

RAPPORT  
TECHNIQUE  
TECHNICAL  
REPORT

CEI  
IEC

TR 62285

Première édition  
First edition  
2002-07

---

---

**Méthodes de mesure du coefficient  
de non-linéarité –  
Guide d'application**

**Non-linear coefficient measuring  
methods –  
Application guide**

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62285:2002



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC/TR 62285:2002

## 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

RAPPORT  
TECHNIQUE  
TECHNICAL  
REPORT

CEI  
IEC

TR 62285

Première édition  
First edition  
2002-07

---

---

Méthodes de mesure du coefficient  
de non-linéarité –  
Guide d'application

Non-linear coefficient measuring  
methods –  
Application guide

© IEC 2002 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 Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

R

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

## SOMMAIRE

AVANT PROPOS .....	4
1 Domaine d'application et objet .....	8
2 Documents de référence .....	10
3 Appareillage .....	10
3.1 Source de lumière .....	10
3.2 Dispositif optique d'entrée .....	10
3.3 Positionneur d'entrée .....	10
3.4 Extracteur de modes de gaine .....	10
3.5 Positionneur de sortie .....	10
3.6 Dispositif optique de sortie .....	10
3.7 Ordinateur .....	12
4 Echantillons et éprouvettes .....	12
5 Procédure .....	12
6 Calculs d'interprétation des résultats .....	12
7 Documentation .....	14
7.1 Informations à fournir pour chaque mesure .....	14
7.2 Informations disponibles sur demande .....	14
Annexe A Méthode de fréquence double à onde continue .....	16
Annexe B Méthode par impulsion à fréquence unique (PM) .....	28
Annexe C Liste des acronymes et des symboles .....	36
Bibliographie .....	38

## CONTENTS

FOREWORD .....	5
1 Scope and object .....	9
2 Reference documents .....	11
3 Apparatus .....	11
3.1 Light source .....	11
3.2 Input optics .....	11
3.3 Input positioner .....	11
3.4 Cladding mode stripper .....	11
3.5 Output positioner .....	11
3.6 Output optics .....	11
3.7 Computer .....	13
4 Samples and specimens .....	13
5 Procedure .....	13
6 Calculations of interpretation of results .....	13
7 Documentation .....	15
7.1 Information to be provided with each measurement .....	15
7.2 Information available upon request .....	15
Annex A Continuous wave dual-frequency method .....	17
Annex B Pulsed single-frequency method (PM) .....	29
Annex C List of acronyms and symbols .....	37
Bibliography .....	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES DE MESURE DU COEFFICIENT DE NON-LINÉARITÉ –  
GUIDE D'APPLICATION**

AVANT PROPOS

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

Un rapport technique ne doit pas nécessairement être révisé avant que les données qu'il contient ne soient plus jugées valables ou utiles par le groupe de maintenance.

La CEI 62285, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
86A/745/CDV	86A/782/RVC

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

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

Le présent document, purement informatif, ne doit pas être considéré comme une norme internationale.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**NON-LINEAR COEFFICIENT MEASURING METHODS –  
APPLICATION GUIDE**

## FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organisation for standardisation comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardisation 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 organisations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organisation for Standardisation (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organisations.
- 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 technical report may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful by the maintenance team.

IEC 62285, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 86A: Fibres and cables, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
86A/745/CDV	86A/782/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report 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.

This document which is purely informative is not to be regarded as an International Standard.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2008. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62285:2002  
Withdrawn

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2008. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62285:2002  
**Withdrawn**

## MÉTHODES DE MESURE DU COEFFICIENT DE NON-LINÉARITÉ – GUIDE D'APPLICATION

### 1 Domaine d'application et objet

Le présent rapport technique est destiné à fournir un guide d'application pour des mesures uniformes du coefficient de non-linéarité des fibres unimodales (CEI 60793-2-50) dans la région de 1 550 nm.

Le coefficient de non-linéarité ( $nL_c$ ) est le rapport de l'indice de réfraction non linéaire de

Kerr,  $n_2$ , à zone effective,  $A_{\text{eff}}$ , (voir CEI/TR 62284) tel que:  $nL_c = \frac{n_2}{A_{\text{eff}}}$  (1)

Le coefficient de non-linéarité est un paramètre combiné lié aux effets suivants de distorsions optiques non linéaires:

- La modulation de phase autonome (SPM)
- La modulation de phase croisée (XPM)
- Le mélange de quatre ondes (FWM)

D'autres attributs de fibres, tels que la dispersion chromatique et la dispersion de mode de polarisation, influencent également la transmission.

Deux méthodes sont fournies, avec des précisions spécifiques à chacune dans les annexes normatives. Il s'agit des méthodes suivantes:

- Méthode A Fréquence double à onde continue
- Méthode B Fréquence simple à impulsions

Les deux méthodes requièrent l'injection de puissances très élevées (5 dBm ou plus) dans la fibre, la mesure de cette puissance (absolue) et la mesure du spectre de sortie (qui est modifiée par des effets de non-linéarités). Les deux méthodes utilisent des calculs qui combinent ces résultats mesurés avec ceux qui proviennent d'autres mesures, telles que la mesure de l'affaiblissement (CEI 60793-1-40) et la mesure de la dispersion chromatique (CEI 60793-1-42). Les deux méthodes ont des limites sur la longueur de fibre qui peut être mesurée – en relation avec la dispersion chromatique à la longueur d'onde de mesure.

La méthode A [1] 1) requiert l'injection de lumière à deux longueurs d'onde dans la fibre. La lumière des deux longueurs d'onde est constante à des niveaux divers de puissance. Aux puissances supérieures, les lumières effectuent un battement du fait de l'effet de non-linéarité et produisent un spectre de sortie qui est étalé. La relation du niveau de puissance à une métrique particulière d'étalement de spectre est utilisée pour calculer le coefficient de non-linéarité.

La méthode B [2], [3] requiert l'injection d'impulsion de lumière à une longueur d'onde unique. Il convient que les impulsions aient une durée très inférieure à 1 ns et que la puissance de pic d'entrée de ces impulsions soit mesurée et liée à l'étalement de non-linéarité du spectre de sortie.

Des mesures du coefficient de non-linéarité sont utilisées pour caractériser les conceptions de fibres unimodales spécifiques pour les besoins de la conception du système par rapport aux niveaux de puissance et aux effets de distorsion ou de bruit provenant du comportement optique non linéaire.

1) Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

## NON-LINEAR COEFFICIENT MEASURING METHODS – APPLICATION GUIDE

### 1 Scope and object

This technical report is intended to provide guidance for uniform measurements of the non-linear coefficient of single-mode fibres (IEC 60793-2-50) in the 1 550 nm region.

The non-linear coefficient (nLc) is the ratio of the Kerr non-linear refractive index,  $n_2$ , to effective area,  $A_{\text{eff}}$  (see IEC/TR 62284) as:

$$\text{nLc} = \frac{n_2}{A_{\text{eff}}} \quad (1)$$

The non-linear coefficient is related to the following non-linear optical distortion effects as a combined parameter:

- Self-phase modulation (SPM)
- Cross-phase modulation (XPM)
- Four-wave mixing (FWM)

Other fibre attributes, such as chromatic dispersion and polarisation mode dispersion, also influence the transmission.

Two methods are given, with details specific to each in normative annexes. They are:

- Method A Continuous-wave dual-frequency
- Method B Pulsed single-frequency

Both methods require injecting very high powers (5 dBm or more) into the fibre, measurement of this power (absolute), and measurement of the output spectrum which is modified by non-linear effects. Both methods use calculations that combine these measured results with those derived from other measurements such as attenuation (IEC 60793-1-40) and chromatic dispersion (IEC 60793-1-42). Both methods have limitations on the length of fibre that can be measured – in a relationship with the chromatic dispersion at the wavelength being measured.

Method A [1],<sup>1)</sup> requires injecting the light of two wavelengths into the fibre. The light of both wavelengths is constant at various power levels. At higher power, the lights beat due to the non-linear effect and produce an output spectrum that is spread. The relationship of the power level to a particular metric of spectrum spreading is used to calculate the non-linear coefficient.

Method B [2], [3] requires injecting pulsed light at a single wavelength. The pulses should be of duration substantially less than 1 ns and the input peak power of these pulses should be measured and related to the non-linear spreading of the output spectrum.

Measurements of the non-linear coefficient are used to characterise specific single-mode fibre designs for the purpose of system design relative to power levels and distortion or noise effects derived from the non-linear optical behaviour.

---

<sup>1)</sup> Figures in square brackets refer to the bibliography.

## 2 Documents de référence

CEI 60793-1-1, *Fibres optiques – Partie 1-1: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Généralités et guide* <sup>2)</sup>

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

CEI 60793-1-42, *Fibres optiques – Partie 1-42: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion chromatique*

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

CEI 61315, *Etalonnage des radiomètres pour sources fibrées*

## 3 Appareillage

L'appareillage suivant est commun aux deux méthodes de mesure. Les annexes A et B contiennent respectivement les croquis et autres prescriptions d'équipement pour chacune des méthodes.

### 3.1 Source de lumière

Voir les annexes A et B pour les caractéristiques détaillées des sources de lumière.

### 3.2 Dispositif optique d'entrée

Le dispositif optique d'entrée comprend un ou plusieurs lasers, des amplificateurs, des affaiblisseurs variables, des coupleurs et des wattmètres. Des filtres passe-bande et des oscilloscopes peuvent être nécessaires pour la méthode B. Voir les annexes A et B pour les détails spécifiques.

### 3.3 Positionneur d'entrée

Fournir un moyen de positionner l'extrémité d'entrée de l'éprouvette à la source de lumière. Généralement, cette connexion se fait avec une épissure par fusion avec une fibre amorce courte (1 m) de fibre de type B1.1.

### 3.4 Extracteur de modes de gaine

Utiliser un dispositif qui extrait les modes de gaine. Dans certaines circonstances, le revêtement de fibre réalisera cette fonction.

### 3.5 Positionneur de sortie

Fournir un moyen adapté pour aligner la fibre au dispositif optique de sortie. Généralement, cette connexion se fait avec une épissure par fusion avec une fibre amorce de type B1.1.

### 3.6 Dispositif optique de sortie

Le dispositif optique de sortie comprend un wattmètre et un analyseur de spectre optique. Un oscilloscope peut être prescrit pour la méthode B. Voir les annexes A et B pour les détails.

---

2) Deuxième édition, à publier.

## 2 Reference documents

IEC 60793-1-1, \_\_\_ *Optical fibres – Part 1-1: Measurement methods and test procedures – General and guidance* <sup>2)</sup>

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

IEC 60793-1-42, *Optical fibres – Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion*

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

IEC 61315, *Calibration of fibre optic power meters*

## 3 Apparatus

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

### 3.1 Light source

See annexes A and B for detailed characteristics of the light sources.

### 3.2 Input optics

The input optics include one or more lasers, amplifiers, variable attenuators, couplers and power meters. Bandpass filters and oscilloscopes may be needed for Method B. See annexes A and B for specific details.

### 3.3 Input positioner

Provide means of positioning the input end of the specimen to the light source. Typically, this connection is with a fusion splice to a short (1 m) pigtail of type B1.1 fibre.

### 3.4 Cladding mode stripper

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

### 3.5 Output positioner

Provide a suitable means for aligning the fibre to the output optics. Typically, this connection is with a fusion splice to a pigtail of type B1.1 fibre.

### 3.6 Output optics

The output optics include a power meter and optical spectrum analyser. An oscilloscope may be required for Method B. See annexes A and B for details.

---

2) 2<sup>nd</sup> edition, to be published.

### 3.7 Ordinateur

Utiliser un ordinateur pour réaliser des opérations telles que la commande de l'appareillage, la prise des mesures d'intensité et le traitement des données pour obtenir les résultats finaux.

## 4 Echantillons et éprouvettes

Une éprouvette est une longueur connue de fibre optique unimodale (CEI 60793-2-50). Il convient que l'échantillon et les fibres amorces soient fixés en position à température ambiante standard constante tout au long de la mesure. Sauf spécification contraire, il convient que les conditions ambiantes normales (CEI 60793-1-1) soient employées.

Il convient que les faces d'extrémité pour les extrémités d'entrée et de sortie de l'échantillon d'essai soient préparées de façon appropriée pour obtenir des épissures par fusion de faible perte.

La méthode de mesure est limitée par rapport à la longueur mesurable du fait de la dispersion chromatique. Pour cette raison, l'éprouvette est normalement extraite d'un morceau plus long de fibre qui a été caractérisé pour le coefficient d'affaiblissement,  $\alpha_{dB}$ , et la dispersion chromatique,  $D$ , à la longueur d'onde d'intérêt (1 550 nm). La longueur de la fibre après avoir été coupée est désignée  $L$ .

Voir les annexes A et B pour les détails spécifiques aux prescriptions de longueur et de dispersion chromatique.

La fibre peut être déployée sur une bobine d'expédition ordinaire.

## 5 Procédure

- a) Déployer la fibre ou le câble et préparer les extrémités.
- b) Fixer les extrémités aux dispositifs optiques d'entrée et de sortie.
- c) Lancer l'ordinateur pour mener à bien les balayages et mesures trouvés dans les annexes A et B pour les méthodes de mesure.
- d) Compléter la documentation.

## 6 Calculs d'interprétation des résultats

Sauf spécification contraire, les unités sont en mètres, en secondes, en watts et en radians.

Les relations fondamentales pour les deux méthodes sont presque les mêmes; elles sont donc présentées ici pour comparaison.

$$\text{Méthode A} \quad \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{n_2}{A_{\text{eff}}} L_{\text{eff}} 2P \quad (2a)$$

$$\text{Méthode B} \quad \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{n_2}{A_{\text{eff}}} L_{\text{eff}} P_{\text{peak}} \quad (2b)$$

où

$\varphi$  est le déphasage non linéaire (rad);

$\lambda$  est la longueur d'onde (m) (centre de deux longueurs d'onde pour la méthode A);

$n_2$  est l'indice de réfraction non linéaire de Kerr;

$A_{\text{eff}}$  est la zone effective;

$L_{\text{eff}}$  est la longueur effective (m);

### 3.7 Computer

Use a computer to perform operations such as controlling the apparatus, taking intensity measurements and processing the data to obtain the final results.

## 4 Samples and specimens

A specimen is a known length of single-mode optical fibre (IEC 60793-2-50). The sample and pigtails should be fixed in position at a nominally constant temperature throughout the measurement. Standard ambient conditions (IEC 60793-1-1) should be employed, unless otherwise specified.

End faces for the input and output ends of the test sample should be prepared as appropriate to obtain low loss fusion splices.

The measurement method is limited with regard to the measurable length because of chromatic dispersion. For this reason, the specimen is normally cut from a longer piece of fibre that has been characterised for attenuation coefficient,  $\alpha_{dB}$ , and chromatic dispersion,  $D$ , at the wavelength of interest (1 550 nm). The length of the fibre after being cutback is referred to as  $L$ .

See annexes A and B for details specific to the length and chromatic dispersion requirements.

The fibre may be deployed on a common shipping spool.

## 5 Procedure

- a) Deploy the fibre or cable and prepare the ends.
- b) Attach the ends to the input and output optics.
- c) Engage the computer to complete the scans and measurements found in annexes A and B for the measurement methods.
- d) Complete the documentation.

## 6 Calculations of interpretation of results

Unless otherwise specified, the units are in meters, seconds, watts, and radians.

The fundamental relationships for the two methods are nearly the same, so they are presented here for comparison.

$$\text{Method A} \quad \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{n_2}{A_{\text{eff}}} L_{\text{eff}} 2P \quad (2a)$$

$$\text{Method B} \quad \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{n_2}{A_{\text{eff}}} L_{\text{eff}} P_{\text{peak}} \quad (2b)$$

where

- $\varphi$  is the non-linear phase shift (rad);
- $\lambda$  is the wavelength (m) (centre of two wavelengths for method A);
- $n_2$  is the Kerr non-linear refractive index;
- $A_{\text{eff}}$  is the effective area;
- $L_{\text{eff}}$  is the effective length (m);

$P$  est la puissance d'entrée (W) (deux longueurs d'onde pour la méthode A);

$P_{\text{peak}}$  est la puissance d'entrée de pic (W) (méthode B).

Si la puissance de pic de la méthode B était égale à deux fois la puissance de la méthode A, les deux équations seraient identiques.

La longueur effective est définie comme suit:

$$L_{\text{eff}} = \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha} \quad (3a)$$

où

$L$  est la longueur (m);

$\alpha$  est le coefficient d'affaiblissement « naturel » (nepers/m).

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{dB}}}{4,343} 10^{-3} \quad (3b)$$

où

$\alpha_{\text{dB}}$  est le coefficient d'affaiblissement normal (dB/km).

Les deux méthodes diffèrent dans la façon où le déphasage est déterminé comme une fonction de puissance d'entrée. Une fois déterminée la relation de puissance et de déphasage, l'inverse de l'équation (2a) ou (2b), pour obtenir le coefficient de non-linéarité, est aisément calculé avec les autres quantités connues.

Pour la fibre de type B1.1, le coefficient de non-linéarité a été mesuré comme étant approximativement à  $2,9 \times 10^{-10} \text{ W}^{-1}$ , et a été fourni comme exemple du résultat.

## 7 Documentation

### 7.1 Informations à fournir pour chaque mesure

- Identification de l'éprouvette
- Date de mesure
- Coefficient de non-linéarité:  $n_2/A_{\text{eff}} (\text{W}^{-1})$
- Coefficient de dispersion de fibre (ps/nm × km)
- Coefficient d'affaiblissement de fibre (dB/km)
- Longueur de fibre

### 7.2 Informations disponibles sur demande

- Méthode de mesure utilisée
- Description du montage d'équipement
- Longueur(s) d'onde de la source
- Durée d'impulsion (méthode A uniquement)
- Niveaux de puissance d'entrée typiques

$P$  is the input power (W) (both wavelengths for method A);

$P_{\text{peak}}$  is the peak input power (W) (method B).

If peak power of method B were equal to twice the power of method A, the two equations would be identical.

The effective length is defined as the following:

$$L_{\text{eff}} = \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha} \quad (3a)$$

where

$L$  is the length (m);

$\alpha$  is the "natural" attenuation coefficient (nepers/m).

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{dB}}}{4,343} 10^{-3} \quad (3b)$$

where

$\alpha_{\text{dB}}$  is the normal attenuation coefficient (dB/km).

The two methods differ in how the phase shift is determined as a function of input power. Once the phase shift and power relationship has been determined, the inverse of equation (2a) or (2b), to obtain the non-linear coefficient, is easily computed with the other known quantities.

For type B1.1 fibre, the non-linear coefficient has been measured to be approximately  $2,9 \times 10^{-10} \text{ W}^{-1}$ , provided as an example of the result.

## 7 Documentation

### 7.1 Information to be provided with each measurement

- Specimen identification
- Measurement date
- Non-linear coefficient:  $n_2/A_{\text{eff}}$  ( $\text{W}^{-1}$ )
- Fibre dispersion coefficient ( $\text{ps/nm} \times \text{km}$ )
- Fibre attenuation coefficient (dB/km)
- Fibre length

### 7.2 Information available upon request

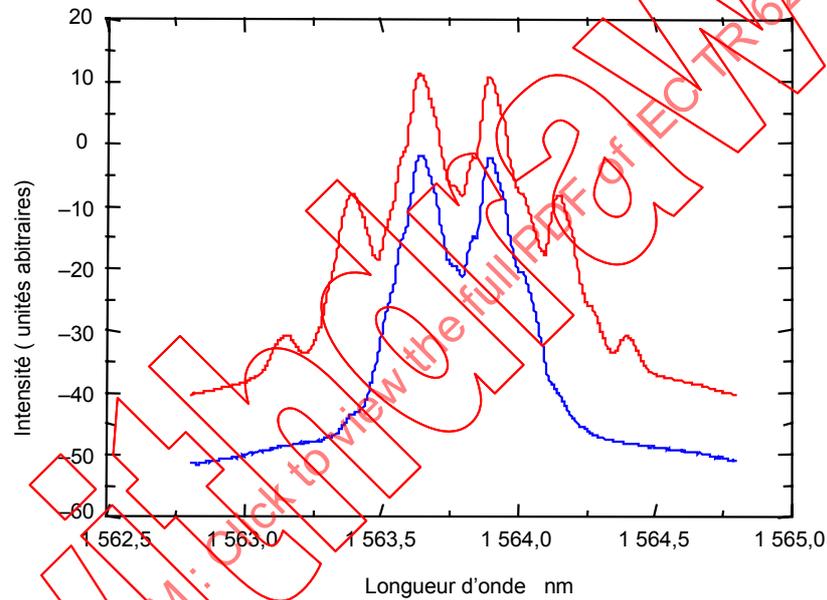
- Measurement method used
- Description of the equipment set-up
- Wavelength(s) of the source
- Pulse duration (method A only)
- Typical input power levels

## Annexe A

### Méthode de fréquence double à onde continue

#### A.1 Introduction

La présente annexe contient des prescriptions spécifiques à la méthode A. Le principe de la méthode consiste à injecter deux fréquences optiques à onde continue (cw),  $\omega_a$  et  $\omega_b$ , dans l'éprouvette à différents niveaux de puissance. Les deux fréquences effectuent un battement du fait des effets de non-linéarités et créent des bandes latérales aux fréquences  $(2\omega_a - \omega_b)$  et  $(2\omega_b - \omega_a)$  (voir la figure A.1). L'intensité relative des bandes latérales,  $I_l$ , à l'intensité des bandes principales,  $I_0$ , est liée aussi bien au déphasage qu'à la puissance injectée.



IEC 1832/02

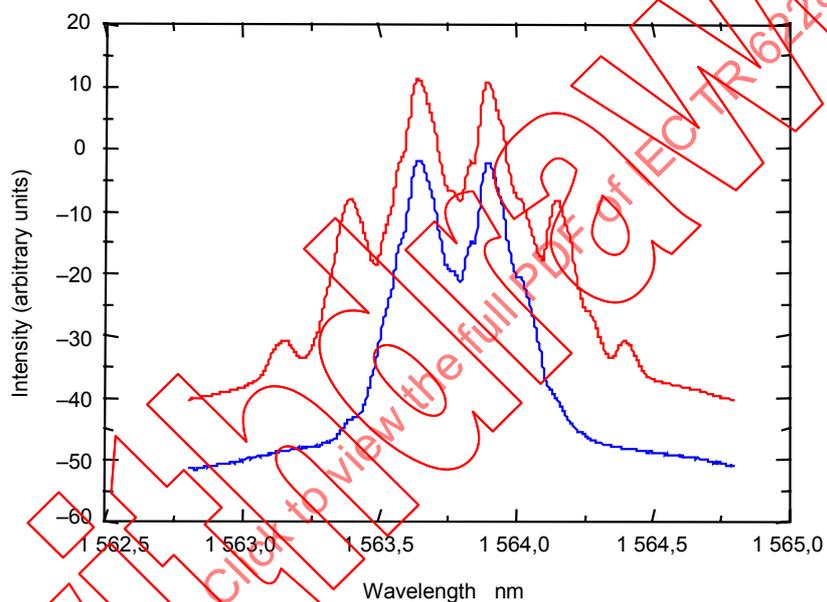
Figure A.1 – Caractéristiques spectrales de sortie

## Annex A

### Continuous wave dual-frequency method

#### A.1 Introduction

This annex contains requirements specific to method A. The principle of the method is to inject two continuous wave (cw) optical frequencies,  $\omega_a$  and  $\omega_b$ , into the specimen at various power levels. The two frequencies beat due to non-linear effects and create sidebands at frequencies  $(2\omega_a - \omega_b)$  and  $(2\omega_b - \omega_a)$  (see figure A.1). The relative intensity of the side bands,  $I_1$ , to the intensity of the main bands,  $I_0$ , is related to both the phase shift and power injected.



IEC 1832/02

Figure A.1 – Output spectral characteristics

## A.2 Appareillage

La figure A.2 illustre une disposition type de l'appareillage d'essai.

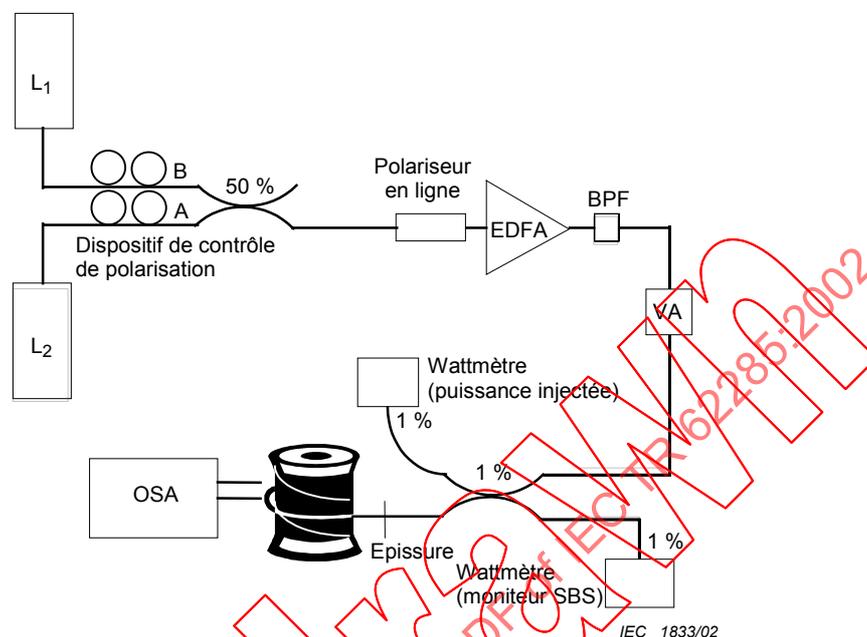


Figure A.2 – Appareillage pour la méthode A

### A.2.1 Sources

Les deux sources de laser,  $L_1$  et  $L_2$  dans la figure A.2, fonctionnent dans le mode cw aux fréquences optiques,  $\omega_a$  et  $\omega_b$ , à l'intérieur de la fenêtre de  $(1\,550 \pm 10)$  nm. La différence de fréquence,  $\Delta\omega_0 = \omega_a - \omega_b$ , correspond à une différence de longueur d'onde,  $\Delta\lambda_0$ , qui place une limite supérieure sur la largeur spectrale de chacune des sources: il convient que les largeurs spectrales de source ne dépassent pas  $0,1 \times \Delta\lambda_0$ . La limite inférieure sur la largeur spectrale est réglée par la nécessité d'éviter la diffusion de Brillouin (voir A.2.3).

La limite inférieure de séparation de longueur d'onde est réglée par la capacité de l'analyseur de spectre optique (OSA) à résoudre les bandes latérales, et la limite supérieure est réglée par la dispersion de l'éprouvette (voir article A.3). Une séparation type pourrait être 0,035 THz (0,28 nm) mais d'autres sont faisables en fonction des autres détails du montage.

Il convient que les puissances de source soient dans les limites de 0,2 dB l'une de l'autre. La puissance de source est ensuite conditionnée par des polariseurs, amplifiée optiquement et affaiblie de façon variable. La puissance injectée minimale est réglée par la limite à laquelle les bandes latérales sont induites. La puissance maximale est réglée par la nécessité d'éviter la diffusion de Brillouin.

### A.2.2 Conditionnements de signaux optiques

Il convient que les contrôleurs de polarisation, les mélangeurs, les amplificateurs, les affaiblisseurs et les polariseurs soient utilisés de façon combinée de sorte que les lumières injectées dans l'éprouvette soient d'une part dans le même état de polarisation et d'autre part dans les limites de 0,2 dB l'une de l'autre.

Dans l'exemple de la figure A.2, l'amplificateur optique à fibre dopée à l'erbium (EDFA) est utilisé pour activer la puissance à des niveaux suffisants pour induire des effets de non-linéarités. Cela génère une émission spontanée amplifiée (ASE) qu'il convient de supprimer par:

## A.2 Apparatus

Figure A.2 shows a typical arrangement of the test apparatus.

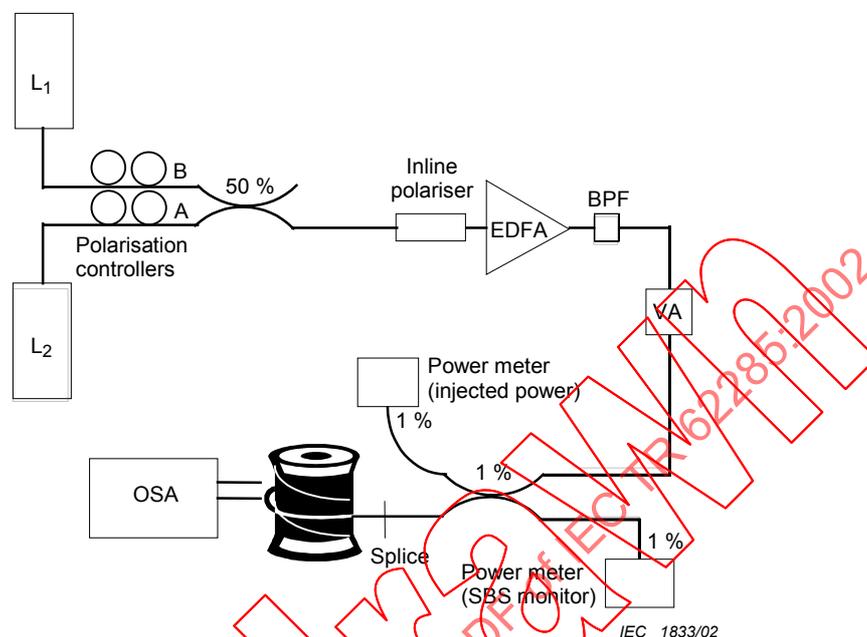


Figure A.2 – Apparatus for method A

### A.2.1 Sources

Two laser sources,  $L_1$  and  $L_2$  in figure A.2, are operated in the cw mode at optical frequencies,  $\omega_a$  and  $\omega_b$ , both within the window of  $(1\,550 \pm 10)$  nm. The frequency difference,  $\Delta\omega_0 = \omega_a - \omega_b$ , corresponds to a wavelength difference,  $\Delta\lambda_0$ , which places an upper limit on the spectral width of each of the sources; the source spectral widths should not exceed  $0,1 \times \Delta\lambda_0$ . The lower limit on the spectral width is set by the need to avoid Brillouin scattering (see A.2.3).

The wavelength separation lower limit is set by the ability of the optical spectrum analyser (OSA) to resolve the sidebands and the upper limit is set by the dispersion of the specimen (see clause A.3). A typical separation could be 0,035 THz (0,28 nm), but others are feasible depending on the other details of the set-up.

The source powers should be within 0,2 dB of one another. The source power is further conditioned by polarisers, optically amplified, and variably attenuated. The minimum injected power is set by the limit at which the sidebands are induced. The maximum is set by the need to avoid Brillouin scattering.

### A.2.2 Optical signal conditioning

Polarisation controllers, combiners, amplifiers, attenuators and polarisers should be used in combination so that the light injected into the specimen are in the same polarisation state and within 0,2 dB of one another.

In the example of figure A.2, the erbium doped fibre amplifier (EDFA) is used to boost the power to levels sufficient to induce non-linear effects. This generates amplified spontaneous emission (ASE) which should be removed by either:

- a) un filtre passe-bande (BPF) comme l'illustre la figure A.2, ou par
- b) une soustraction de la ligne de base, telle qu'elle est déterminée dans la région des bandes latérales de l'OSA.

NOTE Une soustraction exacte de la ligne de base peut être obtenue en mesurant la réponse de phase du système de mesure sans qu'une fibre en essai soit en place.

### A.2.3 Wattmètres

La figure A.2 illustre deux wattmètres: l'un pour surveiller la propagation incidente de lumière injectée dans l'éprouvette et l'autre pour surveiller la lumière réfléchiée en retour qui pourrait être induite par la diffusion de Brillouin – pour s'assurer qu'elle demeure dans le régime spontané, et non pas le régime stimulé.

Il convient que les wattmètres soient linéaires et précis à  $\pm 3\%$  près pour les niveaux utilisés dans l'essai (voir la CEI 61315 pour les précisions d'étalonnage).

La puissance détectée par le wattmètre « incident » peut être étalonnée par rapport à la puissance injectée dans l'éprouvette en coupant l'éprouvette immédiatement après l'épissure et en mesurant la puissance de sortie à ce point.

NOTE 1 La puissance de sortie émise depuis l'éprouvette coupée sera réduite par la réflexion de Fresnel d'approximativement  $3\%$  – ce qu'il convient de prendre en compte. Les valeurs de puissance exigées sont celles qui sont injectées dans l'éprouvette avant coupure.

NOTE 2 Certains montages présentent un troisième wattmètre pour confirmer la perte d'épissure à un niveau de puissance au moins en suivant les mesures d'essai primaires. En variante, la mesure de la sortie de l'éprouvette complète, conjointement avec le coefficient d'affaiblissement de fibre et la longueur de celle-ci, peut être utilisée pour confirmer la perte d'épissure.

Pour une source dont la largeur spectrale est bien inférieure à la largeur de ligne de Brillouin spontanée de  $0,038\text{ THz}$ , le seuil pour la diffusion de Brillouin stimulée (SBS) est d'approximativement de  $20\text{ mW}$ . L'augmentation de la largeur spectrale de source à  $100\text{ MHz}$  élève ce seuil à approximativement  $100\text{ mW}$ . D'autres stratégies pour la réduction de SBS comprennent les actions suivantes:

- Modulation des sources à  $100\text{ MHz}$  jusqu'à  $1\text{ GHz}$  pour augmenter la largeur effective
- Réduction du niveau de puissance maximale
- Réduction de la longueur de fibre

### A.2.4 Analyseur de spectre optique

Le spectre optique émergent de l'éprouvette est mesuré avec un analyseur de spectre optique (OSA). Il convient que la résolution soit suffisante pour résoudre clairement les bandes latérales.

## A.3 Echantillons et éprouvettes

Il convient que le coefficient de dispersion chromatique de fibre,  $D$  ( $\text{ps/nm}\times\text{km}$ ) soit connu au niveau de la longueur d'onde d'essai avant l'exécution de l'essai. La longueur de l'éprouvette peut avoir à être réduite de telle sorte que la restriction suivante soit satisfaite:

$$2\pi \times c \left( \frac{\Delta\omega_0}{\omega_0} \right)^2 \varphi_{\max} |D|L \ll 1 \quad (\text{A1})$$

où

$c$  est la vitesse de la lumière dans le vide ( $2,99792458 \times 10^8\text{ m/s}$ );

$\varphi_{\max}$  est le déphasage anticipé maximal (rad);

- a) a bandpass filter (BPF) as shown in figure A.2, or
- b) a subtraction of the baseline as determined in the region of the sidebands of the OSA.

NOTE An accurate baseline subtraction can be obtained by measuring the phase response of the measurement system without a test fibre in place.

### A.2.3 Power meters

Figure A.2 shows two power meters: one to monitor forward propagation of light injected into the specimen and the other to monitor back-reflected light that could be induced by Brillouin scattering – to ensure that it remains in the spontaneous, and not the stimulated regime.

Power meters should be linear and accurate to within  $\pm 3\%$  for the levels used in the test (see IEC 61315 for calibration details).

The power detected by the forward power meter can be calibrated with regard to the power injected into the specimen by cutting the specimen immediately after the splice and measuring the output power at this point.

NOTE 1 The output power emitted from the cutback specimen will be reduced by Fresnel reflection of approximately 3% – which should be taken into account. The required power values are those that are launched into the specimen without the cut.

NOTE 2 Some set-ups feature a third power meter to confirm the splice loss at least one power level following the primary test measurements. Alternatively, measurement of the output of the full specimen, in conjunction with fibre attenuation coefficient and length, can be used to confirm the splice loss.

For a source whose spectral width is much less than the 0,038 THz spontaneous Brillouin linewidth, the threshold for stimulated Brillouin scattering (SBS) is approximately 20 mW. Increasing the source spectral width to 100 MHz raises this threshold to approximately 100 mW. Other strategies for reducing SBS include:

- Modulating the sources at 100 MHz to 1 GHz to increase the effective width
- Reducing the maximum power level
- Reducing the fibre length

### A.2.4 Optical spectrum analyser

The optical spectrum emerging from the specimen is measured with an optical spectrum analyser (OSA). The resolution should be sufficient to clearly resolve the sidebands.

## A.3 Samples and specimens

The fibre chromatic dispersion coefficient,  $D$  (ps/nm×km) should be known at the test wavelength before the test is conducted. The length of the specimen may be reduced so the following restriction is satisfied:

$$2\pi \times c \left( \frac{\Delta\omega_0}{\omega_0} \right)^2 \varphi_{\max} |D|L \ll 1 \quad (A1)$$

where

$c$  is the speed of light in vacuum ( $2.99792458 \times 10^8$  m/s);

$\varphi_{\max}$  is the maximum anticipated phase shift (rad);

$\Delta\omega_0$  est la différence de fréquences optiques (rad/s);  
 $\omega_0$  est la moyenne des deux fréquences optiques (rad/s);  
 $|D|$  est la valeur absolue du coefficient de dispersion (s/m×km);  
 $L$  est la longueur de l'éprouvette (km).

Exemple:

$$\lambda_a = 1\,550,28 \text{ nm}$$

$$\lambda_b = 1\,550 \text{ nm}$$

$$D = 17,0 \text{ ps/nm}\times\text{km} = 0,017 \text{ s/m}\times\text{km}$$

$$L = 0,5 \text{ km}$$

$$\varphi_{\max} = 0,3 \text{ rad}$$

L'équation (A1) se réduit à:

$$2\pi c \left[ 1550,14 \left( \frac{1}{1550} - \frac{1}{1550,28} \right) \right]^2 \times 0,3 \times 0,017 \times 0,5 = 0,157 \quad (\text{A2})$$

## A.4 Procédure

La procédure implique une progression d'une série de niveaux de puissance. Pour chaque niveau de puissance, la puissance injectée dans l'éprouvette est mesurée ou calculée, et le rapport de l'intensité du lobe latéral au lobe principal est mesuré sur l'OSA.

### A.4.1 Etalonnage

Mettre un wattmètre étalonné à la sortie de l'extrémité de la source du système. Effectuer un cycle de mesure à travers les niveaux de puissance désirés et mesurer, pour chacun, la puissance à l'aide du wattmètre «incident» et du wattmètre d'étalonnage. Supprimer l'effet de réflexion de Fresnel sur la lumière émise par le système sur la puissance de sortie détectée. Il convient que la relation entre les puissances mesurées soit utilisée pour déterminer la puissance injectée dans l'éprouvette fondée sur la lumière mesurée par le wattmètre «incident» sur les mesures normales.

### A.4.2 Fonctionnement

Fixer l'éprouvette à la source et aux extrémités réceptrices du système avec les épissures par fusion.

Effectuer des cycles à travers les niveaux de puissance – indexés avec  $i$ . Pour chacun:

- enregistrer les niveaux de puissance mesurés et calculer la puissance injectée dans l'éprouvette,  $P_i$ ;
- compléter le balayage de l'OSA du spectre de sortie;
- si nécessaire, soustraire des données de l'OSA le bruit de l'émission spontanée amplifiée (ASE) induite par l'amplificateur;
- déterminer l'intensité des lobes principaux,  $I_0$ , et des lobes latéraux,  $I_1$  (voir la figure A.1);
- déterminer le rapport des lobes latéraux aux lobes principaux en tant que  $R_i = I_1/I_0$ ;
- confirmer l'absence de diffusion de Brillouin;
- relever toutes les mesures de puissance de sortie qui peuvent être utilisées pour confirmer les pertes d'épissure.

$\Delta\omega_0$  is the difference in optical frequencies (rad/s);

$\omega_0$  is the average of the two frequencies (rad/s);

$|D|$  is the absolute value of dispersion coefficient (s/m×km);

$L$  is the specimen length (km).

Example:

$$\lambda_a = 1\,550,28 \text{ nm}$$

$$\lambda_b = 1\,550 \text{ nm}$$

$$D = 17,0 \text{ ps/nm}\times\text{km} = 0,017 \text{ s/m}\times\text{km}$$

$$L = 0,5 \text{ km}$$

$$\varphi_{\max} = 0,3 \text{ rad}$$

Equation A1 reduces to:

$$2\pi c \left[ 1550,14 \left( \frac{1}{1550} - \frac{1}{1550,28} \right) \right]^2 \times 0,3 \times 0,017 \times 0,5 = 0,157 \quad (\text{A2})$$

## A.4 Procedure

The procedure requires stepping through a series of power levels. For each power level, the power injected into the specimen is measured or calculated and the ratio of the intensity of the sidelobe to the main lobe on is measured on the OSA.

### A.4.1 Calibration

Attach a calibrated power meter to the output of the source end of the system. Cycle through the desired power levels and at each measure the power with the forward power meter and with the calibration power meter. Remove the effect of Fresnel reflection on the light emitted from the system on the detected output power. The relationship between the measured powers should be used to determine the power launched into the specimen based on the light measured by the forward power meter on normal measurements.

### A.4.2 Operation

Attach the specimen to both the source and receive ends of the system with fusion splices.

Cycle through the power levels – indexed with  $i$ . For each:

- record the measured power levels and calculate the power injected into the specimen,  $P_i$ ;
- complete the OSA scan of the output spectrum;
- if necessary, subtract the amplifier induced ASE noise from the OSA data;
- determine the intensity of the main lobes,  $I_0$ , and sidelobes,  $I_1$  (see figure A.1);
- determine the ratio of the sidelobes to main lobes as  $R_i = I_1/I_0$ ;
- confirm the absence of Brillouin scattering;
- take any output power measurements that may be used to confirm splice losses.

Déconnecter l'éprouvette et relever toutes mesures de puissance qui peuvent être nécessaires pour confirmer la perte d'épissure.

Mener à bien tout ajustement aux valeurs de puissance d'entrée qui peut être effectué avec des mesures de puissance de sortie ou des mesures de post-déconnexion.

## A.5 Calculs

### A.5.1 Calculer les valeurs de phase

Pour chaque niveau de puissance, calculer le déphasage,  $\varphi_i$ , en inversant le rapport suivant des fonctions de Bessel:

$$R_i = \frac{J_0^2(\varphi_i / 2) + J_1^2(\varphi_i / 2)}{J_1^2(\varphi_i / 2) + J_2^2(\varphi_i / 2)} \quad (A3)$$

où

$R_i$  est le rapport des lobes latéraux aux lobes principaux ;

$J_0()$ ,  $J_1()$  et  $J_2()$  sont les fonctions de Bessel.

Cette inversion peut être faite de diverses manières, dont l'une consiste en

- calculer le rapport d'intensité  $R$  pour chacune des gammes de valeurs de phase en utilisant l'équation (A3) ;
- tracer la phase par rapport à  $R$  (voir la figure A.3) ;
- caractériser la relation à travers la gamme des valeurs de phase qui sont anticipées.

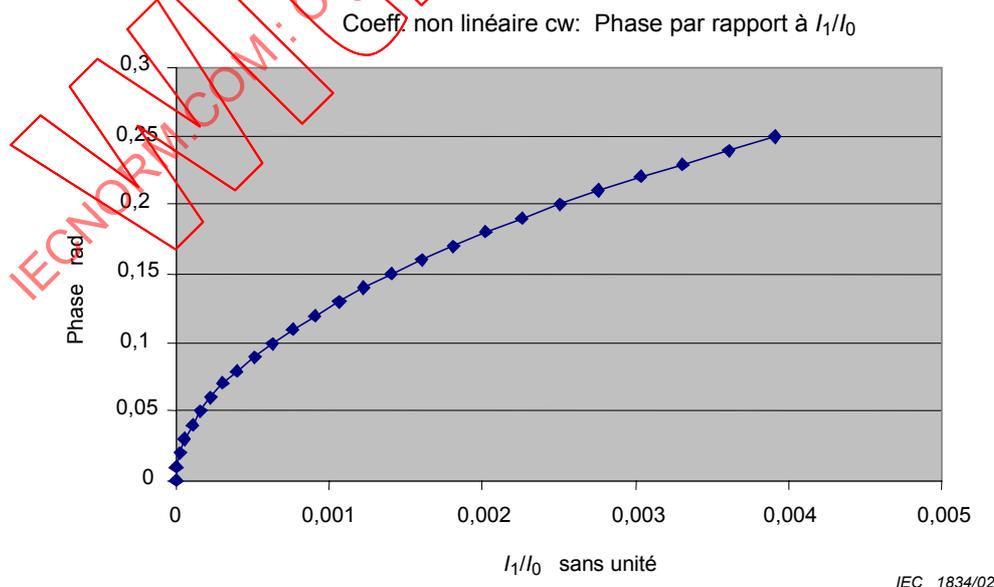


Figure A.3 – Relation du rapport phase à intensité

Disconnect the specimen and take any power measurements that may be needed to confirm the splice loss.

Complete any adjustments to the input power values that may be done with output power measurements or post disconnection measurements.

## A.5 Calculations

### A.5.1 Calculate phase values

For each power level, calculate the phase shift,  $\varphi_i$  by inverting the following ratio of Bessel functions:

$$R_i = \frac{J_0^2(\varphi_i / 2) + J_1^2(\varphi_i / 2)}{J_1^2(\varphi_i / 2) + J_2^2(\varphi_i / 2)} \quad (\text{A3})$$

where

$R_i$  is the ratio of the sidelobes to the main lobes;

$J_0()$ ,  $J_1()$  and  $J_2()$  are the Bessel functions.

This inversion can be done in various ways, one of which is to

- calculate the  $R$  intensity ratio for each of a range of phase values using equation A3;
- plot phase versus  $R$  (see figure A.3);
- characterise the relationship across the range of phase values that are anticipated.

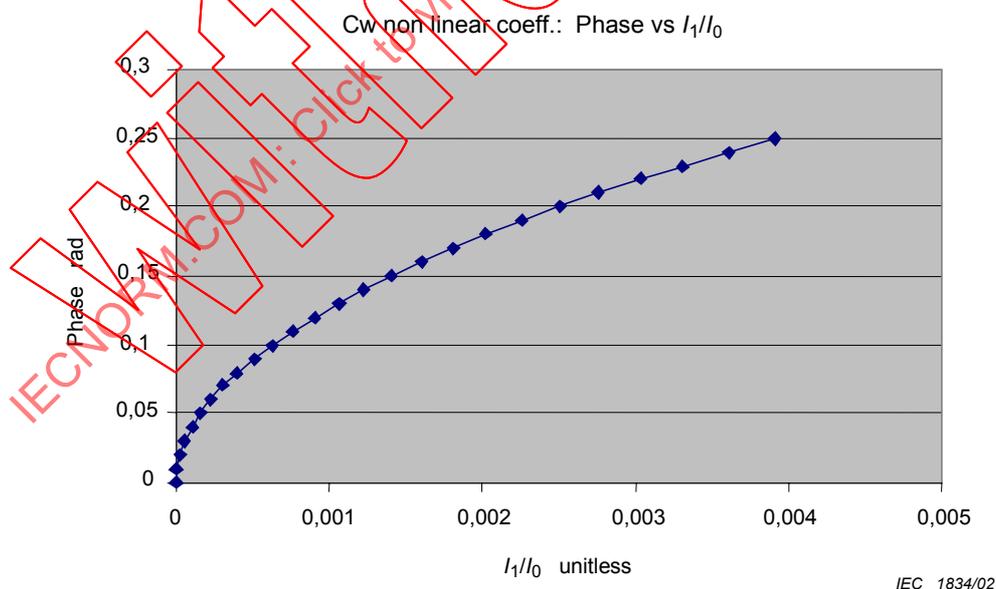


Figure A.3 – Relationship of phase to intensity ratio

### A.5.2 Confirmer les hypothèses

Confirmer que la gamme de phases est conforme à l'équation (A1). Si cela n'est pas confirmé, soit éliminer les données à l'extérieur de la limite, soit répéter la mesure avec une longueur de fibre différente.

### A.5.3 Compléter le calcul

Réaliser un tracé de phase (rad) par rapport à la puissance (W) similaire à celui illustré à la figure A.4 et réaliser une régression linéaire pour obtenir l'interception et la pente des données ajustées.

Le coefficient non-linéarité ( $W^{-1}$ ) est calculé avec la pente de la régression linéaire comme suit:

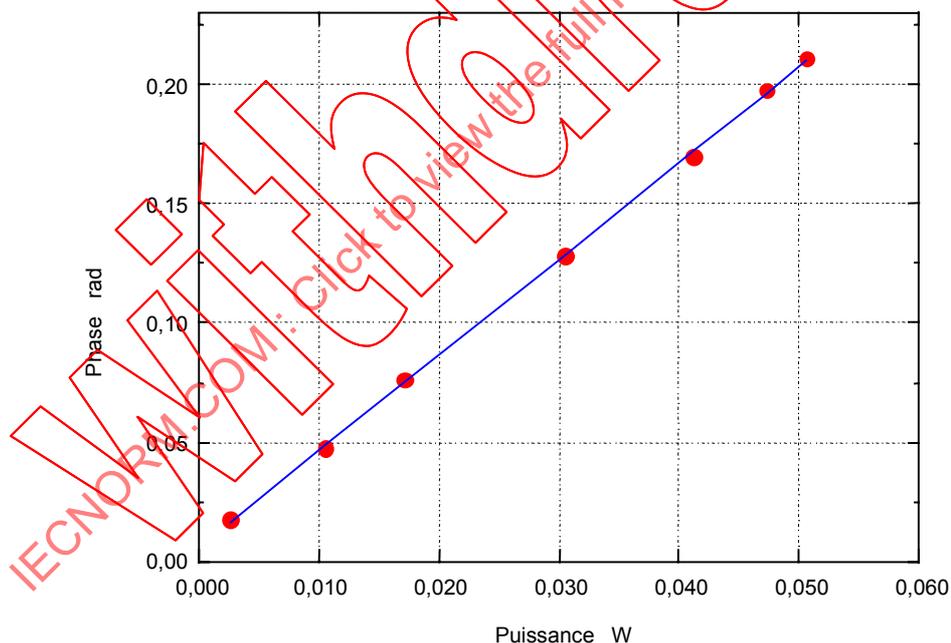
$$\frac{n_2}{A_{\text{eff}}} = \frac{\text{pente} \times \lambda_0}{4\pi L_{\text{eff}}} \quad (\text{A4})$$

où

la pente est la pente de régression ajustée (rad/W);

$\lambda_0$  est la longueur d'onde d'essai (m) ;

$L_{\text{eff}}$  est la longueur effective (m) [voir article 6].



IEC 1835/02

Figure A.4 – Relation de la phase à la puissance

### A.5.2 Confirm assumptions

Confirm that the range of phase conforms with equation (A.1). If this is not confirmed, either eliminate the data outside the limit or repeat the measurement with a different length of fibre.

### A.5.3 Complete the calculation

Form a plot of phase (rad) vs. power (W) similar to that shown in figure A.4 and perform a linear regression to obtain the intercept and slope of the fitted data.

The non-linear coefficient ( $W^{-1}$ ) is computed with the slope of the linear regression as:

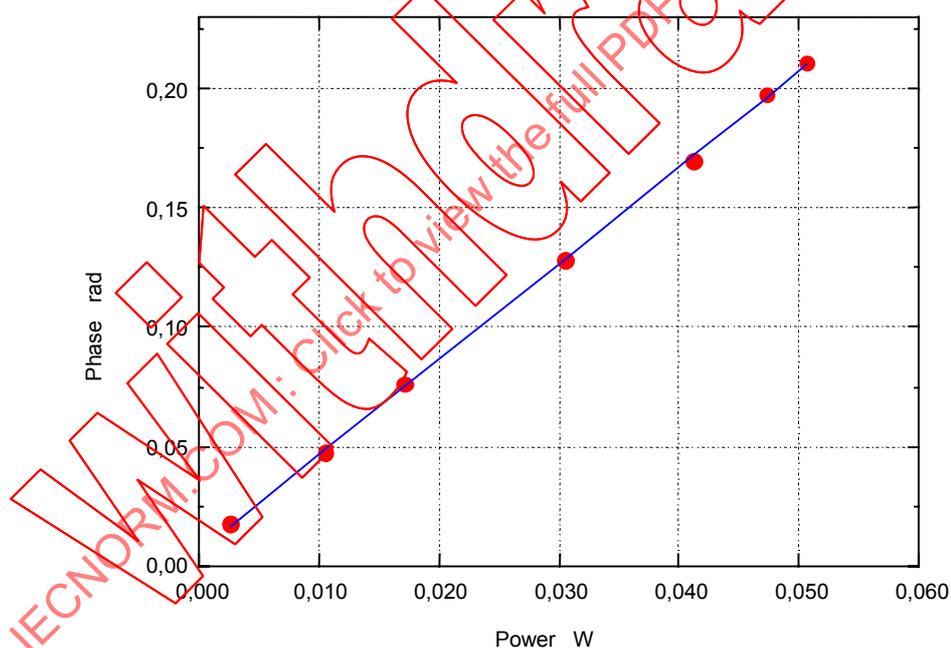
$$\frac{n_2}{A_{\text{eff}}} = \frac{\text{slope} \times \lambda_0}{4\pi L_{\text{eff}}} \quad (\text{A4})$$

where

slope is the fitted regression slope (rad/W)

$\lambda_0$  is the test wavelength (m) ;

$L_{\text{eff}}$  is the effective length (m) [see Clause 6].



IEC 1835/02

Figure A.4 – Relationship of phase to power

## Annexe B

### Méthode par impulsion à fréquence unique (PM)

#### B.1 Introduction

La présente annexe contient des prescriptions spécifiques à la méthode B, méthode par impulsion à fréquence unique. Le principe de la méthode est d'injecter une lumière de largeur spectrale étroite à impulsions qui est à une puissance suffisante pour induire une modulation de phase autonome à un niveau donné. La puissance d'entrée de pic à ce niveau est utilisée pour calculer le coefficient de non-linéarité.

#### B.2 Appareillage

La figure B.1 montre une disposition d'échantillon de l'appareillage, ainsi que certaines des options.

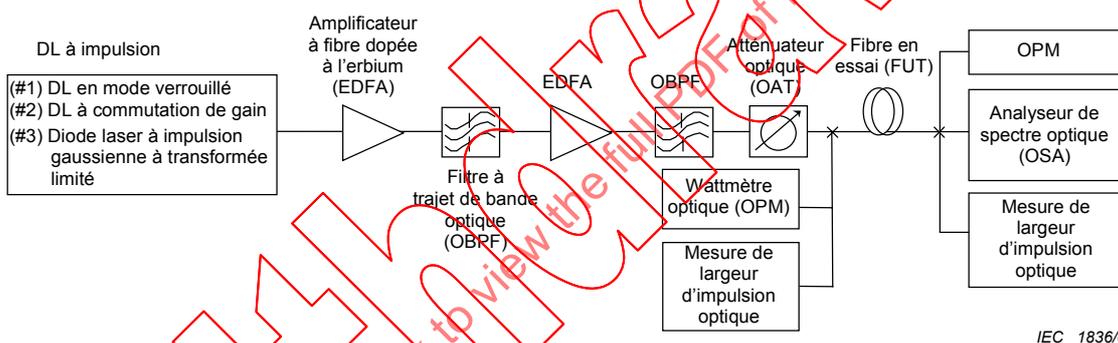


Figure B.1 – Montage d'essai pour la méthode B

##### B.2.1 Source

Utiliser une source optique gaussienne à transformée limitée avec une longueur d'onde stable (aucun saut de mode) telle que:

- diode laser en mode verrouillé;
- diode laser à commutation de gain;
- diode laser à impulsion gaussienne à transformée limitée;

Pour éviter des effets d'électrostriction, il convient que la largeur d'impulsion,  $\Delta\tau$  (ps), soit inférieure à 1 ns. Les largeurs d'impulsion dans la gamme de 20 ps à 100 ps sont recommandées. Pour de telles impulsions, un taux de répétitions d'environ 2 GHz est utilisé.

Il convient que la source soit à  $(1\,550 \pm 10)$  nm près. La largeur spectrale,  $\Delta\nu$  (THz), la prescription de la lumière injectée dans l'éprouvette, qui peut être également modifiée avec un filtre passe-bande (BPF), est interactive avec la largeur d'impulsion. Pour le cas limité Gaussien à transformée limitée, il convient que le produit,  $\Delta\tau \times \Delta\nu$ , soit approximativement de 0,5.

## Annex B

### Pulsed single-frequency method (PM)

#### B.1 Introduction

This annex contains requirements specific to method B, pulsed single-frequency method. The principle of the method is to launch a pulsed, narrow spectral width light that is at a power sufficient to induce self-phase modulation at a given level. The peak-input power at this level is used to calculate the non-linear coefficient.

#### B.2 Apparatus

Figure B.1 shows a sample layout of the apparatus, along with some of the options.

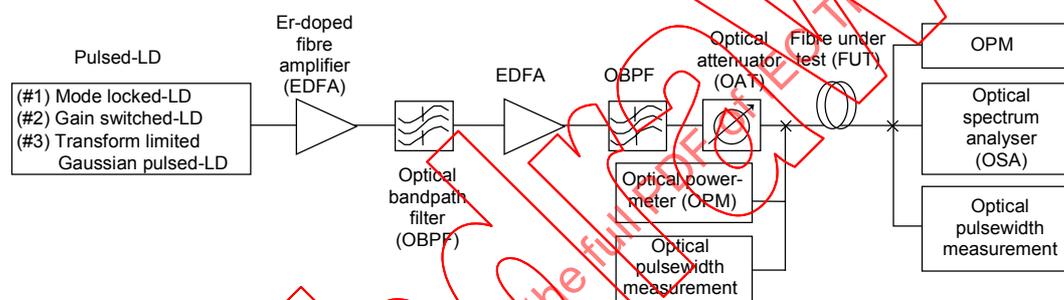


Figure B.1 – Test set-up for method B

##### B.2.1 Source

Use a transform limited Gaussian optical source with a stable wavelength (no mode hopping) such as:

- mode locked laser diode;
- gain switched laser diode;
- transform limited Gaussian pulsed laser diode.

To avoid electrostriction effects, the pulse width,  $\Delta\tau$  (ps), should be less than 1 ns. Pulse widths in the range of 20 ps to 100 ps are recommended. For such pulses, a repetition rate of around 2 GHz is used.

The source should be within  $(1\,550 \pm 10)$  nm. The spectral width,  $\Delta\nu$  (THz), requirement of the light injected into the specimen, which can also be modified with a band pass filter (BPF), is interactive with the pulse width. For transform limited Gaussian limited case, the product,  $\Delta\tau \times \Delta\nu$ , should be approximately 0,5.

### B.2.2 Conditionnement de signal optique

La lumière est amplifiée à des niveaux nécessaires pour induire des effets de non-linéarités significatifs avec un ou plusieurs amplificateurs et des filtres passe-bande pour supprimer les émissions spontanées amplifiées.

Un affaiblisseur optique variable est utilisé pour régler finement la puissance d'entrée en vue d'obtenir l'étalement optimal du spectre de sortie tel qu'on le visualise sur l'analyseur de spectre optique.

### B.2.3 Wattmètres

Il convient que les wattmètres soient linéaires et précis à  $\pm 3\%$  près pour les niveaux utilisés dans l'essai (voir la CEI 61315 pour les précisions sur l'étalonnage).

Le wattmètre à l'extrémité de source du système est utilisé pour déterminer la puissance d'entrée après identification de la puissance optimale. A cet effet, on détache l'éprouvette du système et on effectue la mesure. Cette valeur, conjointement avec les données d'impulsion, est utilisée pour calculer la puissance d'entrée de pic.

Le wattmètre à l'extrémité réceptrice du système est utilisé pour évaluer la puissance transmise pour confirmer le montage approprié et pour confirmer qu'aucune diffusion de Brillouin ne se produit.

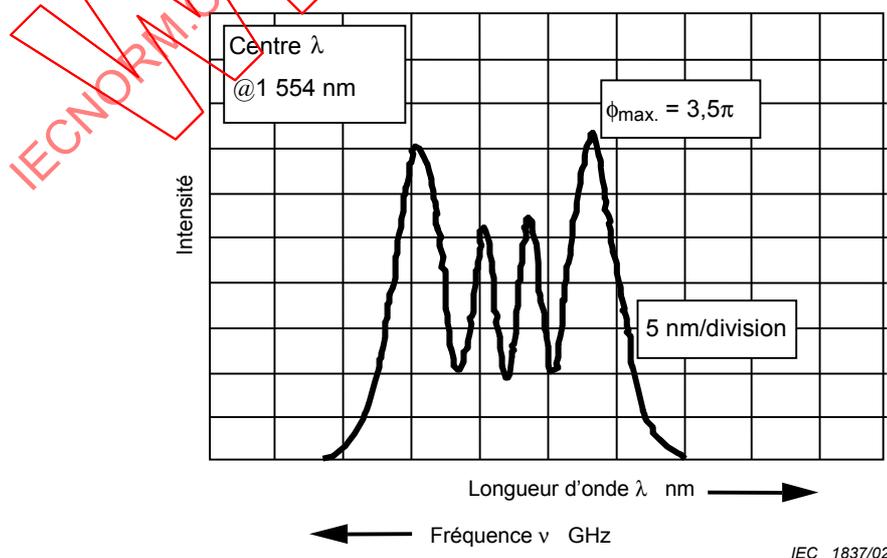
### B.2.4 Mesure de largeur d'impulsion optique

Il y a une combinaison de détecteur et d'oscilloscope.

Les deux sont utilisés conjointement avec des mesures du wattmètre pour déterminer la puissance d'entrée de pic des impulsions.

### B.2.5 Analyseur de spectre optique

Le spectre optique émergeant de l'éprouvette est mesuré avec un analyseur de spectre optique (OSA). Il convient que la résolution soit suffisante pour résoudre clairement la question des bandes latérales qui sont induites par des effets de non-linéarités. Voir la figure B.2.



IEC 1837/02

Figure B.2 – Spectres de sortie

### B.2.2 Optical signal conditioning

The light is amplified to levels needed to induce significant non-linear effects with one or more amplifiers and band pass filters to remove amplified spontaneous emissions.

A variable optical attenuator is used to fine tune the input power to obtain the optimum spreading of the output spectrum as viewed on the optical spectrum analyser.

### B.2.3 Power meters

Power meters should be linear and accurate to within  $\pm 3\%$  for the levels used in the test (see IEC 61315 for calibration details).

The power meter at the source end of the system is used to determine the input power after the optimum power has been identified. This is done by cutting the specimen off the system and completing the measurement. This value, in conjunction with the pulse data, is used to calculate the peak-input power.

The power meter at the receive end of the system is used to evaluate the transmitted power to confirm proper set-up and to confirm that no Brillouin scattering is occurring.

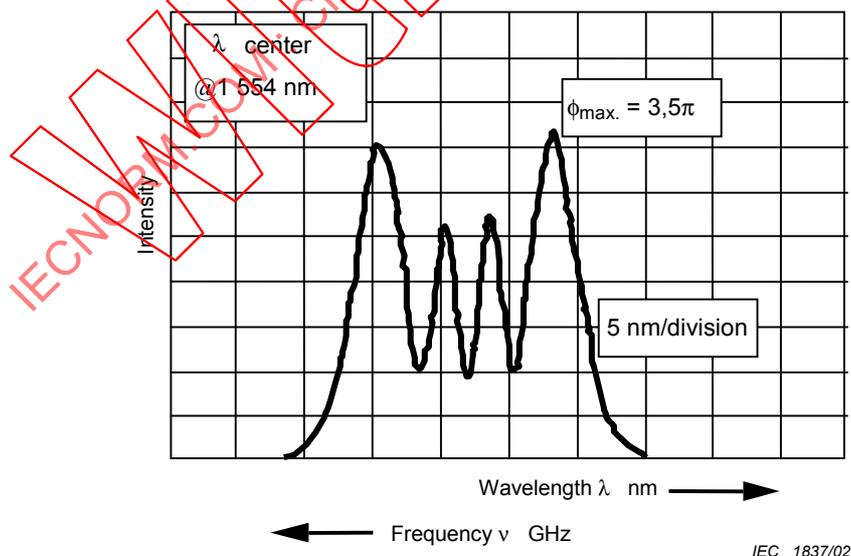
### B.2.4 Optical pulsewidth measurement

These are combination detector and oscilloscope.

Both units are used in conjunction with the power meter measurements to determine the peak-input power of the pulses.

### B.2.5 Optical spectrum analyser

The optical spectrum emerging from the specimen is measured with an optical spectrum analyser (OSA). The resolution should be sufficient to clearly resolve the sidebands which are induced by non-linear effects. See figure B.2.



IEC 1837/02

Figure B.2 – Output spectra

### B.3 Echantillons et éprouvettes

La combinaison du coefficient de dispersion chromatique,  $D$  (ps/nm × km), de la valeur et du signe, au niveau de la longueur d'onde d'essai et la zone effective, sont interactives par rapport à la longueur  $L$  (km), de l'éprouvette qui peut être essayée.

La condition limite est exprimée avec le produit de coefficient de dispersion et de la longueur,  $D \times L$  (ps/nm). Si ce produit n'est pas adapté, il convient que la fibre soit coupée selon une longueur adaptée.

Pour des éprouvettes avec une zone effective supérieure et un coefficient de dispersion positif (types B1.1, B1.2, B1.3, et certaines catégorie de fibre B.4), il convient que  $D \times L$  soit inférieur à 8,0 ps/nm.

Pour des éprouvettes avec une zone effective inférieure et un coefficient de dispersion positif, (catégorie B2 et de types B1.2, B1.3, et certaines catégories de fibre B.4), il convient que  $D \times L$  soit inférieur à 2,0 ps/nm.

Pour des fibres avec une dispersion négative significative, telles que celles utilisées pour l'accommodation de dispersion, la compression d'impulsion peut modifier les résultats. Pour ces fibres, la compression d'impulsion (ps) à partir de la limite de transformée est calculée en utilisant  $D \times L$ , la largeur d'impulsion et la largeur spectrale.

Si la compression d'impulsion est inférieure à 15 ps, la longueur est convenable. Si la compression d'impulsion est plus grande, il convient soit de diminuer la longueur soit d'augmenter la largeur d'impulsion (mais pas au-dessus d'approximativement 100 ps)

### B.4 Procédure

L'éprouvette est connectée à la source et aux extrémités réceptrices du système avec les épissures par fusion.

La puissance d'entrée est modifiée avec l'affaiblisseur variable jusqu'à obtention d'un spectre symétrique avec un nombre entier de pics,  $M$ , comme l'illustre la figure B.2. La puissance de sortie et la forme d'impulsion de sortie sont mesurées pour ce réglage optimal.

L'éprouvette est coupée à l'extrémité de source du côté éloigné de l'épissure et la forme d'impulsion et de puissance est mesurée au niveau du réglage optimal.

NOTE Pour augmenter la précision du résultat, l'essai peut être appliqué à des réglages de puissance optimaux multiples pour produire des spectres de sortie avec des nombres différents de pics aussi longtemps que l'affaiblisseur variable peut être restauré à ces réglages après découpage de l'éprouvette.

### B.5 Calculs

#### B.5.1 Puissance de pic

Utiliser les valeurs du wattmètre, la forme d'impulsion mesurée et le taux de répétition pour calculer la puissance d'entrée de pic,  $P_{\text{peak}}$  (W), aux extrémités d'entrée et de sortie de l'éprouvette.

La puissance de sortie de pic combinée avec le coefficient d'affaiblissement de la fibre peut être utilisée pour confirmer la valeur de puissance d'entrée.

### B.3 Samples and specimens

The combination of chromatic dispersion coefficient,  $D$  (ps/nm × km), value and sign, at the test wavelength and effective area, are interactive with regard to the length,  $L$  (km), of the specimen that can be tested.

The limiting condition is expressed with the product of dispersion coefficient and length,  $D \times L$  (ps/nm). If this product is not suitable, the fibre should be cut to a length that is suitable.

For specimens with higher effective area and positive dispersion coefficient, (types B1.1, B1.2, B1.3, and some category B4 fibres),  $D \times L$  should be less than 8,0 ps/nm.

For specimens with lower effective area and positive dispersion coefficient (category B2 and some category B4 fibres),  $D \times L$  should be less than 2,0 ps/nm.

For fibres with significant negative dispersion, such as those used for dispersion accommodation, pulse compression can alter the results. For these fibres, the pulse compression (ps) from the transform limit is calculated using  $D \times L$ , the pulse width, and the spectral width.

If the pulse compression is less than 15 ps, the length is suitable. If the pulse compression is larger, either the length should be decreased or the pulse width should be increased (but not over approximately 100 ps).

### B.4 Procedure

The specimen is connected to the source and receive of the system with fusion splices.

The input power is varied with the variable attenuator until a symmetric spectrum with an integer number of peaks,  $M$ , such as shown in figure B.2, is obtained. The output power and output pulse shape are measured at this optimal setting.

The specimen is cut at the source end on the far side of the splice and the power and pulse shape at the optimum setting is measured.

NOTE To enhance the precision of the result, the test can be applied at multiple optimal power settings to produce output spectra with different numbers of peaks as long as the variable attenuator can be restored to these settings after the specimen is cut.

### B.5 Calculations

#### B.5.1 Peak power

Use the power meter values, the measured pulse shape and the repetition rate to calculate the peak input power,  $P_{\text{peak}}$  (W), at the input and output ends of the specimen.

The peak output power in combination with the fibre attenuation coefficient can be used to confirm the input power value.

### B.5.2 Déphasage

Le déphasage,  $\varphi$  (rad), est calculé à partir du nombre de pics dans le spectre de sortie,  $M$  (nombre entier), comme suit:

$$\varphi = \pi(M - 0,5) \tag{B1}$$

### B.5.3 Compléter les calculs

Si un seul réglage de puissance a été mené à bien, le coefficient de non-linéarité ( $W^{-1}$ ) peut être calculé comme suit:

$$\frac{n_2}{A_{\text{eff}}} = \frac{\varphi \lambda}{2\pi L_{\text{eff}} P_{\text{peak}}} \tag{B2}$$

où

$\varphi$  est le déphasage (rad);

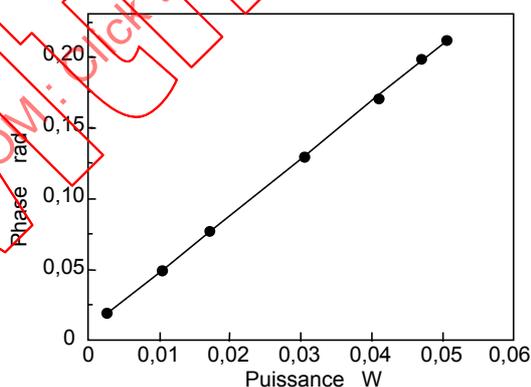
$\lambda$  est la longueur d'onde d'essai (m) ;

$L_{\text{eff}}$  est la longueur effective (m) [voir article 6];

$P_{\text{peak}}$  est la puissance d'entrée de pic (W).

Si des réglages de puissance multiples ont été menés à bien, le déphasage par rapport à la puissance de pic peut être tracé (voir la figure B.3) et adapté à une régression linéaire pour obtenir l'interception et la pente. Dans ce cas, le coefficient de non-linéarité peut être calculé (en utilisant les mêmes définitions) de la façon suivante:

$$\frac{n_2}{A_{\text{eff}}} = \frac{\text{pente} \cdot \lambda}{2\pi L_{\text{eff}}} \tag{B3}$$



IEC 1838/02

Figure B.3 – Phase par rapport à la puissance d'entrée de pic pour la méthode B

### B.5.2 Phase shift

The phase shift,  $\varphi$  (rad), is calculated from the number of peaks in the output spectrum,  $M$  (integer), as:

$$\varphi = \pi(M - 0,5) \quad (\text{B1})$$

### B.5.3 Complete the calculations

If a single power setting was completed, the non-linear coefficient ( $W^{-1}$ ) can be calculated as:

$$\frac{n_2}{A_{\text{eff}}} = \frac{\varphi \lambda}{2\pi L_{\text{eff}} P_{\text{peak}}} \quad (\text{B2})$$

where

$\varphi$  is phase shift (rad);

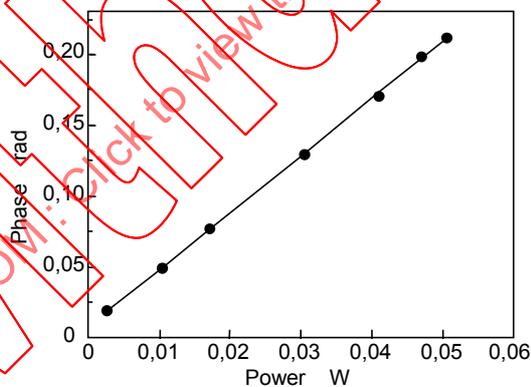
$\lambda$  is test wavelength (m);

$L_{\text{eff}}$  is effective length (m) [see Clause 6];

$P_{\text{peak}}$  is peak input power (W).

If multiple power settings were completed, the phase shift vs. peak power can be plotted (see figure B.3) and fitted with a linear regression to obtain the intercept and slope. In this case, the non-linear coefficient can be computed (using the same definitions) as follows:

$$\frac{n_2}{A_{\text{eff}}} = \frac{\text{pente} \cdot \lambda}{2\pi L_{\text{eff}}} \quad (\text{B3})$$



IEC 1838/02

Figure B.3 – Phase vs. peak input power for method B

## Annexe C

### Liste des acronymes et des symboles

$nLc$	Coefficient de non-linéarité
$n_2/A_{\text{eff}}$	Coefficient de non-linéarité
$A_{\text{eff}}$	Zone effective
SPM	Modulation à phase autonome
XPM	Modulation à phase croisée
FWM	Mélange de quatre ondes
cw	Onde continue
OSA	Analyseur de spectre optique
EDFA	Amplificateur à fibre dopée à l'erbium
ASE	Emission spontanée amplifiée
BPF	Filtre passe-bande
SBS	Diffusion de Brillouin stimulée
$\varphi$	Déphasage non linéaire
$\lambda$	Longueur d'onde
$\omega$	Fréquence optique angulaire (rad/ps)
$\nu$	Fréquence optique (THz)
$L_{\text{eff}}$	Longueur effective
$P$	Puissance d'entrée
$P_{\text{peak}}$	Puissance d'entrée de pic
$\alpha_{\text{dB}}$	Coefficient d'affaiblissement (dB/km)
$\alpha$	Coefficient d'affaiblissement (nepers/m)
$D$	Coefficient de dispersion chromatique
$L$	Longueur d'éprouvette
$I$	Intensité
$J_1()$	Fonction de Bessel
$R$	Rapport