

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60793-1-44**

Première édition  
First edition  
2001-07

---

---

**Fibres optiques –**

**Partie 1-44:  
Méthodes de mesure et procédures d'essai –  
Longueur d'onde de coupure**

**Optical fibres –**

**Part 1-44:  
Measurement methods and test procedures –  
Cut-off wavelength**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60793-1-44:2001

## Numérotation des publications

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

## Editions consolidées

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

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

- Site web de la CEI ([www.iec.ch](http://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](http://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](http://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](mailto: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](http://www.iec.ch))
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/catlg-e.htm](http://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](http://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](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60793-1-44**

Première édition  
First edition  
2001-07

---

---

**Fibres optiques –**

**Partie 1-44:**

**Méthodes de mesure et procédures d'essai –  
Longueur d'onde de coupure**

**Optical fibres –**

**Part 1-44:**

**Measurement methods and test procedures –  
Cut-off wavelength**

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

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

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

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**S**

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

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	4
INTRODUCTION .....	8
1 Domaine d'application .....	10
2 Références normatives .....	10
3 Contexte .....	10
4 Vue d'ensemble des méthodes .....	12
5 Fonctions de cartographie .....	14
6 Méthode d'essai de référence .....	14
7 Appareillage .....	14
7.1 Source lumineuse .....	14
7.2 Modulation .....	14
7.3 Dispositif optique d'injection .....	14
7.4 Appareillage de maintien et de positionnement .....	16
7.5 Extracteur des modes de gaine .....	16
7.6 Mandrin de déploiement .....	16
7.7 Dispositif optique de détection .....	16
7.8 Ensemble détecteur et dispositif électronique de détection des signaux .....	18
8 Echantillonnage et échantillons à l'essai .....	22
8.1 Longueur de l'échantillon à l'essai .....	22
8.2 Face d'extrémité de l'échantillon à l'essai .....	22
9 Procédure .....	22
9.1 Positionnement de l'échantillon à l'essai dans l'appareillage .....	22
9.2 Mesure de la puissance de sortie .....	22
10 Calculs .....	26
10.1 Technique de la fibre de référence courbée .....	26
10.2 Technique de la fibre de référence multimodale .....	26
10.3 Technique d'ajustement de courbe pour augmenter la précision (optionnel) .....	28
11 Résultats .....	34
11.1 Informations à fournir pour chaque mesure .....	34
11.2 Informations disponibles sur demande .....	34
12 Informations à mentionner dans la spécification .....	34
Annexe A (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode A – Longueur d'onde de coupeure $\lambda_{cc}$ , en câble, en utilisant la fibre non câblée .....	36
Annexe B (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode B – Longueur d'onde de coupeure $\lambda_{cc}$ , en câble, en utilisant la fibre câblée .....	38
Annexe C (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode C – Longueur d'onde de coupeure, $\lambda_c$ , sur fibre .....	40
Annexe D (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode D – Longueur d'onde de coupeure sur jarretière, $\lambda_{cj}$ .....	42
Figure 1 – Configuration relative au déploiement pour la mesure de la longueur d'onde de coupeure en câble – Méthode A .....	18
Figure 2 – Configuration relative au déploiement pour la mesure de la longueur d'onde de coupeure en câble – Méthode B .....	18
Figure 3 – Configuration par défaut pour mesurer $\lambda_{cj}$ .....	18
Figure 4 – Configurations de déploiement pour la mesure de la longueur d'onde de coupeure de la fibre .....	20
Figure 5 – Longueur d'onde de coupeure par la méthode de la fibre de référence courbée .....	24
Figure 6 – Longueur d'onde de coupeure par la méthode de la fibre de référence multimodale .....	24

## CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	11
2 Normative references.....	11
3 Background .....	11
4 Overview of methods .....	13
5 Mapping functions.....	15
6 Reference test method.....	15
7 Apparatus.....	15
7.1 Light source.....	15
7.2 Modulation.....	15
7.3 Launch optics .....	15
7.4 Support and positioning apparatus.....	17
7.5 Cladding mode stripper.....	17
7.6 Deployment mandrel.....	17
7.7 Detection optics.....	17
7.8 Detector assembly and signal detection electronics.....	19
8 Sampling and specimens .....	23
8.1 Specimen length.....	23
8.2 Specimen end face .....	23
9 Procedure.....	23
9.1 Position specimen in apparatus.....	23
9.2 Measure output power.....	23
10 Calculations.....	27
10.1 Bend reference technique .....	27
10.2 Multimode reference technique .....	27
10.3 Curve-fitting technique for improved precision (optional) .....	29
11 Results.....	35
11.1 Information to be provided with each measurement.....	35
11.2 Information available upon request .....	35
12 Specification information.....	35
Annex A (normative) Requirements specific to method A – Cable cut-off wavelength, $\lambda_{cc}$ , using uncabled fibre .....	37
Annex B (normative) Requirements specific to method B – Cable cut-off wavelength, $\lambda_{cc}$ , using cabled fibre .....	39
Annex C (normative) Requirements specific to method C – Fibre cut-off wavelength, $\lambda_c$ .....	41
Annex D (normative) Requirements specific to method D – Jumper cable cut-off wavelength, $\lambda_{cj}$ .....	43
Figure 1 – Deployment configuration for cable cut-off – Method A.....	19
Figure 2 – Deployment configuration for cable cut-off – Method B.....	19
Figure 3 – Default configuration to measure $\lambda_{cj}$ .....	19
Figure 4 – Deployment configurations for fibre cut-off measurement.....	21
Figure 5 – Cut-off wavelength using the bend reference technique.....	25
Figure 6 – Cut-off wavelength using the multimode reference technique .....	25

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## FIBRES OPTIQUES –

### Partie 1-44: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Longueur d'onde de coupure

#### 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 60793-1-44 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/673/FDIS	86A/697/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.

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

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## OPTICAL FIBRES –

**Part 1-44: Measurement methods and test procedures –  
Cut-off wavelength**

## 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 60793-1-44 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/673/FDIS	86A/697/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.

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

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
- 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.



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.

## 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.

## 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.

## FIBRES OPTIQUES –

### Partie 1-44: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Longueur d'onde de coupure

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60793 établit des prescriptions uniformes pour mesurer la longueur d'onde de coupure des fibres optiques unimodales, contribuant ainsi au contrôle des fibres et câbles dans des relations commerciales.

Cette norme définit les méthodes de mesure de la longueur d'onde de coupure en câble, en fibre et en jarretières.

Il existe deux méthodes pour mesurer la longueur d'onde de coupure en câble,  $\lambda_{cc}$ :

- méthode A: en utilisant la fibre non câblée;
- méthode B: en utilisant la fibre câblée.

Il n'existe qu'une méthode pour mesurer la longueur d'onde de coupure en fibre,  $\lambda_c$ .

Il n'existe qu'une méthode pour mesurer la longueur d'onde de coupure de la fibre en jarretières,  $\lambda_{cj}$ .

La méthode d'essai présentée dans cette norme décrit les procédures pour déterminer la longueur d'onde de coupure d'un échantillon de fibre soit à l'état non câblée ( $\lambda_c$ ), soit dans un câble ( $\lambda_{cc}$ ), soit en câble jarretière ( $\lambda_{cj}$ ). Trois configurations par défaut sont données ici; toute configuration différente sera indiquée dans la spécification particulière. Cette méthode s'applique aux fibres de tous les types B.

Toutes les méthodes prescrivent une mesure de référence. Il y a deux techniques de balayage de référence, l'une et/ou l'autre peuvent être utilisées avec toutes les méthodes:

- technique de la fibre de référence courbée;
- technique de la fibre de référence multimodale.

#### 2 Références normatives

Aucune.

#### 3 Contexte

La longueur d'onde de coupure théorique est la plus petite longueur d'onde à laquelle le mode fondamental peut se propager dans une fibre unimodale, telle que calculée à partir du profil d'indice de réfraction de la fibre.

Dans les fibres optiques, le passage du comportement multimodal au comportement unimodal n'intervient pas à une longueur d'onde isolée, mais se fait plutôt en douceur, dans une plage de longueurs d'onde. Par conséquent, pour déterminer le fonctionnement d'une fibre dans un réseau de télécommunications, la longueur d'onde de coupure théorique est moins utile que la plus basse valeur effectivement mesurée lorsque la fibre est déployée.

La longueur d'onde de coupure mesurée est définie comme la longueur d'onde supérieure à celle où le rapport entre la puissance totale, y compris pour les modes d'ordre supérieur injectés, et la puissance du mode fondamental a décru à moins de 0,1 dB. Suivant cette définition, le mode de second ordre ( $LP_{11}$ ) supporte un affaiblissement supérieur de 19,3 dB à celui du mode fondamental ( $LP_{01}$ ).

## OPTICAL FIBRES –

### Part 1-44: Measurement methods and test procedures – Cut-off wavelength

#### 1 Scope

This part of IEC 60793 establishes uniform requirements for measuring the cut-off wavelength of single-mode optical fibre, thereby assisting in the inspection of fibres and cables for commercial purposes.

This standard provides methods for measuring the cut-off wavelength of cable, fibre, and jumper cable.

Two methods exist for measuring cable cut-off wavelength,  $\lambda_{cc}$ :

- method A: using uncabled fibre;
- method B: using cabled fibre.

There is only one method for measuring fibre cut-off wavelength,  $\lambda_c$ .

There is only one method for measuring jumper cable fibre cut-off wavelength,  $\lambda_{cj}$ .

The test method in this standard describes procedures for determining the cut-off wavelength of a sample fibre in either an uncabled condition ( $\lambda_c$ ) or in a cable ( $\lambda_{cc}$ ) or as a jumper cable ( $\lambda_{cj}$ ). Three default configurations are given here: any different configuration will be given in a detail specification. This method applies to all B fibre types.

All methods require a reference measurement. There are two reference-scan techniques, either or both of which may be used with all methods:

- bend-reference technique;
- multimode-reference technique.

#### 2 Normative references

None.

#### 3 Background

Theoretical cut-off wavelength is the shortest wavelength at which only the fundamental mode can propagate in a single-mode fibre, as computed from the refractive index profile of the fibre.

In optical fibres, the change from multimode to single-mode behaviour does not occur at an isolated wavelength, but rather it occurs smoothly over a range of wavelengths. For purposes of determining fibre performance in a telecommunications network, theoretical cut-off wavelength is less useful than the lower value actually measured when the fibre is deployed.

Measured cut-off wavelength is defined as the wavelength greater than which the ratio between the total power, including launched higher-order modes, and the fundamental mode power has decreased to less than 0,1 dB. According to this definition, the second-order ( $LP_{11}$ ) mode undergoes 19,3 dB more attenuation than the fundamental ( $LP_{01}$ ) mode.

Puisque la longueur d'onde de coupure mesurée dépend de la longueur et des courbures de la fibre, la valeur résultante de la longueur d'onde de coupure dépend de la configuration de la fibre mesurée soit dans des conditions de déploiement en câble soit courte et non câblée. Par conséquent, il existe trois types de longueurs d'onde de coupure:

- a) la longueur d'onde de coupure en câble, mesurée en condition de déploiement de fibre non câblée (méthode A), ou en condition câblée (méthode B);
- b) la longueur d'onde de coupure sur fibre, mesurée sur une courte longueur de fibre non câblée, sous revêtement primaire;
- c) la longueur d'onde de coupure sur jarretière,  $\lambda_{cj}$ , mesurée sur une courte longueur de jarretière déployée en simple boucle.

La longueur de coupure en câble est la caractéristique préférentielle à spécifier et à mesurer.

#### 4 Vue d'ensemble des méthodes

Toutes les méthodes doivent utiliser la technique de la puissance transmise qui mesure en fonction de la longueur d'onde la variation de la puissance transmise d'une fibre à l'essai comparée à un balayage de référence en longueur d'onde de la puissance transmise. Le balayage de référence est utilisé pour normaliser les fluctuations dépendant de la longueur d'onde de l'équipement de mesure de façon que l'affaiblissement du mode  $LP_{11}$  dans l'échantillon à l'essai puisse être convenablement caractérisé et la longueur d'onde de coupure déterminée avec précision.

Le balayage de référence utilise l'une des deux techniques suivantes:

- l'échantillon à l'essai avec une courbure supplémentaire de rayon plus petit;
- une fibre multimodale (séparée).

Cette procédure permet de déterminer la longueur d'onde de coupure d'un échantillon de fibre à l'état soit câblé, soit non câblé. Chaque méthode a sa propre configuration par défaut; la spécification particulière donnera toute configuration différente prescrite.

La longueur d'onde de coupure sur fibre, ( $\lambda_c$ ), mesurée selon les conditions normalisées de longueur et de courbure décrites ici, présentera généralement une valeur plus grande que  $\lambda_{cc}$ . Pour des portées normales de câble installé, il est courant que la valeur mesurée de  $\lambda_c$  excède la longueur d'onde de transmission du système. Donc la longueur d'onde de coupure en câble est la plus utile description du fonctionnement et des capacités du système. Pour des câbles courts, c'est-à-dire une fibre amorcée avec une longueur plus courte (et éventuellement, un rayon de courbure plus grand) que décrit dans cette méthode, le câble peut devenir multimodal à des longueurs d'onde supérieures à  $\lambda_{cc}$ .

Dans le cas de câbles de longueur bien inférieure à ce qui est décrit dans la mesure de la longueur d'onde de coupure, le câble peut devenir multimodal à des longueurs d'onde supérieures à  $\lambda_c$ .

La longueur d'onde de coupure sur jarretières donnera généralement une valeur comprise entre la longueur d'onde de coupure en câble et la longueur d'onde de coupure sur fibre. La valeur est influencée par la construction de la jarretière à un degré plus élevé qu'elle n'est influencée sur le câble de transmission normal. Le choix du rayon de courbure influencera aussi le résultat. Il convient de spécifier le rayon de courbure afin qu'il soit similaire aux conditions de déploiement sur site. La longueur d'onde de coupure sur jarretière peut être spécifiée pour une construction particulière, pour des applications utilisant des longueurs entre la longueur de mesure spécifiée et 20 m, et pour l'application avec des rayons de courbure plus grands que le rayon de courbure de mesure spécifié.

Because measured cut-off wavelength depends on the length and bends of the fibre, the resulting value of cut-off wavelength depends on whether the measured fibre is configured in a deployed, cabled condition, or it is short and uncabled. Consequently, there are three overall types of cut-off wavelength:

- a) cable cut-off wavelength, measured in an uncabled fibre deployment condition (method A), or in a cabled condition (method B);
- b) fibre cut-off wavelength, measured on a short length of uncabled, primary-coated fibre;
- c) jumper cable cut-off wavelength,  $\lambda_{cj}$ , measured on short length of jumper cable deployed with a single loop.

Cable cut-off wavelength is the preferred attribute to be specified and measured.

#### 4 Overview of methods

All of the methods shall use the transmitted power technique, which measures the variation with wavelength of the transmitted power of a fibre under test compared to a reference transmitted power wavelength scan. The reference scan normalizes wavelength-dependent fluctuations in the measurement equipment so that the attenuation of the  $LP_{11}$  mode in the specimen can be properly characterized and the cut-off wavelength precisely determined.

The reference scan uses one of the following two techniques:

- the specimen with an additional, smaller-radius fibre bend;
- a (separate) multimode fibre.

This procedure can determine the cut-off wavelength of a fibre specimen in either a cabled or uncabled condition. Each method has its own default configurations; the detail specification will give any different configuration required.

The fibre cut-off wavelength, ( $\lambda_c$ ), measured under the standard length and bend conditions described in this standard, will generally exhibit a value larger than  $\lambda_{cc}$ . For normal installed cable spans, it is common for the measured  $\lambda_c$  value to exceed the system transmission wavelength. Thus cable cut-off wavelength is the more useful description of system performance and capability. For short cables, e.g. pigtail with a length shorter (and possibly a bending radius larger) than described in this method, the cable may become multimode at wavelengths larger than  $\lambda_{cc}$ .

Where the cable length is even shorter than described in the fibre cut-off wavelength measurement, the cable can become multimode at wavelengths larger than  $\lambda_c$ .

Jumper cable cut-off will generally produce a value between cable cut-off wavelength and fibre cut-off wavelength. The value is affected by the jumper cable construction to a greater degree than it is affected by regular transmission cable. The choice of bend radius will also affect the result. The bend radius should be specified to be similar to the field deployment condition. Jumper cable cut-off wavelength can be specified for a particular construction, for applications using lengths between the specified measurement length and 20 m, and for application bend radii greater than the specified measurement bend radius.

## 5 Fonctions de cartographie

Une fonction de cartographie est une formule avec laquelle les résultats d'un type de longueur d'onde de coupure sont utilisés pour prédire les résultats qu'on voudrait obtenir d'une autre fibre.

Une fonction de cartographie empirique est spécifique à un type et à un modèle particuliers à une fibre. Elaborer des fonctions de cartographie en faisant une expérimentation dans laquelle des échantillons de fibre sont choisis pour représenter le spectre des valeurs de longueur d'onde de coupure pour le type de fibre, puis en mesurant les valeurs en utilisant les deux méthodes à cartographier. Une régression linéaire des valeurs respectives, donnera souvent une fonction de cartographie satisfaisante. Lors de l'établissement des critères de sélection de la fibre, tenir compte des erreurs résiduelles dans la régression.

L'utilisateur et le fabricant doivent se mettre d'accord sur le niveau de confiance de chaque fonction de cartographie.

## 6 Méthode d'essai de référence

La méthode A de la longueur d'onde de coupure du câble, utilisant une fibre non câblée, est la méthode d'essai de référence (RTM), qui doit être celle à utiliser pour régler les contestations.

## 7 Appareillage

Utiliser l'appareillage suivant pour toutes les méthodes de mesure.

### 7.1 Source lumineuse

Prévoir une source de lumière blanche filtrée, dont la largeur de raie ne dépasse pas 10 nm, stable en position et en intensité, et capable de fonctionner sur toute la plage de longueurs d'onde comprises entre 1 000 nm et 1 600 nm.

### 7.2 Modulation

Moduler la source lumineuse pour empêcher la lumière ambiante de fausser les résultats, et pour aider à la restitution du signal. Un hacheur mécanique muni d'une sortie de référence constitue un arrangement convenable.

### 7.3 Dispositif optique d'injection

Prévoir un dispositif optique d'injection, tel qu'un système de lentilles ou une fibre multimodale pour saturer l'échantillon à l'essai dans toute la plage des longueurs d'onde d'essai. Cette injection est relativement insensible à la position de l'extrémité d'entrée de la fibre unimodale et elle est suffisante pour exciter le mode fondamental et tous les modes d'ordre supérieur dans l'échantillon à l'essai. Si une épissure en bout est utilisée, il faut prévoir un moyen permettant d'éviter les phénomènes d'interférence.

Lorsqu'une fibre multimodale est utilisée, la saturation de la fibre de référence peut engendrer un phénomène indésirable d'ondulation dans le spectre de transmission de puissance. Limiter suffisamment l'injection pour éviter le phénomène d'ondulation. La méthode A, affaiblissement par coupure, de la CEI 60793-1-40<sup>1</sup>, donne un exemple d'injection limitée. Un filtre de modes à mandrin ayant une perte d'insertion suffisante (environ 4 dB) constitue un autre exemple d'injection limitée.

---

<sup>1</sup> CEI 60793-1-40, *Fibres optiques – Partie 1-40: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Affaiblissement*



## 5 Mapping functions

A mapping function is a formula by which the measured results of one type of cut-off wavelength are used to predict the results that one would obtain from another type.

An empirical mapping function is specific to a particular fibre type and design. Generate mapping functions by doing an experiment in which samples of fibre are chosen to represent the spectrum of cut-off values for the fibre type, then measuring the values using the two methods to be mapped. Linear regression of the respective values will often produce a satisfactory mapping function. When establishing criteria for fibre selection, take into account residual errors in the regression.

The user and the manufacturer shall agree to the confidence level of each mapping function established.

## 6 Reference test method

Method A of cable cut-off wavelength, using uncabled fibre, is the reference test method (RTM), which shall be the one used to settle disputes.

## 7 Apparatus

Use the following apparatus for all methods.

### 7.1 Light source

Provide a filtered white light source, with linewidth not greater than 10 nm, stable in position and intensity, and capable of operation over the wavelength range 1 000 nm to 1 600 nm.

### 7.2 Modulation

Modulate the light source to prevent ambient light affecting the results, and to aid signal recovery. A mechanical chopper with a reference output is a suitable arrangement.

### 7.3 Launch optics

Provide launch optics, such as a lens system or a multimode fibre, to overfill the test fibre over the full range of measurement wavelengths. This launch is relatively insensitive to the input endface position of the single-mode fibre and is sufficient to excite the fundamental and any higher-order modes in the specimen. If using a butt splice, provide means of avoiding interference effects.

When using a multimode fibre, overfilling the reference fibre can produce an undesired ripple effect in the power transmission spectrum. Restrict the launch sufficiently to eliminate the ripple effect. One example of restricted launch is method A, attenuation by cut-back, in IEC 60793-1-40<sup>1</sup>. Another example of restricted launch is a mandrel-wrap mode filter with sufficient (approximately 4 dB) insertion loss.

---

<sup>1</sup> IEC 60793-1-40, OPTICAL FIBRES – Part 1-40: Measurement methods and test procedures – Attenuation

## 7.4 Appareillage de maintien et de positionnement

Prévoir un moyen de maintenir de façon stable les extrémités d'entrée et de sortie de l'échantillon à l'essai pendant toute la durée de l'essai; il est permis d'utiliser des dispositifs tels qu'un mandrin à succion, un mandrin magnétique ou des connecteurs. Maintenir les extrémités de la fibre afin de pouvoir les positionner, de façon répétitive, dans le dispositif optique d'injection et de détection. Lors de la mesure de  $\lambda_{cc}$  selon la méthode B, fournir un moyen permettant de maintenir correctement les extrémités du câble.

## 7.5 Extracteur des modes de gaine

Prévoir un moyen de supprimer la puissance des modes de gaine de l'échantillon à l'essai. Dans certaines circonstances, le revêtement de la fibre remplira cette fonction, si tel n'est pas le cas, utiliser des méthodes ou des dispositifs qui permettent l'extraction de la puissance des modes de gaine aux extrémités d'entrée et de sortie de l'échantillon à l'essai.

## 7.6 Mandrin de déploiement

Utiliser un moyen permettant de maintenir de façon stable les extrémités d'entrée et de sortie de l'échantillon pendant la durée des mesures. Maintenir les extrémités de la fibre afin de pouvoir les positionner de manière répétitive et stable, vis à vis du dispositif optique de détection et d'injection sans introduire de microcourbures dans l'échantillon.

Le déploiement et la longueur de l'échantillon, ainsi que l'appareillage de maintien sont des éléments clé de la méthode de mesure, et ils différencient les types de longueurs d'onde de coupure.

En complément, des variantes de déploiement peuvent être utilisées s'il a été démontré que les résultats sont empiriquement équivalents aux résultats obtenus avec le déploiement normal, dans les limites de 10 nm, ou s'ils sont supérieurs à ceux obtenus avec les configurations normales.

### 7.6.1 Longueur d'onde de coupure en câble – Méthode A

Prévoir un moyen de réaliser une boucle de 80 mm de diamètre à chaque extrémité de l'échantillon à l'essai et une boucle de diamètre  $\geq 280$  mm dans la partie centrale. Voir figure 1.

### 7.6.2 Longueur d'onde de coupure en câble – Méthode B

Prévoir un moyen de réaliser une boucle de 80 mm de diamètre à chaque extrémité de l'échantillon à l'essai. Voir figure 2.

### 7.6.3 Longueur d'onde de coupure sur fibre

Prévoir un mandrin circulaire en tant que déploiement initial pour la longueur d'onde de coupure sur fibre. Voir figure 4a. Un mandrin semi-circulaire fendu avec un rayon de 140 mm qui soit capable de coulisser, en conséquence à même de retendre le mou de la fibre, constitue une variante de déploiement. Voir figure 4b.

### 7.6.4 Longueur d'onde de coupure sur jarretière

Prévoir un moyen de courber une longueur de 2 m de jarretière, en boucle sous contrainte lâche, d'un tour complet de X mm, c'est-à-dire 76 mm de rayon. La partie restante de la jarretière doit être exempte de contraintes et de courbures externes. Voir figure 3.

## 7.7 Dispositif optique de détection

Coupler toutes les puissances optiques émises par l'échantillon à l'essai sur la zone active du détecteur. Il est possible d'utiliser, par exemple, un système de lentilles optiques, une épissure en bout avec une fibre multimodale reliée à un détecteur par une fibre amorce, ou un couplage direct.

## 7.4 Support and positioning apparatus

Provide means of stably supporting the input and output ends of the specimen for the duration of the test; vacuum chucks, magnetic chucks, or connectors may be used for this purpose. Support the fibre ends so that they can be repeatedly positioned in the launch and detection optics. When measuring  $\lambda_{cc}$  in method B, provide a means of suitably supporting the cable ends.

## 7.5 Cladding mode stripper

Provide means of removing cladding-mode power from the specimen. Under some circumstances, the fibre coating will perform this function; otherwise, provide methods or devices that extract cladding-mode power at the input and output ends of the specimen.

## 7.6 Deployment mandrel

Use a means of stably supporting the input and output ends of the specimen for the duration of the measurement. Support the fibre ends so that they can be repeatedly and stably positioned with respect to the launch and detection optics without introducing microbends into the specimen.

The deployment and length of the specimen, together with the support apparatus, are key elements of the measurement method, and they distinguish the types of cut-off wavelength.

Additional, alternate deployments may be used if the results obtained have been demonstrated to be empirically equivalent to the results obtained using the standard deployment, to within 10 nm, or they are greater than those achieved with the standard configurations.

### 7.6.1 Cable cut-off – Method A

Provide a means of making an 80 mm loop at each end of the specimen and a loop of diameter  $\geq 280$  mm in the central portion. See figure 1.

### 7.6.2 Cable cut-off – Method B

Provide a means of making an 80 mm loop at each end of the specimen. See figure 2.

### 7.6.3 Fibre cut-off

Provide a circular mandrel as the initial fibre cut-off deployment. See figure 4a. A split, semicircular mandrel with a radius of 140 mm that is capable of sliding, hence able to take up slack fibre is an alternative deployment. See figure 4b.

### 7.6.4 Jumper cable cut-off

Provide a means of bending a 2 m jumper cable into a loosely constrained loop of one complete turn of X mm, i.e. 76 mm radius. The remaining portion of the jumper cable shall be free of external stresses and bends. See figure 3.

## 7.7 Detection optics

Couple all power emitted from the specimen onto the active region of the detector. As examples, an optical lens system, a butt splice with a multimode fibre pigtailed to a detector, or direct coupling may be used.

## 7.8 Ensemble détecteur et dispositif électronique de détection des signaux

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

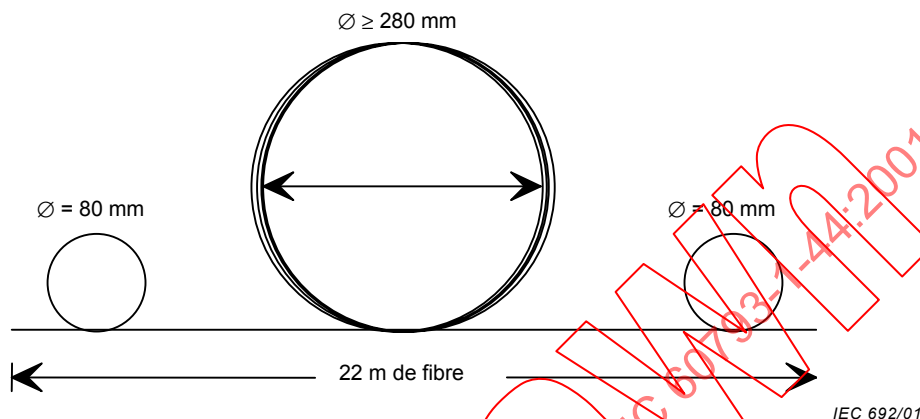


Figure 1 – Configuration relative au déploiement pour la mesure de la longueur d'onde de coupure en câble – Méthode A

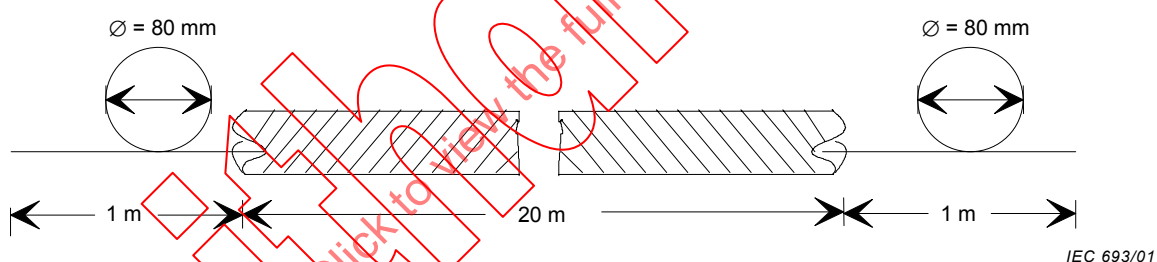
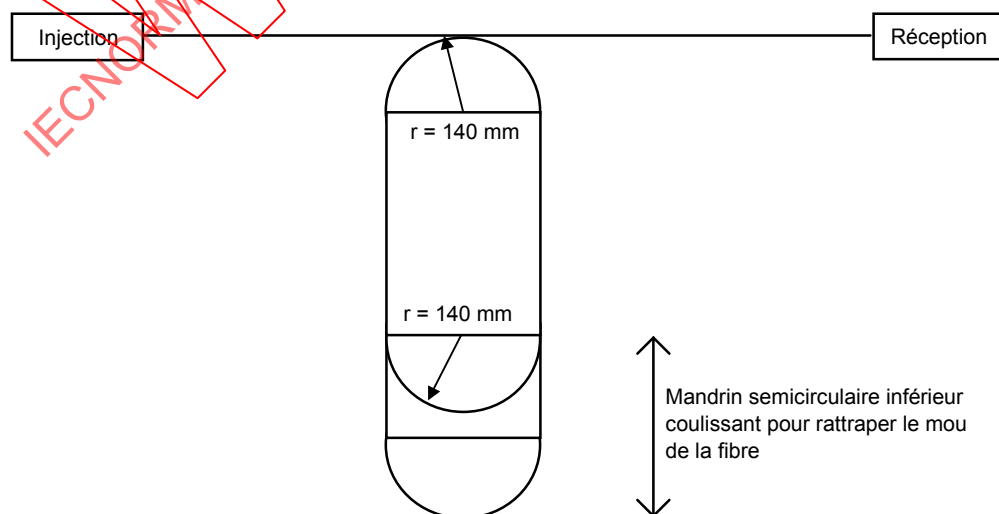


Figure 2 – Configuration relative au déploiement pour la mesure de la longueur d'onde de coupure en câble – Méthode B



IEC 694/01

Figure 3 – Configuration par défaut pour mesurer  $\lambda_{cj}$

### 7.8 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.

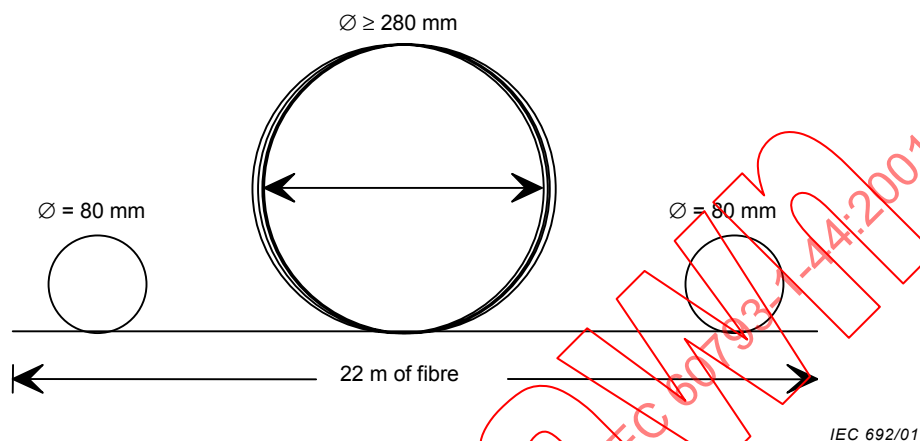


Figure 1 – Deployment configuration for cable cut-off – Method A

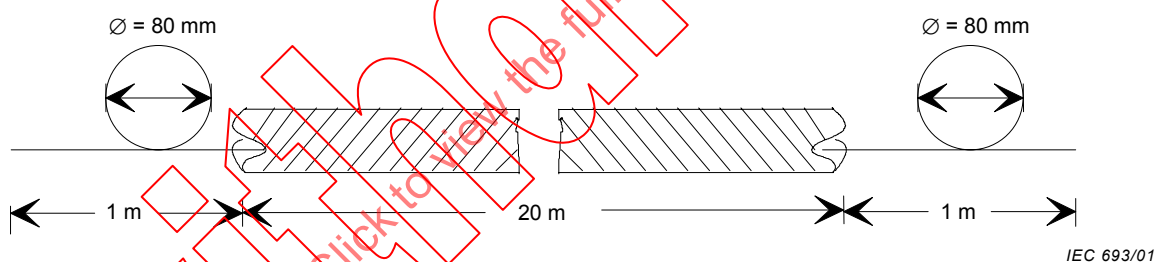


Figure 2 – Deployment configuration for cable cut-off – Method B

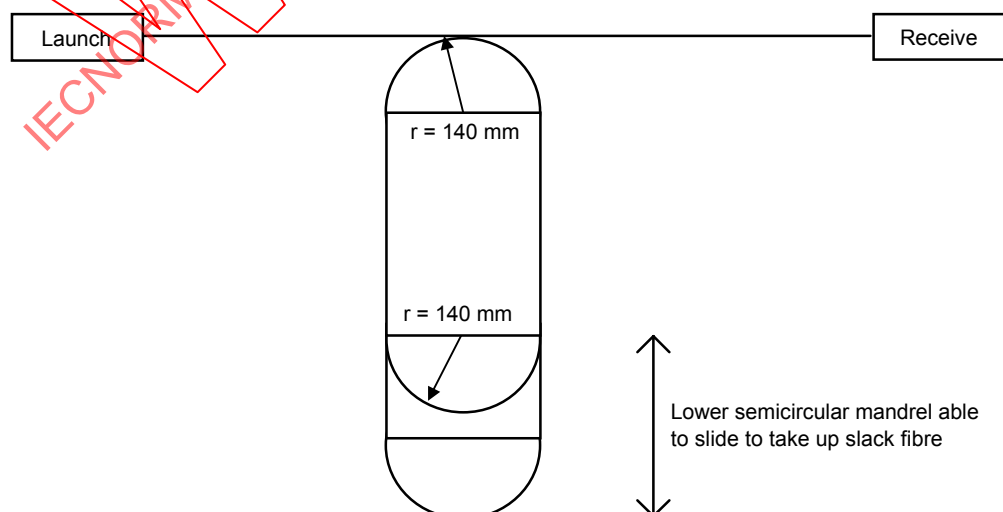
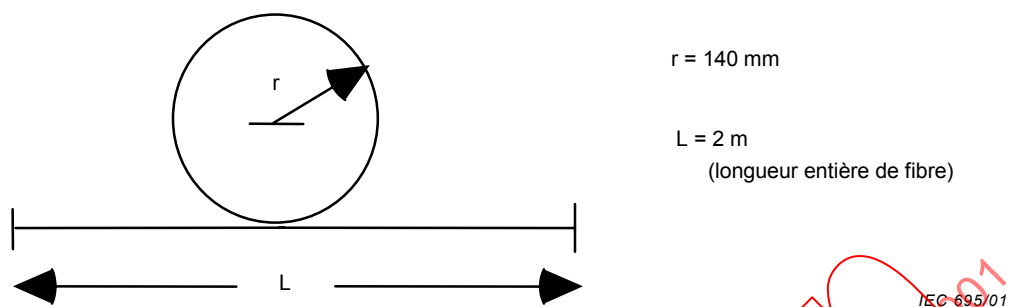
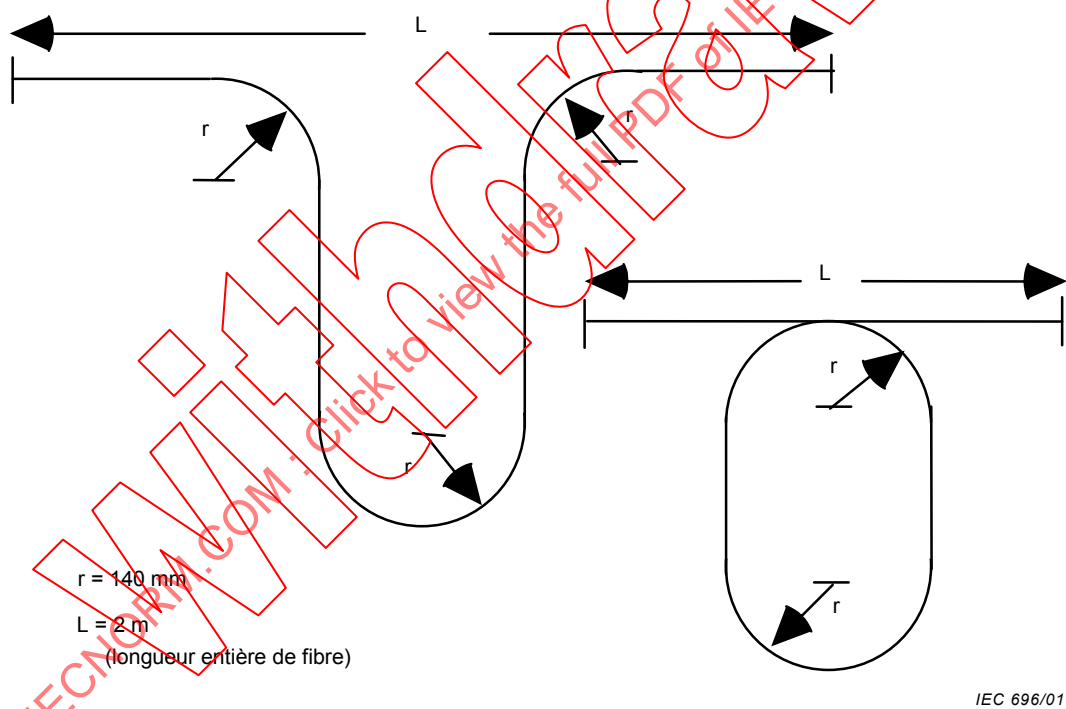


Figure 3 – Default configuration to measure  $\lambda_{cj}$

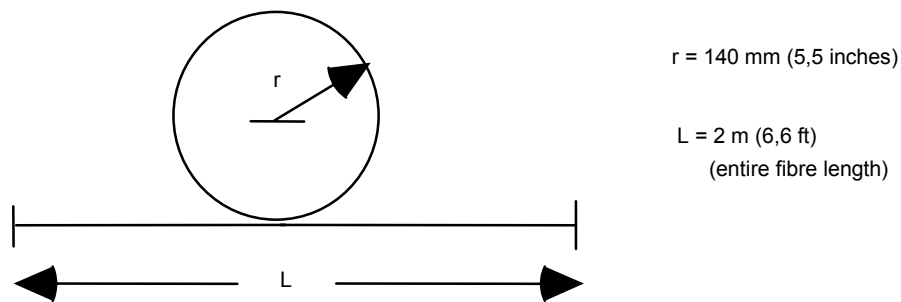


**Figure 4a – Configuration initiale pour la mesure de la longueur d'onde de coupure sur fibre – Mandrin circulaire**



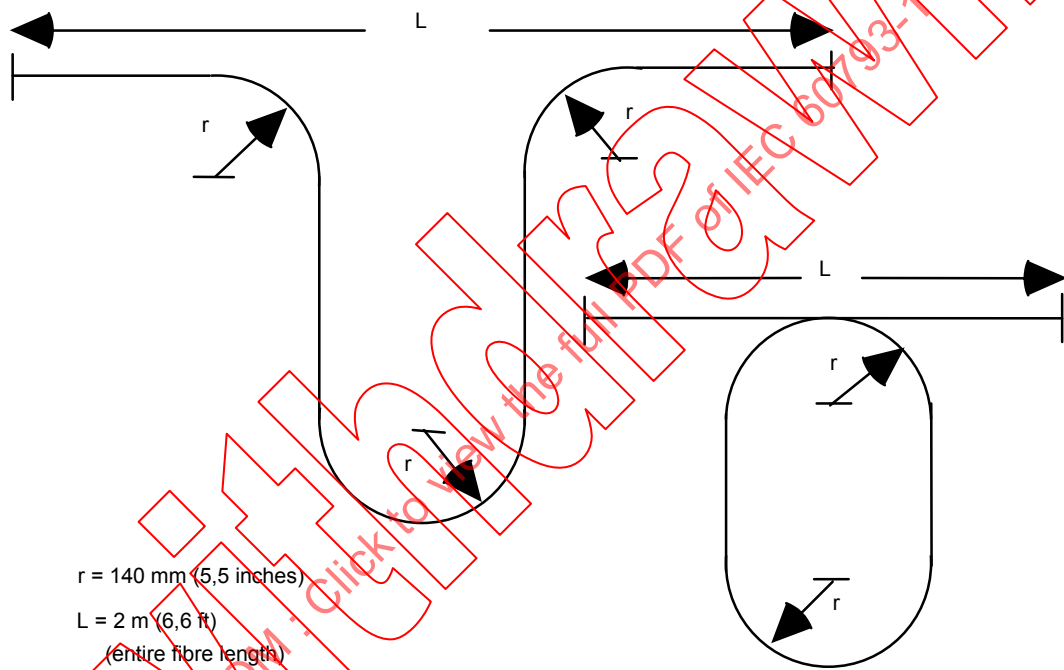
**Figure 4b – Variante de configuration de déploiement pour la mesure de la longueur d'onde de coupure sur fibre – Mandrin fendu**

**Figure 4 – Configurations de déploiement pour la mesure de la longueur d'onde de coupure de la fibre**



IEC 695/01

Figure 4a – Initial deployment configuration for fibre cut-off measurement – Circular mandrel



IEC 696/01

Figure 4b – Alternative deployment configuration for fibre cut-off measurement – Split mandrel

Figure 4 – Deployment configurations for fibre cut-off measurement

## 8 Echantillonnage et échantillons à l'essai

### 8.1 Longueur de l'échantillon à l'essai

Choisir la longueur de l'échantillon suivant le paramètre à mesurer et, si le paramètre est la longueur d'onde de coupure en câble, la méthode à utiliser. Voir les annexes appropriées: A ou B pour la mesure de la longueur d'onde de coupure en câble, ou l'annexe C pour la mesure de la longueur d'onde de coupure sur fibre.

### 8.2 Face d'extrémité de l'échantillon à l'essai

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

## 9 Procédure

Utiliser la procédure suivante pour toutes les méthodes.

### 9.1 Positionnement de l'échantillon à l'essai dans l'appareillage

#### 9.1.1 Conditions générales à toutes les méthodes de mesure

Aligner les extrémités d'entrée et de sortie de l'échantillon à l'essai sur les dispositifs d'injection et de détection. Ne pas modifier les conditions d'injection et de détection durant le déroulement de la mesure.

Sauf prescription contraire, lors de la mise en place de l'échantillon à l'essai dans l'appareil, et lorsque un extracteur de modes de gaine est utilisé, prendre soin d'éviter d'imposer des courbures supplémentaires sur la fibre plus petites que celles spécifiées dans la configuration pour la mesure particulière à faire.

#### 9.1.2 Prescriptions spécifiques au déploiement pour chaque méthode

Déployer l'échantillon à l'essai, en utilisant l'information de l'article 7:

- 7.6.1: longueur d'onde de coupure en câble, méthode A (voir annexe A);
- 7.6.2: longueur d'onde de coupure en câble, méthode B (voir annexe B);
- 7.6.3: longueur d'onde de coupure sur fibre, (voir annexe C);
- 7.6.4: longueur d'onde de coupure sur jarretière, (voir annexe D).

### 9.2 Mesure de la puissance de sortie

Enregistrer la puissance de sortie,  $P_s(\lambda)$ , sur l'étendue de la plage de longueur d'onde, par incréments de 10 nm ou moins. La plage doit être suffisamment large pour encadrer la longueur d'onde de coupure attendue, et comme souligné ci-dessous, finalement aboutir à une courbe similaire à celle de la figure 5 (utilisant la technique avec la référence courbée) ou de la figure 6 (utilisant la technique avec référence multimodale).



## 8 Sampling and specimens

### 8.1 Specimen length

Choose the specimen length according to which parameter is being measured and, if the parameter is cable cut-off, the method to be used. See the appropriate annex A or B for the cable cut-off measurement, or annex C for fibre cut-off.

### 8.2 Specimen end face

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

## 9 Procedure

Use the following procedure for all methods.

### 9.1 Position specimen in apparatus

#### 9.1.1 General requirements for all methods

Align the input and output ends of the specimen to the launch and detection optics. Do not change the launch and detection conditions during the course of the measurement.

Unless otherwise specified, when installing the specimen in the apparatus, and when using a cladding-mode stripper, take care to avoid imposing any additional fibre bends smaller than those specified in the configuration for the particular measurement being made.

#### 9.1.2 Deployment requirements for each method

Deploy the specimen, using the information in clause 7:

- 7.6.1: cable cut-off, method A (see annex A);
- 7.6.2: cable cut-off, method B (see annex B);
- 7.6.3: fibre cut-off (see annex C),
- 7.6.4: jumper cable cut-off (see annex D).

### 9.2 Measure output power

Record the output power,  $P_s(\lambda)$ , along the wavelength range in increments of 10 nm or less. The range shall be broad enough to encompass the expected cut-off wavelength and, as outlined below, ultimately result in a curve similar to that in figure 5 (using the bend-reference technique) or figure 6 (using the multimode-reference technique).

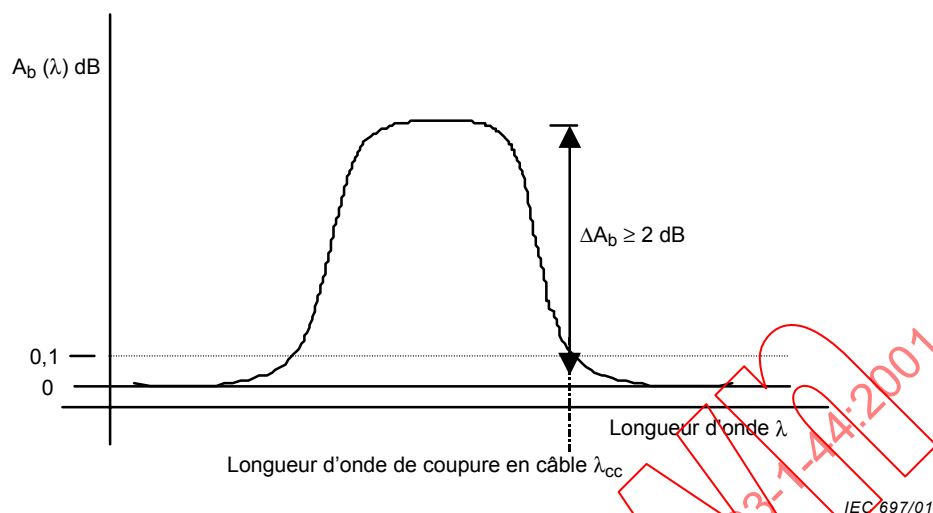


Figure 5 – Longueur d'onde de coupure par la méthode de la fibre de référence courbée

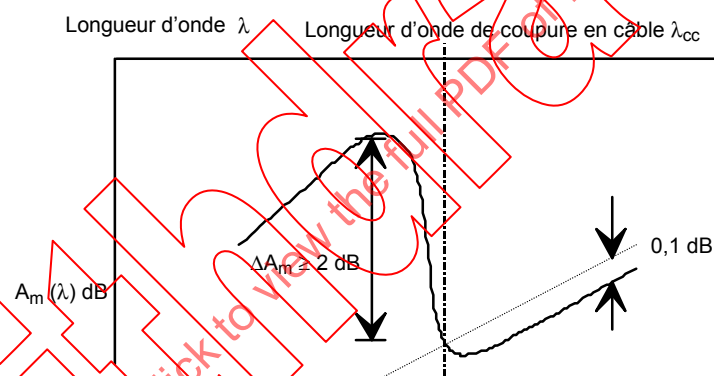


Figure 6 – Longueur d'onde de coupure par la méthode de la fibre de référence multimodale

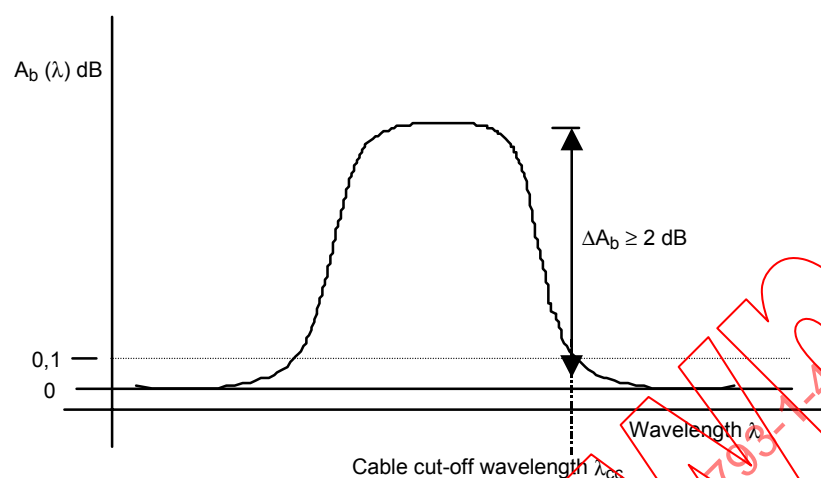
### 9.2.1 Technique de la fibre de référence courbée

Sans changer les conditions d'entrée et de sortie, introduire une courbure de diamètre plus petite entre l'entrée et la sortie. La valeur exacte du diamètre plus petit peut être déterminée avant les mesures: il convient qu'il soit suffisamment petit pour atténuer le mode de second ordre, mais pas le mode principal. Un diamètre de 30 mm est typique. Enregistrer la puissance spectrale transmise,  $P_b(\lambda)$ , dans la même plage de longueur d'onde et avec les mêmes incréments spectraux qu'en faisant la mesure initiale sur l'échantillon à l'essai.

### 9.2.2 Technique de la fibre de référence multimodale

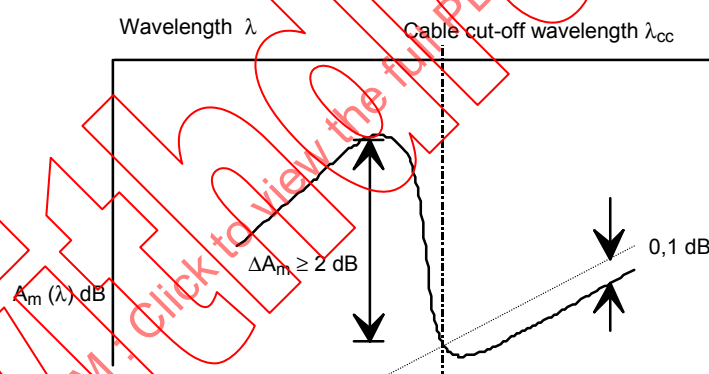
Remplacer l'échantillon à l'essai par une courte (<10 m) longueur de fibre multimodale comme référence. Enregistrer la puissance du signal transmis,  $P_m(\lambda)$ , dans la même plage de longueur d'onde, et avec les mêmes incréments spectraux qu'en faisant la mesure initiale sur l'échantillon à l'essai.

NOTE La puissance lors de l'utilisation de la technique de la fibre de référence multimodale,  $P_m(\lambda)$ , peut être stockée sur un ordinateur pour utilisation sur des mesures répétées sur différents échantillons à l'essai.



IEC 697/01

**Figure 5 – Cut-off wavelength using the bend reference technique**



IEC 698/01

**Figure 6 – Cut-off wavelength using the multimode reference technique**

### 9.2.1 Bend reference technique

With input and output conditions unchanged, introduce a smaller diameter bend between input and the output. The exact value of the smaller diameter may be determined prior to measurement; it should be small enough to attenuate the second-order mode but not the primary mode. A radius of 30 mm is typical. Record the transmitted spectral power,  $P_b(\lambda)$ , over the same wavelength range and with the same spectral increments as in making the original measurement on the specimen.

### 9.2.2 Multimode reference technique

Replace the specimen with a short (<10 m) length of multimode fibre as a reference. Record the transmitted signal power,  $P_m(\lambda)$ , over the same wavelength range and with the same spectral increments as in making the original measurement on the specimen.

NOTE The power using the multimode reference technique,  $P_m(\lambda)$ , may be stored in a computer for use in repetitive measurements on different specimens.

## 10 Calculs

Les calculs suivants définissent la longueur d'onde de coupure pour tous les types de longueur d'onde de coupure et de méthodes.

### 10.1 Technique de la fibre de référence courbée

Calculer le facteur de transmission spectrale de l'échantillon à l'essai sans la courbure de plus petit rayon, rapporté à la condition où la courbure de plus petit rayon est introduite:

$$A_b(\lambda) = 10 \log_{10} \frac{P_s(\lambda)}{P_b(\lambda)} \quad (1)$$

où

$A_b(\lambda)$  est le facteur de transmission spectrale se rapportant à la courbure du plus petit rayon, en dB;

$P_s(\lambda)$  est la puissance de sortie;

$P_b(\lambda)$  est la puissance spectrale à travers l'échantillon après introduction de la courbure du plus petit rayon.

La figure 5 présente un résultat schématique. Les limites basse et haute des longueurs d'onde sont respectivement déterminées par l'échantillon déployé avec et sans la courbure de rayon plus petit. Déterminer à partir de la figure 5, la longueur d'onde la plus longue à laquelle  $A_b(\lambda) = 0,1$  dB. C'est la longueur d'onde de coupure, pourvu que  $\Delta A_b$  soit égal ou supérieur à 2 dB.

Si  $\Delta A_b < 2$  dB, ou s'il n'est pas observable, étendre l'exploration en longueur d'onde et élargir les conditions d'injection unimodale ou augmenter le rayon de courbure. Répéter ces ajustements et la procédure de mesure jusqu'à ce que  $\Delta A_b > 2$  dB.

### 10.2 Technique de la fibre de référence multimodale

Calculer le facteur de transmission spectrale de l'échantillon à l'essai par rapport à celui de la fibre multimodale:

$$A_m(\lambda) = 10 \log_{10} \frac{P_s(\lambda)}{P_m(\lambda)} \quad (2)$$

où

$A_m(\lambda)$  est le facteur de transmission spectrale se rapportant à la fibre multimodale, en dB;

$P_s(\lambda)$  est la puissance de sortie;

$P_m(\lambda)$  est la puissance du signal transmis à travers la fibre de référence multimodale.

La figure 6 présente un résultat schématique.

Ajuster une droite sur la portion des grandes longueurs d'onde de  $A_m(\lambda)$ , en la déplaçant vers le haut de 0,1 dB, comme illustré en pointillés à la figure 6. Déterminer la plus grande longueur d'onde à laquelle cette ligne déplacée coupe  $A_m(\lambda)$ . C'est la longueur d'onde de coupure, à condition que  $\Delta A_m$  soit plus grand ou égal à 2 dB. Entre les points mesurés,  $A_m(\lambda)$  est défini par interpolation linéaire.

## 10 Calculations

The following calculations define the cut-off wavelength for all cut-off types and methods.

### 10.1 Bend reference technique

Calculate the spectral transmittance of the specimen without the smaller radius bend, referenced to the condition where the smaller radius bend is introduced:

$$A_b(\lambda) = 10 \log_{10} \frac{P_s(\lambda)}{P_b(\lambda)} \quad (1)$$

where

$A_b(\lambda)$  is the spectral transmittance referenced to the smaller radius bend in dB;

$P_s(\lambda)$  is the output power;

$P_b(\lambda)$  is the transmitted spectral power through the sample with the smaller radius bend introduced.

Figure 5 shows a schematic result. The short and long wavelength edges are determined by the specimen deployed with and without the smaller radius bend, respectively. Determine the longest wavelength at which  $A_b(\lambda) = 0,1$  dB from figure 5. This is the cut-off wavelength, provided that  $\Delta A_b$  is equal to or greater than 2 dB.

If  $\Delta A_b < 2$  dB, or if it is unobservable, broaden the wavelength scan and enlarge the single-mode launch conditions, or increase the smaller bend radius. Repeat these adjustments and the measurement procedure until  $\Delta A_b > 2$  dB.

### 10.2 Multimode reference technique

Calculate the spectral transmittance of the specimen, referenced to that of the multimode fibre:

$$A_m(\lambda) = 10 \log_{10} \frac{P_s(\lambda)}{P_m(\lambda)} \quad (2)$$

where

$A_m(\lambda)$  is the spectral transmittance referenced to the multimode fibre in dB;

$P_s(\lambda)$  is the output power;

$P_m(\lambda)$  is the transmitted signal power, through the multimode reference fibre.

Figure 6 shows a schematic result.

Fit a straight line to the long wavelength portion of  $A_m(\lambda)$ , displacing it upward by 0,1 dB, as shown by the dashed line in figure 6. Determine the longest wavelength at which this displaced line intersects with  $A_m(\lambda)$ . This is the cut-off wavelength, provided that  $\Delta A_m$  is equal to or greater than 2 dB. Between measured data points,  $A_m(\lambda)$  is defined by linear interpolation.

Si  $\Delta A_m < 2$  dB, ou s'il n'est pas observable, étendre l'exploration des longueurs d'onde et élargir les conditions d'injection unimodale. Renouveler ces réglages ainsi que la procédure d'essai jusqu'à ce que  $\Delta A_m > 2$  dB, et que la zone des grandes longueurs d'onde soit de longueur adéquate pour être ajustée par une droite.

NOTE Pour la méthode de la fibre de référence multimodale, la combinaison de fibres à fortes longueurs d'onde de coupure avec des fibres de référence présentant de forts pics d'eau peut donner des valeurs de longueurs d'onde de coupure erronées.

### 10.3 Technique d'ajustement de courbe pour augmenter la précision (optionnel)

En l'absence de bosses parasites ou de bruit excessif dans la région des grandes longueurs d'onde, des valeurs précises peuvent être déterminées sans ajustement des courbes.

Si l'ajustement des courbes est jugé nécessaire pour améliorer la précision, il est fait en six étapes. Les deux premières étapes définissent la région  $LP_{01}$  ou région des grandes longueurs d'onde. Les deux étapes suivantes définissent la région de transition, où l'affaiblissement  $LP_{01}$  commence à augmenter. La cinquième étape caractérise cette région à partir d'un modèle théorique. La dernière étape calcule la longueur d'onde de coupure à partir des paramètres de caractérisation.

Cette analyse est applicable à  $\lambda_c$  et  $\lambda_{cc}$  mesurée à toutes les méthodes, utilisant soit la technique de la fibre de référence courbée soit la technique de la fibre de référence multimodale.

Le terme  $\alpha(\lambda)$  représente soit  $A_b(\lambda)$  soit  $A_m(\lambda)$ .

#### 10.3.1 Etape 1: définir la région des grandes longueurs d'onde

##### 10.3.1.1 Utilisation de la technique de la fibre de référence courbée

Trouver la longueur d'onde de pente maximale, la longueur d'onde à laquelle la première différence,  $\alpha(\lambda) - \alpha(\lambda + 10 \text{ nm})$  est la plus grande. Pour les longueurs d'onde plus grandes que la longueur d'onde de pente maximale, la plus petite longueur d'onde de la région est la longueur d'onde à laquelle l'affaiblissement est minimal.

##### 10.3.1.2 Utilisation de la technique de la fibre de référence multimodale

Trouver la longueur d'onde d'affaiblissement maximal. Pour les longueurs d'onde plus grandes que la longueur d'onde d'affaiblissement maximal, la plus petite longueur d'onde de la région est la longueur d'onde à laquelle la fonction suivante est minimale:  $\alpha(\lambda) - 8 + 8\lambda$ , avec  $\lambda$  en  $\mu\text{m}$ .

La plus grande longueur d'onde de la région des grandes longueurs d'onde est la plus petite longueur d'onde de cette région plus 150 nm.

#### 10.3.2 Etape 2: caractériser la courbe d'affaiblissement

Caractériser la courbe d'affaiblissement,  $\alpha(\lambda)$ , de la région des grandes longueurs d'onde comme une fonction linéaire de la longueur d'onde,  $\lambda$ :

$$\alpha(\lambda) = A_u + B_u (\lambda \text{ en } \mu\text{m}) \quad (3)$$

où

$\alpha(\lambda)$  est la courbe d'affaiblissement;

$A_u$  et  $B_u$  sont les valeurs moyennes d'affaiblissement, en dB.

If  $\Delta A_m < 2$  dB, or if it is unobservable, broaden the wavelength scan and enlarge the single-mode launch conditions. Repeat these adjustments and the measurement procedure until  $\Delta A_m > 2$  dB, and until the long wavelength tail is of adequate length to be fitted by a straight line.

NOTE When using the multimode reference technique, fibres with high cut-off wavelengths, when combined with reference fibres with high water peaks, can have erroneous values reported as cut-off wavelength.

### 10.3 Curve-fitting technique for improved precision (optional)

In the absence of spurious humps or excessive noise in the upper wavelength region, accurate values for cut-off wavelength can be determined without curve fitting.

If curve fitting is considered necessary for improving precision, there are six steps. The first two steps define the  $LP_{01}$  region, or upper wavelength region. The next two steps define the transition region, where  $LP_{01}$  attenuation begins to increase. The fifth step characterizes this region according to a theoretical model. The last step computes the cut-off wavelength from the characterization parameters.

This analysis is applicable for  $\lambda_c$  and  $\lambda_{cc}$  measured by all methods, using either the bend reference technique or the multimode reference technique.

The term  $\alpha(\lambda)$  represents either  $A_b(\lambda)$  or  $A_m(\lambda)$ .

#### 10.3.1 Step 1: define the upper-wavelength region

##### 10.3.1.1 Using the bend reference technique

Find the maximum slope wavelength, the wavelength at which the first difference,  $\alpha(\lambda) - \alpha(\lambda + 10 \text{ nm})$ , is largest. For wavelengths greater than the maximum slope wavelength, the lower wavelength of the region is the wavelength at which the attenuation is minimum.

##### 10.3.1.2 Using the multimode reference technique

Find the maximum attenuation wavelength. For wavelengths greater than the maximum attenuation wavelength, the lower wavelength of the region is the wavelength at which the following function is minimum:  $\alpha(\lambda) - 8 + 8\lambda$ , with  $\lambda$  in  $\mu\text{m}$ .

The upper wavelength of the upper wavelength region is the lowest wavelength value of the upper wavelength region plus 150 nm.

#### 10.3.2 Step 2: characterize the attenuation curve

Characterize the attenuation curve,  $\alpha(\lambda)$ , of the upper wavelength region as a linear equation in wavelength,  $\lambda$ :

$$\alpha(\lambda) = A_u + B_u (\lambda \text{ in } \mu\text{m}) \quad (3)$$

where

$\alpha(\lambda)$  is the attenuation curve;

$A_u$  and  $B_u$  are median attenuation values in dB.

### 10.3.2.1 Utilisation de la technique de la fibre de référence courbée

Fixer  $B_u$  à 0 et  $A_u$  à la moyenne des valeurs d'affaiblissement de la région des grandes longueurs d'onde. Puis définir une fonction,  $a(\lambda)$ , pour représenter la différence entre l'affaiblissement et la ligne d'ajustement pour la région des grandes longueurs d'onde:

$$a(\lambda) = \alpha(\lambda) - A_u - B_u \quad (\lambda \text{ en } \mu\text{m}) \quad (4)$$

où

$a(\lambda)$  est la fonction représentant la différence entre l'affaiblissement et la ligne d'ajustement, en dB;

$A_u$  et  $B_u$  sont comme définies dans l'équation (3).

### 10.3.2.2 Utilisation de la technique de la fibre de référence multimodale

Ajuster les valeurs d'affaiblissement en utilisant une technique particulière pour éviter les effets de bosses positives:

- Etablir  $A_u$  et  $B_u$  par régression simplexe de sorte que la somme des valeurs absolues d'erreur soit minimale et qu'aucune erreur ne soit de valeur négative.
- Déterminer la moyenne des erreurs et ajouter la valeur à  $A_u$ .

Puis définir une fonction,  $a(\lambda)$ , pour représenter la différence entre l'affaiblissement et la ligne d'ajustement pour la région des grandes longueurs d'onde, en utilisant l'équation (4).

### 10.3.3 Etape 3: calculer la plus grande longueur d'onde de la région de transition

En commençant à la plus grande longueur d'onde de la région des grandes longueurs d'onde, obtenue à l'étape 1, la plus grande longueur d'onde de la région de transition est: 10 nm plus la longueur d'onde maximale à laquelle  $a(\lambda)$  est plus grand que 0,1 dB.

### 10.3.4 Etape 4: calculer la plus petite longueur d'onde de la région de transition

Il y a différentes manières pour déterminer la plus petite longueur d'onde de la région de transition. Deux exemples sont présentés ci-après:

**10.3.4.1** En commençant à la plus grande longueur d'onde de la région de transition, obtenue à l'étape 3, trouver la longueur d'onde à laquelle  $a(\lambda)$  présente un maximum local, et telle que la différence entre ce maximum et le minimum local suivant (pour une valeur plus grande de  $\lambda$ ) soit maximale.

**10.3.4.2** Trouver la plus grande longueur d'onde, en dessous de la plus grande longueur d'onde de la région de transition, telle que  $a(\lambda)$  soit supérieure à 2 dB et

- qu'il y ait un maximum local pour  $a(\lambda)$ , ou
- qu'il y ait un maximum local pour  $a(\lambda) - a(\lambda + 10 \text{ nm})$ .

### 10.3.5 Etape 5: caractériser la région de transition à l'aide du modèle théorique

Le modèle est une régression linéaire de transformation:

$$Y(\lambda) = 10 \log_{10} \left[ -\frac{10}{C} \log_{10} \left( \frac{10^{\frac{a(\lambda)}{10}} - 1}{\rho} \right) \right] \quad (5)$$



### 10.3.2.1 Using the bend reference technique

Set  $B_u$  to 0 and  $A_u$  to the median attenuation values in the upper wavelength region. Then define a function,  $a(\lambda)$ , to represent the difference between the attenuation and the line fit to the upper wavelength region:

$$a(\lambda) = \alpha(\lambda) - A_u - B_u \quad (\lambda \text{ in } \mu\text{m}) \quad (4)$$

where

$a(\lambda)$  is the function representing the difference between attenuation and line fit in dB;  
 $A_u$  and  $B_u$  are as defined for equation (3).

### 10.3.2.2 Using the multimode reference technique

Fit the attenuation values using a special technique to avoid the effects of positive humps:

- a) Find  $A_u$  and  $B_u$  by simplex regression so that the sum of the absolute values of error is minimum, and such that all errors are non-negative.
- b) Determine the median of the errors and add the value to  $A_u$ .

Then define a function,  $a(\lambda)$ , to represent the difference between the attenuation and the line fit to the upper wavelength region, using equation (4).

### 10.3.3 Step 3: determine the upper wavelength of the transition region

Starting at the upper wavelength of the upper wavelength region, from step 1, the upper wavelength of the transition region is: 10 nm plus the maximum wavelength at which  $a(\lambda)$  is greater than 0,1 dB.

### 10.3.4 Step 4: determine the lower wavelength of the transition region

There are various ways to determine the lower wavelength of the transition region. Two examples are given below:

**10.3.4.1** Starting with the upper wavelength of the transition region from step 3, find the wavelength at which  $a(\lambda)$  has a local maximum, and the difference between this maximum and the next local minimum (at larger than  $\lambda$ ) is maximum.

**10.3.4.2** Find the largest wavelength, below the upper wavelength of the transition region, such that  $a(\lambda)$  is greater than 2 dB and

- there is a local maximum for  $a(\lambda)$ , or
- there is a local maximum for  $a(\lambda) - a(\lambda + 10 \text{ nm})$ .

### 10.3.5 Step 5: characterize the transition region with the theoretical model

The model is a linear regression of a transformation:

$$Y(\lambda) = 10 \log_{10} \left[ -\frac{10}{C} \log_{10} \left( \frac{10^{\frac{a(\lambda)}{10}} - 1}{\rho} \right) \right] \quad (5)$$

où

$Y(\lambda)$  est la régression linéaire de transformation;

$a(\lambda)$  est donnée dans l'équation (4);

$$C = 10 \log_{10} \left[ \frac{\rho}{(10^{0,01} - 1)} \right] \quad (6)$$

et, sauf spécification contraire,  $\rho = 2$ .

Ajuster la transformée,  $Y(\lambda)$ , sur le modèle linéaire suivant en utilisant les données de la région de transition:

$$A_t + B_t \lambda = -Y(\lambda) \quad (7)$$

Pour limiter les effets de bosses positives, la régression peut être faite avec des contraintes sur les erreurs de telle sorte que les erreurs négatives sur la courbe d'affaiblissement n'excèdent pas les erreurs négatives trouvées dans la caractérisation de la région des grandes longueurs d'onde. Cette technique d'ajustement peut s'effectuer par des méthodes complexes.

Soit  $E = \min[a(\lambda)]$ , pour  $\lambda$  dans la région des grandes longueurs d'onde.

Pour la région de transition, établir les valeurs de  $A_t$  et  $B_t$  à partir de l'équation (7) de sorte que la somme des valeurs absolues des erreurs soit minimisée et qu'aucune erreur ne soit inférieure à  $-\nu(\lambda)$ , avec  $\nu(\lambda)$  dérivé de  $w(\lambda)$  et  $z(\lambda)$  et défini comme

$$w(\lambda) = 10^{\frac{a(\lambda) - E}{10}} \quad (8)$$

$$z(\lambda) = 10 \log_{10} \left[ -\frac{10}{C} \log_{10} \left( \frac{w(\lambda) - 1}{\rho} \right) \right] \quad (9)$$

où  $\nu(\lambda)$ ,  $w(\lambda)$ , et  $z(\lambda)$  représentent des calculs intermédiaires utilisés pour simplifier l'expression d'ensemble

$$\text{Soit} \quad \nu(\lambda) = Y(\lambda) - z(\lambda) \quad (10)$$

### 10.3.6 Etape 6: calcul de la longueur d'onde de coupure, $\lambda_c$

Evaluer la pente de la région de transmission et calculer la longueur d'onde de coupure.

Si  $B_t$  est plus grand qu'une petite valeur négative (par exemple,  $-1$  à  $-0,1$ ), réduire de 10 nm la plus grande longueur d'onde de la région de transition et répéter l'étape 5. Sinon calculer  $\lambda_c$  comme

$$\lambda_c = \frac{A_t}{B_t} \quad (11)$$

où

$\lambda_c$  est la longueur d'onde de coupure sur fibre, en  $\mu\text{m}$ ;

$A_t$  et  $B_t$  sont donnés dans l'équation (7).

NOTE Calculer la longueur d'onde de coupure en câble,  $\lambda_{cc}$ , de la même manière que la longueur d'onde de coupure sur fibre,  $\lambda_c$ , dans l'étape 6 ci-dessus. Simplement remplacer  $\lambda_c$  par  $\lambda_{cc}$  dans l'équation 11, si nécessaire.

where

$Y(\lambda)$  is the linear regression of transformation;

$a(\lambda)$  is from equation (4);

$$C = 10 \log_{10} \left[ \frac{\rho}{(10^{0,01} - 1)} \right] \quad (6)$$

and, unless otherwise specified,  $\rho = 2$ .

Fit the transform,  $Y(\lambda)$ , to the following linear model, using data from the transition region:

$$A_t + B_t \lambda = -Y(\lambda) \quad (7)$$

In order to limit the effect of positive humps, the regression may be done with constraints on errors so that negative errors in the attenuation curve will not exceed the negative errors found in the characterization of the upper wavelength region. This fitting technique may be accomplished with simplex methods.

Then let  $E = \min[a(\lambda)]$ , for  $\lambda$  in the upper wavelength region.

For the transition region, find the values of  $A_t$  and  $B_t$  from equation (7) so that the sum of the absolute values of error is minimized, and so that no error is less than  $-v(\lambda)$ , with  $v(\lambda)$  derived from  $w(\lambda)$  and  $z(\lambda)$  and defined as

$$w(\lambda) = 10 \frac{a(\lambda) - E}{10} \quad (8)$$

$$z(\lambda) = 10 \log_{10} \left[ -\frac{10}{C} \log_{10} \left( \frac{w(\lambda) - 1}{\rho} \right) \right] \quad (9)$$

where  $v(\lambda)$ ,  $w(\lambda)$ , and  $z(\lambda)$  represent intermediate calculations used to simplify the overall expression.

$$\text{Then} \quad v(\lambda) = Y(\lambda) - z(\lambda) \quad (10)$$

### 10.3.6 Step 6, compute the cut-off wavelength, $\lambda_c$

Evaluate the slope of the transition region and compute the cut-off wavelength.

If  $B_t$  is greater than a small negative value (for example,  $-1$  to  $-0,1$ ), reduce the upper wavelength of the transition region by 10 nm and repeat step 5. Otherwise, compute  $\lambda_c$  as

$$\lambda_c = \frac{A_t}{B_t} \quad (11)$$

where

$\lambda_c$  is the fibre cut-off wavelength in  $\mu\text{m}$ ;

$A_t$  and  $B_t$  are from equation (7).

NOTE Calculate the cable cut-off wavelength,  $\lambda_{cc}$ , in the same manner as for fibre cut-off wavelength,  $\lambda_c$ , in step 6 above. Simply replace  $\lambda_c$  with  $\lambda_{cc}$  in equation (11), as appropriate.

## 11 Résultats

### 11.1 Informations à fournir pour chaque mesure

Relever les informations suivantes pour chaque essai:

- date et titre de la mesure;
- identification de l'échantillon;
- longueur d'onde de la source optique;
- résultats de mesure.

### 11.2 Informations disponibles sur demande

Les informations suivantes doivent être disponibles sur demande:

- dans le cas de la mesure de la longueur d'onde de coupure sur câble, la méthode utilisée: A ou B;
- longueur de l'échantillon à l'essai;
- technique de référence utilisée (fibre courbée ou multimodale);
- type de la fibre multimodale utilisée (dans le cas d'utilisation de la technique de la fibre de référence multimodale);
- description de tous les équipements clés utilisés: source lumineuse, dispositifs optiques d'injection, extracteur de modes de gaine, mécanismes de support de l'échantillon à l'essai, dispositif optique de détection;
- description du monochromateur (plage d'exploration spectrale, la largeur spectrale et les paliers d'incrémentations);
- description des techniques de détection et d'enregistrement;
- description de la configuration de déploiement utilisée;
- tracé typique de la courbe spectrale  $A_b(\lambda)$  ou  $A_m(\lambda)$ ;
- date du dernier étalonnage de l'appareil de mesure.

## 12 Informations à mentionner dans la spécification

La spécification particulière doit spécifier les informations suivantes:

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