

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 62324

Première édition
First edition
2003-01

**Fibres optiques unimodales –
Mesure de rendement de gain Raman
en utilisant la méthode d'onde entretenue –
Guide d'application**

**Single-mode optical fibres –
Raman gain efficiency measurement
using continuous wave method –
Guidance**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TR 62324:2003

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.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 (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.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 (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

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

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

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 62324

Première édition
First edition
2003-01

**Fibres optiques unimodales –
Mesure de rendement de gain Raman
en utilisant la méthode d'onde entretenue –
Guide d'application**

**Single-mode optical fibres –
Raman gain efficiency measurement
using continuous wave method –
Guidance**

© IEC 2003 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 Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

N

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Domaine d'application et objet	8
2 Références normatives	10
3 Définitions	10
4 Méthode	12
4.1 Sécurité du laser	16
5 Appareillage	16
5.1 Source de pompe optique	16
5.2 Source de signal optique	18
5.3 Conditionnement de signal optique	20
5.4 Wattmètre	20
5.5 Analyseur de spectre optique	20
5.6 Exemples	20
6 Echantillonnage et éprouvettes	20
6.1 Surfaces d'extrémités des éprouvettes	20
6.2 Longueur de l'éprouvette	20
6.3 Sélection de la longueur	20
6.4 Coefficient d'affaiblissement d'éprouvette	22
7 Procédure	22
8 Calculs et interprétation des résultats	22
8.1 Gain marche/arrêt	22
8.2 Rendement de gain Raman	22
9 Documentation	22
9.1 Informations à fournir à chaque mesure	22
9.2 Informations à fournir sur demande	22
Annexe A (informative) Comparaison entre le présent rapport technique et les recommandations UIT	24
Bibliographie	26
Figure 1 – Montage d'essai typique pour la mesure du rendement de gain Raman d'une fibre	12
Figure 2 – Rendement de gain Raman de lumière dépolarisée pour une fibre sans décalage de dispersion pompée à 1486 nm	16
Tableau 1 – Exemples de paramètres pour mesurer le rendement Raman	20

CONTENTS

FOREWORD	5
1 Scope and object	9
2 Normative references	11
3 Definitions	11
4 Method	13
4.1 Laser Safety	17
5 Apparatus	17
5.1 Optical pump source	17
5.2 Optical signal source	19
5.3 Optical signal conditioning	21
5.4 Power meter	21
5.5 Optical spectrum analyzer	21
5.6 Examples	21
6 Sampling and specimens	21
6.1 Specimen endfaces	21
6.2 Specimen length	21
6.3 Length selection	21
6.4 Specimen attenuation coefficient	23
7 Procedure	23
8 Calculations and interpretation of results	23
8.1 On/off gain	23
8.2 Raman gain efficiency	23
9 Documentation	23
9.1 Information to be reported with each measurement	23
9.2 Information that should be available upon request	23
Annex A (informative) Comparison between this technical report and ITU recommendations	25
Bibliography	27
Figure 1 – Typical test set-up for measuring the Raman gain efficiency of a fibre	13
Figure 2 – Raman gain efficiency of depolarized light for a dispersion-unshifted fibre pumped at 1 486 nm	17
Table 1 – Examples of parameters for measuring Raman efficiency	21

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FIBRES OPTIQUES UNIMODALES – MESURE DE RENDEMENT DE GAIN RAMAN EN UTILISANT LA MÉTHODE D'ONDE ENTRETENUE – 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.

La CEI/TR 62324, 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/793A/DTR	86A/838/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 2

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SINGLE-MODE OPTICAL FIBRES –
RAMAN GAIN EFFICIENCY MEASUREMENT
USING CONTINUOUS WAVE METHOD –
GUIDANCE**

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 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".

IEC/TR 62324, 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/793A/DTR	86A/838/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 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007.
A cette date, la publication sera

- transformée en Norme internationale;
- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62324:2003

Withdrawn

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. 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 62324:2003

Withdrawn

FIBRES OPTIQUES UNIMODALES – MESURE DE RENDEMENT DE GAIN RAMAN EN UTILISANT LA MÉTHODE D'ONDE ENTRETENUE – GUIDE D'APPLICATION

1 Domaine d'application et objet

Le présent rapport technique s'applique à la mesure du rendement de gain Raman d'une fibre optique de transmission unimodale. Il permet d'évaluer la performance de la fibre dans les systèmes de transmission amplifiés Raman.

Ce rapport technique décrit une méthode qui utilise deux ondes entretenues non modulées pour mesurer le rendement de gain Raman d'une fibre optique de transmission unimodale. Le présent paramètre évalue le rendement de la fibre pour convertir la puissance d'entrée de la pompe en puissance de signal d'information.

Lorsqu'une fibre transporte de hautes intensités optiques, la puissance optique peut être diffusée à cause des interactions avec des vibrations mécaniques dans la fibre. Pour des niveaux de faible puissance, la puissance diffusée est une petite fraction de la puissance incidente. Cependant, alors que la puissance incidente augmente, la puissance diffusée augmente à un rythme plus rapide, et est dite «stimulée». Il existe deux formes de diffusions stimulées non linéaires – Brillouin et Raman.

La Diffusion Stimulée Brillouin (SBS) survient du fait d'une interaction entre la lumière et des vibrations mécaniques qui se produisent sous la forme d'une onde sonore parcourant la longueur de la fibre («phonon acoustique»). La SBS diffuse la lumière dans le sens inverse.

La Diffusion Raman Stimulée (SRS) est une interaction entre la lumière et les vibrations moléculaires de la fibre tandis que les atomes adjacents vibrent dans des sens opposés («phonon optique»). Une partie de l'énergie dans une onde de pompe optique λ_p est transférée aux molécules, augmentant ainsi encore l'amplitude de leurs vibrations. Si les amplitudes de vibration deviennent importantes, un seuil est atteint au niveau duquel l'indice local de réfraction change. Ces modifications locales diffusent alors la lumière dans tous les sens – similairement à la diffusion Rayleigh. Cependant, contrairement à la diffusion Rayleigh, la longueur d'onde de la lumière à diffusion Raman λ_R est changée en des longueurs d'onde plus longues dans une proportion qui correspond à des fréquences de vibration des molécules. La lumière à diffusion Raman amplifie les signaux d'information λ_s . L'amplitude ou le rendement de gain de cette amplification dépend de:

- la longueur d'onde de la pompe λ_p ,
- la longueur d'onde de signal λ_s ,
- l'aire efficace de fibre A_{eff} (plus l'aire est grande, plus la densité de puissance est petite),
- la composition du matériau de la fibre (la fréquence et l'amplitude des vibrations dépendent du matériau),
- le coefficient d'affaiblissement de la fibre, et
- la longueur de la fibre.

SINGLE-MODE OPTICAL FIBRES – RAMAN GAIN EFFICIENCY MEASUREMENT USING CONTINUOUS WAVE METHOD – GUIDANCE

1 Scope and object

This technical report is applicable to the Raman gain efficiency measurement of a single-mode transmission optical fibre. It is useful in assessing the fibre's performance in Raman amplified transmission systems.

This technical report describes a method that uses two unmodulated continuous waves to measure the Raman gain efficiency of a single-mode transmission optical fibre. This parameter assesses the fibre's efficiency at converting input pump power to information signal power.

When a fibre carries high optical intensities, the optical power can be scattered because of interactions with mechanical vibrations in the fibre. For low power levels, the scattered power is a small fraction of the incident power. However, as the incident power increases, the scattered power increases at a faster pace, and is said to be “stimulated”. There are two forms of nonlinear stimulated scattering – Brillouin and Raman.

Stimulated Brillouin Scattering (SBS) arises because of an interaction between light and mechanical vibrations that occur in the form of a sound wave traveling along the length of the fibre (an “acoustic phonon”). SBS scatters light in the reverse direction.

Stimulated Raman Scattering (SRS) is an interaction between light and the fibre's molecular vibrations as adjacent atoms vibrate in opposite directions (an “optical phonon”). Some of the energy in an optical pump wave λ_p is transferred to the molecules, thereby further increasing the amplitude of their vibrations. If the vibrational amplitudes become large, a threshold is reached at which the local index of refraction changes. These local changes then scatter light in all directions – similar to Rayleigh scattering. However, unlike Rayleigh scattering, the wavelength of the Raman scattered light λ_R is shifted to longer wavelengths by an amount that corresponds to the vibrational frequencies of the molecules. The Raman scattered light amplifies information signals λ_s . The magnitude or gain efficiency of this amplification depends on:

- pump wavelength λ_p ;
- signal wavelength λ_s ;
- fibre effective area A_{eff} (the larger the area, the smaller the power density);
- fibre material composition (vibration frequency and amplitude depend on material);
- fibre attenuation coefficient, and
- fibre length.

Le rendement de gain Raman d'une fibre varie selon la longueur d'onde de signal lors d'une mesure avec une source de pompe spécifique. En conséquence, le rendement de gain Raman $E_R(\lambda_s)^{1)}$ est mesuré sur une gamme de longueurs d'onde de signal. Le rendement de gain Raman de pic correspond à une fréquence de Stokes rétrogradée d'environ 13 THz, qui équivaut à une longueur d'onde accrue de ~110 nm pour une pompe de 1450 nm, et de ~70 nm pour une pompe de 1240 nm. La largeur totale à mi-hauteur (FWHM) du profil de gain est d'environ 7 THz (55 nm) à 1 550 nm.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60793-1-22, *Fibres optiques – Partie 1-22: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Mesure de la longueur*

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

CEI 60825-1, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur* (disponible en anglais seulement)

CEI 60825-2, *Sécurité des appareils à laser – Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques* (disponible en anglais seulement)

3 Définitions

Pour les besoins du présent rapport technique, les définitions suivantes s'appliquent:

3.1 longueur efficace (L_{eff})

la longueur efficace de la fibre rend compte des effets non linéaires décroissants tandis que la lumière s'affaiblit le long d'une longueur de fibre et est définie comme suit:

$$L_{\text{eff}} = \frac{1 - e^{-0,23\alpha L}}{0,23\alpha} \quad (1)$$

où

α est le coefficient d'affaiblissement de la fibre en décibels par kilomètre (dB/km),²⁾ et

L est la longueur de la fibre en kilomètres (km).

Lorsque $0,23\alpha L \gg 1$, l'Equation (1) permet une simplification et donne $L_{\text{eff}} \approx 1/(0,23\alpha)$, qui est la longueur à laquelle la puissance dans la fibre est diminuée d'un facteur de $1/e$. A titre d'exemple, $L_{\text{eff}} = 17,4$ km lorsque $\alpha = 0,25$ dB/km.

1) La notation « C_R » est souvent utilisée dans la documentation technique, et est diversement désignée «Coefficient de gain Raman»^[1], «Rendement Raman»^[2], et «Gain Raman»^[3]. (Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.)

2) Lorsque le α dans l'équation (1) est exprimé en nepers par kilomètre (Np/km), les deux occurrences de 0,23 disparaissent, et l'équation résultante est la forme qui apparaît généralement dans la documentation technique.

The Raman gain efficiency of a fibre varies with signal wavelength when measured with a specific pump source. Consequently, Raman gain efficiency $E_R(\lambda_s)^{1)}$ is measured over a range of signal wavelengths. The peak Raman gain efficiency corresponds to a Stokes downshifted frequency of about 13 THz, which equates to an upshifted wavelength of ~110 nm for a 1450 nm pump, and ~70 nm for a 1240 nm pump. The Full Width Half Maximum (FWHM) of the gain profile is about 7 THz (55 nm) at 1550 nm.

2 Normative references

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

IEC 60793-1-22, *Optical fibres – Part 1-22: Measurement methods and test procedures – Length measurement*

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

IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*

IEC 60825-2, *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems*

3 Definitions

For the purposes of this technical report, the following definitions apply.

3.1

effective length

(L_{eff})

the fibre's effective length accounts for decreasing nonlinear effects as light attenuates along a fibre's length, and is defined as:

$$L_{\text{eff}} = \frac{1 - e^{-0,23\alpha L}}{0,23\alpha} \quad (1)$$

where

α is the fibre attenuation coefficient in decibels per kilometre (dB/km),²⁾ and

L is the fibre length in kilometres (km).

When $0,23\alpha L \gg 1$, Equation (1) simplifies to give $L_{\text{eff}} \approx 1/(0,23\alpha)$, which is the length at which the power in the fibre has decreased by a factor of $1/e$. As an example, $L_{\text{eff}} = 17,4$ km when $\alpha = 0,25$ dB/km.

1) The notation " C_R " is often used in the technical literature, and is variously referred to as the "Raman gain coefficient"^[1], the "Raman efficiency"^[2], and the "Raman gain."^[3] (Figures in square brackets refer to the bibliography.)

2) When the α in equation (1) is expressed in nepers per kilometre (Np/km), the two occurrences of 0,23 disappear, and the resultant equation is the form that typically appears in the technical literature.

3.2

lumière dépolarisée

la lumière est considérée comme dépolarisée (non polarisée, polarisée aléatoirement) lorsque son vecteur de champ électrique, décrit dans un plan perpendiculaire au sens de propagation, est réparti uniformément dans toutes les directions radiales.

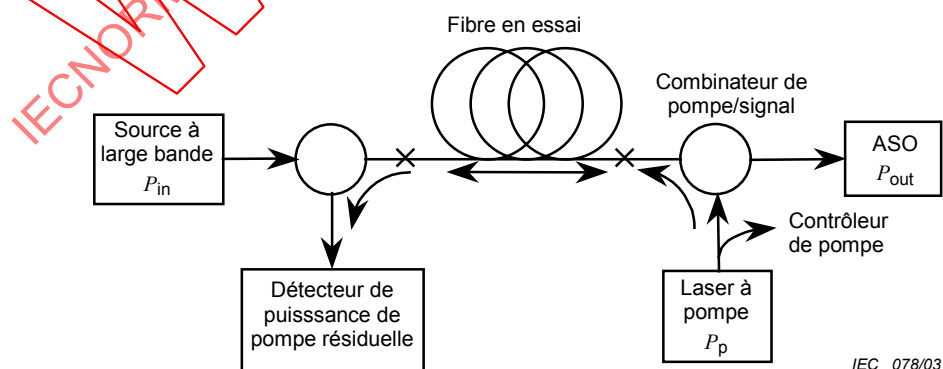
La rotation d'un polariseur dans un faisceau de lumière dépolarisée réduit son intensité de 50 % sans tenir compte de l'orientation angulaire du polariseur. Cependant, cet essai n'est pas suffisant pour évaluer si la lumière est dépolarisée, parce que la lumière à polarisation circulaire produit le même résultat. Pour contrer cette possibilité, il convient d'insérer un retardateur quart d'onde rotatif avant le polariseur. Si l'intensité de sortie est constante sur toutes les rotations indépendantes du retardateur et du polariseur, la lumière d'entrée peut être considérée comme dépolarisée.

4 Méthode

La méthode décrite dans ce rapport technique pour la mesure du rendement de gain Raman utilise des ondes entretenues non modulées générées par une source de signal et une source de pompe. La source de signal peut être à large bande (telle qu'une DEL ou émission spontanée amplifiée (ESA) ou à bande étroite (telle qu'un ou plusieurs lasers accordables). Si on utilise une source de signal à large bande, un filtre accordable pourrait être nécessaire à la sortie de la source de telle sorte que des longueurs d'onde de signal courtes ne pompent pas des longueurs d'onde de signal plus longues. Pour minimiser l'influence d'une pompe bruyante ou de celle dont la puissance de sortie n'est pas complètement dépolarisée, la mesure est effectuée en injectant de la lumière des sources de signal et des sources de pompe de sorte qu'elles se propagent dans des sens opposés (contre-propagation) dans la fibre en essai. La fibre possède une longueur efficace L_{eff} .

Une source de pompe ayant une longueur d'onde λ_p injecte une puissance optique P_p dans la fibre en essai de manière à induire une diffusion Raman stimulée. Il convient que la puissance de pompe soit choisie pour minimiser le bruit d'ESA et la puissance de signal amplifiée double à rétrodiffusion Rayleigh. Le paragraphe 5.1 fournit un guide sur la manière de choisir le niveau de puissance de pompe et la largeur spectrale.

La SRS à induction de pompe dans la fibre en essai amplifie un signal d'entrée ayant une longueur d'onde λ_s , qui est injectée dans la fibre en essai dans un sens opposé à celui de la pompe. Le paragraphe 5.2 fournit un guide sur la manière de choisir le niveau de puissance de signal et la largeur spectrale.



IEC 078/03

Figure 1 – Montage d'essai typique pour la mesure du rendement de gain Raman d'une fibre

3.2

depolarized light

light is considered depolarized (unpolarized, randomly polarized) when its electric field vector, described in a plane perpendicular to the direction of propagation, is uniformly distributed in all radial directions.

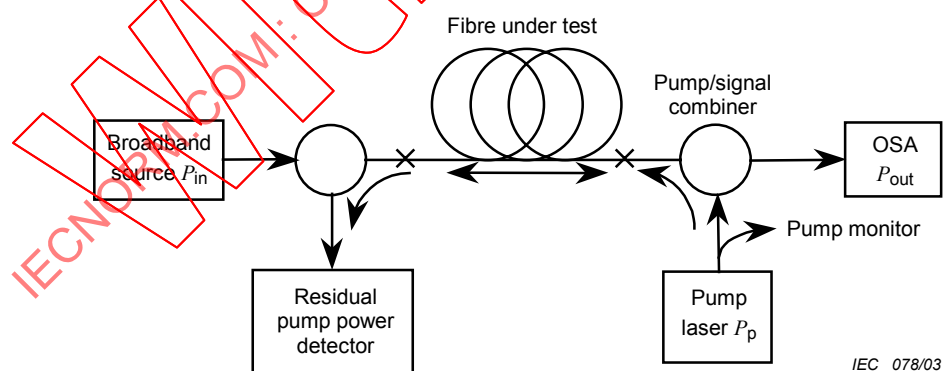
Rotation of a polarizer in a beam of depolarized light reduces its intensity by 50 % regardless of the polarizer's angular orientation. This test, however, is not sufficient to assess whether the light is depolarized because circularly polarized light produces the same result. To guard against this possibility, a rotatable quarter wave retarder should be inserted before the polarizer. If the output intensity is constant over all independent rotations of the retarder and the polarizer, the input light can be considered depolarized.

4 Method

The method described in this technical report for measuring Raman gain efficiency uses unmodulated continuous waves generated by a signal source and a pump source. The signal source can be broadband (such as an LED or amplified spontaneous emission (ASE)) or narrowband (such as one or more tunable lasers). If using a broadband signal source, a tunable filter might be needed at the source's output so that short signal wavelengths do not pump longer signal wavelengths. To minimize the influence of a noisy pump or one whose output power is not completely depolarized, the measurement is made by injecting light from the signal and pump sources so that they propagate in opposite directions (counter propagation) in the fibre under test. The fibre has an effective length L_{eff} .

A pump source having wavelength λ_p injects optical power P_p into the fibre under test so as to induce stimulated Raman scattering. The pump power should be chosen to minimize ASE noise and amplified double Rayleigh backscattered signal power. Subclause 5.1 gives guidance on how to choose the pump power level and spectral width.

The pump-induced SRS in the fibre under test amplifies an input signal having wavelength λ_s , which is launched into the fibre under test in a direction opposite to that of the pump. Subclause 5.2 gives guidance on how to choose the signal power level and spectral width.



IEC 078/03

Figure 1 – Typical test set-up for measuring the Raman gain efficiency of a fibre

La Figure 1 illustre un montage d'essai typique. La puissance de sortie P_{out} est mesurée dans trois configurations:

- P_1 – signal «marche» et pompe «arrêt». Ceci indique l'amplitude relative de la puissance de signal injectée diminuée par l'affaiblissement des composants. P_1 inclut la puissance double à rétrodiffusion Rayleigh du signal non amplifié.
- P_2 – signal «arrêt» et pompe «marche». Ceci permet la mesure de l'ESA.
- P_3 – signal «marche» et pompe «marche». Ceci permet de mesurer le signal amplifié Raman, l'ESA, et la double puissance à rétrodiffusion Rayleigh du signal amplifié.

Ces trois puissances sont mesurées sur une gamme de longueurs d'onde de signal $\lambda_s > \lambda_p$. Le gain «marche/arrêt» $G_{\text{on/off}}(\lambda_s)$ est alors calculé à chaque longueur d'onde de signal comme suit:

$$G_{\text{on/off}}(\lambda_s) = \frac{P_3 - P_2}{P_1} \quad (2)$$

où P est en unité linéaire, telle que watts (W) ou milliwatts (mW).

La quantité sans dimension $G_{\text{on/off}}(\lambda_s)$ est utilisée pour calculer le rendement de gain Raman de la fibre pour la lumière dépolarisée:

$$E_R(\lambda_s) = \frac{\ln[G_{\text{on/off}}(\lambda_s)]}{P_p L_{\text{eff}}} \quad (3)$$

où

P_p est la puissance de pompe injectée dans la fibre en essai et exprimée en watts ;

L_{eff} est la longueur efficace de fibre en kilomètres calculée à la longueur d'onde de pompe ;

$E_R(\lambda_s)$ possède les unités de $1/(W \cdot km)$.

Du fait que $E_R(\lambda_s)$ est obtenu pour une gamme de longueurs d'onde de signal, $E_R(\lambda_s)$ peut être tracé par rapport à $\delta\lambda = \lambda_s - \lambda_p$, ou en variante, par rapport à $\delta f = f_p - f_s$ où f_p et f_s sont respectivement les fréquences optiques des ondes de signal et de pompe, (voir la Figure 2), et $\delta\lambda(\text{nm}) \approx \delta f(\text{THz}) \times \lambda^2(\mu\text{m})/0,3$. Pour $\lambda = 1,5 \mu\text{m}$, $\delta\lambda(\text{nm}) \approx 7,5 \delta f(\text{THz})$.

Figure 1 shows a typical test set-up. The output power P_{out} is measured in three configurations:

- P_1 – signal “on” and pump “off.” This indicates the relative magnitude of the launched signal power diminished by the attenuation of the components. P_1 includes double Rayleigh backscattered power from the unamplified signal.
- P_2 – signal “off” and pump “on.” This measures the ASE.
- P_3 – signal “on” and pump “on.” This measures the Raman amplified signal, ASE, and double Rayleigh backscattered power from the amplified signal.

These three powers are measured over a range of signal wavelengths $\lambda_s > \lambda_p$. The “on/off” gain $G_{\text{on/off}}(\lambda_s)$ is then computed at each signal wavelength using:

$$G_{\text{on/off}}(\lambda_s) = \frac{P_3 - P_2}{P_1} \quad (2)$$

where P is in linear unit, such as watts (W) or milliwatts (mW).

The dimensionless quantity $G_{\text{on/off}}(\lambda_s)$ is used to compute the fibre’s Raman gain efficiency for depolarized light:

$$E_R(\lambda_s) = \frac{\ln[G_{\text{on/off}}(\lambda_s)]}{P_p L_{\text{eff}}} \quad (3)$$

where

P_p is the pump power launched into the fibre under test and expressed in watts;

L_{eff} is the fibre effective length in kilometres computed at the pump wavelength;

$E_R(\lambda_s)$ has the units of $1/(\text{W} \cdot \text{km})$.

Because $E_R(\lambda_s)$ is obtained for a range of signal wavelengths, $E_R(\lambda_s)$ can be plotted versus $\delta\lambda = \lambda_s - \lambda_p$, or alternatively, versus $\delta f = f_p - f_s$ where f_p and f_s are the optical frequencies of the pump and signal waves, respectively (see Figure 2), and $\delta\lambda(\text{nm}) \approx \delta f(\text{THz}) \times \lambda^2(\mu\text{m})/0,3$. For $\lambda = 1,5 \mu\text{m}$, $\delta\lambda(\text{nm}) \approx 7,5 \delta f(\text{THz})$.

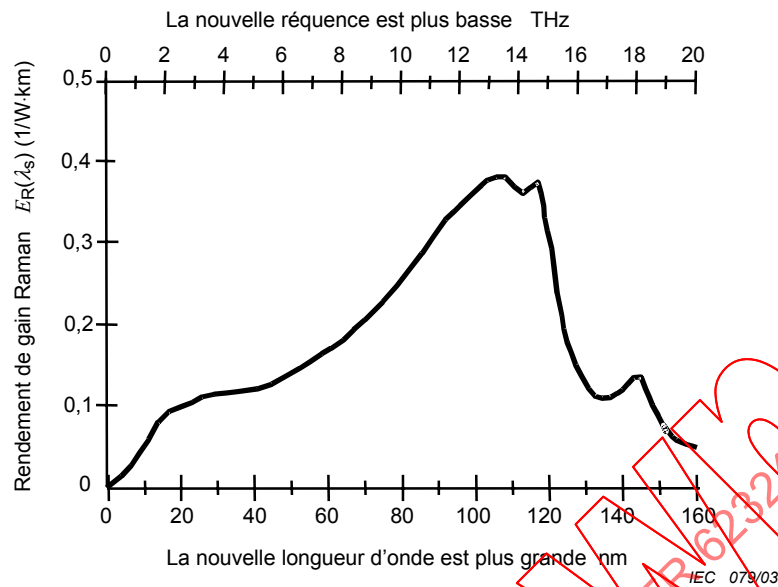


Figure 2 – Rendement de gain Raman de lumière d  polari  e pour une fibre sans décalage de dispersion pomp  e à 1486 nm [4]

4.1 Sécurité du laser

Il convient d'observer les procédures de sécurité des CEI 60825-1 et CEI 60825-2 lors de l'utilisation de hautes puissances optiques.

5 Appareillage

La Figure 1 présente un schéma des appareillages d'essai typiques.

5.1 Source de pompe optique

Du fait que le rendement Raman mesuré peut varier d'au moins un facteur de deux en fonction de l'orientation de la polarisation de pompe par rapport à la polarisation de signal, la source de pompe optique P_p est un laser d  polari   avec un degré de polarisation (DOP) inférieur à 10 %. De tels lasers sont largement disponibles sur le marché. Sa longueur d'onde λ_p demeure fixe pendant la mesure. Si la pompe contient plusieurs lignes spectrales étroites, la longueur d'onde de pompe est définie comme le centro  ide, qui est une moyenne pondérée de la puissance.

La puissance de pompe à laquelle la SBS se produit, augmente avec la largeur spectrale de pompe. Il convient que la largeur spectrale de pompe soit assez étendue (environ 1 nm) pour supprimer la SBS, mais pas supérieure à ce que l'on obtient normalement avec un filtre de verrouillage de longueur d'onde utilisé avec la pompe. Bien que de multiples lasers à pompe, chacun à une longueur d'onde différente, soient généralement combinés et utilisés lors de la construction des amplificateurs Raman, il convient de ne pas utiliser de multiples pompes à différentes longueurs d'onde lorsque l'on mesure le rendement Raman d'une fibre. Une telle configuration peut substantiellement modifier les résultats d'essai. Le rendement Raman obtenu au moyen d'une pompe unique peut être utilisé avec un modèle de divers procédés physiques (tels que le transfert de puissance de pompe à pompe, le transfert de puissance entre signaux, l'appauvrissement de pompe et la double diffusion Rayleigh) pour concevoir des amplificateurs pratiques discrets et à distribution Raman. [5]

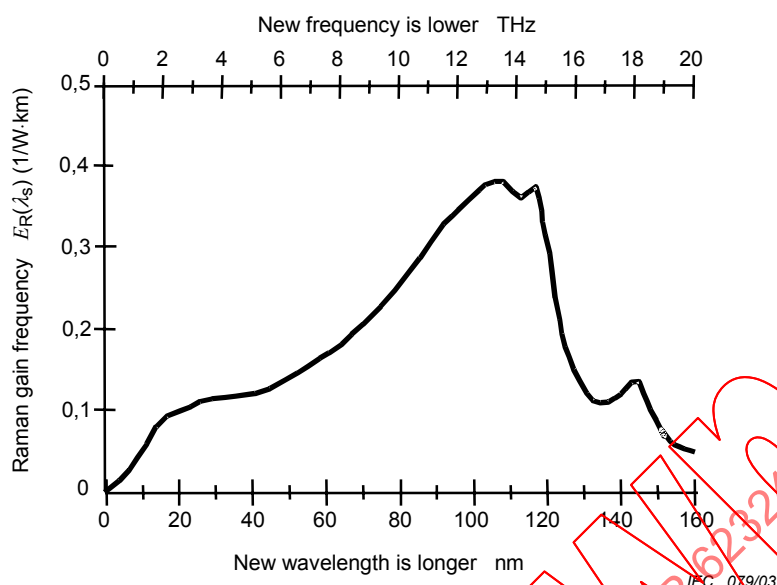


Figure 2 – Raman gain efficiency of depolarized light for a dispersion-unshifted fibre pumped at 1486 nm [4]

4.1 Laser Safety

The safety procedures in IEC 60825-1 and IEC 60825-2 should be observed when using high optical powers.

5 Apparatus

Figure 1 shows a schematic diagram of a typical test apparatus.

5.1 Optical pump source

Because the measured Raman efficiency can vary by at least a factor of two depending on the orientation of the pump polarization relative to the signal polarization, the optical pump source P_p is a depolarized laser with a degree of polarization (DOP) less than 10 %. Such lasers are readily available commercially. Its wavelength λ_p remains fixed during the measurement. If the pump contains several narrow spectral lines, the pump wavelength is defined as the centroid, which is a weighted average of the power.

The pump power at which SBS occurs increases with the pump's spectral width. The pump's spectral width should be wide enough (about 1 nm) to suppress SBS, but not wider than what is normally achieved with a wavelength locking filter used with the pump. Although multiple pump lasers, each at a different wavelength, are typically combined and used when constructing Raman amplifiers, multiple pumps at different wavelengths should not be used when measuring the Raman efficiency of a fibre. Such a configuration can substantially alter the measurement results. The Raman efficiency obtained using a single pump can be used with a model of various physical processes (such as, pump-to-pump power transfer, signal-to-signal power transfer, pump depletion, and double Rayleigh scattering) to design practical discrete and distributed Raman amplifiers. [5]

Il convient que le laser à pompe soit en mesure d'injecter suffisamment de puissance (généralement 200 mW à 300 mW) [6] dans la fibre en essai de manière à induire la SRS tout en minimisant le bruit d'ESA et la double puissance de signal amplifiée à rétrodiffusion Rayleigh. Le bruit d'ESA est trop élevé si P_2 est proche de l'amplitude de P_1 . Cette condition produit de grosses erreurs lorsque l'on soustrait les deux puissances dans l'équation (2). Une méthode d'évaluation lorsque la double puissance à rétrodiffusion Rayleigh représente un problème, est à l'étude. [7]

Les niveaux de puissance optiques associés à la pompe sont suffisamment élevés pour endommager les connecteurs et autres composants optiques, tels que les circulateurs. L'éventualité d'un dommage peut être réduite en conservant les connecteurs propres et en n'établissant ni ne coupant les connexions tandis qu'ils transportent des puissances optiques élevées.

5.2 Source de signal optique

Le signal optique peut être soit une source à large bande (comme l'illustre la Figure 1) ou plusieurs lasers accordables. L'utilisation de diodes lasers peut introduire des effets de perturbation du fait de leur cohérence.

Il convient que la source de signal émette des longueurs d'onde sur une gamme débutant approximativement à la longueur d'onde de la pompe λ_p (f_p) et s'étendant à au moins $\lambda_p + 160$ nm ($f_p - 20$ THz).

Du fait que l'objet est de mesurer le gain Raman en petits signaux de la fibre en essai, la puissance du signal en entrée P_s est choisie en tant que compromis. Il convient que la puissance de signal maximale soit suffisamment basse pour ne pas saturer la capacité d'amplification Raman (production de l'appauvrissement de pompe) de la fibre en essai, ni générer une diffusion stimulée Brillouin. La saturation peut être déterminée en mesurant P_3 pour plusieurs niveaux de puissance de signal d'entrée P_s . La saturation existe si P_3 ne se modifie pas sensiblement lors de la variation de P_s . En variante, l'appauvrissement de pompe est insignifiant si la puissance de pompe résiduelle (observée lors de son contrôle illustré en Figure 1) demeure constante tandis que la source de signal est allumée et éteinte.

Il convient que la puissance de signal minimale soit suffisamment élevée pour que le signal amplifié puisse être précisément mesuré à la sortie en présence d'ESA de fond. Une puissance de signal typique pourrait être de 0,2 mW à la longueur d'onde de signal.

La SBS n'est habituellement pas un problème lors de l'utilisation d'une source de signal à large bande. Pour une fibre dont la longueur est plus importante que sa longueur efficace (~ 22 km à 1550 nm), le seuil de Brillouin est donné par: [8],[9]

$$P_B \approx \frac{42 A_{\text{eff}}}{g_B L_{\text{eff}}} \left(1 + \frac{\Delta \nu_s}{\Delta \nu_B} \right) \quad (4)$$

où

P_B est la puissance de seuil Brillouin ;

g_B est la valeur de pic du coefficient de gain Brillouin ($\sim 4 \times 10^{-9}$ cm/W) ;

A_{eff} est l'aire efficace ;

L_{eff} est la longueur efficace ;

$\Delta \nu_s$ est la largeur spectrale de la source de signal d'entrée ;

$\Delta \nu_B$ est la largeur spectrale du coefficient de gain Brillouin (~ 40 MHz).

The pump laser should be able to launch enough power (typically 200 mW to 300 mW) [6] into the fibre under test so as to induce SRS while at the same time minimizing ASE noise and amplified double Rayleigh backscattered signal power. ASE noise is too high if P_2 is close to the magnitude of P_1 . This condition produces large errors when subtracting the two powers in equation (2). A method for assessing when double Rayleigh backscattered power becomes a problem is under study. [7]

The optical power levels associated with the pump are high enough to damage connectors and other optical components, such as circulators. The potential for damage can be reduced by keeping the connectors clean, and by not making or breaking connections while they are carrying high optical powers.

5.2 Optical signal source

The optical signal may be either a broadband source (as shown in Figure 1) or several tunable lasers. The use of laser diodes can introduce interference effects because of their coherence.

The signal source should emit wavelengths over a range beginning approximately at the pump wavelength λ_p (f_p) and extending to at least $\lambda_p + 160$ nm ($f_p - 20$ THz).

Because the intent is to measure the small-signal Raman gain of the fibre under test, the power of the input signal P_s is chosen as a compromise. The maximum signal power should be low enough so that it does not saturate the Raman amplifying ability (produce pump depletion) of the fibre under test nor generate stimulated Brillouin scattering. Saturation can be determined by measuring P_3 for several input signal power levels P_s . Saturation exists if P_3 does not appreciably change when varying P_s . Alternatively, pump depletion is insignificant if the residual pump power (observed when monitoring it as shown in Figure 1) remains constant as the signal source is turned on and off.

The minimum signal power should be high enough that the amplified signal can be precisely measured at the output in the presence of background ASE. A typical signal power might be 0,2 mW at the signal wavelength.

SBS is usually not a problem when using a broadband signal source. For a fibre whose length is longer than its effective length (~22 km at 1550 nm), the Brillouin threshold is given by: [8],[9]

$$P_B \approx \frac{42 A_{\text{eff}}}{g_B L_{\text{eff}}} \left(1 + \frac{\Delta \nu_s}{\Delta \nu_B} \right) \quad (4)$$

where

P_B is the Brillouin threshold power;

g_B is the peak value of the Brillouin gain coefficient ($\sim 4 \times 10^{-9}$ cm/W);

A_{eff} is the effective area;

L_{eff} is the effective length;

$\Delta \nu_s$ is the spectral width of the input signal source;

$\Delta \nu_B$ is the spectral width of the Brillouin gain coefficient (~ 40 MHz).

5.3 Conditionnement de signal optique

Divers combineurs, tels que des coupleurs, des dispositifs WDM et des circulateurs peuvent être utilisés pour coupler la sortie des sources de signal et de pompe dans la fibre en essai. La Figure 1 illustre une mise en œuvre éventuelle. Il convient que les dispositifs soient en mesure de fonctionner sur la gamme de longueurs d'onde d'intérêt.

5.4 Wattmètre

Si la source de signal est constituée d'un ou plusieurs lasers accordables, P_{out} (Figure 1) peut être mesuré à l'aide d'un wattmètre au lieu d'un analyseur de spectre optique. Dans ce cas, lors de la mesure de P_2 et P_3 , le wattmètre détecte toute la puissance d'ESA au lieu de l'ESA uniquement dans la bande spectrale près de la longueur d'onde de signal. Ceci ne posera pas de problèmes pour de petits ESA.

5.5 Analyseur de spectre optique

Si la source de signal est à large bande, P_{out} peut être mesuré à l'aide d'un analyseur de spectre optique (ASO). Il convient que la résolution de l'ASO soit suffisante pour résoudre clairement le pic de gain SRS de la fibre (voir la Figure 2).

5.6 Exemples

Les divers compromis de mesure permettent de nombreuses combinaisons de paramètres qui répondent aux critères énoncés dans la présente méthode d'essai. Le Tableau 1 illustre certains exemples que l'on a utilisés avec succès pour mesurer le rendement de gain SRS dans la bande C (1530 nm à 1565 nm).

Tableau 1 – Exemples de paramètres pour mesurer le rendement Raman

Numéro d'exemple	Longueur d'onde de pompe λ_p nm	Puissance de pompe dans la fibre en essai mW	Catégorie de fibre unimodale	Longueur de la fibre km	Aire efficace μm^2	Rendement de pic E_R 1/W·km
1 [6]	1 455	—	B1.1	13,2	80	0,38
2 [10]	1 400	250	B1.1	23,3	83	0,45

6 Echantillonnage et éprouvettes

6.1 Surfaces d'extrémités des éprouvettes

Préparer les surfaces des extrémités planes au niveau des extrémités d'entrée et de sortie de l'éprouvette. Si les niveaux de puissance sont suffisamment élevés pour endommager les extrémités, l'épissure par fusion peut être nécessaire.

6.2 Longueur de l'éprouvette

Il convient que la longueur de l'éprouvette de fibre soit mesurée en utilisant une méthode précise bien appropriée comme celle de la CEI 60793-1-22.

6.3 Sélection de la longueur

La limite supérieure et les limites inférieures sur la longueur de la fibre en essai sont établies par la capacité à obtenir des mesures de gain marche/arrêt fiables.

5.3 Optical signal conditioning

Various combiners, such as, couplers, WDM devices, and circulators can be used to couple the output of the pump and signal sources into the fibre under test. Figure 1 shows one possible implementation. The devices should be capable of operating over the wavelength range of interest.

5.4 Power meter

If the signal source consists of one or more tunable lasers, P_{out} (Figure 1) can be measured with a power meter instead of an optical spectrum analyzer. In this case, when measuring P_2 and P_3 , the power meter detects all the ASE power instead of only the ASE in the spectral band near the signal wavelength. This will not pose a problem for small ASE.

5.5 Optical spectrum analyzer

If the signal source is broadband, P_{out} can be measured with an optical spectrum analyzer (OSA). The OSA's resolution should be sufficient to clearly resolve the fibre's SRS gain peak (see Figure 2).

5.6 Examples

The various measurement tradeoffs allow many combinations of parameters that meet the criteria set forth in this test method. Table 1 illustrates some examples that have been successfully used to measure the SRS gain efficiency in C-Band (1530 nm to 1565 nm).

Table 1 – Examples of parameters for measuring Raman efficiency

Example number	Pump wavelength λ_p nm	Pump power in fibre under test mW	Single-mode fibre category	Fibre length km	Effective area μm^2	Peak efficiency E_R 1/W·km
1 [6]	1 455	–	B1.1	13,2	80	0,38
2 [10]	1 400	250	B1.1	23,3	83	0,45

6 Sampling and specimens

6.1 Specimen endfaces

Prepare flat endfaces at the input and output ends of the specimen. If power levels are sufficiently high to damage the endfaces, fusion splicing may be necessary.

6.2 Specimen length

The length of the fibre specimen should be measured using a suitably accurate method such as IEC 60793-1-22.

6.3 Length selection

The upper limit and lower limits on the length of the test fibre are set by the ability to obtain reliable on/off gain measurements.

6.4 Coefficient d'affaiblissement d'éprouvette

Il convient que le coefficient d'affaiblissement de l'éprouvette de fibre soit mesuré en utilisant une méthode appropriée telle que CEI 60793-1-40.

7 Procédure

Mesurer les puissances de sortie (P_{out}) P_1 , P_2 et P_3 (Article 4) au moyen de longueurs d'onde de signal qui s'étendent de λ_p à $\lambda_p + 160$ nm.

8 Calculs et interprétation des résultats

8.1 Gain marche/arrêt

Le gain marche/arrêt $G_{on/off}(\lambda)$ est calculé à chaque longueur d'onde de signal au moyen de l'équation (2).

8.2 Rendement de gain Raman

Le rendement de gain Raman $E_R(\lambda)$ est calculé à chaque longueur d'onde de signal au moyen de l'équation (3).

9 Documentation

9.1 Informations à fournir à chaque mesure

- Identification pour chaque éprouvette en essai
- Longueur de la fibre
- Aire efficace de la fibre à la longueur d'onde de pompe et la longueur d'onde à laquelle se produit le rendement de gain Raman de pic
- Type de fibre (par exemple, Catégorie B1.1, B1.2, B1.3, B2, B4)
- Longueur d'onde de pompe nominale
- Puissance de pompe
- Densité spectrale de puissance de signal (mW/nm)
- Courbe de rendement de gain Raman
- Rendement de gain Raman de pic
- Longueur d'onde à laquelle se produit le rendement de gain Raman de pic

9.2 Informations à fournir sur demande

- Méthode de mesure utilisée
- Description de l'équipement d'essai, y compris: sources de lumière, composants pour conditionnement optique, contrôle de puissance, et précautions prises pour éliminer l'ESA et la SBS
- Date et résultats pour l'étalonnage d'instrument le plus récent
- Données sur la reproductibilité de mesure

6.4 Specimen attenuation coefficient

The attenuation coefficient of the fibre specimen should be measured using a suitable method such as IEC 60793-1-40.

7 Procedure

Measure the output powers (P_{out}) P_1 , P_2 and P_3 (Clause 4) using signal wavelengths that range from λ_p to $\lambda_p + 160$ nm.

8 Calculations and interpretation of results

8.1 On/off gain

The on/off gain $G_{\text{on/off}}(\lambda)$ is calculated at each signal wavelength using equation (2).

8.2 Raman gain efficiency

The Raman gain efficiency $E_R(\lambda)$ is calculated at each signal wavelength using equation (3).

9 Documentation

9.1 Information to be reported with each measurement

- Identification for each test specimen
- Fibre's length
- Fibre's effective area at the pump wavelength and the wavelength at which the peak Raman gain efficiency occurs
- Fibre type (for example, Category B1.1, B1.2, B1.3, B2, B4)
- Nominal pump wavelength
- Pump power
- Signal power spectral density (mW/nm)
- Raman gain efficiency curve
- Peak Raman gain efficiency
- Wavelength at which the peak Raman gain efficiency occurs

9.2 Information that should be available upon request

- Measurement method used
- Description of the test equipment, including: light sources, components for optical conditioning, power monitoring, and precautions taken to eliminate ASE and SBS
- Date and results for the most recent instrument calibration
- Data on measurement reproducibility

Annexe A
(informative)

**Comparaison entre le présent rapport technique
et les recommandations UIT**

La Recommandation UIT-T G.650 ne contient aucune information sur le rendement de gain Raman d'une fibre.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62324:2003

Withdrawn

Annex A
(informative)

**Comparison between this technical report
and ITU recommendations**

ITU-T Recommendation G.650 contains no information on the Raman gain efficiency of a fibre.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62324:2003

Withdrawn

Bibliographie

- [1] KOCH, F., LEWIS, SAE., CHERNIKOV, SV. and TAYLOR, JR. Broadband Raman Gain Characterization in Various Optical Fibres. *Technical Digest: Symposium on Optical Fibre Measurements 2000*, NIST Special Publication 953, Sept. 2000, pp. 143-146.
- [2] HAMOIR, D., TORAVI, N., BERGONZO, A., BORNIE, S. and BAYART, D. Raman spectra of line fibres measured over 30 THz. *Technical Digest: Symposium on Optical Fibre Measurements 2000*, NIST Special Publication 953, Sept. 2000, pp. 147-149
- [3] CURRI, V. System Advantages of Raman Amplifiers. *National Fibre Optic Engineers Conference*, Denver, 2000.
- [4] GRAY, S. Raman gain measurements in optical fibres. *Technical Digest: Symposium on Optical Fibre Measurements 2000*, NIST Special Publication 953, Sept. 2000, pp. 151-154.
- [5] KIDORF, H., ROTTWITT, K., NISSOV, M., MA, M. and RABARIJAONA, E. Pump Interactions in a 100-nm Bandwidth Raman Amplifier. *IEEE Photonics Technology Letters*, May 1999, Vol. 11, No. 5, pp. 530-532.
- [6] FLUDGER, C., MARONEY, A., JOLLEY, N. and MEARS, R. An analysis of the improvements in OSNR from distributed Raman amplifiers using modern transmission fibres. *Optical Fibre Communication Conference*, 2000 OSA (Optical Society of America, Washington, D.C., 2000), paper FF2-1.
- [7] GRAY, S., VASILYEV, M. and JEPSON, K. Spectral Broadening of Double Rayleigh Backscattering in a Distributed Raman Amplifier. *Optical Fibre Communication Conference*, 2001 OSA (Optical Society of America, Washington, D.C., 2001), paper MA-2.
- [8] COTTER, D. Observation of stimulated Brillouin scattering in low-loss silica fibre at 1.3 μm . *Electronics Letters*, 1982, Vol. 18, p. 495.
- [9] COTTER, D. Stimulated Brillouin scattering in monomode optical fibre. *Journal of Optical Communications*, 1983, Vol. 4, p. 10.
- [10] HAMOIR, D., TORABI, N., BERGONZO, A., BORNE S. and BAYART, D. Raman spectra of line fibres measured over 30 THz. *Technical Digest: Symposium on Optical Fibre Measurements 2000*, NIST Special Publication 953, Sept. 2000, pp. 147-149.