relever;
– toute divergence applicable par rapport à la procédure.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

– description of equipment;
– details of computation technique;
– date of latest calibration of measurement equipment.

9 Specification information

The detail specification shall specify the following information:

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

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Annexe A
(normative)

Prescriptions spécifiques à la méthode A – Diamètre du champ de mode par la technique de l'exploration directe en champ lointain

A.1 Appareillage

Cette annexe décrit l'appareillage en complément aux prescriptions de l'article 4.

La figure A.1 illustre un montage typique pour mesure par exploration directe en champ lointain.

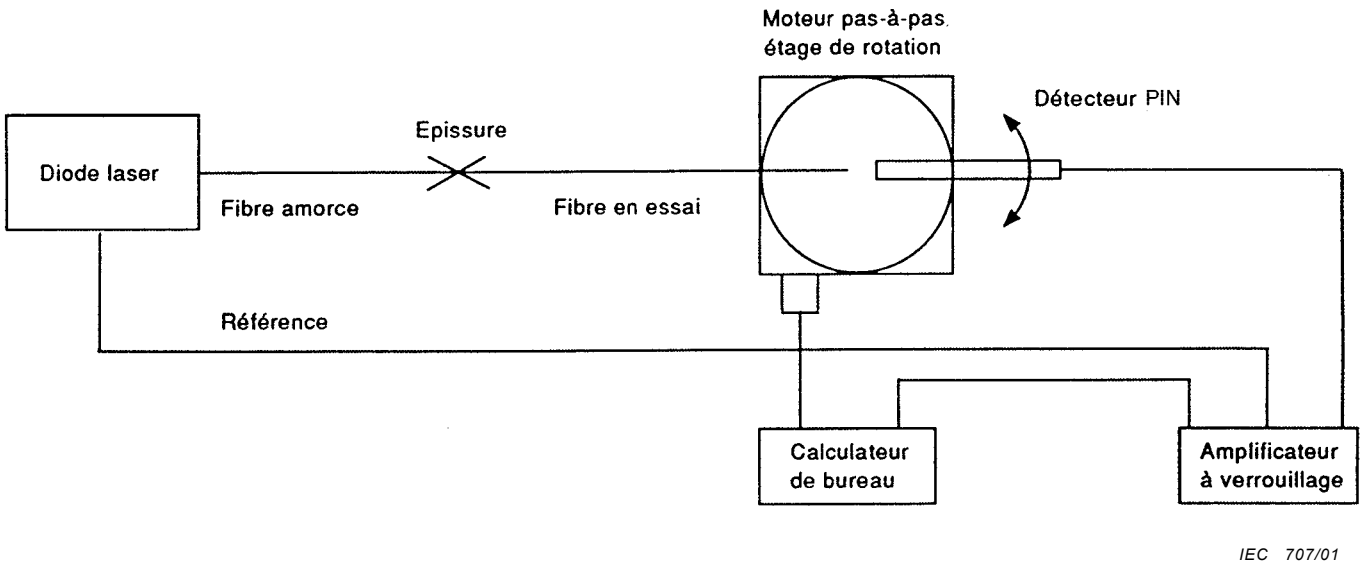


Figure A.1 – Montage de mesure en champ lointain

A.1.1 Ensemble de détecteur à balayage – Système électronique de détection des signaux

Utiliser un mécanisme destiné à explorer la répartition des intensités en champ lointain. Utiliser un dispositif de balayage capable de fonctionner par échelons de 0,50° (ou des échelons encore plus fins) pour balayer le détecteur. Utiliser un dispositif d'alignement de l'axe de la fibre vis-à-vis du plan de rotation du détecteur, et d'alignement de la surface d'extrémité de la fibre avec le centre de rotation du balayage. Un système typique pourrait comporter une photodiode PIN, fonctionnant en mode photovoltaïque, amplifiée par un préamplificateur de courant, avec une détection synchrone assurée par un amplificateur à verrouillage. Il convient d'installer le détecteur à une distance d'au moins 10 mm de l'extrémité de la fibre, et il est préférable que la zone active du détecteur n'intercepte pas un angle trop important dans le champ lointain. Cela peut être réalisé en plaçant le détecteur à une distance de l'extrémité de la fibre supérieure à $2wb/\lambda$, où $2w$ est le DCM attendu de la fibre à mesurer et b est le diamètre de la zone active du détecteur.

Pour obtenir des mesures très précises, il convient d'avoir une plage dynamique minimale de mesure de 50 dB. Cela correspond à des demi-angles de balayage maximaux de 20° et 25° ou plus, respectivement pour des fibres de catégorie B1 et B2. La réduction des prescriptions relatives à la plage dynamique (ou au demi-angle maximal de balayage) est susceptible d'introduire des erreurs. Par exemple, le fait de limiter ces valeurs à 30 dB et à 12,5° pour des fibres de catégorie B1, et à 40 dB et à 20° pour des fibres de catégorie B2, peut introduire, dans la détermination du DCM, une erreur relative supérieure à 1 %.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Annex A
(normative)

Requirements specific to method A – Mode field diameter by direct far-field scan

A.1 Apparatus

This annex describes apparatus in addition to the requirements set down in clause 4.

Figure A.1 illustrates a typical set-up for measurement by direct far-field scan.

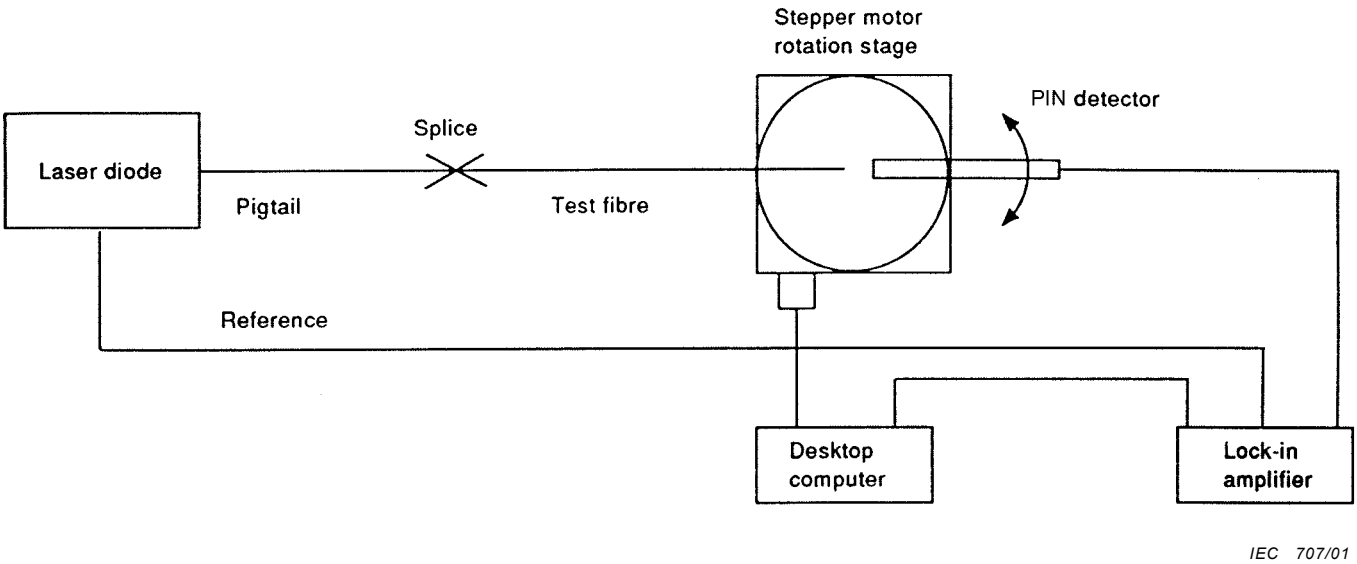


Figure A.1 – Far-field measurement set

A.1.1 Scanning detector assembly – Signal detection electronics

Use a mechanism to scan the far-field intensity distribution. Use a scanning device capable of 0,50° steps or finer to scan the detector. Use a means of aligning the fibre axis with respect to the rotation plane of the detector, and of aligning the fibre end-face with the centre of rotation of the scan. A typical system might include a PIN photodiode, operating in a photovoltaic mode, amplified by a current-input preamplifier, with synchronous detection by a lock-in amplifier. The detector should be at least 10 mm from the fibre end, and the detector's active area should not subtend too large an angle in the far field. To ensure this, place the detector at a distance from the fibre end greater than $2wb/\lambda$, where $2w$ is the expected MFD of the specimen and b is the diameter of the active area of the detector.

For very accurate measurements, the minimum dynamic range of the measurement should be 50 dB. This corresponds to a maximum scan half-angle of 20° and 25°, or greater, for category B1 and B2 fibres, respectively. Reducing the dynamic range (or maximum scan half-angle) requirements may introduce errors. For example, restricting those values to 30 dB and 12,5° for category B1 fibres, and to 40 dB and 20° for category B2 fibres, may result in a relative error, in the determination of the MFD, that is greater than 1 %.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

A.1.2 Calculateur

Il convient qu'un système typique comprenne aussi un calculateur pour traiter les données en champ lointain.

A.2 Procédure

Aligner dans le système la fibre, préparée conformément aux prescriptions décrites en 4.2, avec son extrémité de sortie alignée sur l'ensemble de détection pour assurer une puissance maximale.

Balayer le détecteur par échelons de 0,5°, également espacés, et enregistrer la puissance du détecteur.

Calculer une valeur de l'intégrale de Petermann II à partir des données enregistrées et l'utiliser pour calculer le DCM de la fibre, tel que décrit dans l'équation (1) et à l'article A.3.

A.3 Calculs

A.3.1 Déterminer la courbe de puissance symétrisée par moyennes des écarts

La courbe de puissance symétrisée par moyennes des écarts pour $0 \leq \theta_i = \theta_{max}$ est:

$$P_F(\theta_i) = \frac{P(\theta_i) + P(\theta_{-i})}{2} \quad \text{(A.1)}$$

où

$P_F(\theta_i)$ est la courbe de puissance symétrisée par moyennes des écarts;

$P(\theta_{-i})$ est la puissance mesurée comme fonction de la position angulaire θ_i (radians), indicé en *i*.

A.3.2 Calculer l'intégrale du numérateur (*T*) et l'intégrale du dénominateur (*B*) de l'équation (1)

Utiliser une méthode d'intégration numérique appropriée pour calculer les intégrales de l'équation (1). Ce qui suit est un exemple utilisant la méthode rectangulaire. Toute autre méthode d'intégration doit être au moins aussi précise.

$$T = \sum_0^n P_F(\theta_i) \sin(\theta_i) \cos(\theta_i) \, d\theta \quad \text{(A.2)}$$

$$B = \sum_0^n P_f(\theta_i) \sin^3(\theta_i) \cos(\theta_i) \, d\theta \quad \text{(A.3)}$$

où

P_f est la courbe de puissance symétrisée par moyennes des écarts;

θ_i est la position angulaire, indicé en *i* (radians);

où $d\theta = \theta_1 - \theta_0$.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

A.1.2 Computer

A typical system should also include a computer to process the far-field data.

A.2 Procedure

Align the fibre in the system, prepared as described in 4.2, with its output end aligned on the detector assembly for maximum power.

Scan the detector in 0,5° steps, equally spaced, and record the detector power.

Calculate a value of the Petermann II integral from the recorded data, and use it to compute the fibre MFD as described in equation (1), and in A.3.

A.3 Calculations

A.3.1 Determine folded power curve

The folded power curve for $0 \leq \theta_i = \theta_{max}$ is

$$P_F(\theta_i) = \frac{P(\theta_i) + P(\theta_{-i})}{2} \quad \text{(A.1)}$$

where

$P_F(\theta_i)$ is the folded power curve;

$P(\theta_{-i})$ is the measured power as a function of the angular position, θ_i (radians), indexed by *i.*

A.3.2 Compute the top (*T*) and bottom (*B*) integrals of equation (1)

Use an appropriate numerical integration technique to compute the integrals of equation (1). The following is an example using the rectangular method. Any other integration method shall be at least as accurate.

$$T = \sum_0^n P_F(\theta_i) \sin(\theta_i) \cos(\theta_i)\, d\theta \quad \text{(A.2)}$$

$$B = \sum_0^n P_f(\theta_i) \sin^3(\theta_i) \cos(\theta_i)\, d\theta \quad \text{(A.3)}$$

where

P_f is the folded power curve;

θ_i is the angular position, indexed by *i* (radians);

where $d\theta = \theta_1 - \theta_0$.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

A.3.3 Effectuer le calcul

$$\mathrm{DCM} = 2W_0 = \left(\frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi}\right)\sqrt{\frac{T}{B}} \qquad \text{(A.4)}$$

où

$2W_0$ est le DCM, en µm;

T est obtenue à partir de l'équation (A.2);

B est obtenue à partir de l'équation (A.3).

A.4 Données sur échantillon

Voir le tableau E.1 pour l'ensemble des données sur échantillon tel que calculé en A.3.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

A.3.3 Complete the calculation

$$\text{MFD} = 2W_0 = \left(\frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi}\right)\sqrt{\frac{T}{B}} \qquad \text{(A.4)}$$

where

$2W_0$ is the MFD, in μm;

T is obtained from equation (A.2);

B is obtained from equation (A.3).

A.4 Sample data

See table E.1 for a sample data set as calculated in A.3.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Annexe B
(normative)

Prescriptions spécifiques à la méthode B – Diamètre du champ de mode par la technique de l'ouverture variable en champ lointain

B.1 Appareillage

Cette annexe décrit l'appareillage en complément aux prescriptions de l'article 4.

La figure B.1 illustre un montage typique pour la mesure par ouverture variable en champ lointain.

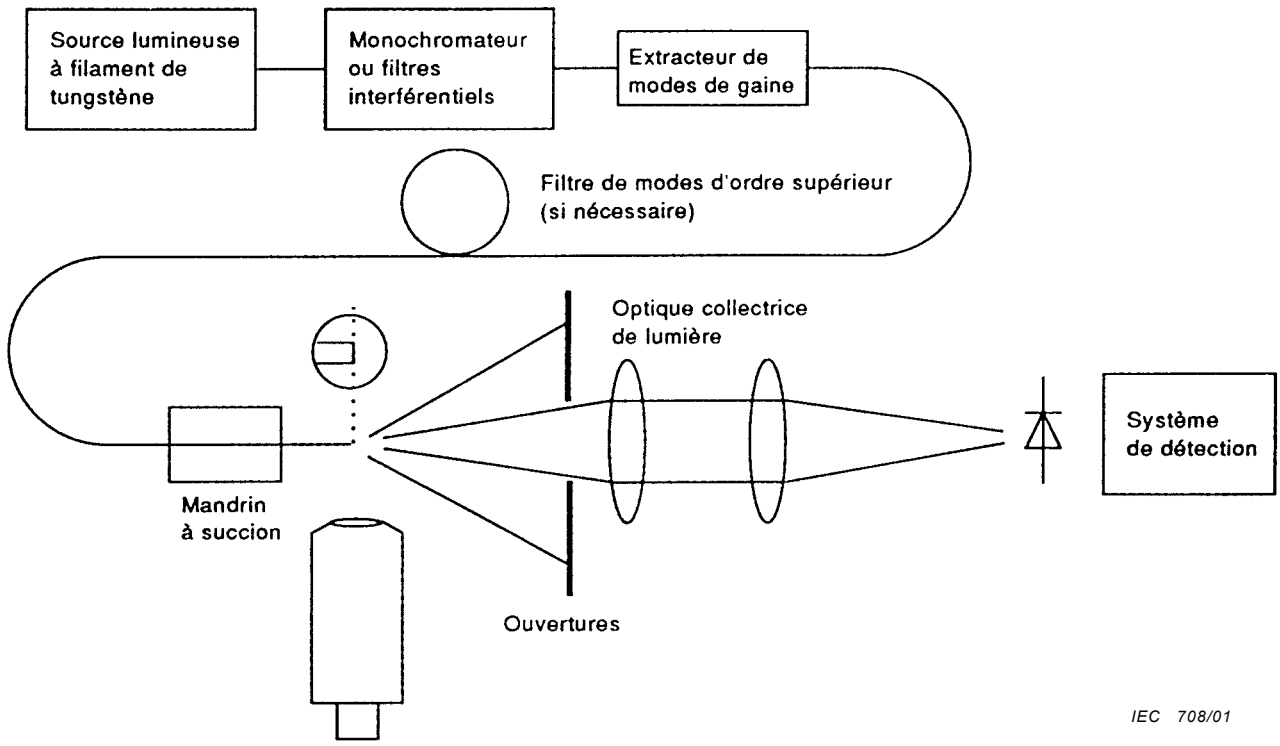


Figure B.1 – Montage de mesure par ouverture variable en champ lointain

B.1.1 Ensemble à ouvertures variables de sortie

Placer un dispositif, composé d'ouvertures de transmission circulaires de diverses tailles (par exemple: une roue munie d'ouvertures), à une distance minimale de 100 W_0^2/λ de la fibre et l'utiliser pour faire varier la puissance obtenue à partir du diagramme de rayonnement de sortie de la fibre en champ lointain. De manière générale, les ouvertures sont placées à une distance de 20 mm à 50 mm de l'extrémité de la fibre.

Utiliser un moyen permettant de centrer les ouvertures par rapport au diagramme de rayonnement, afin de réduire la sensibilité à l'angle formé avec l'extrémité de la fibre. Utiliser un nombre et des tailles suffisantes d'ouvertures pour ne pas fausser les résultats des mesures par l'introduction d'une éventuelle ouverture supplémentaire. En outre, faire en sorte que la taille des plus grandes ouvertures soit suffisante pour éviter de tronquer le diagramme de rayonnement recueilli.

NOTE 1 L'alignement optique est critique.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Annex B
(normative)

Requirements specific to method B – Mode field diameter by variable aperture in the far field

B.1 Apparatus

This annex describes apparatus in addition to the requirements in clause 4.

Figure B.1 illustrates a typical set-up for the measurement by variable aperture in the far field.

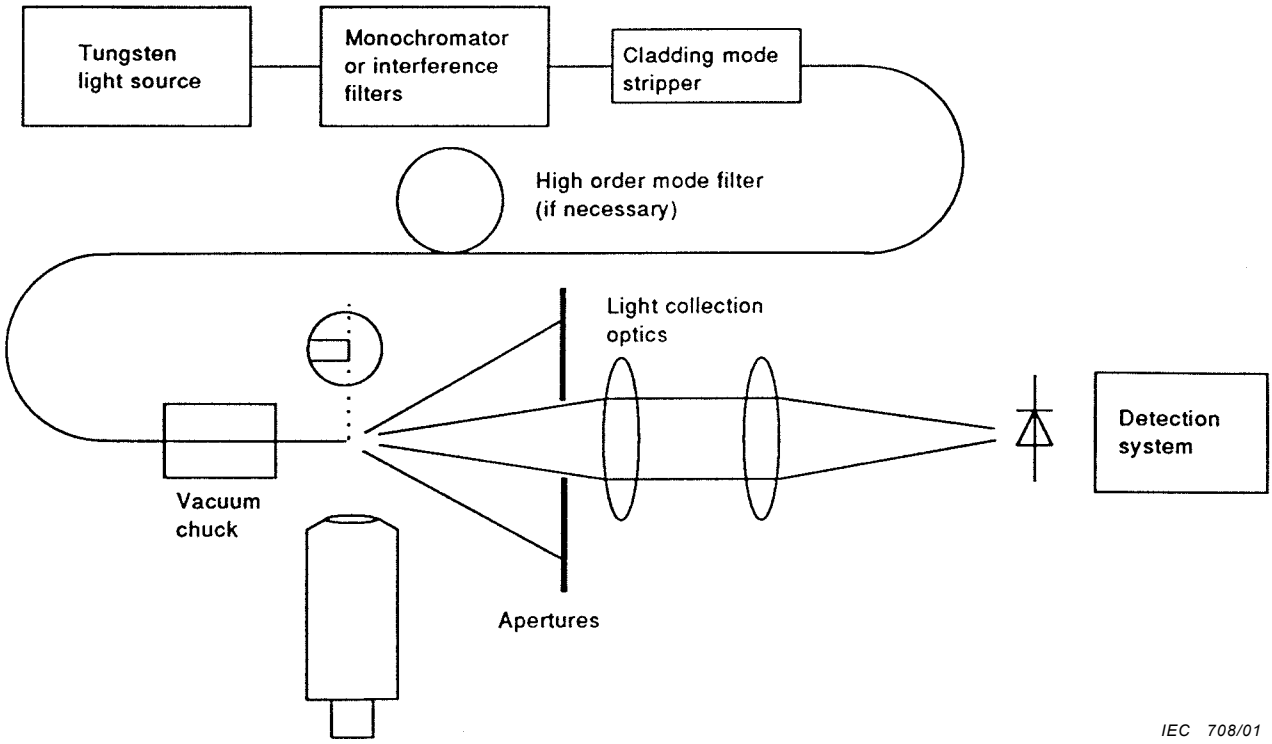


Figure B.1 – Variable aperture by far-field measurement set

B.1.1 Output variable aperture assembly

Place a device consisting of round, transmitting apertures of various sizes (such as an aperture wheel) at a distance of at least 100 W_0^2/λ from the specimen, and use it to vary the power detached from the fibre output far field pattern. Typically, the apertures are located 20 mm to 50 mm away from the fibre end.

Use a means of centering the apertures with respect to the pattern in order to decrease the sensitivity to fibre end angle. Use a sufficient number and size of apertures such that the measurement results are not unduly affected by the inclusion of any additional aperture. In addition, take care to ensure that the largest apertures are of sufficient size to avoid truncation of the collected pattern.

NOTE 1 Optical alignment is critical.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

NOTE 2 Le nombre et les tailles des ouvertures sont des points critiques vis-à-vis de la précision de cette méthode. L'optimum peut varier en fonction du modèle des fibres à essayer. La vérification d'une sélection particulière peut être complétée par comparaison avec la méthode A, exploration directe en champ lointain.

B.1.1.1 Prescriptions relatives à l'équipement pour fibre de catégorie B1

La précision de la mesure du DCM fournie par cette méthode dépend de l'ouverture numérique maximale du montage de mesure. Pour ce qui concerne la fibre de catégorie B1, l'erreur est généralement égale ou inférieure à 1 % pour un montage d'essai ayant une ouverture numérique maximale de 0,25. Si on désire obtenir une erreur moins importante, ou si l'échantillon à l'essai a un DCM inférieur à 8,2 µm, il faut utiliser l'une des deux approches suivantes:

a) il est nécessaire d'utiliser un système d'essai ayant une ouverture numérique égale ou supérieure à 0,35, ou

b) il est nécessaire de déterminer une fonction cartographique permettant de relier la mesure de la fibre de catégorie B1 effectuée sur un montage d'essai à ouverture limitée à celle d'un montage d'essai ayant une ouverture numérique égale ou supérieure à 0,35.

B.1.1.2 Prescriptions relatives à l'équipement pour fibres de catégories B2, B3 et B4

L'ouverture numérique maximale du montage d'essai doit être égale ou supérieure à 0,40 pour des fibres dont les diamètres du champ de mode sont égaux ou supérieurs à 6 µm.

B.1.2 Dispositifs optiques de sortie

Utiliser un système optique, tel qu'une paire de lentilles, des miroirs, ou autre dispositif approprié pour collecter toute la lumière transmise à travers l'ouverture, et la coupler au détecteur.

B.1.3 Ensemble détecteur et dispositif électronique de détection des signaux

Utiliser un détecteur sensible au rayonnement sortant sur toute la plage des longueurs d'onde à mesurer, et linéaire sur toute la plage des intensités rencontrées. Un système typique pourrait comporter une photodiode au germanium ou au GaInAs, fonctionnant dans un mode photovoltaïque, et un préamplificateur de courant, la détection synchrone étant assurée par un amplificateur à verrouillage. De manière générale, un calculateur est prescrit pour l'analyse des données.

B.2 Procédure

B.2.1 Placer l'échantillon à l'essai, préparé conformément aux prescriptions de 4.2, dans les dispositifs d'alignement des entrées et des sorties, et ajuster correctement sa distance par rapport à l'ensemble à ouvertures.

B.2.2 Régler l'ensemble à ouvertures sur une ouverture de petite taille et ajuster l'alignement latéral champ lointain-ouverture pour une puissance détectée maximale.

B.2.3 Mesurer la puissance détectée pour chacune des ouvertures.

B.2.4 Répéter B.2.3 pour chaque longueur d'onde de mesure spécifiée.

B.2.5 Calculer le DCM suivant l'équation (2) et B.3.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

NOTE 2 The number and size of the apertures are critical to the accuracy of this method. The optimum can vary depending on the design of the fibres being tested. Verification of a particular selection can be completed by comparison with method A, direct far-field.

B.1.1.1 Equipment requirements for category B1 fibre

The accuracy of the MFD measurement given by this procedure depends on the maximum numerical aperture of the measurement set. For category B1 fibre, the error is typically 1 % or less for a measurement set with a maximum numerical aperture of 0,25. If less error is desired, or if the specimen has a MFD less than 8,2 µm, use either of two approaches:

a) use a measurement system with a maximum numerical aperture of 0,35 or greater; or
b) determine a mapping function that relates the measurement of category B1 fibre on limited aperture measurement set to that of a set with 0,35 or greater numerical aperture.

B.1.1.2 Equipment requirements for category B2, B3, and B4 fibres

The maximum numerical aperture of the measurement set shall be equal to or greater than 0,40 for fibres with MFDs equal to or greater than 6 µm.

B.1.2 Output optics system

Use an optical system, such as a pair of lenses, mirrors, or other suitable arrangement, to collect all the light transmitted through the aperture, and to couple it to the detector.

B.1.3 Detector assembly and signal detection electronics

Use a detector that is sensitive to the output radiation over the range of wavelengths to be measured and that is linear over the range of intensities encountered. A typical system might include a germanium or GaInAs photodiode, operating in the photovoltaic mode, and a current-sensitive preamplifier, with synchronous detection by a lock-in amplifier. Generally, a computer is required to analyze the data.

B.2 Procedure

B.2.1 Place the specimen, prepared as described in 4.2, in the input and output alignment devices, and adjust it for the correct distance to the aperture assembly.

B.2.2 Set the aperture assembly to a small aperture, and adjust the far field to an aperture lateral alignment for maximum detected power.

B.2.3 Measure the detected power for each of the apertures.

B.2.4 Repeat B.2.3 for each specified measurement wavelength.

B.2.5 Calculate the MFD per equation (2) and B.3.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

B.3 Calculs

B.3.1 Déterminer la fonction complémentaire d'ouverture

Déterminer la fonction complémentaire d'ouverture pour chaque ouverture, de 1 à *n:*

$$a(\theta_i) = 1 - \frac{P(\theta_i)}{P(\theta_n)} \quad \text{(B.1)}$$

où

$a(\theta_i)$ est la fonction complémentaire pour chaque ouverture, indicé en *i*, de 1 à *n*;

$P(\theta_i)$ est la puissance mesurée comme fonction de la position angulaire, θ_i, indicée en *i*.

B.3.2 Effectuer l'intégration

Utiliser une méthode d'intégration numérique appropriée pour calculer les intégrales de l'équation (5). Ce qui suit est un exemple. Toute autre méthode d'intégration doit au moins être aussi précise.

$$T = \sum_{1}^{n} a(\theta_i)\sin(2\theta_i)(\theta_i - \theta_{i-1}) \quad \text{(B.2)}$$

où

T est l'intégrale du numérateur de l'équation (1);

$a(\theta_i)$ est la fonction complémentaire d'ouverture à partir de l'équation (B.1).

NOTE $\theta_0 = 0$.

B.3.3 Effectuer le calcul

$$\text{DCM} = 2W_0 = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)\sqrt{\frac{2}{T}} \quad \text{(B.3)}$$

où

$2W_0$ est le DCM, en μm;

T provient de l'équation (B.2).

B.4 Ensemble des données de l'échantillon

Voir le tableau E.2 pour un ensemble de données comme calculé en B.3.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

B.3 Calculations

B.3.1 Determine complementary aperture function

Determine the complementary aperture function for each aperture, from 1 to *n:*

$$a(\theta_i) = 1 - \frac{P(\theta_i)}{P(\theta_n)} \tag{B.1}$$

where

$a(\theta_i)$ is the complementary function for each aperture, indexed with *i*, from 1 to *n*;

$P(\theta_i)$ is the measured power as a function of the angular position, θ_i, indexed by *i*.

B.3.2 Complete the integration

Use an appropriate numerical integration technique to compute the integrals of equation (5). The following is an example. Any other integration method shall be at least as accurate.

$$T = \sum_{1}^{n} a(\theta_i)\sin(2\theta_i)(\theta_i - \theta_{i-1}) \tag{B.2}$$

where

T is the top integral of equation (1);

$a(\theta_i)$ is the complementary aperture function from equation (B.1).

NOTE $\theta_0 = 0$.

B.3.3 Complete the calculation

$$\text{MFD} = 2W_0 = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)\sqrt{\frac{2}{T}} \tag{B.3}$$

where

$2W_0$ is the MFD, in μm;

T is from equation (B.2).

B.4 Sample data set

See table E.2 for a sample data set as calculated in B.3.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Annexe C
(normative)

Prescriptions spécifiques à la méthode C – Diamètre du champ de mode par la technique de l'exploration en champ proche

C.1 Appareillage

Cette annexe décrit l'appareillage en complément aux prescriptions de l'article 4.

La figure C.1 illustre un montage typique pour des mesures par exploration en champ proche.

C.1.1 Ensembles optiques de grossissement

Utiliser un système optique approprié (par exemple, un objectif de microscope) pour grossir l'extrémité de sortie de l'échantillon à l'essai, en faisant la mise au point sur le plan du détecteur à balayage. Cet ensemble optique ne doit pas limiter l'ouverture numérique de l'image formée et doit avoir une ouverture numérique supérieure à la valeur maximale de l'ouverture numérique du rayonnement de sortie de la fibre optique et être égale à au moins 0,45 pour les fibres des catégories B2 et B3 et à au moins 0,35 pour les fibres de catégorie B1.

C.1.2 Détecteur de balayage

Utiliser un détecteur à balayage approprié pour mesurer l'intensité point par point du diagramme transmis en champ proche. Le détecteur doit être linéaire sur l'ensemble de la gamme d'intensités rencontrées.

Utiliser un système d'exploration (mécanique ou électronique) permettant une résolution correcte de l'image en champ proche (en général, 100 points ou plus sur une plage de diagramme en champ proche qui est égale à environ trois fois le DCM nominal rapporté à la surface de la fibre).

Il est possible d'utiliser, par exemple, l'une des techniques ci-après:

a) un photodétecteur fixe dans lequel le champ est balayé par une fibre amorce d'exploration;

b) un vidicon à balayage, dispositif à couplage de charge (DCC) ou autre dispositif de reconnaissance de forme ou d'intensité.

Etalonner avec précision ces dispositifs en position.

C.1.3 Systèmes électroniques de détection

Pour augmenter le niveau du signal, utiliser un système électronique approprié. La bande passante de ce système électronique est choisie en fonction du type de technique utilisé.

Lorsque l'extrémité de sortie de la fibre est balayée à l'aide d'un dispositif mécanique ou optique, il est d'usage de moduler la source optique. Si tel est le cas, synchroniser l'amplificateur (par exemple un amplificateur à verrouillage) avec la fréquence de modulation de la source. Lorsque le balayage est électronique, utiliser un analyseur vidéo approprié ainsi qu'un système de balayage automatique de l'image en champ proche, et un système d'acquisition et de traitement de données.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Annex C
(normative)

Requirements specific to method C – Mode field diameter by near-field scan

C.1 Apparatus

This annex describes apparatus in addition to the requirements in clause 4.

Figure C.1 illustrates a typical set-up for the measurement by near-field scan.

C.1.1 Magnifying output optics

Use a suitable optical system (for example a microscopic objective) to magnify the output end of the specimen, focusing it onto the plane of the scanning detector. These optics shall not restrict the numerical aperture of the formed image and shall have a numerical aperture greater than the maximum NA of the fibre output radiation and not less than 0,45 for B2 and B3 fibres, and not less than 0,35 for B1 fibres.

C.1.2 Scanning detector

Use a suitable scanning detector to measure the point-to-point intensity of the transmitted near field pattern. The detector shall be linear over the range of intensities encountered.

Use a scanning system (mechanical or electronic) that permits a suitable resolution of the near-field image (typically 100 points or more along a range of the near-field pattern, which is about three times the nominal MFD reported to the fibre surface).

For example, any of the following techniques can be used:

a) a fixed photo detector in which the field is scanned by a scanning pigtail fibre;

b) a scanning vidicon, charge-coupled devices (CCD) or other pattern/intensity recognition devices.

Accurately calibrate such devices in position.

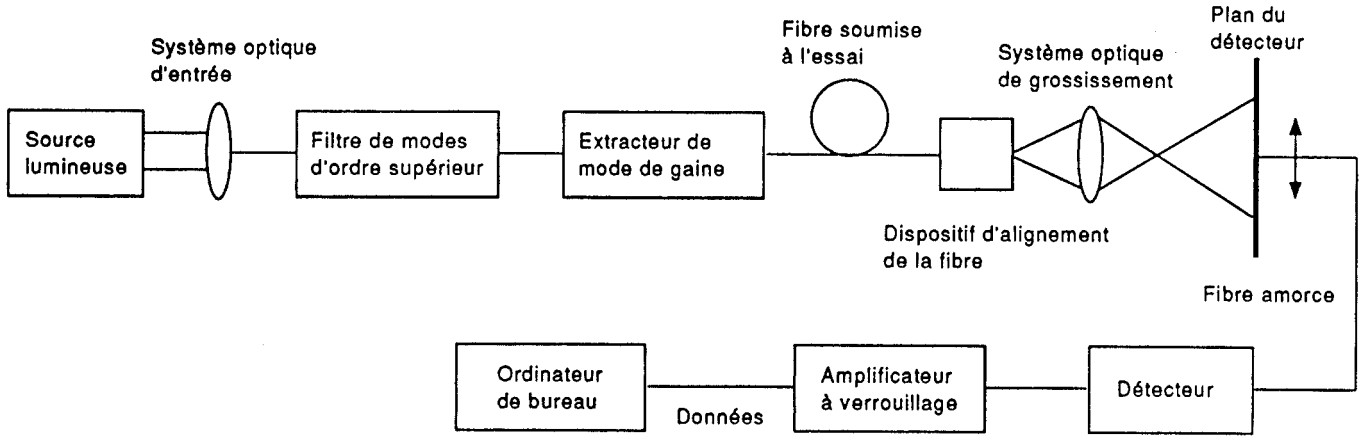
C.1.3 Detection electronics

In order to increase the signal level, use a suitable electronic system. Choose the bandwidth of such an electronic system according to type of technique used.

When scanning the output end of the fibre with a mechanical or optical system, it is customary to modulate the optical source. If adopting such a procedure, link the amplifier (for example lock-in amplifier) to the source modulation frequency. When performing the scanning electronically, use a suitable video analyzing system and a system for automatic scanning of the near-field image, data acquisition, and processing.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

a) Balayage mécanique



b) Balayage électronique

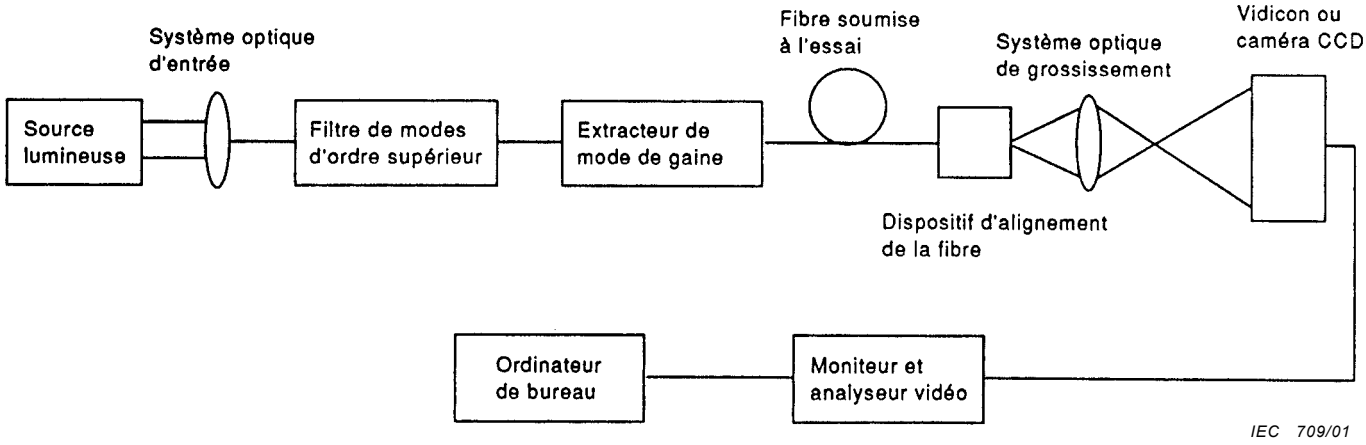
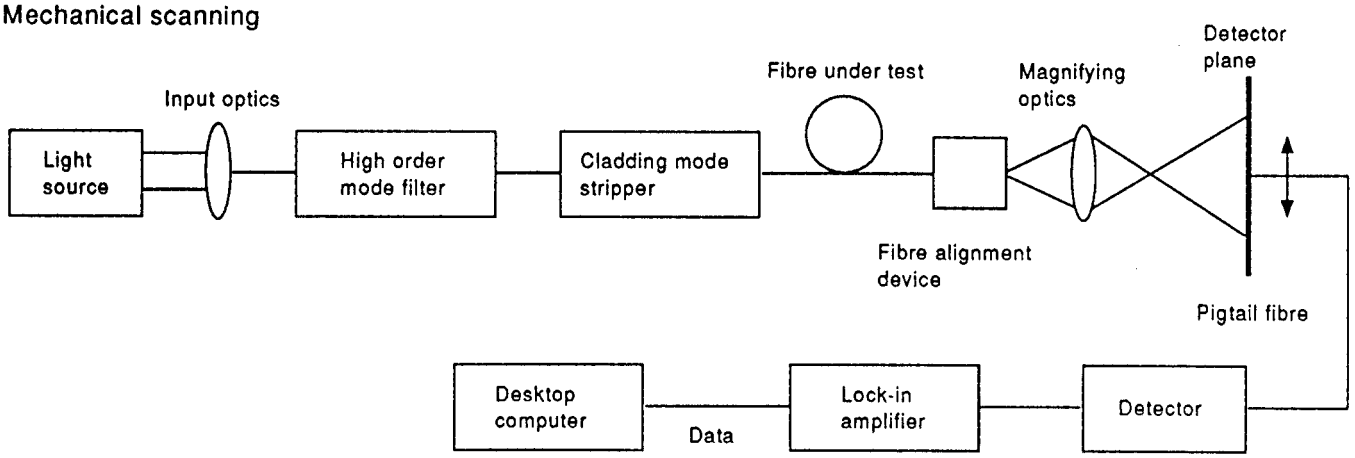


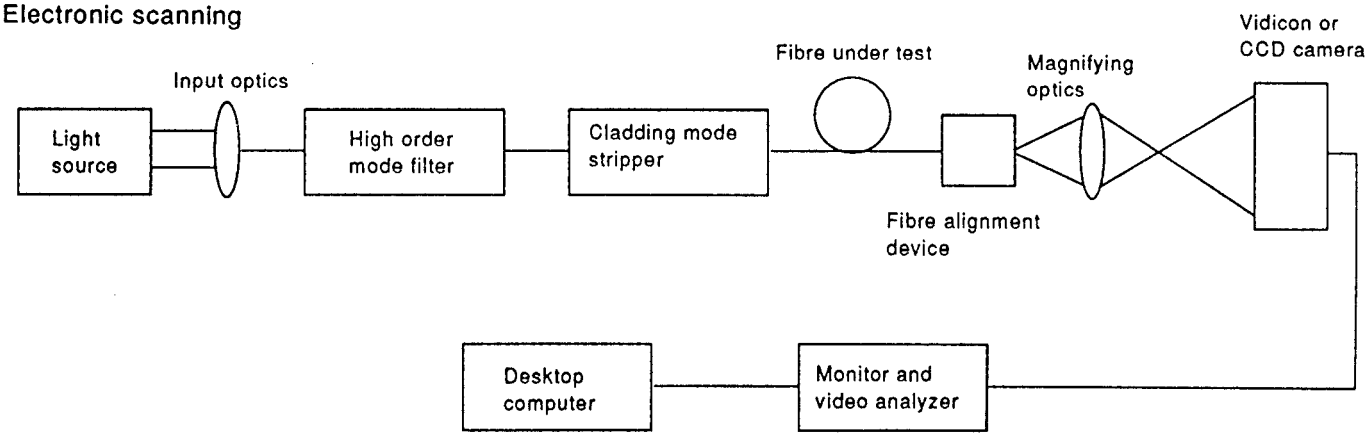
Figure C.1 – Montage de mesure en champ proche

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

a) Mechanical scanning



b) Electronic scanning



IEC 709/01

Figure C.1 – Near-field measurement set-ups

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

C.2 Procédure

C.2.1 Placer l'échantillon à l'essai, préparé comme décrit en 4.2, dans les dispositifs d'alignement en entrée et en sortie et régler pour obtenir une distance correcte par rapport au système optique de grossissement de manière à permettre la mise au point sur le plan du détecteur à balayage. Le critère de recherche d'un maximum de contraste de l'image peut être utilisé pour déterminer la mise au point.

C.2.2 Il faut soit balayer le diagramme en champ proche grossi, par déplacement de la fibre d'exploration et enregistrement de l'intensité détectée en fonction de la position, soit traiter le diagramme en champ proche au moyen d'un analyseur vidéo, selon que le balayage est respectivement mécanique ou électronique.

C.2.3 Calculer la valeur du DCM à partir du diagramme d'intensité en champ proche, $f^2(r)$, exprimée sur la face de sortie de la fibre, en tenant compte du grossissement et de la coordonnée radiale réelle r, conformément à C.3.

C.2.4 Mesurer périodiquement le grossissement du système optique conjointement avec le système de balayage. Effectuer l'étalonnage initial au moyen d'une grille étalon puis vérifier périodiquement par balayage de l'image d'une face d'extrémité de fibre dont les dimensions sont connues avec une précision suffisante.

C.3 Calculs

C.3.1 Calculer le barycentre

Pour une section droite donnée du diagramme d'essai en champ proche qui est d'étendue maximale, calculer la position du barycentre, suivant:

$$r_c = \frac{\sum r_i f^2(r_i)}{\sum f^2(r_i)} \qquad \text{(C.1)}$$

où

r_c est la position du barycentre;

r_i sont les valeurs en position;

$f^2(r_i)$ sont les valeurs en intensité.

C.3.2 Symétriser le profil d'intensité

Réindicer les données de position et d'intensité autour de la position du barycentre à partir de l'équation (C.1), de manière que les positions au-dessus aient des valeurs positives de l'indice, et que les positions au-dessous aient des valeurs négatives. L'indice maximal est donné comme n. Le profil d'index symétrisé par moyennes des écarts est:

$$f_f^2(r_i) = \left[\frac{f^2(r_i) + f^2(r_{-i})}{2} \right] \qquad \text{(C.2)}$$

où

$f_f^2(r_i)$ est la valeur d'intensité symétrisée par moyennes des écarts;

$f^2(r_i)$ sont les valeurs de l'intensité.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

C.2 Procedure

C.2.1 Place the specimen, prepared as described in 4.2, in the input and output alignment devices, and adjust it for correct distance to the magnifying optics in such a way as to be focused onto the plane of the scanning detector. The criterion of maximizing the contrast of the image can be used for a proper focus.

C.2.2 Either scan the magnified near-field pattern by moving the scanning fibre and recording the detected intensity as a function of position, or process the near-field pattern by means of a video analyzer, according to whether the scanning is mechanical or electronic, respectively.

C.2.3 Calculate the value of the MFD from the near-field intensity pattern, $f^2(r)$, expressed on the fibre output face, taking into account the magnification and the actual radial coordinate, r, according to C.3.

C.2.4 Periodically measure the magnification of the magnifying optics in conjunction with the scanning system. Perform the initial calibration using a suitable calibrated grating, and then periodically check it by scanning the image of a fibre end face whose dimensions are known with suitable accuracy.

C.3 Calculations

C.3.1 Calculate the centroid

For a given cross section of the near-field test pattern that is of maximum extent, calculate the centroid position as follows:

$$r_c = \frac{\sum r_i f^2(r_i)}{\sum f^2(r_i)} \qquad \text{(C.1)}$$

where

r_c is the centroid position;

r_i are the position values;

$f^2(r_i)$ are the intensity values.

C.3.2 Fold the intensity profile

Re-index the position and intensity data around the position centroid from equation (C.1) so that positions above have index values greater than zero, and positions below have index values less than zero. The maximum index is given as n. The folded index profile is

$$f_f^2(r_i) = \left[\frac{f^2(r_i) + f^2(r_{-i})}{2} \right] \qquad \text{(C.2)}$$

where

$f_f^2(r_i)$ is the folded intensity value;

$f^2(r_i)$ are the intensity values.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

C.3.3 Calculer les intégrales

Utiliser une méthode d'intégration numérique appropriée pour calculer les intégrales de l'équation (7). Ce qui suit est un exemple. Toute autre méthode d'intégration doit être au moins aussi précise.

Calculer les intégrales du numérateur et du dénominateur de l'équation (7) comme:

$$T = \sum_{0}^{n} r_{\mathrm{i}}\ f_{\mathrm{f}}^{2}(r_{\mathrm{i}})\mathrm{d}r \qquad \text{(C.3)}$$

où

T est l'intégrale du numérateur de l'équation (3);

r_{i} sont les valeurs de position;

$f_{\mathrm{f}}^{2}(r_{\mathrm{i}})$ sont les profils d'intensité symétrisées par moyennes des écarts.

$$B = \sum_{0}^{n} r_{\mathrm{i}}\left[\frac{\mathrm{d}f_{\mathrm{f}}(r_{\mathrm{i}})}{\mathrm{d}r}\right]\mathrm{d}r \qquad \text{(C.4)}$$

où

B est l'intégrale du dénominateur de l'équation (3);

$\mathrm{d}f_{\mathrm{f}}(r_{\mathrm{i}}) = f_{\mathrm{f}}(r_{\mathrm{i}}) - f_{\mathrm{f}}(r_{\mathrm{i}-1})$ pour $i > 0$, ou 0 pour $i = 0$;

$\mathrm{d}r = (r_1 - r_0)$.

NOTE Les données peuvent être ajustées à une courbe pour le calcul de la dérivée.

C.3.4 Effectuer le calcul

$$\mathrm{DCM} = 2W_0 = 2\sqrt{\frac{2T}{B}} \qquad \text{(C.5)}$$

où

$2W_0$ est le DCM, en µm;

T provient de l'équation (C.3);

B provient de l'équation (C.4).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

C.3.3 Compute the integrals

Use an appropriate numerical integration technique to compute the integrals of equation (7). The following is an example. Any other integration method shall be at least as accurate.

Compute the top and bottom integrals of equation (7) as follows:

$$T = \sum_{0}^{n} r_{\mathrm{i}}\ f_{\mathrm{f}}^{2}(r_{\mathrm{i}})\,\mathrm{d}r \tag{C.3}$$

where

T is the top integral of equation (3);

r_{i} are the position values;

$f_{\mathrm{f}}^{2}(r_{\mathrm{i}})$ are the folded intensity profiles.

$$B = \sum_{0}^{n} r_{\mathrm{i}}\left[\frac{\mathrm{d}f_{\mathrm{f}}(r_{\mathrm{i}})}{\mathrm{d}r}\right]\mathrm{d}r \tag{C.4}$$

where

B is the bottom integral of equation (3);

$\mathrm{d}f_{\mathrm{f}}(r_{\mathrm{i}}) = f_{\mathrm{f}}(r_{\mathrm{i}}) - f_{\mathrm{f}}(r_{\mathrm{i}-1})$ for $i > 0$, or 0 for $i = 0$;

$\mathrm{d}r = (r_1 - r_0)$.

NOTE The data may be fitted to a curve for the computation of the derivative.

C.3.4 Complete the calculation

$$\mathrm{MFD} = 2W_0 = 2\sqrt{\frac{2T}{B}} \tag{C.5}$$

where

$2W_0$ is the MFD in μm;

T is from equation (C.3);

B is from equation (C.4).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Annexe D
(normative)

Prescriptions spécifiques à la méthode D – Diamètre du champ de mode par réflectomètre optique dans le domaine temporel (RODT)

Cette méthode décrit le calcul du DCM aux extrémités de la fibre, utilisant les résultats de mesures en rétrodiffusion bidirectionnelle avec un réflectomètre optique fonctionnant dans le domaine temporel (RODT).

La mesure est faite par comparaison à une fibre amorce de référence avec une valeur connue de DCM aux extrémités de la fibre amorce. Il convient que cette fibre de référence soit de modèle unimodal similaire à celui de la fibre à caractériser, par exemple, fibre de type B1 avec gaines ajustées. Une carte empirique peut quelquefois être utilisée pour la caractérisation d'une fibre avec une fibre de référence de modèle différent. Cette carte est spécifique à ce couple de modèles.

La mesure est limitée au DCM à la jonction référence-échantillon parce que les RODT ne sont pas linéaires. Cette qualité est souvent spécifiée par les fabricants de l'instrument. Bien que les valeurs typiques de la spécification soient suffisantes pour les mesures d'affaiblissement linéiques, elles ne sont pas suffisamment rigoureuses pour permettre une caractérisation précise du DCM sur la longueur entière de fibre. Il faut les tracés de rétrodiffusion bidirectionnelle pour caractériser le DCM.

Cette méthode est le plus souvent utilisée en fabrication, lorsque le modèle de fibre est bien connu. Ces dernières doivent être utilisées pour résoudre les contestations sur les valeurs. La validation périodique des résultats de cette méthode est recommandée.

D.1 Appareillage

D.1.1 RODT

L'équipement est décrit dans la Méthode C – Rétrodiffusion, de la CEI 60793-1-40. Il convient que les longueurs d'onde réelles centrales du RODT soient connues à moins de 2 nm pour de meilleurs résultats. Une erreur de 2,5 nm apportera une erreur de l'ordre de 0,025 μm dans le DCM lorsque des longueurs d'onde dans la zone 1 310 nm et 1 550 nm sont utilisées.

D.1.2 Commutateurs auxiliaires en option

Différents schémas de commutation optique peuvent être utilisés pour rendre cette méthode plus efficace. La figure D.1 illustre un exemple dans lequel est employé un RODT avec lasers à deux longueurs d'onde pour faire les mesures de rétrodiffusion bidirectionnelle. Les deux fibres de référence permettent la caractérisation des deux extrémités de la fibre à l'essai.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Annex D
(normative)

Requirements specific to method D – Mode field diameter by optical time domain reflectometer (OTDR)

This method describes the calculation of MFD at the fibre ends using the results of bi-directional backscatter measurements from an optical time domain reflectometer (OTDR).

The measurement is made by comparison to a reference pigtail fibre with a known value of MFD at the pigtail fibre ends. This reference fibre should be of a similar single-mode design as the fibre that is being characterized, for example, matched cladding B1 type fibre. An empirical mapping can sometimes be used for characterization of a fibre of one design with a reference fibre of another design. This mapping is specific to the design pair.

The measurement is limited to MFD at the reference-sample joint because OTDRs are non-linear. This attribute is often specified by instrument manufacturers. Although typical specification values are sufficient for attenuation coefficient measurements, they are not sufficiently stringent to allow accurate characterization of MFD over the entire fibre length. Bi-directional backscatter traces are required to characterize MFD.

This method is most often used in manufacturing, where the fibre design is well known. The latter methods shall be used to resolve disputes in value. Periodic validation of the results of this method is recommended.

D.1 Apparatus

D.1.1 OTDR

The equipment is described in Method C – Backscattering, of IEC 60793-1-40. The actual centre wavelengths of the OTDR should be known to within 2 nm for best results. An error of 2,5 nm will cause about a 0,025 μm error in the MFD when wavelengths in the 1 310 nm and 1 550 nm region are used.

D.1.2 Optional auxiliary switches

Various optical switching schemes can be used to make this method more efficient. Figure D.1 illustrates an example in which an OTDR with lasers at two wavelengths is employed to carry out bi-directional backscattering measurements. The two reference fibres allow characterization of both ends of the fibre under test.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

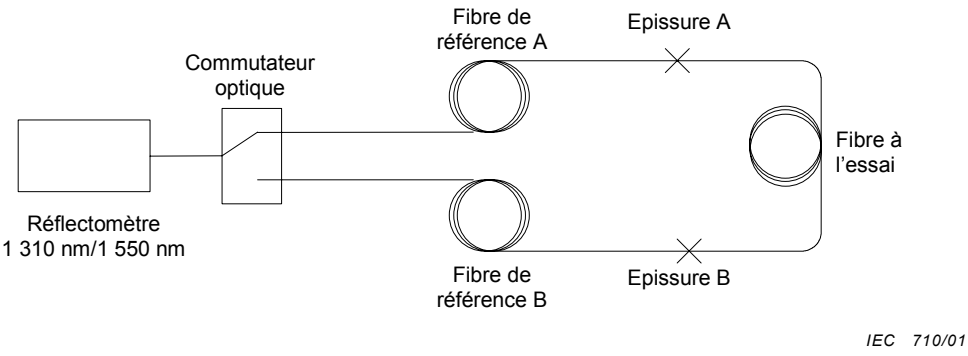


Figure D.1 – Disposition de commutation optique

NOTE Les épissures indiquées à la figure D.1 peuvent être des jonctions bout à bout. Il faut que les épissures soient stables pendant la durée des mesures.

D.1.3 Calculateur en option

L'utilisation d'un calculateur pour l'évaluation des pertes aux épissures est recommandée.

D.1.4 Echantillon à l'essai

L'échantillon est une fibre unimodale de type B, enroulée sur une bobine ou en câble, de longueur suffisante pour dépasser (ou être positionné au-delà de) la zone morte du RODT avec les deux extrémités accessibles, comme décrit dans la méthode de rétrodiffusion de la CEI 60793-1-40.

D.1.5 Echantillon de référence

Utiliser une fibre unimodale, mesurée en DCM à une ou plusieurs longueurs d'onde. Deux fibres de référence, une pour chaque extrémité peuvent être utilisées.

La fibre de référence est typiquement de même modèle que la fibre à l'essai et est de longueur suffisante pour éviter la zone morte du RODT. Si la fibre de référence n'est pas de même modèle que la fibre à l'essai, une carte des valeurs obtenues par cette méthode et les valeurs obtenues par une méthode primaire doit être effectuée.

D.2 Procédure

D.2.1 Orientation et notation

Cette méthode décrit la caractérisation de la position A de la figure D.1. La notation de cette section peut être inversée pour la caractérisation de la position B. Les pertes en rétrodiffusion à la position A sont mesurées par injection de lumière d'une ou de plusieurs longueurs d'onde dans les deux fibres de référence A et B.

Pour cette procédure, les symboles suivants sont utilisés:

λ_j est la longueur d'onde particulière;

RFA est la fibre de référence A;

RFB est la fibre de référence B;

L_A (λ_j) est la perte à l'épissure A en injectant λ_j dans RFA;

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

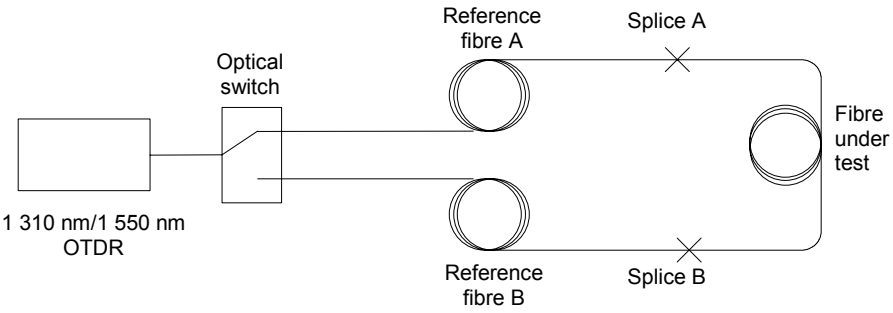


Figure D.1 – Optical switch arrangement

NOTE The splices indicated on figure D.1 can be butt joints. The splices must be stable for the duration of the measurement.

D.1.3 Optional computer

A computer, used for evaluating the loss across the splices, is recommended.

D.1.4 Test sample

The sample is a type B single-mode fibre, wound on a reel or in a cable, long enough to exceed (or positioned beyond) the dead zone of the OTDR, with both ends accessible, as described in the backscatter test of IEC 60793-1-40.

D.1.5 Reference sample

Use a single-mode fibre which has been measured for MFD at one or more wavelengths. Two reference fibres, one for each end of the specimen, may be used.

The reference fibre is typically of the same design as the fibre under test and is of a length sufficient to avoid the OTDR dead-zone. If the reference fibre is not of the same design as the fibre under test, a mapping of the values generated by this method and the values generated by a primary method shall be completed.

D.2 Procedure

D.2.1 Orientation and notation

This method describes the characterization of position A of Figure D.1. The notation of this section can be inverted for characterization of position B. The backscatter loss across position A is measured by launching light of one or more wavelengths into both reference fibre A and reference fibre B.

For this procedure, the following symbols are used:

λ_j is a particular wavelength;

RFA is reference fibre A;

RFB is reference fibre B;

L_A (λ_j) is the loss across splice A when launching λ_j through RFA;

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

L_B (λ_j) est la perte à l'épissure A en injectant λ_j dans RFB;

$W_A(\lambda_j)$ est le diamètre de champ de mode mesuré à λ_j à l'extrémité de RFA;

$W_S(\lambda_j)$ est le diamètre du champ de mode à λ_j tiré de cette méthode, pour l'échantillon à l'essai.

Les figures D.2 et D.3 montrent ces valeurs de pertes sur deux tracés de rétrodiffusion.

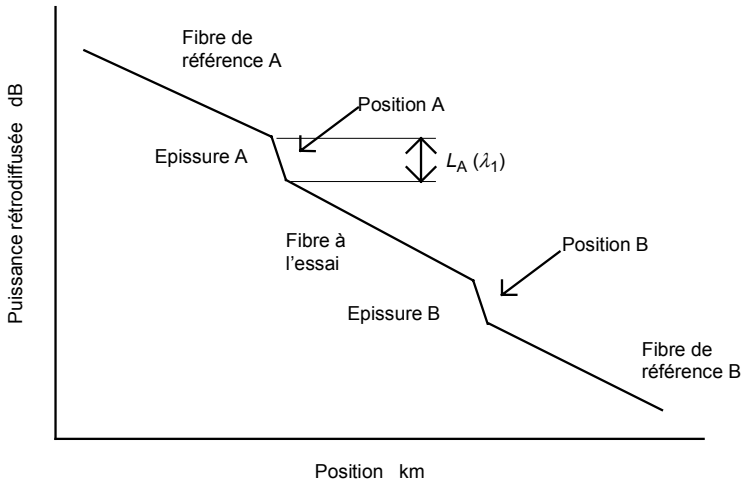


Figure D.2 – Vue de la fibre de référence A

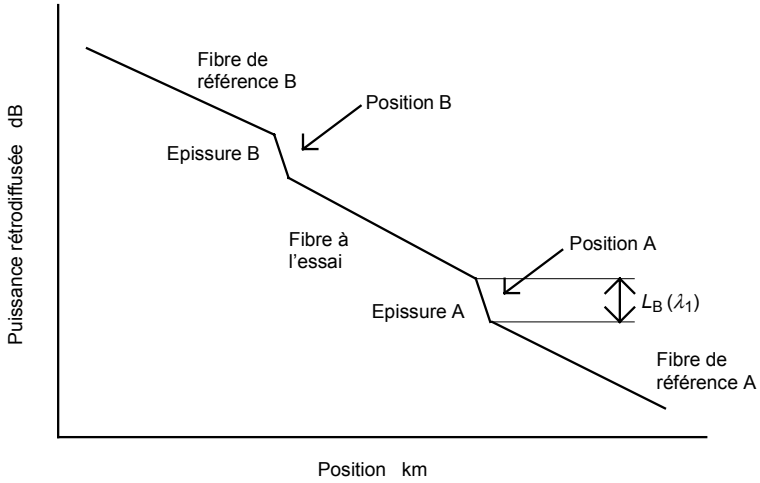


Figure D.3 – Vue de la fibre de référence B

D.2.2 Les pertes à l'épissure A sont mesurées suivant C.3.6 de la CEI 60793-1-40 dans le cas de l'injection de lumière à λ_1 à partir de RFA. Le résultat est noté comme $L_A(\lambda_1)$. Les pertes à l'épissure A sont mesurées suivant C.3.6 de la CEI 60793-1-40 dans le cas de l'injection de lumière à λ_1 à partir de RFB. Le résultat est noté comme $L_B(\lambda_1)$.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

L_B (λ_j) is the loss across splice A when launching λ_j through RFB;

$W_A(\lambda_j)$ is the measured MFD at λ_j at the end of RFA;

$W_S(\lambda_j)$ is the MFD at λ_j derived from this method for the specimen.

Figures D.2 and D.3 show these loss values on two backscatter traces.

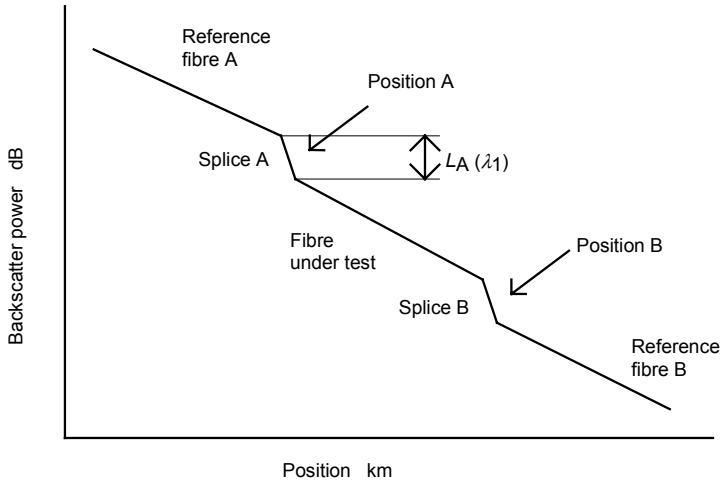


Figure D.2 – View from reference fibre A

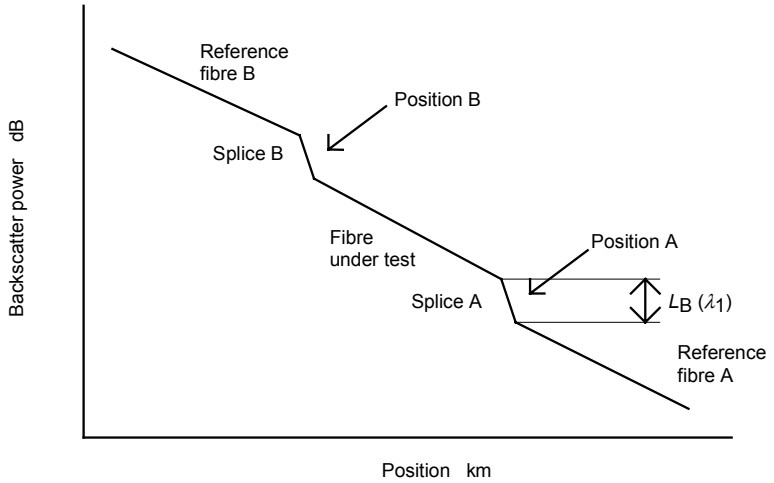


Figure D.3 – View from reference fibre B

D.2.2 The loss across splice A is measured using C.3.6 of IEC 60793-1-40 when launching light at λ_1 from RFA. The result is recorded as $L_A(\lambda_1)$. The loss across splice A is measured using C.3.6 of IEC 60793-1-40 when launching light at λ_1 from RFB. The result is recorded as $L_B(\lambda_1)$.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

D.3 Calculs

D.3.1 DCM de la fibre de référence

Il convient que le DCM de la fibre de référence A soit mesuré pour chaque longueur d'onde désirée.

D.3.2 Calcul du DCM de l'échantillon à l'essai

Pour chaque longueur d'onde désirée, λ_j, la différence de pertes entre les vues de la RFA et de la RFB est calculée selon:

$$\Delta L(\lambda_j) = L_A(\lambda_j) - L_B(\lambda_j) \quad \text{(D.1)}$$

Le DCM de l'échantillon à l'essai à λ_j est calculé selon:

$$W_S(\lambda_j) = W_A(\lambda_j) 10^{\left|g_j \Delta L(\lambda_j) + f_j\right| / 20} \quad \text{(D.2)}$$

Les paramètres g_j et f_j permettent des améliorations dans les résultats. Pour un modèle donné de produit, les valeurs g_j et f_j qui optimisent la précision peuvent être déterminés expérimentalement. En variante, g_j et f_j peuvent être fixées respectivement aux valeurs de 1 et 0.

D.3.3 Validation

La figure D.4 illustre un graphe de validation.

Un échantillon de la population du modèle de fibre est mesuré à la fois par une méthode primaire et par cette méthode. Il convient que l'échantillon couvre une large plage de valeurs de DCM et de longueur d'onde de coupure.

Les valeurs suivant cette méthode sont exprimées sous forme de graphiques en fonction de celles de la méthode primaire pour vérifier qu'une relation essentiellement linéaire existe bien. Il convient que la pente de la droite soit proche de l'unité et que l'intersection soit proche de zéro. Le meilleur essai pour des pentes non égales à l'unité est de corréler les différences par couple avec les totaux par couple. Si la corrélation n'est pas significative, la pente n'est pas significativement différente de 1. Le décentrement ou l'intersection différent de zéro est abordé ci-dessous.

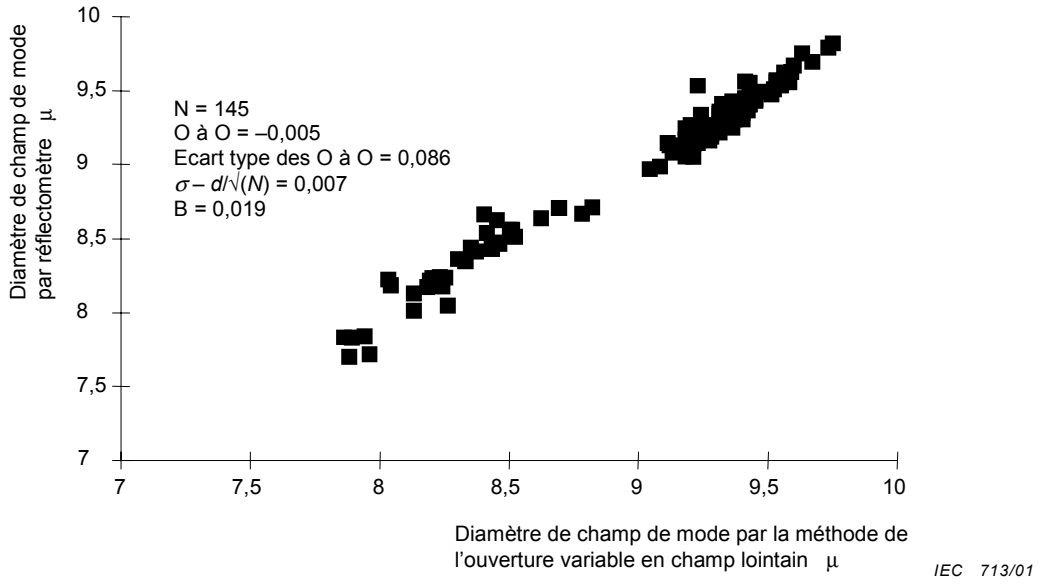


Figure D.4 – Exemple de validation: comparaison de méthodes

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

D.3 Calculations

D.3.1 Reference fibre MFD

The MFD of reference fibre A should be measured at each desired wavelength.

D.3.2 Computation of the specimen MFD

For each desired wavelength, λ_j, the difference in loss between RFA and RFB views is computed as follows:

$$\Delta L(\lambda_j) = L_A(\lambda_j) - L_B(\lambda_j) \quad \text{(D.1)}$$

The MFD of the specimen at λ_j is computed as follows:

$$W_S(\lambda_j) = W_A(\lambda_j) 10^{\lfloor g_j \Delta L(\lambda_j) + f_j \rfloor / 20} \quad \text{(D.2)}$$

The parameters g_j and f_j allow improvements in the result. For a given product design, g_j and f_j values that optimize accuracy may be determined experimentally. Alternatively, g_j and f_j may be set to values of 1 and 0, respectively.

D.3.3 Validation

Figure D.4 illustrates a validation plot.

A sample of the population of the fibre design is measured with both a primary method and this method. The sample should cover a broad range of MFD and cut-off values.

The values of this method are plotted against the values from the primary method to verify that an essentially linear relationship is present. The slope of the line should be close to unity and the intercept should be close to zero. The best test for non-unit slopes is to correlate the paired differences with the paired totals. If the correlation is not significant, the slope is not significantly different than 1. Bias, or non-zero intercept is addressed below.

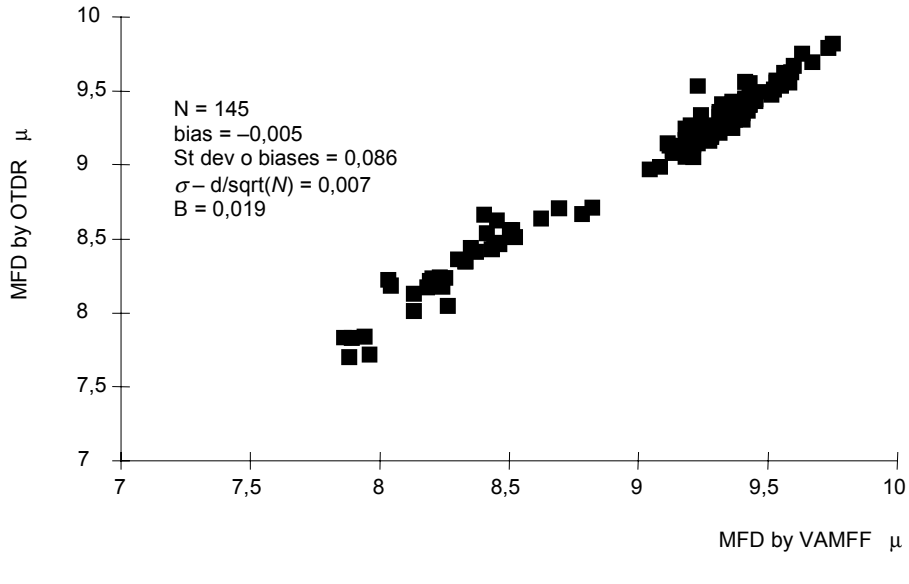


Figure D.4 – Validation example – Comparison of methods

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

La différence par couple, d_i, entre les valeurs de cette méthode et celles des méthodes primaires est calculée pour chaque échantillon à l'essai, indicée en i, de 1 à N. Un histogramme est constitué de ces différences par couple, puis la moyenne, $\bar{d}$, et l'écart type, σ_d, de ces différences sont calculées. La précision empirique est représentée par:

$$B = | \bar{d} | + 2\frac{\sigma_d}{\sqrt{N}} \qquad \text{(D.3)}$$

NOTE Si *B* est trop grand, c'est-à-dire plus grand qu'attendu entre deux instruments utilisant les autres méthodes de cette norme, il est recommandé d'affiner les équations ou la procédure. Une valeur maximale typique de *B* est 0,1 μm.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

The paired difference, d_i, between the values of this method and the primary methods is computed for each specimen, indexed with i, from 1 to N. A histogram is formed of these paired differences and the average, $\bar{d}$, and standard deviation, σ_d, of these differences are computed. The empirical accuracy is represented as follows:

$$B = | \bar{d} | + 2\frac{\sigma_d}{\sqrt{N}} \qquad \text{(D.3)}$$

NOTE If *B* is too large, i.e. larger than expected between two instruments using other methods from this standard, refinement of the equations or of the procedure is recommended. A typical maximum value of *B* is 0,1 µm.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Annexe E
(informative)

Ensemble de données sur échantillon et valeurs calculées

Les tableaux suivants représentent des données sur échantillon et les valeurs calculées obtenues respectivement à partir des annexes A, B, et C.

E.1 Méthode A – DCM par exploration directe en champ lointain

Tableau E.1 – Données sur échantillon, méthode A – DCM par exploration directe en champ lointain

Angle °	Puissance	Angle °	Puissance
0,000	1,000 00	9,405	0,048 47
0,495	0,986 26	9,900	0,039 11
0,990	0,944 69	10,395	0,031 55
1,485	0,881 28	10,890	0,025 58
1,980	0,802 91	11,385	0,020 59
2,475	0,713 44	11,880	0,016 59
2,970	0,621 16	12,375	0,013 35
3,465	0,533 03	12,870	0,010 77
3,960	0,452 02	13,365	0,008 65
4,455	0,378 06	13,860	0,006 97
4,950	0,313 73	14,355	0,005 59
5,445	0,258 48	14,850	0,004 47
5,940	0,211 16	15,345	0,003 56
6,435	0,171 70	15,840	0,002 83
6,930	0,139 50	16,335	0,002 24
7,425	0,113 30	16,830	0,001 79
7,920	0,091 99	17,325	0,001 45
8,415	0,074 47	17,820	0,001 13
8,910	0,060 09	18,315	0,000 87

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Annex E
(informative)

Sample data sets and calculated values

The following tables represent sample data and calculated values obtained from annexes A, B and C, respectively.

E.1 Method A – MFD by direct far-field scan

Table E.1 – Sample data, method A – MFD by direct far-field scan

Angle °	Folded power	Angle °	Folded power
0,000	1,000 00	9,405	0,048 47
0,495	0,986 26	9,900	0,039 11
0,990	0,944 69	10,395	0,031 55
1,485	0,881 28	10,890	0,025 58
1,980	0,802 91	11,385	0,020 59
2,475	0,713 44	11,880	0,016 59
2,970	0,621 16	12,375	0,013 35
3,465	0,533 03	12,870	0,010 77
3,960	0,452 02	13,365	0,008 65
4,455	0,378 06	13,860	0,006 97
4,950	0,313 73	14,355	0,005 59
5,445	0,258 48	14,850	0,004 47
5,940	0,211 16	15,345	0,003 56
6,435	0,171 70	15,840	0,002 83
6,930	0,139 50	16,335	0,002 24
7,425	0,113 30	16,830	0,001 79
7,920	0,091 99	17,325	0,001 45
8,415	0,074 47	17,820	0,001 13
8,910	0,060 09	18,315	0,000 87

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

E.2 Méthode B – DCM par la méthode de l'ouverture variable en champ lointain

Les détails de la méthode de calcul peuvent donner des différences de l'ordre de 0,01 µm dans la valeur calculée.

Tableau E.2 – Données sur échantillon, méthode B – DCM par la méthode de l'ouverture variable en champ lointain

θ_i °	Puissance	θ_i °	Puissance
1,273	0,085 72	10,367	0,708 23
2,201	0,208 64	11,172	0,714 50
2,930	0,312 50	11,944	0,719 71
3,820	0,423 22	13,216	0,725 10
4,631	0,509 08	14,879	0,729 71
5,403	0,567 77	16,671	0,733 06
6,271	0,613 60	18,275	0,734 74
7,107	0,646 90	20,042	0,735 82
7,776	0,667 85	21,788	0,735 84
8,663	0,686 43	23,478	0,736 16
9,558	0,699 63	–	–
Longueur d'onde: 1 300 nm. DCM calculé 8,163 µm.			

E.3 Méthode C – DCM par exploration en champ proche

Les données sur échantillon et le calcul du DCM apparaissent au tableau E.3.

Tableau E.3 – Données sur échantillon, méthode C – DCM par exploration en champ proche

r µm	$f^2(r) / I(0)$	r µm	$f^2(r) / I(0)$
0,000	1,000 00	10,817	0,001 97
1,082	0,890 27	11,899	0,000 88
2,163	0,635 61	12,981	0,000 36
3,245	0,350 31	14,063	0,000 15
4,327	0,166 87	15,144	0,000 06
5,409	0,078 26	16,226	0,000 02
6,490	0,037 35	17,308	0,000 00
7,572	0,017 52	18,389	0,000 00
8,654	0,008 72	19,471	0,000 00
9,736	0,004 33	20,553	0,000 00
Longueur d'onde: 1 300 nm. DCM calculé: 10,76 µm.			

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

E.2 Method B – MFD by variable aperture in the far field

Details of the calculation method may cause differences in computed value on the order of 0,01 µm.

Table E.2 – Sample data set, method B – MFD by variable aperture in the far field

θ_i °	Power	θ_i °	Power
1,273	0,085 72	10,367	0,708 23
2,201	0,208 64	11,172	0,714 50
2,930	0,312 50	11,944	0,719 71
3,820	0,423 22	13,216	0,725 10
4,631	0,509 08	14,879	0,729 71
5,403	0,567 77	16,671	0,733 06
6,271	0,613 60	18,275	0,734 74
7,107	0,646 90	20,042	0,735 82
7,776	0,667 85	21,788	0,735 84
8,663	0,686 43	23,478	0,736 16
9,558	0,699 63	–	–
Wavelength: 1 300 nm.			
Calculated MFD: 8,163 µm.			

E.3 Method C – MFD by near-field scan

A sample data set and the calculation of MFD appears in table E.3.

Table E.3 – Sample data set, method C – MFD by near-field scan

r µm	$f^2(r) / I(0)$	r µm	$f^2(r) / I(0)$
0,000	1,000 00	10,817	0,001 97
1,082	0,890 27	11,899	0,000 88
2,163	0,635 61	12,981	0,000 36
3,245	0,350 31	14,063	0,000 15
4,327	0,166 87	15,144	0,000 06
5,409	0,078 26	16,226	0,000 02
6,490	0,037 35	17,308	0,000 00
7,572	0,017 52	18,389	0,000 00
8,654	0,008 72	19,471	0,000 00
9,736	0,004 33	20,553	0,000 00
Wavelength: 1 300 nm.			
Calculated MFD: 10,76 µm.			

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Switzerland

or

Fax to: **IEC**/CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)
International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 GENEVA 20
Switzerland

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: *(e.g. 60601-1-1)*

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard *(tick all that apply).* I am the/a:

purchasing agent ❑
librarian ❑
researcher ❑
design engineer ❑
safety engineer ❑
testing engineer ❑
marketing specialist ❑
other.....

Q3 I work for/in/as a: *(tick all that apply)*

manufacturing ❑
consultant ❑
government ❑
test/certification facility ❑
public utility ❑
education ❑
military ❑
other.....

Q4 This standard will be used for: *(tick all that apply)*

general reference ❑
product research ❑
product design/development ❑
specifications ❑
tenders ❑
quality assessment ❑
certification ❑
technical documentation ❑
thesis ❑
manufacturing ❑
other.....

Q5 This standard meets my needs: *(tick one)*

not at all ❑
nearly ❑
fairly well ❑
exactly ❑

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: *(tick all that apply)*

standard is out of date ❑
standard is incomplete ❑
standard is too academic ❑
standard is too superficial ❑
title is misleading ❑
I made the wrong choice ❑
other .....

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:
(1) unacceptable,
(2) below average,
(3) average,
(4) above average,
(5) exceptional,
(6) not applicable

timeliness.....
quality of writing.....
technical contents.....
logic of arrangement of contents .....
tables, charts, graphs, figures.....
other .....

Q8 I read/use the: *(tick one)*

French text only ❑
English text only ❑
both English and French texts ❑

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Suisse

ou

Télécopie: **CEI**/CSC +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)
Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 GENÈVE 20
Suisse

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact: (*ex. 60601-1-1)*

.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

agent d'un service d'achat ❑
bibliothécaire ❑
chercheur ❑
ingénieur concepteur ❑
ingénieur sécurité ❑
ingénieur d'essais ❑
spécialiste en marketing ❑
autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

dans l'industrie ❑
comme consultant ❑
pour un gouvernement ❑
pour un organisme d'essais/ certification ❑
dans un service public ❑
dans l'enseignement ❑
comme militaire ❑
autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

ouvrage de référence ❑
une recherche de produit ❑
une étude/développement de produit ❑
des spécifications ❑
des soumissions ❑
une évaluation de la qualité ❑
une certification ❑
une documentation technique ❑
une thèse ❑
la fabrication ❑
autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

pas du tout ❑
à peu près ❑
assez bien ❑
parfaitement ❑

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

la norme a besoin d'être révisée ❑
la norme est incomplète ❑
la norme est trop théorique ❑
la norme est trop superficielle ❑
le titre est équivoque ❑
je n'ai pas fait le bon choix ❑
autre(s) .....

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

publication en temps opportun .....
qualité de la rédaction.....
contenu technique .....
disposition logique du contenu .....
tableaux, diagrammes, graphiques, figures.....
autre(s) .....

Q8 Je lis/utilise: *(une seule réponse)*

uniquement le texte français ❑
uniquement le texte anglais ❑
les textes anglais et français ❑

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ISBN 2-8318-5829-1

ICS 33.180.10

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND