

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61746

Deuxième édition
Second edition
2005-01

**Etalonnage des réflectomètres optiques
dans le domaine de temps (OTDR)**

**Calibration of optical time-domain
reflectometers (OTDR)**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61746:2005

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

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

- Service clients

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) 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/online_news/justpub) 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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61746

Deuxième édition
Second edition
2005-01

**Etalonnage des réflectomètres optiques
dans le domaine de temps (OTDR)**

**Calibration of optical time-domain
reflectometers (OTDR)**

© IEC 2005 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, 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 **XD**

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	8
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives	12
3 Termes, définitions et symboles.....	14
4 Exigences concernant les essais d'étalonnage.....	26
4.1 Préparation	26
4.2 Conditions d'essais	26
4.3 Traçabilité	28
5 Etalonnage des distances – Généralités	28
5.1 Modèle d'erreur de position	28
5.2 Utilisation des résultats d'étalonnage.....	32
5.3 Mesure des longueurs de fibre.....	32
6 Méthodes d'étalonnage des distances.....	34
6.1 Méthode de la source externe.....	34
6.2 Méthode des ajouts de fibres	44
6.3 Méthode de la boucle de retard.....	52
7 Etalonnage des affaiblissements – Généralités	62
7.1 Détermination du niveau de puissance affiché F	62
7.2 Détermination d'un affaiblissement de référence approprié A_{ref}	64
7.3 Elaboration d'un plan d'essai	64
7.4 Dépendance envers la polarisation	68
7.5 Calcul des résultats d'étalonnage	70
7.6 Utilisation des résultats d'étalonnage.....	72
8 Méthodes d'étalonnage de l'affaiblissement	72
8.1 Etalonnage de l'affaiblissement avec une fibre étalon	72
8.2 Méthode de la source externe (voir Figure 16)	80
8.3 Méthode du simulateur d'épissure.....	88
8.4 Méthode de la réduction de puissance	96
9 Etalonnage de la réflectance	104
9.1 Mesure de réflectance (voir Figure 23).....	104
9.2 Utilisation du paramètre de rétrodiffusion, K	106
9.3 Gamme de mesures de réflectance.....	108
9.4 Elaboration d'un plan d'essai	110
9.5 Equipement	112
9.6 Procédure de mesure	114
10 Documentation	116
10.1 Résultats de mesure et incertitudes	116
10.2 Conditions de mesure.....	118
Annexe A (normative) Boucle à décalage pour l'étalonnage des distances.....	120
Annexe B (normative) Fibre optique étalon pour l'étalonnage de l'affaiblissement	128
Annexe C (normative) Simulateur d'épissure étalon pour l'étalonnage des affaiblissements.....	136
Annexe D (informative) Bases mathématiques	146

CONTENTS

FOREWORD	9
1 Scope	13
2 Normative references	13
3 Terms, definitions and symbols	15
4 Calibration test requirements	27
4.1 Preparation	27
4.2 Test conditions	27
4.3 Traceability	29
5 Distance calibration – General	29
5.1 Location error model	29
5.2 Using the calibration results	33
5.3 Measuring fibre length	33
6 Distance calibration methods	35
6.1 External source method	35
6.2 Concatenated fibre method	45
6.3 Recirculating delay line method	53
7 Loss calibration – General	63
7.1 Determination of the displayed power level P	63
7.2 Selection of an appropriate reference loss A_{ref}	65
7.3 Development of a test plan	65
7.4 Polarization dependence	69
7.5 Calculation of the calibration results	71
7.6 Using the calibration results	73
8 Loss calibration methods	73
8.1 Loss calibration with fibre standard	73
8.2 External source method (see Figure 16)	81
8.3 Splice simulator method	89
8.4 Power reduction method	97
9 Reflectance calibration	105
9.1 Reflectance measurements (see Figure 23)	105
9.2 Use of the backscatter parameter, K	107
9.3 Range of reflectance measurement	109
9.4 Development of a test plan	111
9.5 Equipment	113
9.6 Measurement procedure	115
10 Documentation	117
10.1 Measurement data and uncertainties	117
10.2 Test conditions	119
Annex A (normative) Recirculating delay line for distance calibration	121
Annex B (normative) Optical fibre standard for loss calibration	129
Annex C (normative) Standard splice simulator for loss calibration	137
Annex D (informative) Mathematical basis	147

Annexe E (normative) Etalon de réflectance	154
Annexe F (normative) Version simple de l'étalon de réflectance	168
Annexe G (informative) Bases des OTDR: Théorie de la rétrodiffusion – Mesure de réflectance en utilisant un OTDR – Détermination du paramètre de rétrodiffusion de la fibre.....	176
Bibliographie	188
Figure 1 – Définition de la zone morte en affaiblissement.....	14
Figure 2 – Représentation de l'erreur de position $\Delta L(L)$	30
Figure 3 – Banc de mesure pour l'étalonnage de l'échelle des distances – Méthode de la source externe.....	36
Figure 4 – Montage pour l'étalonnage du retard à l'insertion du système.....	38
Figure 5 – Ajouts de fibres utilisés pour l'étalonnage de l'échelle des distances	46
Figure 6 – Etalonnage des distances au moyen d'une boucle de retard	54
Figure 7 – Trace de l'OTDR produite par une boucle de retard	56
Figure 8 – Détermination du niveau de référence et du niveau de puissance affiché	62
Figure 9 – Mesure des échantillons d'affaiblissement de l'OTDR	64
Figure 10 – Région A, recommandée pour les échantillons de mesure d'affaiblissement.....	66
Figure 11 – Placement possible des points d'échantillons à l'intérieur de la région A	68
Figure 12 – Méthode de la source externe pour l'essai de dépendance des OTDR envers la polarisation.....	68
Figure 13 – Méthode de la réflexion pour l'essai de dépendance envers la polarisation des OTDR	70
Figure 14 – Etalonnage de l'affaiblissement avec une fibre étalon	74
Figure 15 – Placement du début de la section D_1 hors de la zone morte en affaiblissement	76
Figure 16 – Etalonnage de l'affaiblissement à l'aide de la méthode de la source externe.....	82
Figure 17 – Position et mesures concernant la méthode de la source externe.....	86
Figure 18 – Montage pour l'étalonnage d'affaiblissement avec un simulateur d'épissure.....	90
Figure 19 – Ecran de l'OTDR avec simulateur d'épissure	90
Figure 20 – Mesure de l'affaiblissement d'épissure.....	92
Figure 21 – Etalonnage de l'affaiblissement avec la variante «fin de fibre» de la méthode de réduction de puissance	100
Figure 22 – Etalonnage de l'affaiblissement avec la variante «longue fibre» de la méthode de réduction de puissance	100
Figure 23 – Paramètres intervenant dans les mesures de réflectance.....	106
Figure 24 – La même réflectance à l'extrémité de trois fibres ayant des paramètres de rétrodiffusion différents présente des impulsions d'amplitude différentes	108
Figure 25 – Valeurs maximales et minimales de l'amplitude de l'impulsion, ΔF	110
Figure 26 – Gamme de mesures de réflectance.....	110
Figure 27 – Détermination des valeurs par défaut du niveau de puissance affichée et de la position.....	112
Figure 28 – Montage pour l'étalonnage de réflectance.....	114

Annex E (normative) Reflectance standard.....	155
Annex F (normative) Simple version of reflectance standard.....	169
Annex G (informative) OTDR basis: Backscatter theory – Reflectance measurements using an OTDR – Determination of fibre backscatter parameter.....	177
Bibliography	189
Figure 1 – Definition of attenuation dead zone	15
Figure 2 – Representation of the location error $\Delta L(L)$	31
Figure 3 – Equipment for calibration of the distance scale – External source method.....	37
Figure 4 – Set-up for calibrating the system insertion delay	39
Figure 5 – Concatenated fibres used for calibration of the distance scale.....	47
Figure 6 – Distance calibration with a recirculating delay line	55
Figure 7 – OTDR trace produced by recirculating delay line	57
Figure 8 – Determining the reference level and the displayed power level.....	63
Figure 9 – Measurement of the OTDR loss samples	65
Figure 10 – Region A, the recommended region for loss measurement samples	67
Figure 11 – Possible placement of sample points within region A	69
Figure 12 – External source method for testing the polarization dependence of the OTDR ...	69
Figure 13 – Reflection method for testing the polarization dependence of the OTDR.....	71
Figure 14 – Loss calibration with a fibre standard.....	75
Figure 15 – Placing the beginning of section D_1 outside the attenuation dead zone	77
Figure 16 – Loss calibration with the external source method	83
Figure 17 – Location and measurements for external source method	87
Figure 18 – Set-up for loss calibration with splice simulator.....	91
Figure 19 – OTDR display with splice simulator.....	91
Figure 20 – Measurement of the splice loss	93
Figure 21 – Loss calibration with "fibre-end" variant of the power reduction method	101
Figure 22 – Loss calibration with "long-fibre" variant of the power reduction method	101
Figure 23 – Parameters involved in reflectance measurements.....	107
Figure 24 – The same reflectance at the end of three fibres with different values of the backscatter parameter shows different pulse amplitudes	109
Figure 25 – Maximum and minimum values for the pulse amplitude, ΔF	111
Figure 26 – Range of reflectance measurement	111
Figure 27 – Determining the default displayed power level and the default location.....	113
Figure 28 – Set-up for reflectance calibration	115

Figure A.1 – Boucle à décalage	120
Figure A.2 – Montage de mesure du temps de propagation de la boucle T_b	122
Figure A.3 – Banc d'étalonnage du temps de propagation dans la fibre amorce T_a	124
Figure B.1 – Détermination de la zone de grande linéarité	130
Figure B.2 – Essai d'uniformité de la rétrodiffusion le long de la fibre étalon	132
Figure C.1 – Simulateur d'épissure et trace de réflectométrie idéale	136
Figure C.2 – Détermination de l'affaiblissement de référence A_{ref}	140
Figure D.1 – Ecart et incertitude de type B, et comment remplacer les deux paramètres par une incertitude appropriée plus large	148
Figure E.1 – Description et trace de l'étalon de réflectance	154
Figure E.2 – Montage de d'étalonnage et points de référence pour l'étalonnage	162
Figure F.1 – Description et trace de l'étalon de réflectance	168
Figure F.2 – Montage de d'étalonnage et points de référence pour l'étalonnage	174
Figure G.1 – Signaux d'OTDR utilisés pour déterminer la réflectance	180
Figure G.2 – Montage pour la mesure du coefficient de rétrodiffusion	184
 Tableau 1 – Affaiblissement linéique définissant la région A	 66

Figure A.1 – Recirculating delay line	121
Figure A.2 – Measurement set-up for loop transit time T_b	123
Figure A.3 – Calibration set-up for lead-in transit time T_a	125
Figure B.1 – Determination of a highly linear power range	131
Figure B.2 – Testing the longitudinal backscatter uniformity of the fibre standard	133
Figure C.1 – Splice simulator and idealized OTDR signature	137
Figure C.2 – Determination of the reference loss A_{ref}	141
Figure D.1 – Deviation and uncertainty type B, and how to replace both by an appropriately larger uncertainty	149
Figure E.1 – Reflectance standard description and trace	155
Figure E.2 – Calibration set up and reference points for calibration	163
Figure F.1 – Reflectance standard description and trace	169
Figure F.2 – Calibration set up and reference points for calibration	175
Figure G.1 – OTDR signals used for determining reflectance	181
Figure G.2 – Set-up for measurement of the backscatter coefficient	185
 Table 1 – Attenuation coefficients defining region A	 67

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉTALONNAGE DES RÉFLECTOMÈTRES OPTIQUES DANS LE DOMAINE DE TEMPS (OTDR)

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61746 a été établie par le comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2001. Cette deuxième édition constitue une révision technique. Les changements techniques spécifiques incluent le développement de l'Article 9, « Etalonnage de la réflectance », et l'introduction des Annexes E, F et G.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86/230/FDIS	86/232/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CALIBRATION OF OPTICAL TIME-DOMAIN REFLECTOMETERS (OTDR)

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 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 IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61746 has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2001. It constitutes a technical revision. Specific technical changes include the development of Clause 9, "Reflectance calibration," and the introduction of Annexes E, F and G.

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

FDIS	Report on voting
86/230/FDIS	86/232/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61746:2005

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

Withdrawn
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61746:2005

ÉTALONNAGE DES RÉFLECTOMÈTRES OPTIQUES DANS LE DOMAINE DE TEMPS (OTDR)

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit des procédures destinées à l'étalonnage des réflectomètres optiques dans le domaine de temps pour fibres unimodales (OTDR). Elle ne traite que des erreurs de mesure et incertitudes de l'OTDR.

Cette norme ne couvre pas la correction de la réponse de l'OTDR.

Pour qu'un OTDR puisse être étalonné complètement selon la présente norme, il faut qu'il soit au minimum équipé des fonctions et dispositifs suivants:

- a) un indice de réfraction programmable, ou un paramètre équivalent;
- b) la possibilité d'afficher une représentation graphique du signal, avec une échelle de puissance logarithmique et une échelle de distance linéaire;
- c) deux marqueurs ou curseurs, qui affichent l'affaiblissement et la distance entre deux points quelconques de la courbe affichée du signal;
- d) la possibilité de mesurer la distance absolue (position) à partir du point de référence zéro de l'OTDR;
- e) la possibilité de mesurer le niveau de puissance affiché par rapport à un niveau de référence (par exemple le niveau de saturation);
- f) la possibilité d'évaluer la réflectance d'un événement réfléchissant.

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 (toutes les parties), *Fibres optiques – Partie 1: Méthodes de mesure et procédures d'essai*

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

CEI 60794-1-2, *Câbles à fibres optiques – Partie 1-2: Spécification générique – Procédures de base applicables aux essais des câbles optiques*

CEI 61300-3-2, *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques – Méthodes fondamentales d'essais et de mesures – Partie 3-2: Examens et mesures – Dépendance à la polarisation de l'affaiblissement dans un dispositif pour fibres optiques monomodes*

Recommandation UIT-T G.650.1:2004, *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs linéaires déterministes des fibres et câbles optiques monomodes*

Recommandation UIT-T G.650.2:2002, *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs se rapportant aux caractéristiques statistiques et non linéaires des fibres et câbles optiques monomodes*

CALIBRATION OF OPTICAL TIME-DOMAIN REFLECTOMETERS (OTDR)

1 Scope

This International Standard provides procedures for calibrating single-mode optical time domain reflectometers (OTDR). It only covers OTDR measurement errors and uncertainties.

This standard does not cover correction of the OTDR response.

In order for an OTDR to qualify as a candidate for complete calibration using this standard, it must be equipped with the following minimum feature set:

- a) a programmable index of refraction, or equivalent parameter;
- b) the ability to present a display of a trace representation, with a logarithmic power scale and a linear distance scale;
- c) two markers/cursors, which display the loss and distance between any two points on a trace display;
- d) the ability to measure absolute distance (location) from the OTDR's zero-distance reference;
- e) the ability to measure the displayed power level relative to a reference level (for example, the clipping level).
- f) the ability to evaluate the reflectance of a reflective event.

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 (all parts), *Optical fibres – Part 1: Measurement methods and test procedures*

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

IEC 60794-1-2, *Optical fibre cables – Part 1-2: Generic specification – Basic optical cable test procedures*

IEC 61300-3-2, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-2: Examinations and measurements – Polarization dependence of attenuation in a single-mode fibre optic device*

ITU-T Recommendation G.650.1:2004, *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable*

ITU-T Recommendation G.650.2:2002, *Definitions and test methods for statistical and non-linear attributes of single-mode fibre and cable*

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivantes s'appliquent.

NOTE Il convient de se reporter aux références de la CEI 60050-731 pour disposer de définitions plus précises.

3.1

affaiblissement

A

perte

décroissance de la puissance optique, exprimée en décibels (dB)

NOTE Si P_{in} (watts) représente la puissance entrant à une extrémité d'un segment de fibre et P_{out} (watts) représente la puissance sortant à l'autre extrémité, alors l'affaiblissement du segment est:

$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

[VEI 731-01-48, modifiée]

3.2

affaiblissement linéique

α

affaiblissement d'une fibre par unité de longueur

[VEI 731-03-42, modifiée]

3.3

zone morte en affaiblissement

pour un événement réfléchissant ou affaiblissant, la région après l'événement où la courbe affichée s'écarte de la courbe de rétrodiffusion non perturbée de plus d'une distance verticale ΔF donnée

NOTE La zone morte en affaiblissement dépend des paramètres suivants: réflectance, affaiblissement, niveau de puissance affichée et position. Elle peut aussi dépendre des composants optiques se situant en amont de l'événement.

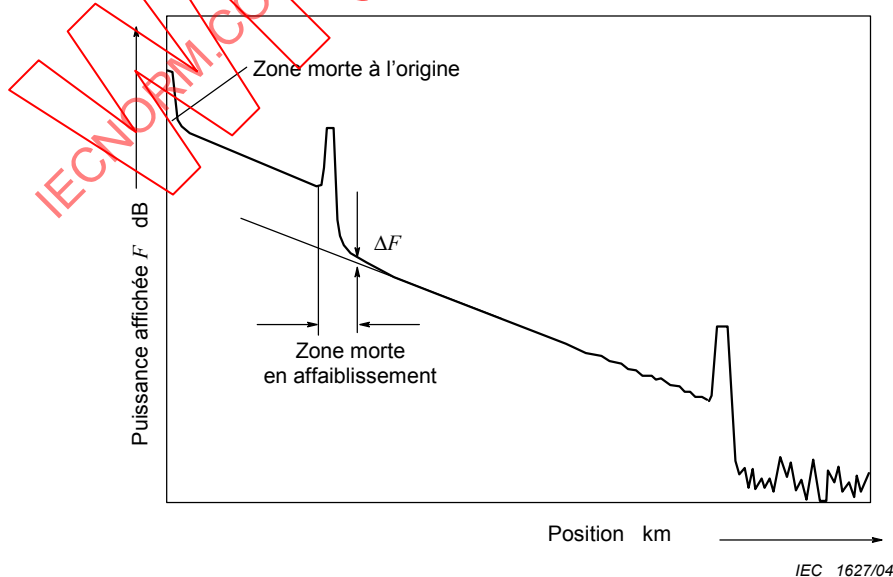


Figure 1 – Définition de la zone morte en affaiblissement

3 Terms, definitions and symbols

For the purposes of this document, the following definitions apply.

NOTE For more precise definitions, the references to IEC 60050-731 should be consulted.

3.1

attenuation

A

loss

optical power decrease in decibels (dB)

NOTE If P_{in} (watts) is the power entering one end of a segment of fibre and P_{out} (watts) is the power leaving the other end, then the attenuation of the segment is

$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

[IEV 731-01-48, modified]

3.2

attenuation coefficient

α

attenuation of a fibre per unit length

[IEV 731-03-42, modified]

3.3

attenuation dead zone

for a reflective or attenuating event, the region after the event where the displayed trace deviates from the undisturbed backscatter trace by more than a given vertical distance ΔF

NOTE The attenuation dead zone will depend on the following event parameters: reflectance, loss, displayed power level and location. It may also depend on any fibre optic component in front of the event.

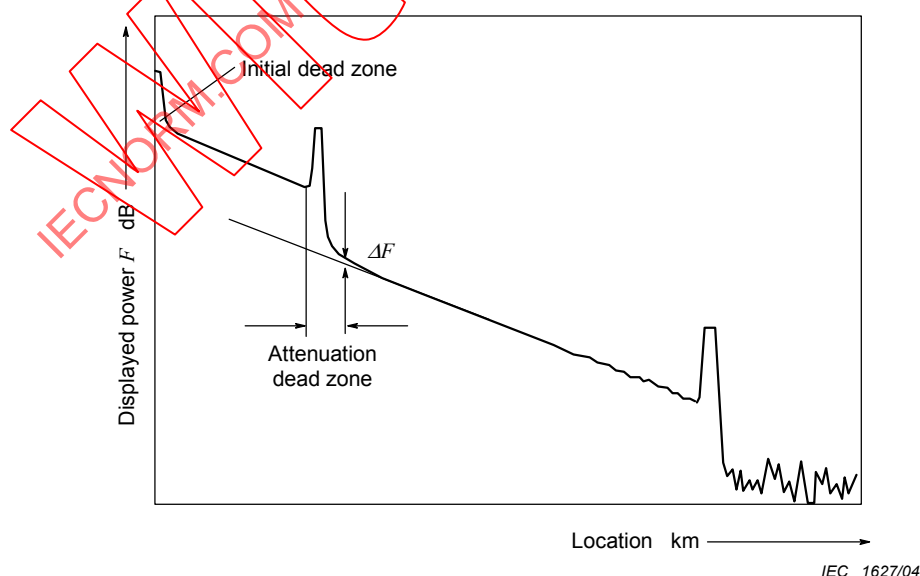


Figure 1 – Definition of attenuation dead zone

3.4 paramètre de rétrodiffusion

K

en un point défini le long de la fibre, puissance rétrodiffusée propagée par unité d'énergie incidente

NOTE 1 K est donné par la formule suivante:

$$K = S\alpha_s \frac{V}{2} \quad \text{s}^{-1} \quad (2)$$

où

α_s est le coefficient de diffusion en m^{-1} ;

S est la fraction de capture de la rétrodiffusion. Celle-ci est fonction d'autres paramètres de référence de la fibre tels que le diamètre de champ de mode pour les fibres unimodales;

V est la vitesse de groupe; en mètre par seconde;

$= c / N$ où c est la vitesse de la lumière dans le vide, N l'indice de groupe de la fibre.

NOTE 2 Voir aussi Annexe G.

3.5 coefficient de rétrodiffusion

C

pour une impulsion donnée, rapport entre la puissance rétrodiffusée à l'entrée de la fibre et la puissance impulsionnelle d'entrée

NOTE 1 Cela correspond au paramètre de rétrodiffusion pour une largeur d'impulsion donnée. Le coefficient de rétrodiffusion est défini à partir du paramètre de rétrodiffusion en utilisant la formule suivante:

$$C(\Delta T) = K\Delta T \quad (3)$$

où ΔT est la largeur d'impulsion, par exemple en secondes.

Habituellement, le coefficient de rétrodiffusion est exprimé en dB pour une largeur d'impulsion donnée, ΔT .

$$C_{\text{dB}}(\Delta T) = 10 \log_{10}(K\Delta T) \quad (4)$$

NOTE 2 La largeur d'impulsion, ΔT dans la formule précédente, est utilisée pour normaliser $C(\Delta T)$. Les valeurs usuelles de ΔT sont 1 ns et 1 μs . Voir aussi l'Annexe G.

3.6 étalonnage

ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par l'instrument de mesure et les valeurs connues correspondantes de la grandeur

NOTE Voir le Guide ISO *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie*.

3.7 longueur d'onde centrale

λ_{centre}

longueur d'onde moyenne pondérée en puissance d'une source de lumière dans le vide, en nanomètres (nm)

NOTE Pour un spectre continu, la longueur d'onde centrale est définie comme étant:

$$\lambda_{\text{centre}} = \frac{1}{P_{\text{total}}} \int p(\lambda) \lambda d\lambda \quad (5)$$

Pour un spectre contenant des raies discrètes, la longueur d'onde centrale est définie comme étant:

$$\lambda_{\text{centre}} = \frac{\sum_i P_i \lambda_i}{\sum_i P_i} \quad (6)$$

3.4 backscatter parameter

K

at a given point along the fibre, the backscattered propagating power per unit incident energy

NOTE 1 K is given by the following formula:

$$K = S\alpha_s \frac{V}{2} \text{ s}^{-1} \quad (2)$$

where

α_s is the scattering coefficient, e.g.; in m^{-1}

S is the backscatter capture fraction. It depends on other standard fibre parameters such as the mode field diameter in single mode fibre;

V is the group velocity, in metres per second;

$= c / N$ where c is the speed of the light in vacuum, N the group index of the fibre.

NOTE 2 See also Annex G.

3.5 backscatter coefficient

C

for a given pulse, the ratio of backscattered power at the input side of the fibre to the pulse input power

NOTE 1 It represents the backscatter parameter for a given pulse width. The backscatter coefficient is defined from the backscatter parameter using the following formula:

$$C(\Delta T) = K\Delta T \quad (3)$$

where ΔT is the pulse width, e.g. in seconds.

Usually the backscatter coefficient is expressed in dB for a given pulse width, ΔT .

$$C_{\text{dB}}(\Delta T) = 10 \log_{10}(K\Delta T) \quad (4)$$

NOTE 2 The pulse width, ΔT in the previous formula is used to normalise $C(\Delta T)$. Usual values for ΔT are 1 ns and 1 μs . See also Annex G.

3.6 calibration

set of operations which establish, under specified conditions, the relationship between the values indicated by the measuring instrument and the corresponding known values of that quantity

NOTE See ISO Guide *International vocabulary of basic and general terms in metrology*.

3.7 centre wavelength

λ_{centre}

power-weighted mean wavelength of a light source in vacuum, in nanometres (nm)

NOTE For a continuous spectrum, the centre wavelength is defined as:

$$\lambda_{\text{centre}} = \frac{1}{P_{\text{total}}} \int p(\lambda) \lambda d\lambda \quad (5)$$

For a spectrum consisting in discrete lines, the centre wavelength is defined as:

$$\lambda_{\text{centre}} = \frac{\sum_i P_i \lambda_i}{\sum_i P_i} \quad (6)$$

où

$p(\lambda)$ est la densité spectrale de puissance de la source, par exemple en W/nm;

λ_i est la $i^{\text{ème}}$ longueur d'onde discrète;

P_i est la puissance à λ_i , par exemple en watts;

$P_{\text{total}} = \sum P_i$ est la puissance totale, par exemple en watts.

Les intégrales et les sommations ci-dessus s'étendent sur la totalité du spectre de la source de lumière.

3.8

degré de confiance

estimation de la probabilité selon laquelle la valeur réelle de la quantité mesurée se trouve à l'intérieur d'un accroissement d'incertitude donné

NOTE Dans cette norme, le degré de confiance est fixé uniformément à 95 %. Voir « incertitude élargie » pour plus de précisions.

3.9

distance

espacement (réel ou simulé) entre deux événements sur la fibre, par exemple en mètres

3.10

erreur d'échantillonnage en distance

valeur maximale de l'erreur en distance attribuable à la distance entre deux points d'échantillonnage successifs, spécifiée en mètres

NOTE L'erreur d'échantillonnage en distance est de nature répétitive, l'utilisation de son amplitude est donc une manière de la quantifier.

3.11

écart d'échelle des distances

ΔS_L

moyenne de l'erreur sur l'échelle des distances, c'est-à-dire la différence entre la distance moyenne affichée $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ et la distance de référence correspondante D_{ref} divisée par la distance de référence, par exemple en m/m

NOTE 1 ΔS_L est donné par la formule suivante.

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle - D_{\text{ref}}}{D_{\text{ref}}} = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 \quad (7)$$

où $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ est la distance affichée entre deux événements (réels ou simulés) sur la fibre, moyennée sur au moins un pas d'échantillonnage.

NOTE 2 On suppose qu'une distance relativement grande, par exemple 2 000 m, est utilisée dans cette formule.

3.12

facteur d'échelle en distance

S_L

moyenne de la distance affichée divisée par la distance de référence correspondante

NOTE 1 S_L est donné par la formule suivante:

$$S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} \quad (8)$$

où $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ est la distance affichée entre deux événements (réels ou simulés) sur la fibre, moyennée sur au moins un pas d'échantillonnage.

NOTE 2 On suppose que des distances relativement grandes sont utilisées dans cette formule.

3.13

incertitude sur l'échelle des distances

$\sigma_{\Delta S_L}$

incertitude de l'écart d'échelle en distance, par exemple en m/m

where

$p(\lambda)$ is the spectral power density of the source, for example in W/nm;

λ_i is the i^{th} discrete wavelength;

P_i is the power at λ_i , for example in watts;

$P_{\text{total}} = \sum P_i$ is the total power, for example in watts.

The above integrals and summations extend over the entire spectrum of the light source.

3.8

confidence level

estimated probability that the true value of a measured quantity lies within a given expanded uncertainty

NOTE In this standard, the confidence level is standardized to 95 %. See "expanded uncertainty" for further clarification.

3.9

distance

spacing (actual or simulated) between two features in a fibre, for example in metres

3.10

distance sampling error

maximum distance error attributable to the distance between successive sample points, specified in metres

NOTE The distance sampling error is repetitive in nature; therefore, one way of quantifying this error is by its amplitude.

3.11

distance scale deviation

ΔS_L

average error of the distance scale, that is difference between the average displayed distance $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ and the correspondent reference distance D_{ref} divided by the reference distance, for example in m/m

NOTE 1 ΔS_L is given by the following formula:

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle - D_{\text{ref}}}{D_{\text{ref}}} = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 \quad (7)$$

where $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ is the displayed distance between two features on a fibre (actual or simulated) averaged over at least one sample spacing

NOTE 2 It is assumed that a relatively long distance, for example 2 000 m, is used in this formula.

3.12

distance scale factor

S_L

average displayed distance divided by the correspondent reference distance

NOTE 1 S_L is given by the following formula:

$$S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} \quad (8)$$

where $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ is the displayed distance between two features on a fibre (actual or simulated) averaged over at least one sample spacing

NOTE 2 It is assumed that relatively long distances are used in this formula.

3.13

distance scale uncertainty

$\sigma_{\Delta S_L}$

uncertainty of the distance scale deviation, for example in m/m

NOTE 1 $\sigma_{\Delta SL}$ est donné par la formule suivante:

$$\sigma_{\Delta SL} = \sigma_{\left(\frac{D_{otdr}}{D_{ref}} \right)} = \sigma_{\left(\frac{D_{otdr}}{D_{ref}} \right)} \quad (9)$$

NOTE 2 On suppose que la distance est relativement longue, car des distances courtes peuvent conduire à de plus grandes incertitudes.

NOTE 3 Dans la formule ci-dessus, $\sigma()$ est compris comme étant l'incertitude type de $()$.

3.14

dynamique (aller simple)

amplitude d'affaiblissement de la fibre nécessaire pour que le signal de rétrodiffusion soit égal au niveau de bruit

NOTE Elle peut être obtenue par la différence entre le point extrapolé de la courbe de rétrodiffusion (pris à l'intersection de l'axe des affaiblissements) et le niveau de bruit exprimé en décibels, en utilisant une fibre normale de catégorie B (voir CEI 60793-1).

3.15

incertitude élargie

pour un degré de confiance donné, gamme d'incertitudes à l'intérieur de laquelle se trouve la valeur réelle de la quantité mesurée

NOTE 1 Pour plus d'informations, voir l'Annexe D et le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* de l'ISO.

NOTE 2 Lorsque la distribution des incertitudes est supposée gaussienne et que le degré de confiance (estimé) est 95 %, alors, pour un grand nombre de mesures, l'incertitude type est définie comme étant ± 2 fois l'écart type.

3.16

indice de groupe

N

nombre par lequel la vitesse de la lumière dans le vide doit être divisée pour obtenir la vitesse de propagation des impulsions optiques dans la fibre

3.17

position

L

distance (réelle ou simulée) entre la face avant de l'OTDR et un événement sur la fibre, par exemple en mètres

3.18

erreur de position

ΔL

position affichée d'un événement L_{otdr} moins la position de référence L_{ref} , par exemple en mètres

NOTE Cette erreur est fonction de la position.

3.19

décalage de position

ΔL_0

terme additif (constant) du modèle d'erreur de position utilisé dans cette norme, par exemple en mètres

NOTE Ce décalage est approximativement équivalent à la position du connecteur de face avant de l'OTDR sur l'échelle des distances de l'instrument (pour un OTDR parfait, le décalage de position est zéro).

3.20

incertitude de décalage de position

$\sigma_{\Delta L_0}$

incertitude du décalage de position exprimée en mètres

NOTE 1 $\sigma_{\Delta SL}$ is given by the following formula:

$$\sigma_{\Delta SL} = \sigma_{\left(\frac{D_{otdr}}{D_{ref}} \right)} = \sigma_{\left(\frac{D_{otdr}}{D_{ref}} \right)} \quad (9)$$

NOTE 2 It is assumed that the distance is relatively long, because short distances may lead to larger uncertainties.

NOTE 3 In the above formula, $\sigma()$ is understood as the standard uncertainty of $()$.

3.14

dynamic range (one-way)

amount of fibre attenuation that causes the backscatter signal to equal the noise level

NOTE It can be represented by the difference between the extrapolated point of the backscattered trace (taken at the intercept with the power axis) and the noise level expressed in decibels, using a standard category B fibre (see IEC 60793-1)

3.15

expanded uncertainty

range of uncertainties within which the true value of the measured quantity lies, at the given confidence level

NOTE 1 For further information, see Annex D and the ISO *Guide for the expression of uncertainty in measurement*.

NOTE 2 When the distribution of uncertainties is assumed to be gaussian, and the (estimated) confidence level is 95 %, then for a large number of measurements, the standard uncertainty is defined by ± 2 times the standard deviation.

3.16

group index

N

factor by which the speed of light in vacuum has to be divided to yield the propagation velocity of light pulses in the fibre

3.17

location

L

spacing (actual or simulated) between the front panel of the OTDR and a feature in a fibre, for example in metres

3.18

location error

ΔL

displayed location of a feature L_{otdr} minus the reference location L_{ref} , for example in metres

NOTE This error is a function of the location

3.19

location offset

ΔL_0

(constant) additive term of the location error model used in this standard, for example, in metres

NOTE This is approximately equivalent to the location of the OTDR front panel connector on the instrument's distance scale (for a perfect OTDR, the location offset is zero).

3.20

location offset uncertainty

$\sigma_{\Delta L_0}$

uncertainty of the location offset expressed in metres

3.21

incertitude d'affichage de position

$\sigma_{Lreadout}$

incertitude de la mesure de position due à la fois à l'erreur de pas d'échantillonnage et à l'incertitude de type A sur la mesure des points, sous la forme de la moitié de l'intervalle confiance, en mètres

3.22

écart d'affaiblissement

ΔS_A

différence entre l'affaiblissement affiché d'un composant de la fibre A_{otdr} et l'affaiblissement de référence A_{ref} , divisée par l'affaiblissement de référence, en dB/dB

NOTE 1 ΔS_A est donné par la formule suivante:

$$\Delta S_A = \frac{A_{otdr} - A_{ref}}{A_{ref}} \quad (10)$$

NOTE 2 L'écart d'affaiblissement dépend habituellement du niveau de puissance affiché, F .

3.23

facteur d'échelle affaiblissement

S_A

rapport (fonction du niveau de puissance) entre l'affaiblissement affiché et l'affaiblissement de référence, en dB/dB

NOTE S_A est donné par la formule suivante:

$$S_A = \frac{A_{otdr}}{A_{ref}} \quad (11)$$

3.24

incertitude d'affaiblissement

$\sigma_{\Delta S_A}$

incertitude de l'écart d'affaiblissement, en dB/dB

3.25

niveau de bruit

limite supérieure d'un ensemble de points de bruit contenant au moins 98 % de tous les points de bruit

3.26

non-linéarité (de l'échelle de puissance logarithmique)

différence entre les valeurs maximale et minimale du facteur d'échelle affaiblissement S_A pour une gamme de niveaux de puissance donnée, en dB/dB

NOTE 1 Le niveau de puissance affiché peut être modifié en changeant la puissance incidente sur le composant.

NOTE 2 La non-linéarité est une contribution à l'écart d'affaiblissement; elle dépend habituellement du niveau de puissance affiché et de la position.

3.27

niveau de puissance

a) niveau de puissance reçu, P

puissance reçue par l'OTDR sur sa connexion optique

b) niveau de puissance affiché, F

niveau de puissance affiché sur l'échelle de puissance de l'OTDR

NOTE 1 Sauf spécification contraire, F est défini par rapport au niveau de saturation (voir Figure 8).

NOTE 2 Habituellement, l'échelle d'un OTDR affiche cinq fois le logarithme de la puissance reçue, plus un décalage constant.

3.21**location readout uncertainty** σ_{Lreadout}

uncertainty of the location measurement samples caused by both the distance sampling error and the uncertainty type A of the measurement samples, in the form of the half-width of a confidence interval, in metres

3.22**loss deviation** ΔS_A

difference between the displayed loss of a fibre component A_{otdr} and the reference loss A_{ref} , divided by the reference loss, in dB/dB

NOTE 1 ΔS_A is given by the following formula:

$$\Delta S_A = \frac{A_{\text{otdr}} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad (10)$$

NOTE 2 The loss deviation usually depends on the displayed power level, F .

3.23**loss scale factor** S_A

(power level dependent) ratio of the displayed loss and the reference loss, in dB/dB

NOTE S_A is given by the following formula:

$$S_A = \frac{A_{\text{otdr}}}{A_{\text{ref}}} \quad (11)$$

3.24**loss uncertainty** $\sigma_{\Delta S_A}$

uncertainty of the loss deviation, in dB/dB

3.25**noise level**

upper limit of a range which contains at least 98 % of all noise data points

3.26**non-linearity (of logarithmic power scale)**

difference between the maximum and minimum values of the loss scale factor S_A for a given range of power levels, in dB/dB

NOTE 1 Changes of the displayed power level can be produced by changing the incident power to the component.

NOTE 2 Non-linearity is one contribution to loss deviation; it usually depends on the displayed power level and the location.

3.27**power level****a) received power level, P**

power received by the OTDR's optical port

b) displayed power level, F

level displayed on the OTDR's power scale

NOTE 1 Unless otherwise specified, F is defined in relation to the clipping level (see Figure 8).

NOTE 2 Usually, the OTDR scale displays five times the logarithm of the received power, plus a constant offset.

3.28

distance de référence

D_{ref}

distance entre deux événements sur une fibre ou une longueur de fibre, réels ou simulés, déterminée précisément par un autre instrument de mesure que l'OTDR, habituellement exprimée en mètres

3.29

position de référence

L_{ref}

distance entre la face avant de l'OTDR et un événement sur la fibre, réel ou simulé, déterminée précisément par un autre instrument de mesure que l'OTDR, habituellement exprimée en mètres

3.30

affaiblissement de référence

A_{ref}

affaiblissement d'un composant de fibre optique, réel ou simulé, déterminé précisément par des moyens autres que l'utilisation directe de l'échelle de puissance de l'OTDR, en décibels

3.31

réflectance

R

rapport entre la puissance réfléchie (en watts) et la puissance incidente (en watts), situé à une position discrète d'un composant de fibre optique

NOTE 1 R est donné par la formule suivante:

$$R = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{inc}}} \right) \quad (12)$$

où P_{refl} = la puissance réfléchie, par exemple en watts;

P_{inc} = la puissance incidente, par exemple en watts.

NOTE 2 Dans ce document, la réflectance est exprimée en décibels.

NOTE 3 Les valeurs de réflectance sont négatives.

NOTE 4 Dans le cadre de ce document, la réflectivité, ρ , est définie comme étant la valeur linéaire de la réflectance:

$$\rho = \frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{inc}}} \quad (13)$$

3.32

pas d'échantillonnage

distance entre deux points consécutifs numérisés par l'OTDR, par exemple en mètres

NOTE Le pas d'échantillonnage peut être obtenu à partir des informations de configuration de l'instrument. Le pas d'échantillonnage peut être fonction de la longueur de balayage horizontal et d'autres paramètres de configuration de l'OTDR.

3.33

largeur spectrale

$\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$

largeur totale à mi-hauteur du spectre (FWHM) de la source

NOTE 1 Pour un spectre discontinu, par exemple le spectre d'une diode laser de type Fabry-Perot, la largeur spectrale est définie comme étant la largeur totale à mi-hauteur de l'enveloppe du spectre. Celle-ci est calculée à partir de la largeur spectrale efficace, $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$:

$$\Delta\lambda_{\text{RMS}} = \left(\frac{\sum P_i \lambda_i^2}{P_{\text{total}}} - \lambda_{\text{centre}}^2 \right)^{1/2} \quad (14)$$

3.28**reference distance** **D_{ref}**

distance between features in a fibre or the length of a fibre, actual or simulated, precisely determined with the help of measurement equipment other than the OTDR, usually expressed in metres

3.29**reference location** **L_{ref}**

spacing between the OTDR's front panel and a feature on the fibre, actual or simulated, precisely determined with the help of measurement equipment other than the OTDR, usually expressed in metres

3.30**reference loss** **A_{ref}**

loss of a fibre optic component, actual or simulated, precisely determined by means other than direct usage of the OTDR's power scale, in decibels

3.31**reflectance** **R**

the ratio of the reflected power (in watts), to the incident power (in watts), at a discrete location in a fibre optic component

NOTE 1 R is given by the following formula:

$$R = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{inc}}} \right) \quad (12)$$

where P_{refl} = the reflected power, e.g. in watts;

P_{inc} = the incident power, e.g. in watts;

NOTE 2 In this document, reflectance is expressed in decibels.

NOTE 3 Reflectance values are negative.

NOTE 4 For the purpose of this document, the reflectivity, ρ , is defined as the linear value of the reflectance:

$$\rho = \frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{inc}}} \quad (13)$$

3.32**sample spacing**

distance between two consecutive data points digitized by the OTDR, for example, in metres

NOTE Sample spacing may be obtainable from instrument set-up information. Sample spacing may depend on the measurement span and other OTDR instrument settings.

3.33**spectral width** **$\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$**

full-width half-maximum (FWHM) spectral width of the source

NOTE 1 For a non-continuous spectrum, for example the spectrum of a Fabry-Perot type laser diode, the spectral width is defined as the FWHM of the spectral envelope, to be calculated from the RMS spectral width, $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$:

$$\Delta\lambda_{\text{RMS}} = \left(\frac{\sum P_i \lambda_i^2}{P_{\text{total}}} - \lambda_{\text{centre}}^2 \right)^{1/2} \quad (14)$$

conduisant à

$$\Delta\lambda_{\text{FWHM}} = M\Delta\lambda_{\text{RMS}} \quad (15)$$

où

λ_{centre} est la longueur d'onde centrale dans le vide de la diode laser;

$P_{\text{total}} = \sum P_i$ est la puissance totale, en watts;

P_i est la puissance du $i^{\text{ème}}$ mode longitudinal;

λ_i est la longueur d'onde du $i^{\text{ème}}$ mode longitudinal dans le vide;

M est le facteur multiplicatif; pour une source ayant une enveloppe gaussienne $M = 2,35$; pour les autres types de spectre, utiliser $M = 2,35$ également.

NOTE 2 Si le laser n'émet qu'à une seule longueur d'onde (spectre à une raie), la spécification d'une limite supérieure est suffisante, par exemple largeur spectrale < 1 nm.

3.34

incertitude type

incertitude d'un résultat de mesure exprimée comme écart type

NOTE Pour plus d'informations, voir l'Annexe D et le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* de l'ISO.

3.35

incertitude de type A

incertitude obtenue par l'analyse statistique d'une série d'observations

NOTE Pour plus d'informations, voir l'Annexe D et le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* de l'ISO.

3.36

incertitude de type B

incertitude obtenue par d'autres moyens que l'analyse statistique d'une série d'observations

NOTE 1 Pour plus d'informations, voir l'Annexe D et le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* de l'ISO.

NOTE 2 Les «autres moyens» peuvent comprendre des résultats de mesures précédentes, l'expérience ou les connaissances générales liées au comportement ou aux propriétés du matériel ou des instruments concernés, les spécifications données par le constructeur, les données provenant de certificats d'étalonnage ou autres, et les incertitudes attribuées aux données de référence dans les manuels.

4 Exigences concernant les essais d'étalonnage

4.1 Préparation

Sauf spécification contraire, effectuer tous les essais à une température ambiante de $23 \text{ °C} \pm 3 \text{ °C}$, avec un taux d'humidité relative de $(50 \pm 20) \%$. Mettre les équipements d'essai en place au minimum 2 h avant les essais, de manière à atteindre un équilibre avec les conditions de leur environnement. Faire subir à l'OTDR un temps de chauffe conforme aux instructions du constructeur.

4.2 Conditions d'essais

Les conditions d'essais se caractérisent en général par les paramètres externes à l'OTDR suivants: date, température, humidité (sans condensation), type de fibre, couple connecteur-raccord et utilisation d'une fibre amorce.

Effectuer l'étalonnage conformément aux spécifications et aux modes opératoires du constructeur. Lorsque cela est possible, sélectionner une gamme de conditions et de paramètres de manière à simuler le domaine d'utilisation réel de l'OTDR soumis à l'essai. Sélectionner ces paramètres afin d'optimiser la précision de l'OTDR et ses capacités de résolution (par exemple fenêtres de visualisation, caractéristiques du zoom, etc.), comme indiqué dans les modes opératoires du constructeur.

leading to

$$\Delta\lambda_{\text{FWHM}} = M\Delta\lambda_{\text{RMS}} \quad (15)$$

where

λ_{centre} is the centre wavelength of the laser diode in vacuum;

$P_{\text{total}} = \sum P_i$ is the total power, in watts;

P_i is the power of the i^{th} longitudinal mode;

λ_i is the wavelength of the i^{th} longitudinal mode in vacuum;

M is the multiplication factor; for a source with a gaussian envelope, $M = 2,35$; for other types of spectra, use $M = 2,35$ as well.

NOTE 2 If the laser emits at one wavelength only (single-line spectrum), it may be sufficient to specify an upper limit, for example spectral width <1 nm.

3.34

standard uncertainty

uncertainty of a measurement result expressed as a standard deviation

NOTE For further information, see Annex D and the ISO *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

3.35

uncertainty type A

uncertainty obtained by the statistical analysis of a series of observations

NOTE For further information, see Annex D and the ISO *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

3.36

uncertainty type B

uncertainty obtained by means other than the statistical analysis of a series of observations

NOTE 1 For further information, see Annex D and the ISO *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

NOTE 2 "Other means" may include previous measurement data, experience with, or general knowledge of, the behaviour and properties of relevant materials and instruments, manufacturers' specifications, data provided in calibration and other certificates, and uncertainties assigned to reference data taken from handbooks.

4 Calibration test requirements

4.1 Preparation

Perform all tests at an ambient room temperature of $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, with a relative humidity of $(50 \pm 20)\%$, unless otherwise specified. Give the test equipment a minimum of 2 h prior to testing to reach equilibrium with its environment. Allow the OTDR a warm-up period according to the manufacturer's instruction.

4.2 Test conditions

The test conditions usually include the following OTDR external conditions: date, temperature, humidity (non-condensing), fibre type, connector-adaptor combination and use of a lead-in fibre.

Perform the calibration in accordance with the manufacturer's specifications and operating procedures. Where practical, select a range of test conditions and parameters so as to emulate the actual field operating conditions of the OTDR under test. Choose these parameters so as to optimize the OTDR's accuracy and resolution capabilities (for example, view windows, zoom features, etc.), as specified by the manufacturer's operating procedures.

Les conditions d'essais prennent généralement en compte les paramètres de l'OTDR suivants: temps de moyennage, puissance d'impulsion, forme d'impulsion, largeur d'impulsion, taux de répétition des impulsions, pas d'échantillonnage, longueur d'onde centrale, largeur spectrale, utilisation de masques optiques et électroniques. Sauf spécification contraire, régler la valeur de l'indice de groupe de l'OTDR à exactement 1,46.

Enregistrer les conditions d'essai comme indiqué à l'Article 10.

NOTE 1 Les résultats de l'étalonnage ne sont valables que pour les conditions de mesures utilisées dans la procédure d'étalonnage.

NOTE 2 Du fait du risque de radiations dangereuses, s'assurer que les conditions de sécurité concernant le laser sont remplies et maintenues. Se référer à la CEI 60825-1 et à la CEI 60825-2.

4.3 Traçabilité

S'assurer que tous les équipements d'essai ayant une influence significative sur les résultats de l'étalonnage sont étalonnés en une chaîne de mesure continue, reconnue au plan national ou par rapport à une constante physique naturelle. Si la demande en est faite, décrire ces équipements et la ou les chaînes d'étalonnage. La périodicité des vérifications doit être définie et documentée.

5 Etalonnage des distances – Généralités

L'objectif de l'étalonnage des distances est de déterminer les écarts (erreurs) entre les distances mesurées et les distances réelles entre des points d'une fibre, et de caractériser les incertitudes de ces écarts.

Un OTDR mesure la position L d'un événement par rapport au point de connexion de la fibre sur l'appareil, en mesurant le temps de parcours aller-retour T d'une impulsion lumineuse jusqu'à cet événement. L est déduit de T à l'aide de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide $c(2,997\,924\,58 \times 10^8 \text{ m/s})$ et de l'indice de groupe N de la fibre:

$$L = \frac{cT}{2N} \quad (16)$$

Les erreurs sur la mesure de L proviennent d'erreurs d'échelles, de décalages de la base de temps de l'OTDR et d'erreurs de positionnement de l'événement par rapport à la base de temps. Le placement d'un marqueur destiné à mesurer la position de l'événement peut être effectué manuellement ou de façon automatique par l'instrument. Généralement, l'erreur de mesure dépend à la fois de la méthode de placement du marqueur et du type d'événement (par exemple affaiblissement ponctuel, forte réflexion qui sature le récepteur ou faible réflexion sans saturation).

Même des erreurs plus importantes sur la mesure de L peuvent provenir de l'incertitude sur la détermination de l'indice de groupe de la fibre N . La détermination de N n'est pas l'objet de cette norme. C'est pourquoi les procédures d'étalonnage ci-après n'examinent que la capacité de l'OTDR à mesurer T correctement. Dans cette norme, on utilise une valeur par défaut $N = 1,46$ et l'on considère l'incertitude sur N comme nulle.

5.1 Modèle d'erreur de position

Afin de caractériser les erreurs de localisation, on admet un modèle spécifique décrivant le comportement de la plupart des OTDR. Soit L_{ref} la position de référence d'un événement par rapport au connecteur d'entrée de l'OTDR et L_{otdr} la position affichée. On admet que la position affichée L_{otdr} , après élimination du bruit à l'aide du moyennage de l'OTDR, est fonction de la position de référence L_{ref} :

$$L_{\text{otdr}} = S_L \cdot L_{\text{ref}} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref}}) \quad (17)$$

The test conditions usually include the following OTDR parameters: averaging time, pulse power, pulse shape, pulse width, pulse repetition rate, sample spacing, centre wavelength, spectral width, use of optical and electronic masking. Unless otherwise specified, set the OTDR group index to exactly 1,46.

Record the conditions as specified in Clause 10.

NOTE 1 The calibration results only apply to the set of test conditions used in the calibration process.

NOTE 2 Because of the potential for hazardous radiation, be sure to establish and maintain conditions of laser safety. Refer to IEC 60825-1 and IEC 60825-2.

4.3 Traceability

Make sure that all test equipment which has a significant influence on the calibration results is calibrated in an unbroken chain to the appropriate national standard or natural physical constant. Upon request, specify this test equipment and its calibration chain(s). The recalibration period(s) shall be defined and documented.

5 Distance calibration – General

The objective of distance calibration is to determine deviations (errors) between the measured and actual distances between points on a fibre, and to characterize the uncertainties of these deviations.

An OTDR measures the location L of a feature from the point where a fibre is connected to the instrument, by measuring the round-trip transit time T for a light pulse to reach the feature and return. L is calculated from T using the speed of light in vacuum $c(2,997\,924\,58 \times 10^8$ m/s) and the group index N of the fibre:

$$L = \frac{cT}{2N} \quad (16)$$

Errors in measuring L will result from scale errors, from offsets in the timebase of the OTDR and from errors in locating a feature relative to the timebase. Placing a marker in order to measure the location may be done manually or automatically by the instrument. The error will, generally, depend on both the marker placement method and the type of feature (for example, a point loss, a large reflection that saturates the receiver or a small reflection that does not).

Even larger errors in measuring L may result from the uncertainty in determining the fibre's group index N . The determination of N is beyond the scope of this standard. Consequently, the calibration procedures below only discuss the OTDR's ability to measure T correctly. For the purpose of this standard, a default value $N = 1,46$ is used and the uncertainty of N is considered to be 0.

5.1 Location error model

In order to characterize location errors, a specific model will be assumed that describes the behaviour of most OTDRs. Let L_{ref} be the reference location of a feature from the front panel connector of the OTDR and let L_{otdr} be the displayed location. It is assumed that the displayed location L_{otdr} , using OTDR averaging to eliminate noise, depends functionally on the reference location L_{ref} in the following way:

$$L_{\text{otdr}} = S_L \cdot L_{\text{ref}} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref}}) \quad (17)$$

où

S_L est le facteur d'échelle, dont la valeur idéale est 1;

ΔL_0 est le décalage de position, dont la valeur idéale est 0;

$f(L_{ref})$ représente l'erreur d'échantillonnage en distance, dont la valeur idéale est aussi 0. Il s'agit d'une fonction périodique, dont la valeur moyenne est zéro et la période est égale à la distance entre deux points d'échantillonnage de l'OTDR. Par exemple, si on localise une réflexion large en plaçant un marqueur sur le premier point de la courbe montrant une augmentation du signal et si la position de la réflexion est modifiée pas à pas, $f(L_{ref})$ peut avoir l'aspect d'une forme d'onde à rampe périodique.

L'équation (17) a pour objectif de caractériser les erreurs connues des mesures de position, mais il peut toujours s'ajouter une incertitude de type A à celles-ci. Cela affectera à la fois la mesure des distances et la précision avec laquelle les paramètres qui décrivent les erreurs peuvent être déterminés par les procédures ci-après.

S_L et ΔL_0 peuvent être déterminés en mesurant L_{otdr} pour différentes valeurs de L_{ref} et en traçant ensuite une droite à partir des données obtenues, en utilisant la méthode des moindres carrés. S_L et ΔL_0 sont, respectivement, la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite.

De la même manière, une droite peut être associée à la fonction erreur de position, c'est-à-dire la différence entre L_{otdr} et L_{ref} :

$$\Delta L = L_{otdr} - L_{ref} = \Delta S_L \cdot L_{ref} + \Delta L_0 + f(L_{ref}) \quad (18)$$

où

ΔS_L est la pente, et

ΔL_0 est l'ordonnée à l'origine, comme le montre la Figure 2.

Après une approximation linéaire, il est possible de déterminer l'erreur d'échantillonnage en distance $f(L_{ref})$ et sa demi-amplitude $\Delta L_{readout}$ en mesurant les écarts par rapport à la droite pour différentes valeurs de L_{ref} . L'amplitude de l'erreur d'échantillonnage en distance ΔL_{sample} est prise comme la moitié de l'amplitude de $f(L_{ref})$.

Dans cette norme, l'amplitude de l'erreur d'échantillonnage en distance ΔL_{sample} est considérée comme partie intégrante de l'incertitude de type A sur la position affichée. Le résultat de l'incertitude énoncé ignore ainsi la nature répétitive de l'erreur d'échantillonnage, c'est-à-dire qu'il ne fait pas la distinction entre les contributions respectives de l'erreur d'échantillonnage et de l'incertitude de type A.

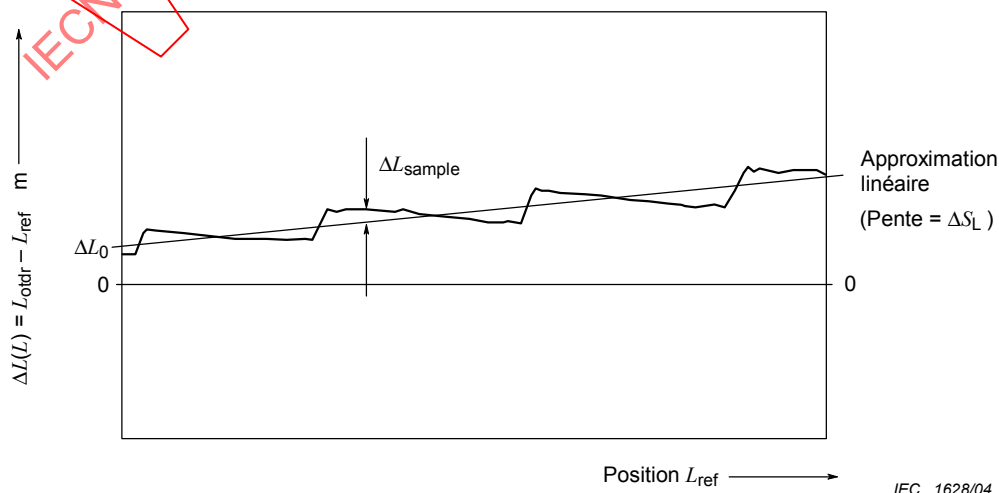


Figure 2 – Représentation de l'erreur de position $\Delta L(L)$

where

S_L is the scale factor, which ideally should be 1;

ΔL_0 is the location offset, which ideally should be 0;

$f(L_{\text{ref}})$ represents the distance sampling error, which is also ideally 0. The distance sampling error is a periodic function with a mean of zero and a period equal to the distance interval between sampled points on the OTDR. As an example, if the location of a large reflection is measured by placing a marker on the first digitized point that shows an increase in signal and the position of the reflection is incremented in fine steps, then $f(L_{\text{ref}})$ may be shaped like a periodic ramp waveform.

Equation (17) is meant to characterize known errors in location measurements, but there may still be an additive uncertainty type A. This will affect both the distance measurements and the accuracy with which parameters describing the errors can be determined by the procedures below.

S_L and ΔL_0 may be determined by measuring L_{otdr} for different values of L_{ref} , then fitting a straight line to the data by the least squares method. S_L and ΔL_0 are the slope and intercept, respectively.

Equivalently, a line may be fitted to the location error function, that is the difference between L_{otdr} and L_{ref} :

$$\Delta L = L_{\text{otdr}} - L_{\text{ref}} = \Delta S_L \cdot L_{\text{ref}} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref}}) \quad (18)$$

where

ΔS_L is the slope, and

ΔL_0 is still the intercept, as illustrated in Figure 2

After finding the linear approximation, the distance sampling error $f(L_{\text{ref}})$ respectively its half-amplitude $\Delta L_{\text{readout}}$ may be determined by measuring departures from the line for different values of L_{ref} . The distance sampling error amplitude ΔL_{sample} is taken as half the amplitude of $f(L_{\text{ref}})$.

In this standard, the distance sampling error amplitude ΔL_{sample} is treated as part of the location readout uncertainty type A. The stated uncertainty result thus ignores the repetitive nature of the sampling error, that is it does not distinguish between the relative contributions of the sampling error and the uncertainty type A.

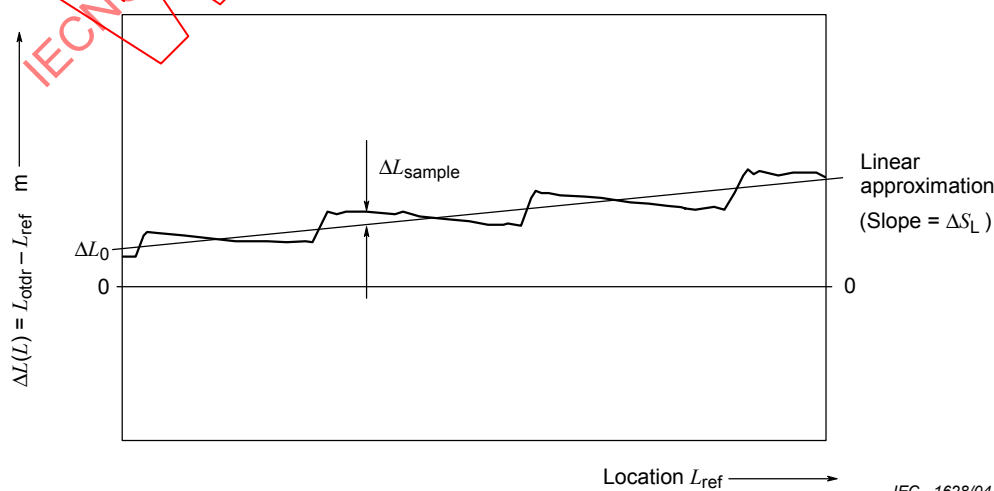


Figure 2 – Representation of the location error $\Delta L(L)$

En conséquence, le résultat de l'étalonnage des distances doit être déterminé par les paramètres suivants:

- $\Delta S_L, \sigma_{\Delta S_L}$ écart d'échelle des distances et son incertitude;
- $\Delta L_0, \sigma_{\Delta L_0}$ décalage de position et son incertitude;
- $\sigma_{L_{\text{readout}}}$ incertitude d'affichage de position, c'est-à-dire combinaison de l'incertitude due à l'erreur d'échantillonnage en distance et de l'incertitude de type A des échantillons de mesure, mise sous la forme d'un écart type.

Conformément aux «bases mathématiques», diviser le plus grand écart par rapport à l'approximation des moindres carrés par la racine carrée de 3 pour déterminer $\sigma_{L_{\text{readout}}}$. On notera que l'incertitude dépend de la distance, du niveau de puissance affiché et des réglages de l'appareil.

5.2 Utilisation des résultats d'étalonnage

L'erreur de position d'un événement $\Delta L = L_{\text{otdr}} - L_{\text{ref}}$ peut être calculée à partir des résultats d'étalonnage:

$$\Delta L = \Delta L_0 + L_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (19)$$

avec l'incertitude dans ΔL donnée par l'équation suivante, pour laquelle le degré de confiance recommandé de 95 % est utilisé:

$$\pm 2 \sigma_{\Delta L} = \pm 2 (\sigma_{\Delta L_0}^2 + L_{\text{ref}}^2 \sigma_{\Delta S_L}^2 + \sigma_{L_{\text{readout}}}^2)^{1/2} \quad (19a)$$

où la position affichée L_{otdr} peut remplacer la position de référence L_{ref} sans engendrer de conséquences significatives.

De la même façon, l'erreur sur la distance entre deux événements ΔD et son incertitude peuvent être calculées à l'aide de l'équation suivante:

$$\Delta D = D_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (20)$$

avec l'incertitude dans ΔD donnée par l'équation suivante:

$$\pm 2 \sigma_{\Delta D} = \pm 2 (D_{\text{ref}}^2 \sigma_{\Delta S_L}^2 + 2 \sigma_{L_{\text{readout}}}^2)^{1/2} \quad (20a)$$

où la distance affichée D_{otdr} peut remplacer la distance de référence D_{ref} .

NOTE Le 2 devant $\sigma_{L_{\text{readout}}}^2$ provient de la combinaison de deux incertitudes non corrélées.

Des incertitudes supplémentaires peuvent être à prendre en compte si le type d'événement rencontré diffère de celui utilisé pour l'étalonnage. Le type d'événement est indissociable des résultats de l'étalonnage et sera spécifié.

5.3 Mesure des longueurs de fibre

Comme indiqué précédemment, une méthode pour étalonner l'OTDR en distance consiste à mesurer avec l'OTDR des fibres de longueur connue. A plusieurs reprises dans cette norme, il est exigé de déterminer les longueurs de fibre en utilisant la mesure du temps de transit de préférence à une mesure mécanique. Cette méthode est directement compatible avec le principe de mesure de l'OTDR lui-même. De plus, le temps de transit est habituellement mesurable avec une plus grande précision que la longueur mécanique, particulièrement pour les grandes longueurs. C'est pourquoi il est recommandé, dans cette norme, d'utiliser le temps de transit plutôt que la longueur de fibre quand la précision demandée est importante.

Therefore, the result of the distance calibration shall be stated by the following parameters:

- $\Delta S_L, \sigma_{\Delta S_L}$ the distance scale deviation and its uncertainty;
- $\Delta L_0, \sigma_{\Delta L_0}$ the location offset and its uncertainty;
- $\sigma_{L_{\text{readout}}}$ the location readout uncertainty, that is the combined uncertainty due to the distance sampling error and the uncertainty type A of the measurement samples, in the form of a standard deviation.

In compliance with the "mathematical basis", divide the largest excursions from the least-squares approximation by the square root of 3 for stating $\sigma_{L_{\text{readout}}}$. Note that the uncertainty will depend on the distance, the displayed power level and the instrument settings.

5.2 Using the calibration results

The error in the location of a feature $\Delta L = L_{\text{otdr}} - L_{\text{ref}}$ can be calculated from the calibration results:

$$\Delta L = \Delta L_0 + L_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (19)$$

with the uncertainty in ΔL given by the following formula, in which the recommended confidence level of 95 % is used:

$$\pm 2 \sigma_{\Delta L} = \pm 2 (\sigma_{\Delta L_0}^2 + L_{\text{ref}}^2 \sigma_{\Delta S_L}^2 + \sigma_{L_{\text{readout}}}^2)^{1/2} \quad (19a)$$

where the displayed location L_{otdr} can be used instead of the reference location L_{ref} without serious consequences.

Similarly, the error in the distance between two features ΔD and its uncertainty can be calculated from the following formula:

$$\Delta D = D_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (20)$$

with uncertainty in ΔD given by the following formula:

$$\pm 2 \sigma_{\Delta D} = \pm 2 (D_{\text{ref}}^2 \sigma_{\Delta S_L}^2 + 2 \sigma_{L_{\text{readout}}}^2)^{1/2} \quad (20a)$$

where the displayed distance D_{otdr} can be used instead of the reference distance D_{ref} .

NOTE The 2 in front of $\sigma_{L_{\text{readout}}}^2$ is due to combining two uncorrelated uncertainties.

Additional uncertainties may have to be taken into account if the type of feature is different from the feature used in the calibration. Specify the type of feature as part of the calibration result.

5.3 Measuring fibre length

As indicated above, one of the methods of OTDR distance calibration is to measure fibres of known length with the OTDR. In several instances in this standard, it is required that fibre length be determined using the fibre's transit time, in contrast to a mechanical length measurement. This method is directly compatible with the measurement principle of the OTDR itself. In addition, the transit time can usually be measured with better accuracy than its mechanical length, particularly when the fibre is long. Therefore, in this standard, it is suggested that fibre transit time instead of fibre length be used whenever accuracy is important.

Mesurer le temps de transit de la fibre T_{transit} à l'aide, par exemple, d'un générateur d'impulsion, d'une source laser pilotée, d'un convertisseur optique/électrique (convertisseur O/E) et d'un compteur d'intervalles de temps. Il est important que la source laser ait une longueur d'onde centrale λ_{centre} approximativement égale à celle de l'OTDR à tester, car une différence en longueur d'onde pourrait entraîner un écart sur le temps de transit dû à la dispersion chromatique de la fibre. A la place de la source laser, on peut utiliser l'OTDR lui-même pour produire des impulsions optiques. Dans ce cas, les deux longueurs d'onde centrales coïncident automatiquement. Enregistrer le temps de transit comme la différence des temps d'arrivée avec et sans fibre insérée entre la source laser et le convertisseur O/E.

Quand cette fibre est utilisée pour l'étalonnage des distances des OTDR, la distance de référence D_{ref} peut être calculée de la façon suivante:

$$D_{\text{ref}} = \frac{cT_{\text{transit}}}{N} \quad \text{m} \quad (21)$$

Dans cette équation, utiliser un indice de groupe N identique à celui qui est réglé sur l'OTDR. Le principe de mesure de temps permet d'utiliser D_{ref} comme distance de référence.

6 Méthodes d'étalonnage des distances

Chacune des trois méthodes d'étalonnage décrites ci-dessous permet d'obtenir la totalité des résultats nécessaires à l'étalonnage: décalage de position, écart d'échelle des distances, ainsi que les incertitudes associées.

6.1 Méthode de la source externe

6.1.1 Description sommaire et avantages

La méthode de la source externe utilise un générateur de retard étalonné pour simuler le temps de retard dans une fibre et une source optique pour simuler le signal réfléchi ou diffusé d'une fibre.

Cette méthode est bien adaptée aux laboratoires automatisés effectuant des essais contrôlés par ordinateur. A des fins de simplification, seuls les événements réfléchissants sont étudiés dans cette norme. Pour étalonner un OTDR pour des événements non réfléchissants, il convient de remplacer le convertisseur E/O décrit ci-après par une source optique simulant l'événement adéquat.

6.1.2 Equipement

Outre l'OTDR, le banc de mesure comporte les éléments suivants, comme indiqué à la Figure 3:

- a) un coupleur optique;
- b) un convertisseur optique/électrique;
- c) un générateur de retard numérique capable d'impulsion;
- d) un convertisseur électrique/optique;
- e) un atténuateur optique variable, pour maintenir l'amplitude d'impulsion juste en dessous du niveau de saturation.

Measure the transit time of the fibre T_{transit} with the help, for example, of a pulse generator, a triggerable laser source, an optical-to-electrical converter (O/E converter) and a time interval counter. It is important that the laser source has approximately the same centre wavelength λ_{centre} as the test OTDR, because a difference in wavelength may result in a difference of transit time due to the chromatic dispersion of the fibre. An alternative to the laser source is using the OTDR itself to produce optical pulses; in this case, the centre wavelengths automatically coincide. Record the transit time as the difference between the arrival times with and without the fibre inserted between the laser source and the O/E converter.

When this fibre is used for OTDR distance calibrations, then the reference distance D_{ref} can be calculated by

$$D_{\text{ref}} = \frac{cT_{\text{transit}}}{N} \quad \text{m} \quad (21)$$

In this equation, use a group index N which is identical with the OTDR's group index setting. The time measurement principle makes it possible to use D_{ref} as the reference distance.

6 Distance calibration methods

Each of the three alternative calibration methods described below is capable of determining all of the necessary calibration results: location offset, distance scale deviation, and their uncertainties.

6.1 External source method

6.1.1 Short description and advantage

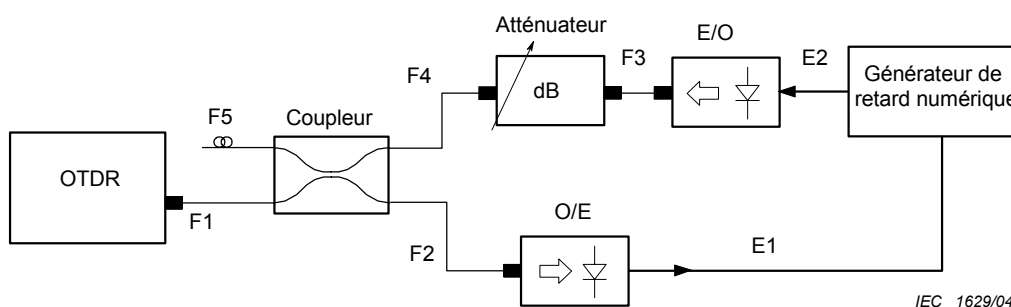
The external source method uses a calibrated time-delay generator to simulate the time delay in a fibre and an optical source to simulate the reflected or scattered signal from a fibre.

The method is well suited to automated laboratory testing under computer control. For simplicity, only reflective features are discussed in this standard. To calibrate the OTDR for features other than reflection, the pulsed E/O converter described below should be replaced by an optical source that simulates the appropriate feature.

6.1.2 Equipment

In addition to the OTDR, the measurement equipment includes, as shown in Figure 3:

- a) an optical coupler;
- b) an optical-to-electrical converter;
- c) a digital delay generator with pulse capability;
- d) an electrical to optical converter;
- e) a variable optical attenuator, for reduction of the pulse amplitude to just below the clipping level.



IEC 1629/04

Légende

F1, F2, F3, F4 et F5	fibres
E1 et E2	câbles électriques
E/O	convertisseur électrique/optique
O/E	convertisseur optique/électrique

Figure 3 – Banc de mesure pour l'étalonnage de l'échelle des distances – Méthode de la source externe

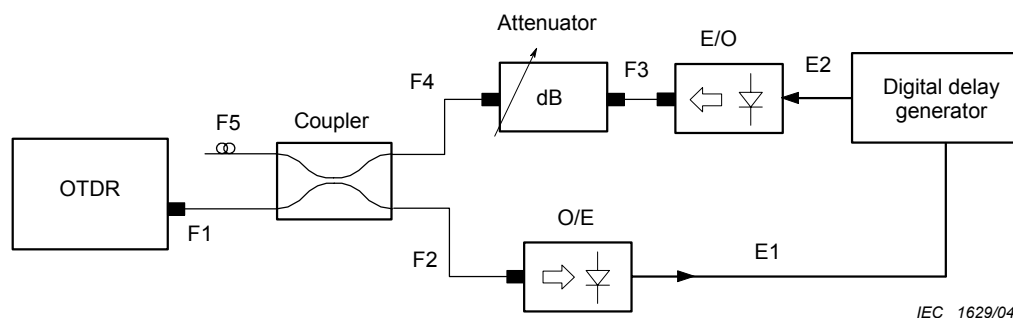
Le coupleur achemine le signal de l'OTDR vers le convertisseur O/E (détecteur). Le détecteur déclenche le générateur de retard qui, après une temporisation connue, déclenche une impulsion optique. Cette impulsion est ensuite renvoyée à l'OTDR par le coupleur.

Le convertisseur E/O peut être un simple laser pulsé simulant la réflexion. Pour étalonner l'échelle des distances en présence d'événements réfléchissants, une amplitude et une largeur d'impulsion constantes sont considérées comme suffisantes. Toutefois, l'atténuateur permet d'ajuster l'amplitude de l'impulsion en fonction de la distance entre la réflexion et la face avant de l'OTDR, de manière à simuler la modification de l'amplitude de la réflexion provoquée par l'affaiblissement de la fibre.

Afin de réaliser un étalonnage précis de ce montage, il est recommandé que les fibres F1 et F5 aient la même longueur (voir ci-après). Les cercles au niveau de la fibre F5 matérialisent des boucles de moins de 1 cm de diamètre, destinées à absorber les réflexions provenant de l'extrémité de la fibre F5. Des méthodes de terminaisons optiques différentes sont également acceptables.

6.1.3 Etalonnage du banc de mesure

Le banc de mesure «source externe» doit être correctement étalonné avant utilisation. On suppose le générateur de retard numérique étalonné de façon valable. Le calcul du décalage de position ΔL_0 à partir des données mesurées nécessite également la connaissance du retard à l'insertion T_{delay} de l'appareil. Celui-ci peut être obtenu en ajoutant au montage un générateur d'impulsion et un compteur d'intervalles de temps étalonné, comme indiqué à la Figure 4.

**Key**

F1, F2, F3, F4 and F5	fibres
E1 and E2	electric cables
E/O	electrical-to-optical converter
O/E	optical-to-electrical converter

**Figure 3 – Equipment for calibration of the distance scale –
External source method**

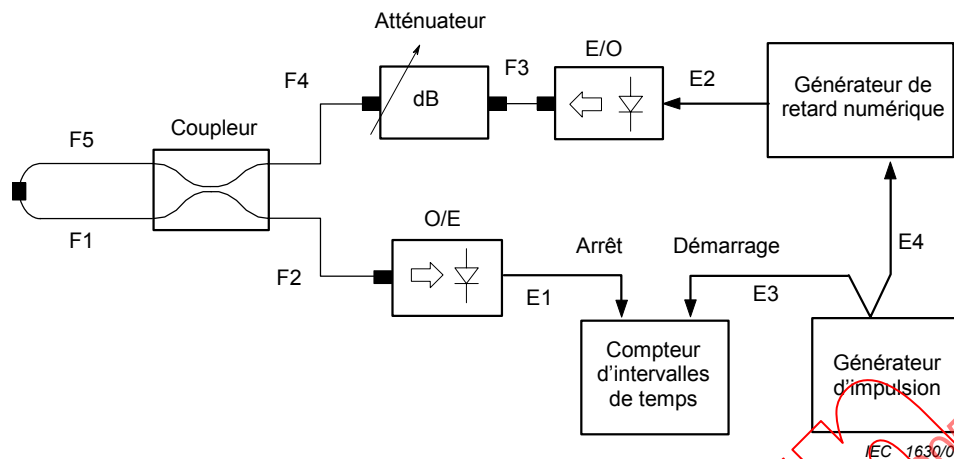
The coupler routes the OTDR signal to the O/E converter (detector). The detector triggers the delay generator, which, after a known time delay, causes an optical pulse to be generated. This pulse is then coupled back to the OTDR.

The E/O converter can be a simple pulsed laser that simulates a reflection. Constant pulse amplitude and pulse width are considered adequate to calibrate the distance scale for reflective features. However, the attenuator makes it possible to adjust the pulse amplitude based on the distance of the reflection from the front panel of the OTDR, in order to simulate the change of reflection amplitude caused by the attenuation of the fibre.

To allow accurate calibration of the set-up, fibres F1 and F5 should have the same length (see below). The circles in fibre F5 indicate fibre loops of less than 1 cm in diameter, in order to absorb reflections from the end of F5. Other optical termination methods are also acceptable.

6.1.3 Calibration of the equipment

Before using the "external source" equipment, it shall be properly calibrated. It is assumed that the digital delay generator is regularly calibrated. For computing the location offset ΔL_0 from the measured data, it is also necessary to determine the insertion delay T_{delay} of the apparatus. This can be accomplished by adding a pulse generator and a calibrated time interval counter to the equipment, as shown in Figure 4.



Légende

F1, F2, F3, F4 et F5	fibres
E1, E2, E3 et E4	câbles électriques
E/O	convertisseur électrique/optique
O/E	convertisseur optique/électrique

Figure 4 – Montage pour l'étalonnage du retard à l'insertion du système

Pour étalonner le retard à l'insertion T_{delay} , on procédera de la manière indiquée ci-dessous.

Positionner le générateur d'impulsion en signaux rectangulaires. Choisir une période de répétition au moins deux fois plus longue que le retard à mesurer. Utiliser l'impulsion de sortie du générateur d'impulsion comme impulsion de départ du compteur d'intervalles de temps et comme commande externe du générateur de retard numérique. Positionner le générateur de retard sur déclenchement externe et annuler le retard pour le front du signal émis par le générateur d'impulsion. Régler les seuils de déclenchement du générateur de retard et du compteur de temps.

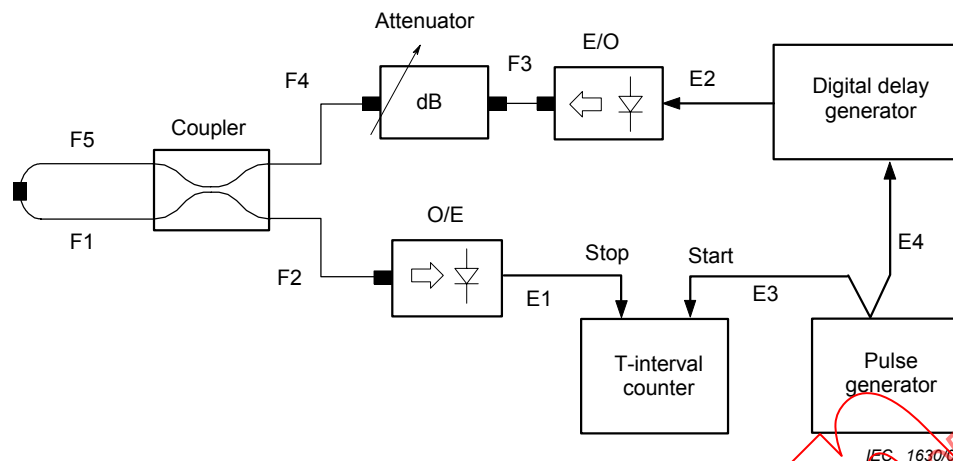
La source externe va ensuite générer une onde optique carrée qui, après reconversion en impulsion électrique, viendra arrêter le compteur d'intervalles de temps. Pour minimiser les incertitudes, il convient que les câbles électriques E3 et E4 soient de longueur égale. Il convient également que les fibres F1 et F5 soient de longueur égale. On notera que les câbles utilisés sur les Figures 3 et 4, représentés par les mêmes chiffres, sont matériellement les mêmes. Optimiser le déclenchement du compteur d'intervalles de temps par le réglage de l'atténuateur variable. Enregistrer l'intervalle de temps (entre démarrage et arrêt) affiché sur le compteur comme étant le retard à l'insertion T_{delay} .

6.1.4 Procédure de mesure

6.1.4.1 Préparation

Sélectionner le mode de localisation de l'événement sur l'OTDR (automatique ou manuel). Régler l'atténuateur de manière à obtenir la ou les amplitudes d'impulsion désirées. Sélectionner la largeur d'impulsion sur le générateur de retard numérique, par exemple 10 μs .

Afin de réaliser un moyennage sur l'intervalle inter-échantillons de l'OTDR, choisir les réglages du générateur de retard T_i de sorte que les échantillons soient distribués aléatoirement sur une grande étendue de mesure. Pour donner une mesure valide, il convient de choisir le premier réglage de telle façon que l'impulsion apparaisse proche de la face avant de l'OTDR, mais suffisamment hors de la zone morte initiale. Si le laboratoire d'essais ne détermine pas, avec une validation analytique, une sélection d'intervalles d'échantillonnage différente, l'un ou l'autre des principes suivants doit être utilisé.

**Key**

F1, F2, F3, F4 and F5	fibres
E1, E2, E3 and E4	electric cables
E/O	electrical-to-optical converter
O/E	optical-to-electrical converter

Figure 4 – Set-up for calibrating the system insertion delay

To calibrate the insertion delay T_{delay} , proceed as follows.

Set the pulse generator to square wave, with a repetition period more than twice as long as the delay time to be measured. Use the output pulse of the pulse generator as the start pulse on the time interval counter, and to externally trigger the delay generator. Set the digital delay generator for external triggering and zero delay for the leading edge of the pulse generator signal. Set the trigger levels of the delay generator and the counter.

The external source will then generate an optical square wave which, after re-conversion to an electrical pulse, will stop the time interval counter. To ensure lowest uncertainty, the electrical cables E3 and E4 should have equal length. Also, fibres F1 and F5 should have equal lengths. Note that identical cable numbers in Figures 3 and 4 mean the same physical cables. Adjust the optical attenuator for best triggering of the time interval counter. Record the displayed time interval (between start and stop) as the insertion delay T_{delay} .

6.1.4 Measurement procedure**6.1.4.1 Preparation**

Select the technique (automatic or manual) for locating the feature on the OTDR. Program the attenuator to generate the desired pulse amplitude(s). Select the pulse width on the digital delay generator, for example 10 μs .

Choose the time settings of the delay generator T_i so that the samples are distributed over a wide distance range with some randomness, to accomplish averaging over the OTDR's distance sampling interval. The first time setting should be chosen so that the pulse appears close to the front panel of the OTDR, but sufficiently out of the initial dead zone for good measurements. If the testing laboratory does not determine and analytically justify a different distance sampling scheme, one of the two schemes below shall be chosen.

- a) Premier principe: évaluer l'espacement d'échantillonnage D_{sample} (pour un réglage approprié de l'OTDR), en dilatant par exemple la trace de l'OTDR. Calculer ensuite la différence de retard correspondante du générateur de retard T_{sample} en utilisant:

$$T_{\text{sample}} = \frac{2ND_{\text{sample}}}{c} \quad (22)$$

où N est l'indice de groupe réglé sur l'OTDR et c est la vitesse de la lumière dans le vide.

Effectuer ensuite le même calcul pour un nombre total i de réglages du générateur de retard, regroupés en k groupes de n réglages chacun ($i = kn$), chaque groupe recouvrant de manière uniforme un intervalle d'échantillonnage. Chaque groupe doit avoir la forme suivante:

$$T_k, T_k + T_{\text{sample}}/n, T_k + 2 T_{\text{sample}}/n, \dots, T_k + (n-1) T_{\text{sample}}/n \quad (23)$$

où le nombre de réglages dans chaque groupe n est au moins égal à quatre et est identique pour tous les groupes. Les centres des groupes sont régulièrement espacés entre la fin de la zone morte initiale et une distance importante sur laquelle l'appareil doit être étalonné. Le nombre de groupes k peut être égal à deux.

- b) Second principe: il n'y a pas de groupes, et l'intervalle d'échantillonnage D_{sample} peut n'être connu que très approximativement. Calculer T_{sample} à partir de l'équation (22). Choisir les réglages de retard de manière qu'ils soient répartis uniformément entre la fin de la zone morte initiale et une distance importante, et que chacun de ces réglages comporte une variation aléatoire. Il convient que ces variations aient une densité de probabilité uniforme dans l'intervalle $-T_1$ à T_1 , où T_1 est au moins $20 T_{\text{sample}}$ mais inférieur à 10 % du plus long retard pour les essais. Il convient que le nombre de mesures i (c'est-à-dire les différents réglages) soit d'au moins 20.

De manière alternative, une connaissance préalable de l'amplitude de l'incertitude de type A et de l'incertitude de mesure acceptable peut amener le laboratoire à adopter un principe d'échantillonnage, systématique ou aléatoire, différent.

6.1.4.2 Réalisation des mesures

Sélectionner le premier réglage de temps T_i de la série T_1 comme défini ci-dessus. Enregistrer le temps T_1 du générateur de retard ainsi que la position mesurée $L_{\text{otdr},1}$ de l'événement sur l'OTDR. Répéter l'opération pour les différents temps sélectionnés en 6.1.4.1. Toujours enregistrer T_i et la position mesurée $L_{\text{otdr},i}$ jusqu'à ce que tous les réglages aient été utilisés.

6.1.5 Calculs et résultats

En application des principes indiqués à l'Article 4, utiliser les différents réglages de temps pour calculer les i positions de référence $L_{\text{ref},i}$:

$$L_{\text{ref},i} = \frac{c(T_i + T_{\text{delay}})}{2N} \quad (24)$$

où

N est l'indice de groupe réglé sur l'OTDR;

T_i sont les réglages de temps définis en 6.1.3;

T_{delay} est le retard d'insertion étalonné de l'équipement d'essai (voir 6.1.2).

Utiliser ensuite les positions de référence et les positions affichées $L_{\text{otdr},i}$ pour calculer l'ensemble des i erreurs de position ΔL_i :

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} \quad (25)$$

- a) In the first scheme, evaluate the sample spacing D_{sample} (for the appropriate OTDR instrument setting), for example by zooming into the OTDR trace. Then calculate the corresponding delay difference of the delay generator T_{sample} using:

$$T_{\text{sample}} = \frac{2ND_{\text{sample}}}{c} \quad (22)$$

where N is the OTDR's group index setting and c is the speed of light in vacuum.

Then calculate a total number of i delay generator settings, grouped in k clusters of n settings each ($i = kn$), where each cluster uniformly covers one sample spacing. Each cluster shall have the form:

$$T_k, T_k + T_{\text{sample}}/n, T_k + 2 T_{\text{sample}}/n, \dots, T_k + (n-1) T_{\text{sample}}/n \quad (23)$$

where the number of settings in each cluster n is at least four and is the same for every cluster. The centres of the clusters are uniformly spaced, from just beyond the initial dead zone to a large distance over which the instrument is to be calibrated. The number of clusters k may be as small as two.

- b) In the second scheme, there are no clusters, and the sample spacing D_{sample} does not need to be known except very approximately. Calculate T_{sample} from equation (22). Choose the time settings so that they are uniformly spaced between the initial dead zone and a large distance and each has a random time interval added. The random intervals should have a uniform probability density in the interval $-T_1$ to T_1 , where T_1 is at least $20 T_{\text{sample}}$ but less than 10 % of the longest time delay for the tests. The number of measurements i (that is different settings) should be at least 20.

Alternatively, prior knowledge of the magnitude of the uncertainty type A and the tolerable uncertainty in the measurements may lead the testing laboratory to select a different systematic or random distance sampling scheme.

6.1.4.2 Taking the measurement results

Select the first time setting of the time T_i of the series T_1 as defined above. Record the time T_1 of the delay generator and the measured location $L_{\text{otdr},1}$ of the event on the OTDR. Proceed with the time settings as selected in 6.1.4.1. Always record the time T_i and the measured location $L_{\text{otdr},i}$. Continue until all time settings are completed.

6.1.5 Calculations and results

Following the concept of Clause 4, use the time settings to calculate i reference locations $L_{\text{ref},i}$:

$$L_{\text{ref},i} = \frac{c(T_i + T_{\text{delay}})}{2N} \quad (24)$$

where

N is the group index setting of the OTDR;

T_i are the time settings defined in 6.1.3;

T_{delay} is the calibrated insertion delay of the test equipment (see 6.1.2).

Then, use the reference locations and the displayed locations $L_{\text{otdr},i}$ to calculate the set of i location errors ΔL_i :

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} \quad (25)$$

Pour déterminer le décalage de position ΔL_0 et l'écart d'échelle des distances ΔS_L , ajuster les données d'erreur de position sur le modèle simplifié d'erreur de position (dans lequel l'erreur d'échantillonnage en distance est momentanément négligée):

$$\Delta L_{i, \text{model}} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 \quad (26)$$

Particulièrement, minimiser la différence entre le modèle et les données en utilisant le critère des moindres carrés, c'est-à-dire en choisissant ΔS_L et ΔL_0 , de façon que la somme

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref},i} - \Delta L_0)^2 \quad (27)$$

soit minimale. Enregistrer ΔL_0 et ΔS_L obtenus à partir de l'approximation.

Comme sur la Figure 2, la pente de l'approximation linéaire représente l'écart d'échelle des distances ΔS_L . L'intersection avec l'axe vertical représente le décalage de position ΔL_0 . Enregistrer ΔS_L et ΔL_0 obtenus à partir du calcul.

6.1.6 Incertitudes

On trouvera une discussion générale relative aux incertitudes sur les distances à l'Article 5.

Noter que la liste des incertitudes présentée ci-dessous n'est pas exhaustive. Il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres causes, en fonction de la méthode de mesure et de l'appareillage utilisés. Il convient d'utiliser les bases mathématiques exposées à l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

6.1.6.1 Incertitudes sur l'échelle des distances

L'approximation par les moindres carrés exposée en 6.1.5 prend en compte les distances affichées entre les échantillons de mesure pour calculer l'écart d'échelle des distances. On suppose que les échantillons de mesure proches de $L = 0$ et ceux proches de la position la plus lointaine $L = L_{\text{max}}$ ont la plus grande influence sur l'écart d'échelle des distances car les échantillons du centre n'ont pas d'influence sur la pente du modèle d'erreur de distance.

L'application de la formule standard de propagation des erreurs à l'équation (9) donne l'incertitude sur l'échelle des distances $\sigma_{\Delta S_L}$ pour laquelle $\langle D_{\text{otdr}} \rangle \equiv D_{\text{ref}}$ a été utilisé.

$$\sigma_{\Delta S_L} \equiv \left(\left(\frac{\sigma_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}}{\langle D_{\text{otdr}} \rangle} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{D_{\text{ref}}}}{D_{\text{ref}}} \right)^2 \right)^{1/2} \text{ m/km} \quad (28)$$

où

D_{otdr} est $D_{\text{ref}} \approx L_{\text{ref}}$ (pour les longues distances dont il est question ici);

$\sigma_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}$ est l'écart type traduisant l'incertitude sur les échantillons de distance (à partir des échantillons de position);

$\sigma_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle} / \langle D_{\text{otdr}} \rangle$ est l'incertitude sur la pente due à un manque de précision de la distance affichée; elle est équivalente à l'écart type de $(\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})$ qui inclut l'incertitude sur le placement des marqueurs ainsi que l'erreur d'échantillonnage en distance; l'algorithme des moindres carrés utilisé pour la détermination de ΔS_L peut être utilisé pour la détermination de $\sigma_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}$; dans ce cas, ΔL_i peut être moyenné sur l'intervalle d'échantillonnage correspondant;

To determine the location offset ΔL_0 and the distance scale deviation ΔS_L , fit the location error data to the simplified location error model (in which the distance sampling error is momentarily neglected):

$$\Delta L_{i, \text{model}} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 \quad (26)$$

Specifically, minimize the difference between the model and the data using the least-squares criterion, that is choose ΔS_L and ΔL_0 so that the summation

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref},i} - \Delta L_0)^2 \quad (27)$$

is minimized. Record ΔL_0 and ΔS_L obtained from the approximation.

As in Figure 2, the slope of the linear approximation represents the distance scale deviation ΔS_L . The intercept with the vertical axis represents the location offset ΔL_0 . Record ΔS_L and ΔL_0 obtained from the calculation.

6.1.6 Uncertainties

A general discussion of the distance uncertainties can be found in Clause 5.

Note that the following list of uncertainties may not be complete. Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure. The mathematical basis given in Annex D should be used to calculate and state the uncertainties.

6.1.6.1 Distance scale uncertainty

The least-squares approximation outlined in 6.1.5 effectively uses the displayed distances between the measurement samples to calculate the distance scale deviation. It is assumed that the measurement samples near $L = 0$ and near the farthest location $L = L_{\text{max}}$ have the strongest influence on the distance scale deviation because the samples in the middle of the range have no influence on the slope of the distance error model.

Applying the standard formula for the propagation of errors to equation (9) yields the distance scale uncertainty $\sigma_{\Delta S_L}$ in which $\langle D_{\text{otdr}} \rangle \cong D_{\text{ref}}$ was used.

$$\sigma_{\Delta S_L} \cong \left\{ \left(\frac{\sigma_{\langle \text{Dotdr} \rangle}}{\langle D_{\text{otdr}} \rangle} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{D_{\text{ref}}}}{D_{\text{ref}}} \right)^2 \right\}^{1/2} \text{ m/km} \quad (28)$$

where

D_{otdr} is $D_{\text{ref}} \approx L_{\text{ref}}$ (for the long distances discussed here);

$\sigma_{\langle \text{Dotdr} \rangle}$ is the standard deviation expressing the uncertainty of the distance samples (on the basis of the location samples);

$\sigma_{\langle \text{Dotdr} \rangle} / \langle D_{\text{otdr}} \rangle$ represents the slope uncertainty due to inaccurate distance readout; it is equivalent to the standard deviation of $(\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})$ which includes the marker placement uncertainty and the distance sampling error; the least-squares algorithm used for the determination of ΔS_L can be used to determine $\sigma_{\langle \text{Dotdr} \rangle}$; if applicable, ΔL_i may be averaged over the corresponding sampling interval;

σ_{Dref} est l'incertitude sur les distances de référence;
 σ_{Dref}/D_{ref} est l'incertitude sur la pente due au générateur numérique de retard et est égale à l'incertitude relative de l'horloge du générateur de retard.

6.1.6.2 Incertitude sur le décalage de position

Le décalage de position ΔL_0 est donné par l'intersection de l'approximation des moindres carrés avec l'axe vertical. Ce point dépend principalement des premiers échantillons, ceux qui sont les plus proches de la position $L = 0$, et dépend également de la précision du retard d'insertion T_{delay} .

L'incertitude sur le décalage de position $\sigma_{\Delta L_0}$ peut être calculée à partir de la formule classique de propagation des erreurs:

$$\sigma_{\Delta L_0} = \left(\sigma_{\Delta L}^2 + \left(\frac{c}{2N} \right)^2 \right)^{1/2} \sigma_{T_{delay}}^2 \quad (29)$$

où

$\sigma_{\Delta L}$ est l'incertitude sur les différences entre ΔL_i et l'approximation des moindres carrés au voisinage de $L = 0$, qui inclut l'incertitude sur le placement des marqueurs et l'erreur d'échantillonnage en distance, elle est équivalente à l'écart type de $(\Delta L_i - \Delta L_{i, model})$ près de $L = 0$; dans ce cas, ΔL_i peut être moyenné sur l'intervalle d'échantillonnage correspondant. l'algorithme des moindres carrés utilisé pour la détermination de ΔL_0 peut être utilisé pour déterminer $\sigma_{\Delta L}$.

$\sigma_{T_{delay}}$ est l'incertitude sur le retard d'insertion du système; il est supposé que le premier retard est très court ou même nul, ce qui réduit l'incertitude du générateur à seulement un des retards insérés.

6.1.6.3 Incertitude d'affichage de position

Comme indiqué à l'Article 5, déterminer la plus grande différence entre les échantillons d'erreur de position ΔL_k et l'approximation par la méthode des moindres carrés au voisinage de $L = 0$. Calculer ensuite l'incertitude d'affichage de position $\sigma_{Lreadout}$ (qui inclut l'erreur d'échantillonnage en distance) en divisant la plus grande différence par la racine carrée de 3. De manière alternative, $\sigma_{Lreadout}$ peut être obtenu soit avec l'algorithme des moindres carrés utilisé pour la détermination de ΔL_L et ΔL_0 soit avec l'équation suivante:

$$\sigma_{Lreadout} = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \Delta L_{i,model})^2 \right)^{1/2} \quad (30)$$

6.2 Méthode des ajouts de fibres

6.2.1 Description sommaire et avantages

Cette méthode permet d'étalonner l'échelle des distances en utilisant des fibres étalonnées, dont les temps de transit, à la longueur d'onde de l'OTDR testé, ont été mesurés avec précision.

La méthode ne nécessite que l'utilisation de longueurs de fibre connectées. Elle est donc bon marché et convient particulièrement aux essais dans des endroits où l'on ne peut pas disposer des équipements utilisés en 6.1. On peut la considérer comme une méthode manuelle dans la mesure où elle ne nécessite qu'un certain nombre de connexions et de déconnexions de fibres courtes pour faire varier la localisation des événements. Elle peut toutefois être automatisée, si cela est souhaité, par l'utilisation de commutateurs optiques.

σ_{Dref} is the uncertainty of the reference distances;
 $\sigma_{\text{Dref}}/D_{\text{ref}}$ represents the slope uncertainty caused by the digital delay generator and is equal to the relative timing uncertainty of the delay generator.

6.1.6.2 Location offset uncertainty

The location offset ΔL_0 is equal to the intercept of the least-squares approximation with the vertical axis. This intercept mostly depends on the first few samples, that is those samples which are closest to the location $L = 0$, and on the accuracy of the insertion delay T_{delay} .

The location offset uncertainty $\sigma_{\Delta L_0}$ can be calculated by using the standard formula for the propagation of errors:

$$\sigma_{\Delta L_0} = \left\{ \sigma_{\Delta L}^2 + \left(\frac{c}{2N} \right)^2 \sigma_{T_{\text{delay}}}^2 \right\}^{1/2} \quad (29)$$

where

$\sigma_{\Delta L}$ is the uncertainty of the differences between ΔL_i and the least-squares approximation near $L = 0$, which includes the marker placement uncertainty and the distance sampling error; it is equivalent to the standard deviation of $(\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})$ near $L = 0$; if applicable, ΔL_i may be averaged over the correspondent sampling interval; the least-squares algorithm used for the determination of ΔL_0 can be used to determine $\sigma_{\Delta L}$.

$\sigma_{T_{\text{delay}}}$ is the uncertainty of the system insertion delay; the assumption is that the first-time setting will be very short or even zero, reducing the delay generator uncertainty to one of the insertion delays only.

6.1.6.3 Location readout uncertainty

As outlined in Clause 5, determine the largest difference between the location error samples ΔL_k and the least-squares approximation near $L = 0$. Then calculate the location readout uncertainty σ_{Lreadout} (which includes the distance sampling error) by dividing the largest difference by the square root of 3. Alternatively, σ_{Lreadout} can be determined either with the least-squares algorithm used for the determination of ΔL_L and ΔL_0 or with the following formula:

$$\sigma_{\text{Lreadout}} = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})^2 \right\}^{1/2} \quad (30)$$

6.2 Concatenated fibre method

6.2.1 Short description and advantages

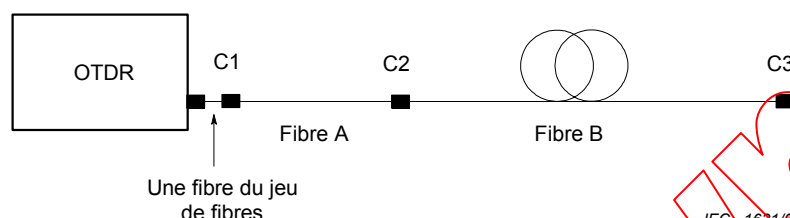
This method uses calibrated fibres with transit times precisely measured at the wavelength of the OTDR under test to calibrate the distance scale.

The method requires only connectorized lengths of fibre, and is thus both inexpensive and well suited to testing in locations where equipment such as that used in 6.1 cannot be carried. It may be viewed as a manual test method because it requires connecting and disconnecting short lengths of fibre a number of times to vary the locations of features. However, this process can be automated with optical switches, if desired.

6.2.2 Equipement

En plus de l'OTDR soumis aux essais, l'équipement de mesure inclut, comme indiqué à la Figure 5:

- la fibre A, pour déterminer le décalage de position;
- la fibre B, pour déterminer l'écart d'échelle des distances;
- un jeu de fibres par accroissement, pour déterminer l'erreur d'échantillonnage en distance.



Légende

C1, C2 et C3 connecteurs optiques

Figure 5 – Ajouts de fibres utilisés pour l'étalonnage de l'échelle des distances

Normalement, ces fibres sont protégées par câblage ou emballage et sont connectorisées pour permettre des connexions et des déconnexions aisées. De manière alternative, elles peuvent aussi être utilisées avec un système de commutateurs optiques sans connecteurs.

Les exigences concernant ces fibres sont indiquées ci-dessous.

- La fibre A peut être une fibre ordinaire, avec une réflexion terminale, ou une fibre présentant une réflexion en ligne ou une épissure. Sa longueur importe peu, dans la mesure où la courbe de rétrodiffusion de l'événement à mesurer n'est pas perturbée par la ou les réflexions à la sortie de l'OTDR. Une longueur de fibre ou une distance jusqu'à l'événement de 1 km à 2 km environ est recommandée.

Pour étalonner la fibre, mesurer son temps de transit optique T_a entre l'entrée (à connecter à l'OTDR) et l'événement, conformément à la procédure décrite à l'Article 5. Si l'on utilise un événement en ligne, la fibre doit être construite à partir de deux segments: le premier est étalonné conformément à l'Article 5, il est ensuite connecté ou épissuré à une seconde longueur. Le joint a ainsi une position étalonnée, alors que la seconde longueur ne nécessite pas d'étalonnage.

La fibre A peut se composer d'une courte fibre amorce et d'une longueur de fibre conforme à la description ci-dessus, avec des connecteurs d'extrémités. Ainsi, les fibres par accroissement (voir ci-après) peuvent être insérées après le premier tronçon de la fibre A, sans avoir à déconnecter la face avant de l'OTDR. La réflexion des connecteurs proches de l'extrémité doit être la plus faible possible de façon à ce que l'événement à l'extrémité de la fibre A soit situé hors de la zone morte de l'OTDR.

Cette possibilité peut être intéressante pour les systèmes automatisés.

La fibre A peut être également utilisée comme fibre amorce pour mesurer l'écart d'échelle des distances à l'aide de la fibre B.

- La fibre B doit posséder des extrémités réfléchissantes (réflexions de ses connecteurs, par exemple). Il est recommandé d'utiliser pour la fibre B une fibre d'une longueur d'au moins 10 km, car l'utilisation d'une fibre longue permet de réduire l'incertitude.

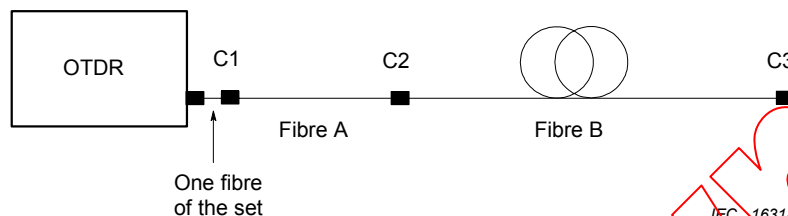
Pour étalonner la fibre, mesurer son temps de transit optique T_b comme indiqué à l'Article 5.

Attention: pour réaliser un étalonnage correct des distances, il est important que les réflexions des deux extrémités de la fibre B (connecteurs C2 et C3) soient à peu près équivalentes. Par exemple, si l'une des extrémités produit une réflexion qui sature l'OTDR et l'autre non, la différence de forme d'onde peut nuire à la précision des mesures de distances. Les conséquences de cette différence sur l'écart d'échelle des distances mesuré sont toutefois réduites par une longueur de fibre plus grande.

6.2.2 Equipment

In addition to the test OTDR, the equipment includes, as shown in Figure 5:

- fibre A, to determine the location offset;
- fibre B, to determine the distance scale deviation;
- a set of incremental fibres, to determine the distance sampling error.



Key

C1, C2 and C3 optical connectors

Figure 5 – Concatenated fibres used for calibration of the distance scale

Normally these fibres will be cabled or packaged in some way for protection and connectorized for easy connection and disconnection. Alternatively, they may be used with a fibre optic switching mechanism that does not require connectors.

The requirements on these fibres are indicated below.

- Fibre A may be a simple fibre with an end reflection, or a fibre with an internal reflection or splice. Its length is not very important, as long as it puts the feature to be measured on a backscatter trace which is essentially undisturbed from the initial reflection(s) near the OTDR port. Approximately 1 km to 2 km is suggested for the fibre length or the distance to the feature.

To calibrate the fibre, measure its optical transit time T_a from the front end (to be connected to the OTDR) to the feature according to the procedure in Clause 5. If an internal feature is to be used, then the fibre shall be constructed from two segments: the first is calibrated according to Clause 5, after which it is connected or spliced to a second length. The joint will then have a calibrated location, whereas the remaining length does not need to be calibrated.

Fibre A may be split into a short jumper fibre and a length as outlined before, with connectorized ends. In this way, the incremental fibres (see below) can be inserted after the first section of fibre A without having access to the front panel of the OTDR. The reflection from the near-end connectors shall be small enough to avoid placing the feature at the end of fibre A into the dead zone of the OTDR.

This alternative may be important in automated systems.

Fibre A can also be used as a lead-in fibre for measuring the distance scale deviation with the help of fibre B.

- Fibre B shall have reflective ends, for example by using the reflections from its connectors. Because the uncertainty is reduced by making this fibre longer, it is recommended that fibre B be at least 10 km long.

To calibrate the fibre, measure its optical transit time T_b as described in Clause 5.

Caution: for a correct distance calibration, the reflections from the two ends of fibre B (connectors C2 and C3) should be approximately equal. For example, if one end produces a reflection that saturates the OTDR and the other end does not, then the difference in waveforms can lead to inaccurate distance measurements. The effect of this difference on the measured distance scale deviation will be small if the fibre is long, however.

- c) Le jeu de fibres par accroissement est utilisé pour faire varier la position des deux réflexions de la longue fibre B, par des valeurs inférieures à l'intervalle d'échantillonnage de l'OTDR. Il convient que les longueurs soient sélectionnées pour pouvoir réaliser au moins quatre variations de distance espacées régulièrement sur l'intervalle d'échantillonnage. Par exemple, si l'intervalle d'échantillonnage est de 10 m, le jeu peut être composé de deux fibres de 2,5 m et 5 m de longueur. Individuellement ou combinées, elles pourront constituer des compléments de 0 m (pas de fibre), 2,5 m, 5 m et 7,5 m (deux fibres). D'une manière générale, il convient que les fibres constituent des compléments égaux à

$$0, D_X, 2 D_X, \dots, (n - 1) D_X \quad (31)$$

où

$n \geq 4$, et

$n D_X$ est égal à l'intervalle d'échantillonnage de l'OTDR dans les conditions de l'essai.

Sauf dans quelques cas particuliers, il n'est pas nécessaire d'étalonner le temps de transit de ces fibres selon la méthode décrite à l'Article 5. Il conviendra de mesurer leur longueur physique. Sur des fibres aussi courtes, la différence entre l'indice de groupe réel et l'indice réglé sur l'OTDR est négligeable.

6.2.3 Procédures de mesure

L'influence du bruit aléatoire sur l'erreur de position est habituellement peu importante, sauf dans le cas où le niveau de puissance affiché serait proche de la limite de bruit de l'appareil. Dans un tel cas, on recommande d'augmenter le temps de moyennage de l'OTDR.

6.2.3.1 Préparation

Sélectionner le type d'événement (le long de la fibre A ou à l'extrémité) pour lequel le décalage de position est à déterminer et sélectionner les fibres en conséquence. Déterminer également la technique de placement des marqueurs (automatique ou manuelle) sur l'événement de la fibre A et sur les réflexions d'extrémités de la fibre B.

Connecter la fibre A à l'avant de l'OTDR, en veillant à ce que l'événement à la fin ou proche de la fin de la fibre soit visible sur l'OTDR. Connecter la fibre B à l'autre extrémité de la fibre A, de manière que les réflexions des deux extrémités de la fibre B soient visibles sur l'OTDR.

6.2.3.2 Réalisation des mesures

Mesurer la position de l'événement sur la fibre A à l'aide de l'OTDR. Enregistrer cette première position mesurée $L_{\text{otdr},1}$. Mesurer la longueur de la fibre B à l'aide de l'OTDR, en utilisant les deux réflexions créées par cette fibre. Enregistrer cette première distance mesurée en tant que $D_{\text{otdr},1}$.

Insérer la plus petite des fibres par accroissement entre l'OTDR et le début de la fibre A. Mesurer la position $L_{\text{otdr},2}$ et la distance $D_{\text{otdr},2}$. Si la fibre A est une fibre séparable, comme décrit en 6.2.2, les fibres par accroissement peuvent être insérées à l'endroit de la séparation plutôt qu'entre l'OTDR et le début de la fibre.

Continuer d'insérer successivement des combinaisons de longueur croissante de fibres par accroissement. Mesurer la position $L_{\text{otdr},i}$ et la distance $D_{\text{otdr},i}$ jusqu'à ce que $i = n$ et que la longueur totale des fibres par accroissement soit de $(n - 1) D_X$.

6.2.4 Calculs et résultats

6.2.4.1 Ecart d'échelle des distances

Calculer la distance $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ (longueur de la fibre B) en faisant la moyenne des n valeurs de $D_{\text{otdr},i}$. Calculer ensuite l'écart d'échelle des distances comme étant

- c) The set of incremental fibres will be used to vary the locations of the two reflections of the long fibre B by amounts less than the distance sampling interval of the OTDR. Their lengths should be selected in order to generate at least four distance increments which are evenly spaced over the distance sampling interval. As an example, if the distance sampling interval is 10 m, this can be accomplished with two fibres of lengths 2,5 m and 5 m. Separately and in combination, these can produce increments of 0 m (no fibre), 2,5 m, 5 m, and 7,5 m (both fibres). More generally, the fibres should generate length increments of

$$0, D_x, 2 D_x, \dots, (n - 1) D_x \quad (31)$$

where

$n \geq 4$, and

$n D_x$ equals the distance sampling interval of the OTDR under the conditions to be tested.

Except in unusual cases, calibrating the transit time of these fibres according to Clause 5 is unnecessary. Instead, their physical lengths should be measured. The difference between the true group index and the OTDR group index setting will be negligible on such short fibres.

6.2.3 Measurement procedures

The contribution of random noise to location error is usually small except when the displayed power level comes close to the noise limit of the instrument. Longer OTDR averaging is recommended in this case.

6.2.3.1 Preparation

Select the type of feature (in or at the end of fibre A) for which the location offset is to be determined and select the fibres accordingly. Also, establish the technique (automatic or manual) for placing the markers on the feature in fibre A and the reflective ends of fibre B.

Connect fibre A to the front of the OTDR, so that the feature at or near the far end of the fibre can be seen on the OTDR. Connect fibre B to the far end of fibre A, so that the reflections from both ends of fibre B may be seen on the OTDR.

6.2.3.2 Taking the measurements

Measure the location of the feature in fibre A with the OTDR. Record this first measured location as $L_{\text{otdr},1}$. Measure the length of fibre B with the OTDR, using the two reflections generated by this fibre. Record this first measured distance as $D_{\text{otdr},1}$.

Insert the shortest of the incremental fibres between the OTDR and the beginning of fibre A. Measure the location $L_{\text{otdr},2}$ and the distance $D_{\text{otdr},2}$. If fibre A is a split fibre, as described in 6.2.2, the incremental fibres may be inserted into the split instead of between the OTDR and the beginning.

Continue inserting successively increasing length combinations of the incremental fibres. Measure the location $L_{\text{otdr},i}$ and the distance $D_{\text{otdr},i}$ until $i = n$ and the total length of the incremental fibres is $(n - 1) D_x$.

6.2.4 Calculations and results

6.2.4.1 Distance scale deviation

Compute the distance $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ (the length of fibre B) as the average of the n values of $D_{\text{otdr},i}$. Then compute the distance scale deviation as

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{otdr} \rangle}{D_{ref}} - 1 = \frac{N \langle D_{otdr} \rangle}{CT_b} - 1 \quad (32)$$

où

D_{ref} est la distance de référence;

N est l'indice de groupe réglé sur l'OTDR;

T_b est le temps de transit aller de la fibre B, mesuré conformément à l'Article 5.

6.2.4.2 Décalage de position

Soit $\langle L_{otdr} \rangle$ la moyenne de toutes les n valeurs de $L_{otdr,i}$. Calculer le décalage de position à partir de l'équation (18):

$$\Delta L_0 = \langle L_{otdr} \rangle - (1 + \Delta S_L) \langle L_{ref} \rangle \quad (33)$$

$$\Delta L_0 = \langle L_{otdr} \rangle - (1 + \Delta S_L) \left(\frac{RT_a}{TM N} + \frac{(n-1)D_x}{2} \right)$$

où

$\langle L_{ref} \rangle$ est la position de référence moyenne correspondant à la première réflexion, à calculer à l'aide de la longueur moyenne des fibres par accroissement;

N est l'indice de groupe réglé sur l'OTDR;

T_a est le temps de transit aller de la fibre A, mesuré suivant l'Article 5;

ΔS_L est l'écart d'échelle des distances déterminé d'après l'équation (32); si la fibre A est suffisamment courte, le terme ΔS_L peut être négligé.

6.2.5 Incertitudes

On trouvera une discussion générale concernant les incertitudes sur les distances à l'Article 5. A noter que la liste des incertitudes présentée ci-dessous n'est pas exhaustive. Il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres causes, en fonction de la méthode de mesure et de l'appareillage utilisés.

Il convient d'utiliser les bases mathématiques exposées à l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

6.2.5.1 Incertitude sur l'échelle des distances

Il convient de calculer l'incertitude sur l'échelle des distances $\sigma_{\Delta SL}$ avec l'équation suivante, qui est tirée de l'équation (32):

$$\sigma_{\Delta SL} = \left(\left(\frac{RT_{otdr}}{TM D_{otdr}} \right)^2 + \left(\frac{RT_b}{TM T_b} \right)^2 \right)^{1/2} \text{ m/km} \quad (34)$$

où $\sigma_{D_{otdr}}$ est l'incertitude sur la longueur affichée de la fibre B, causée, par exemple, par l'incertitude sur le placement des marqueurs et l'erreur d'échantillonnage en distance.

Il convient de calculer l'incertitude sur le temps de transit de la fibre B σ_{T_b} par extraction de la racine carrée de la somme quadratique de

$\sigma_{T_b, \text{counter}}$ incertitude sur le temps de transit de la fibre B, provoquée par le compteur d'intervalles de temps;

$\sigma_{T_b, \lambda}$ incertitude sur le temps de transit de la fibre B, provoquée par la différence entre la longueur d'onde de l'OTDR et la longueur d'onde utilisée pour déterminer ce temps de transit;

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 = \frac{N \langle D_{\text{otdr}} \rangle}{CT_b} - 1 \quad (32)$$

where

D_{ref} is the reference distance;

N is the group index setting of the OTDR;

T_b is the one-way transit time for fibre B, as measured according to Clause 5.

6.2.4.2 Location offset

Let $\langle L_{\text{otdr}} \rangle$ be the average of all n values of $L_{\text{otdr},i}$. Compute the location offset on the basis of equation (18):

$$\Delta L_0 = \langle L_{\text{otdr}} \rangle - (1 + \Delta S_L) \langle L_{\text{ref}} \rangle \quad (33)$$

$$\Delta L_0 = \langle L_{\text{otdr}} \rangle - (1 + \Delta S_L) \left(\frac{8cT_a}{N} + \frac{(n-1)D_x}{2} \right)$$

where

$\langle L_{\text{ref}} \rangle$ is the average reference location corresponding to the first reflection, to be calculated with the help of the average length of the incremental fibres;

N is the group index setting of the OTDR;

T_a is the one-way transit time for fibre A, as measured according to Clause 5;

ΔS_L is the distance scale deviation as determined by the equation (32); if fibre A is sufficiently short, then the ΔS_L term can be neglected.

6.2.5 Uncertainties

A general discussion of the distance uncertainties is given in Clause 5. Note that the following list of uncertainties may not be complete. Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure.

The mathematical basis given in Annex D should be used to calculate and state the uncertainties.

6.2.5.1 Distance scale uncertainty

The distance scale uncertainty $\sigma_{\Delta SL}$ should be calculated with the following formula which is derived from equation (32):

$$\sigma_{\Delta SL} = \left(\left(\frac{\sigma_{D_{\text{otdr}}}}{D_{\text{otdr}}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{T_b}}{T_b} \right)^2 \right)^{1/2} \text{ m/km} \quad (34)$$

where $\sigma_{D_{\text{otdr}}}$ is the uncertainty of the displayed length of fibre B, for example, as caused by the marker placement uncertainty and the distance sampling error.

The transit time uncertainty of fibre B σ_{T_b} should itself be calculated by root-sum-squaring

$\sigma_{T_b, \text{counter}}$ the transit time uncertainty of fibre B, due to the time interval counter;

$\sigma_{T_b, \lambda}$ the transit time uncertainty of fibre B, due to a difference between the wavelength used in determining the transit time and the OTDR wavelength;

$\sigma_{Tb,\theta}$ incertitude sur le temps de transit de la fibre B, provoquée par son coefficient de dilatation; valeur typique: 1 cm/(km °C).

6.2.5.2 Incertitude sur le décalage de position

Il convient de calculer l'incertitude sur le décalage de position $\sigma_{\Delta L0}$ à partir de l'équation suivante, qui est tirée de l'équation (33), dont les termes ΔS_L et $(n-1) D_x/2$ sont considérés comme négligeables:

$$\sigma_{\Delta L0} = \left(\sigma_{\text{Lotdr}}^2 + \left(\frac{R_C}{TMV} \right)^2 \sigma_{Ta}^2 \right)^{1/2} \quad (35)$$

où σ_{Lotdr} est l'incertitude sur la mesure de la position de l'événement à l'extrémité (ou à l'intérieur) de la fibre A, c'est-à-dire principalement l'incertitude sur le placement du marqueur; on suppose que l'erreur d'échantillonnage en distance est supprimée efficacement par un moyennage sur un intervalle d'échantillonnage.

Il convient de calculer l'incertitude sur le temps de transit de la fibre A σ_{Ta} en prenant la racine carrée de la somme quadratique de:

- $\sigma_{Ta, \text{counter}}$ incertitude sur le temps de transit de la fibre A, provoquée par le compteur d'intervalles de temps;
- $\sigma_{Ta, \lambda}$ incertitude sur le temps de transit de la fibre A, provoquée par la différence entre la longueur d'onde de l'OTDR et la longueur d'onde utilisée pour déterminer ce temps de transit;
- $\sigma_{Ta, \theta}$ incertitude sur le temps de transit de la fibre A, provoquée par son coefficient de dilatation; valeur typique: 1 cm/(km °C).

6.2.5.3 Incertitude d'affichage de position

Calculer les deux groupes de données suivants, un pour l'erreur de position et un pour l'erreur de distance, à partir des échantillons de mesures indiqués en 6.2.3.

$$L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} = L_{\text{otdr},i} - \left(\frac{R_C T_a}{TM N} + i D_x \right) \quad i = 0 \text{ à } n-1 \quad (36)$$

et

$$D_{\text{otdr},i} - D_{\text{ref},i} = D_{\text{otdr},i} - \frac{c T_b}{N} \quad i = 0 \text{ à } n-1 \quad (37)$$

Pour calculer l'incertitude d'affichage de position σ_{Lreadout} , il est conseillé de diviser la moitié de la différence entre la plus grande et la plus petite des valeurs soit du groupe L soit du groupe D , selon celui qui présente la valeur la plus importante, par la racine carrée de 3.

6.3 Méthode de la boucle de retard

6.3.1 Description sommaire et avantages

La méthode de la boucle de retard utilise une boucle de fibre étalonnée, composée d'un coupleur et d'un miroir qui génèrent des réflexions périodiques.

$\sigma_{Tb,\theta}$ the transit time uncertainty of fibre B, due to the temperature coefficient; typical value: 1 cm/(km °C).

6.2.5.2 Location offset uncertainty

The location offset uncertainty $\sigma_{\Delta L0}$ should be calculated from the following formula which is derived from equation (33), by neglecting the ΔS_L and the $(n-1) D_x/2$ terms:

$$\sigma_{\Delta L0} = \left\{ \sigma_{\text{Lotdr}}^2 + \left(\frac{RC}{TMV} \right)^2 \sigma_{Ta}^2 \right\}^{1/2} \quad (35)$$

where σ_{Lotdr} is the uncertainty of measuring the location of the feature at the end (or inside) of fibre A, that is mainly the uncertainty of the marker placement; it is assumed that the distance sampling error is effectively removed by averaging over one sampling interval.

The transit time uncertainty of fibre A σ_{Ta} should itself be calculated by root-sum-squaring:

$\sigma_{Ta, \text{counter}}$ the transit time uncertainty of fibre A, due to the time interval counter;
 $\sigma_{Ta, \lambda}$ the transit time uncertainty of fibre A, due to a difference between the wavelength used in determining the transit time and the OTDR wavelength;
 $\sigma_{Ta, \theta}$ the transit time uncertainty of fibre A, due to the temperature coefficient of the transit time; typical value: 1 cm/(km °C).

6.2.5.3 Location readout uncertainty

Calculate the following two sets of data, one for the location error and one for the distance error, using the measurement samples given in 6.2.3.

$$L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} = L_{\text{otdr},i} - \left(\frac{RC}{TMN} + iD_x \right) \quad i = 0 \text{ to } n-1 \quad (36)$$

and

$$D_{\text{otdr},i} - D_{\text{ref},i} = D_{\text{otdr},i} - \frac{cT_b}{N} \quad i = 0 \text{ to } n-1 \quad (37)$$

It is recommended that half the difference between the largest and the smallest value of the L set or the D set, whichever is the larger, be divided by the square root of 3 to calculate the location readout uncertainty $\sigma_{L\text{readout}}$.

6.3 Recirculating delay line method

6.3.1 Short description and advantage

The recirculating delay line method uses a calibrated loop of fibre, made with a coupler and a reflector, to generate periodic reflections.

La méthode est similaire à la méthode des ajouts de fibres: on utilise une fibre artificielle, et il n'y a pas besoin de composants électroniques. La fibre artificielle crée de nombreux éléments de fibre étalonnés; cela permet de réduire les incertitudes de type A qui affectent l'écart d'échelle des distances.

Les mesures de décalage de position se limitent aux événements réfléchissants engendrés par la boucle de retard.

6.3.2 Equipement

En plus de l'OTDR, le banc de mesure ne se compose que d'une boucle de retard réalisée et étalonnée selon les principes exposés à l'Annexe A, comme indiqué à la Figure 6.

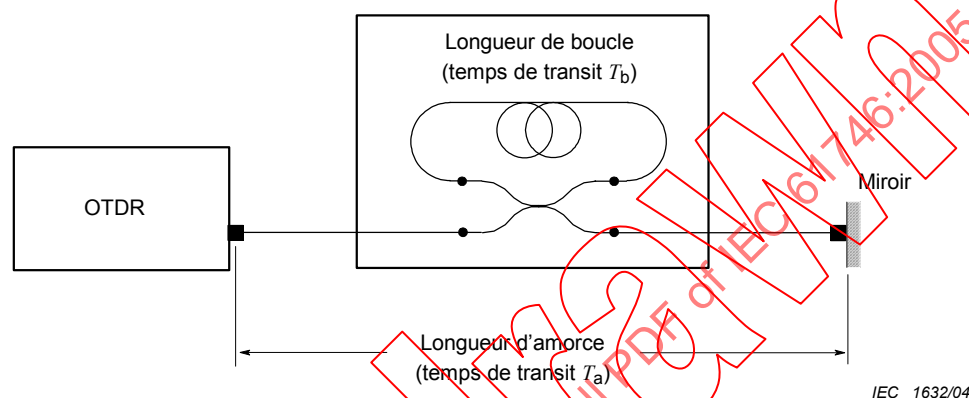


Figure 6 – Etalonnage des distances au moyen d'une boucle de retard

La boucle de retard provoque un certain nombre d'événements réfléchissants sur l'écran de l'OTDR, comme indiqué à la Figure 7. Le premier est causé par l'impulsion optique allant directement au miroir et revenant directement à l'OTDR. Le second est causé par l'impulsion optique parcourant une fois la boucle, puis allant vers le miroir et revenant directement à l'OTDR (cette impulsion se confond avec celle allant directement au miroir et revenant à l'OTDR à travers la boucle). La troisième impulsion traverse deux fois la boucle, etc.

Selon ce principe, les positions affichées idéales sont donc

$$L_{otdr,0} = L_a \quad (38)$$

$$L_{otdr,1} = L_a + L_b/2$$

$$L_{otdr,2} = L_a + L_b \quad \text{etc.}$$

où L_a est la longueur de la fibre amorce et L_b est la longueur de la boucle de fibre.

The method is similar to the concatenated fibre method: a fibre artifact is used, and there is no need for electronic equipment. The artifact generates many calibrated distance samples; this has the potential of reducing type A uncertainties affecting the distance scale deviation.

The measurements of location offset are limited to the reflective features generated by the recirculating delay line.

6.3.2 Equipment

In addition to the test OTDR, the measurement equipment only includes a recirculating delay line manufactured and calibrated according to Annex A, as shown in Figure 6.

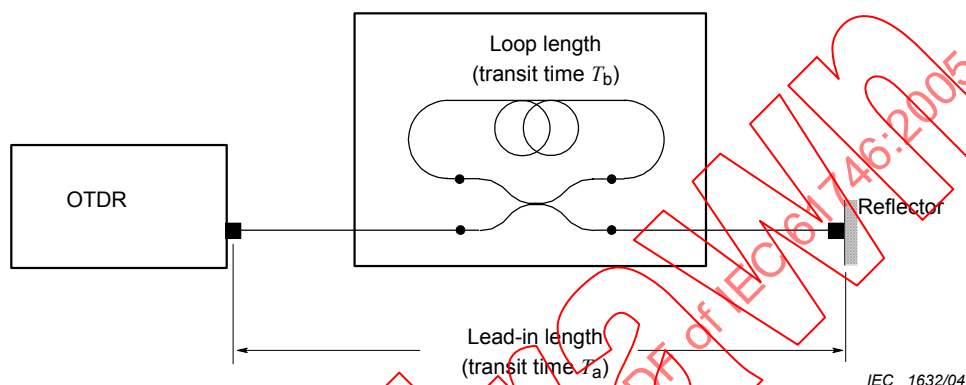


Figure 6 – Distance calibration with a recirculating delay line

The recirculating delay line places a number of reflective features on the OTDR display, as shown in Figure 7. The first feature is the one obtained from the optical pulse travelling direct to the mirror, then back direct to the OTDR. The second feature is generated by the optical pulse travelling once through the loop, then to the mirror, then back direct to the OTDR (this pulse coincides with the pulse travelling direct to the mirror, then back through the loop, then back to the OTDR). The third pulse travels through the loop twice, etc.

Accordingly, the ideal displayed locations would be

$$\begin{aligned} L_{\text{otdr},0} &= L_a \\ L_{\text{otdr},1} &= L_a + L_b/2 \\ L_{\text{otdr},2} &= L_a + L_b \text{ etc.} \end{aligned} \tag{38}$$

where L_a is the length of the lead-in fibre and L_b is the length of the fibre loop.

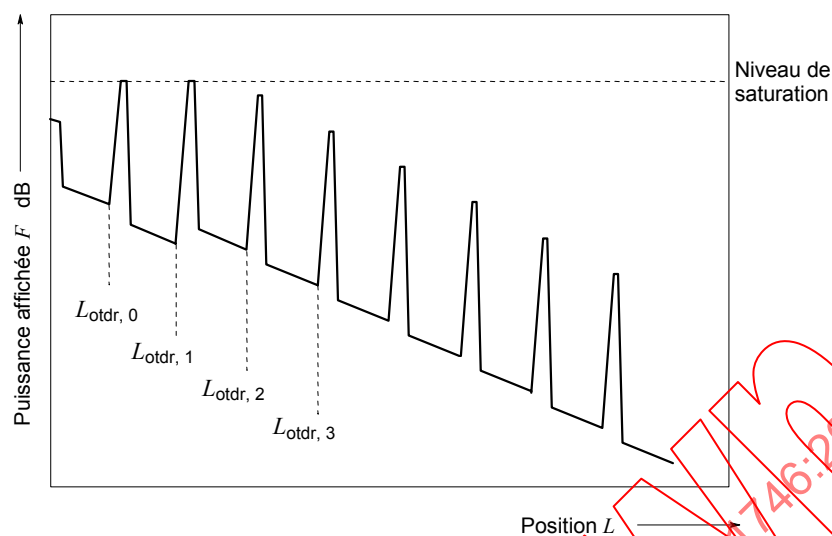


Figure 7 – Trace de l'OTDR produite par une boucle de retard

De manière optionnelle, il peut être intéressant d'ajouter au dispositif de mesure une ou plusieurs fibres par accroissement décrites en 6.2.3. Les multiples réflexions provoquées par la boucle de retard sont susceptibles d'engendrer des moyennages sur l'intervalle d'échantillonnage et diminuent l'intérêt de cette précaution. Cependant, cet effet de moyenne n'est pas contrôlé et un contrôle systématique peut être préférable. En employant la notation de 6.2.3, il peut être suffisant que $n = 2$, donc il y aurait une seule fibre par accroissement de longueur égale à la moitié de l'intervalle d'échantillonnage.

6.3.3 Procédure de mesure

On suppose qu'aucune fibre par accroissement n'est utilisée. Dans le cas contraire, cela ne conduit qu'à une augmentation du nombre d'échantillons à enregistrer et il sera facile de modifier les écritures et les calculs. La méthode devient alors très semblable à celle décrite en 6.2, la fibre amorce remplaçant la fibre A et la boucle remplaçant la fibre B.

6.3.3.1 Préparation

Fixer le mode de placement (automatique ou manuel) des marqueurs sur les fronts des réflexions de la boucle de retard, d'après les instructions du fabricant.

Connecter la boucle de retard directement à l'OTDR, de manière à voir les événements réfléchissants sur l'OTDR.

6.3.3.2 Réalisation des mesures

Avec l'OTDR, mesurer la position des réflexions successives de la boucle de retard. Enregistrer ces mesures en tant que $L_{otdr,i}$ où l'indice i va de 0 à k et représente le nombre de passages à travers la boucle. Si k a une valeur élevée, la précision sur le résultat sera probablement meilleure, mais cette valeur est limitée par l'affaiblissement et le plancher de bruit de l'OTDR.

6.3.4 Calculs et résultats

En utilisant les données d'étalonnage de la boucle de retard T_a et T_b , la série des positions de référence est:

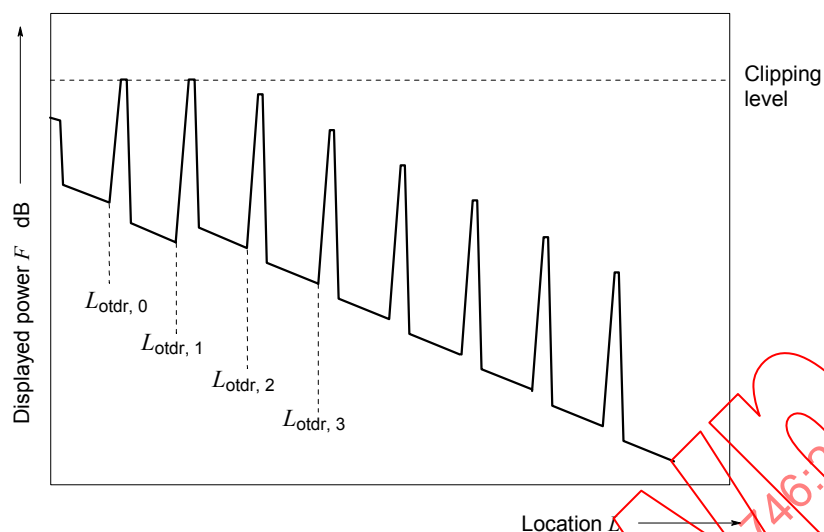


Figure 7 – OTDR trace produced by recirculating delay line

As an optional addition to the measurement set-up, it may be advantageous to use one or more incremental fibres as in 6.2.3. The need for this is reduced because the multiple reflections from the delay line are likely to generate averaging over the distance sampling interval. However, this averaging effect is not controlled and systematic control may be preferred. Using the notation of 6.2.3, it may be sufficient to let $n = 2$, so there is just one incremental fibre with length equal to half of the distance sampling interval.

6.3.3 Measurement procedure

The procedure assumes that no incremental fibres are used. If they are used, this simply increases the number of distance samples that are recorded, and it is straightforward to modify the notation and computations. The method then becomes very similar to that of 6.2, with the lead-in fibre being equivalent to fibre A and the loop length equivalent to fibre B.

6.3.3.1 Preparation

Establish the technique (automatic or manual) of placing the markers at the leading edges of the reflections from the recirculating delay line, following the manufacturer's recommendations.

Connect the recirculating delay line assembly directly to the OTDR so that the reflective features can be seen on the OTDR.

6.3.3.2 Taking the measurement results

Measure the locations of successive reflections from the recirculating delay line with the OTDR. Record these as $L_{otdr,i}$, where the index i goes from 0 to k and represents the number of passes through the loop. A large number k will presumably increase the accuracy of the result, but it will be limited by loss and the noise floor of the OTDR.

6.3.4 Calculations and results

Using the calibration data of the recirculating delay line T_a and T_b , the series of reference locations is:

$$i = 0: L_{\text{ref},0} = \frac{cT_a}{N} \quad (39)$$

$$i = 1: L_{\text{ref},1} = \frac{c(T_a + T_b/2)}{N}$$

$$i = 2: L_{\text{ref},2} = \frac{c(T_a + T_b)}{N} \quad \text{etc.}$$

où N est l'indice de groupe réglé sur l'OTDR.

Utiliser ensuite les positions affichées $L_{\text{otdr},i}$ et les positions de référence pour calculer la série d'erreurs de position ΔL_i :

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref},i}) \quad (40)$$

Pour déterminer le décalage de position ΔL_0 et l'écart d'échelle des distances ΔS_L , entrer les valeurs d'erreurs de position dans le modèle simplifié d'erreur de position (dans lequel on néglige momentanément l'incertitude d'affichage de position):

$$\Delta L_{i, \text{model}} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 \quad (41)$$

Particulièrement, minimiser la différence entre le modèle et les valeurs en utilisant le critère des moindres carrés, en d'autres termes choisir ΔS_L et ΔL_0 tels que la somme

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref},i} - \Delta L_0)^2 \quad (42)$$

soit minimale. Enregistrer ΔL_0 et ΔS_L obtenus à partir de l'approximation.

6.3.5 Incertitudes

On trouvera une discussion générale concernant les incertitudes sur les distances à l'Article 5.

A noter que la liste des incertitudes présentée ci-dessous n'est pas exhaustive. Il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres causes, en fonction de la méthode de mesure et de l'appareillage utilisés. Il convient d'utiliser les bases mathématiques exposées à l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

6.3.5.1 Incertitudes sur l'échelle des distances

L'approximation par les moindres carrés exposée en 6.3.4 prend en compte les distances affichées entre les échantillons de mesure pour calculer l'écart d'échelle des distances. On suppose que les échantillons de mesure proches de $L = 0$ et ceux proches de la position la plus lointaine $L = L_{\text{max}}$ ont la plus grande influence sur l'écart d'échelle des distances car les échantillons du centre n'ont pas d'influence sur la pente du modèle d'erreur de distance.

L'application de la formule standard de propagation des erreurs à l'équation (9) donne l'incertitude sur l'échelle des distances $\sigma_{\Delta S_L}$ pour laquelle $< D_{\text{otdr}} > \equiv D_{\text{ref}}$ a été utilisé.

$$\sigma_{\Delta S_L} \equiv \left(\left(\frac{\sigma_{<D_{\text{otdr}}>}}{<D_{\text{otdr}}>} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{D_{\text{ref}}}}{D_{\text{ref}}} \right)^2 \right)^{1/2} \quad \text{m/km} \quad (43)$$

$$\begin{aligned}
 i = 0: L_{\text{ref},0} &= \frac{cT_a}{N} \\
 i = 1: L_{\text{ref},1} &= \frac{c(T_a + T_b/2)}{N} \\
 i = 2: L_{\text{ref},2} &= \frac{c(T_a + T_b)}{N} \quad \text{etc.}
 \end{aligned} \tag{39}$$

where N is the group index setting of the OTDR.

Then use the displayed locations $L_{\text{otdr},i}$ and the reference locations to calculate the series of location errors ΔL_i :

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref},i}) \tag{40}$$

To determine the location offset ΔL_0 and the distance scale deviation ΔS_L , fit the location error data to the simplified location error model (in which the location readout uncertainty is momentarily neglected):

$$\Delta L_{i, \text{model}} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 \tag{41}$$

Specifically, minimize the difference between the model and the data using the least-squares criterion, that is choose ΔS_L and ΔL_0 so that the summation:

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref},i} - \Delta L_0)^2 \tag{42}$$

is minimized. Record ΔL_0 and ΔS_L obtained from the approximation.

6.3.5 Uncertainties

A general discussion of the distance uncertainties is given in Clause 5.

Note that the following list of uncertainties may not be complete. Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure. The mathematical basis given in Annex D should be used to calculate and state the uncertainties.

6.3.5.1 Distance scale uncertainty

The least-squares approximation outlined in 6.3.4 effectively uses the displayed distances between the measurement samples to calculate the distance scale deviation. It is assumed that the group of measurement samples near $L = 0$ and the one near the farthest location $L = L_{\text{max}}$ have the strongest influence on the distance scale deviation because the samples in the middle of the range have no influence on the slope of the distance error model.

Applying the standard formula for the propagation of errors to equation (9) yields the distance scale uncertainty $\sigma_{\Delta S_L}$ in which $\langle D_{\text{otdr}} \rangle \equiv D_{\text{ref}}$ was used.

$$\sigma_{\Delta S_L} \equiv \left(\left(\frac{\sigma_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}}{\langle D_{\text{otdr}} \rangle} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{D_{\text{ref}}}}{D_{\text{ref}}} \right)^2 \right)^{1/2} \text{ m/km} \tag{43}$$

où

D_{otdr} est $D_{\text{ref}} \approx L_{\text{ref}}$ (pour les longues distances dont il est question ici);

$\sigma_{\langle \text{Dotdr} \rangle}$ est l'écart type traduisant l'incertitude sur les échantillons de distance (à partir des échantillons de position); il est équivalent à l'écart type de $(\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})$, qui inclut l'incertitude sur le placement des marqueurs ainsi que l'erreur d'échantillonnage en distance; l'algorithme des moindres carrés utilisé pour la détermination de ΔS_L peut être utilisé pour la détermination de $\sigma_{\langle \text{Dotdr} \rangle}$; si des fibres par accroissement sont employées, ΔL_i peut être moyenné sur l'intervalle d'échantillonnage correspondant;

$\sigma_{D_{\text{ref}}}$ est l'incertitude sur les distances de référence; il est possible de la calculer avec l'équation $\sigma_{D_{\text{ref}}}/D_{\text{ref}} = \sigma_{T_b}/T_b$, où σ_{T_b} est l'incertitude du temps de transit dans la boucle, comme documenté dans le certificat d'étalonnage de la boucle de décalage (voir Annexe A).

6.3.5.2 Incertitude sur le décalage de position

Le décalage de position ΔL_0 est donné par l'intersection de l'approximation des moindres carrés avec l'axe vertical. Ce point dépend principalement des premiers échantillons, ceux qui sont les plus proches de la position $L = 0$, et dépend également de la précision du temps de transit T_a .

L'incertitude sur le décalage de position $\sigma_{\Delta L_0}$ peut être calculée à partir de la formule classique de propagation des erreurs appliquée à l'équation (41):

$$\sigma_{\Delta L_0} = \left(\sigma_{\Delta L}^2 + \left(\frac{\partial \Delta L_0}{\partial T_a} \right)^2 \sigma_{T_a}^2 \right)^{1/2} \quad (44)$$

où

$\sigma_{\Delta L}$ est l'incertitude sur les différences entre ΔL_i et l'approximation des moindres carrés au voisinage de $L = 0$, qui inclut l'incertitude sur le placement des marqueurs et l'erreur d'échantillonnage en distance et est équivalente à l'écart type de $(\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})$ près de $L = 0$; l'algorithme des moindres carrés, utilisé pour déterminer ΔL_0 peut l'être aussi pour déterminer $\sigma_{\Delta L}$. Si des fibres par accroissement sont utilisées, ΔL_i peut être moyenné sur l'intervalle d'échantillonnage correspondant;

σ_{T_a} est l'incertitude annoncée sur le temps de retard de la fibre amorce de la boucle de retard (voir Annexe A);

$\sigma_{T_a, \theta}$ est l'incertitude sur le temps de retard de la fibre amorce due au coefficient de dilatation de la fibre; valeur typique: 1 cm/(km °C).

6.3.5.3 Incertitude d'affichage de position

Le principe de détermination de l'incertitude d'affichage de position est exposé à la Figure 2. Dans le cas de la méthode de la boucle de retard, les données ne sont pas assez nombreuses pour mettre en évidence la nature répétitive des échantillons de mesure. Néanmoins, il est recommandé de déterminer les plus grandes différences entre les erreurs de position $\Delta L_i (L_{\text{ref}})$ et l'approximation des moindres carrés. On divise ensuite cette différence par la racine carrée de 3, pour obtenir l'incertitude d'affichage de position $\sigma_{L_{\text{readout}}}$ (qui inclut l'erreur d'échantillonnage en distance).

where

D_{otdr} is $D_{\text{ref}} \approx L_{\text{ref}}$ (for the long distances discussed here);

$\sigma_{\langle \text{Dotdr} \rangle}$ is the standard deviation expressing the uncertainty of the distance samples (on the basis of the location samples); this is equivalent to the standard deviation of $(\Delta L_i - \Delta L_{i,\text{model}})$ which includes the marker placement uncertainty and the distance sampling error; the least squares algorithm used for the determination of ΔS_L can be used to determine $\sigma_{\langle \text{Dotdr} \rangle}$; if incremental fibres are used, then ΔL_i may be averaged over the correspondent sampling interval;

σ_{Dref} is the uncertainty of the reference distances; it can be calculated from the formula $\sigma_{\text{Dref}}/D_{\text{ref}} = \sigma_{\text{Tb}}/T_b$, where σ_{Tb} is the uncertainty of the loop transit time, as documented in the calibration certificate of the recirculating delay line (see Annex A).

6.3.5.2 Location offset uncertainty

The location offset ΔL_0 is equal to the intercept of the least-squares approximation with the vertical axis. This intercept mostly depends on the first few samples, that is those which are closest to the location $L = 0$, and on the accuracy of the transit time T_a .

The location offset uncertainty $\sigma_{\Delta L_0}$ can be calculated by applying the standard formula for the propagation of errors to equation (41):

$$\sigma_{\Delta L_0} = \left(\sigma_{\Delta L}^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial T_a} \right)^2 \sigma_{T_a}^2 \right)^{1/2} \quad (44)$$

where

$\sigma_{\Delta L}$ is the uncertainty of the differences between ΔL_i and the least squares approximation near $L = 0$; this includes the marker placement uncertainty and the distance sampling error; this is equivalent to the standard deviation of $(\Delta L_i - \Delta L_{i,\text{model}})$ near $L = 0$; the least squares algorithm used for the determination of ΔL_0 can be used to determine $\sigma_{\Delta L}$; if incremental fibres are used, then ΔL_i may be averaged over the correspondent sampling interval;

σ_{T_a} is the documented uncertainty of the delay time of the lead-in fibre of the recirculating delay line (see Annex A),

$\sigma_{T_a,\Theta}$ is the uncertainty of the delay time of the lead-in fibre due to the temperature coefficient of the fibre; typical value: 1 cm/(km °C).

6.3.5.3 Location readout uncertainty

The principle of determining the location readout uncertainty is shown in Figure 2. With the recirculating delay line, it is expected that not enough data are produced to show the repetitive nature of the measurement samples. Nevertheless, it is recommended that the largest differences between the location errors $\Delta L_i (L_{\text{ref}})$ and the least-squares approximation be determined. Then divide this difference by the square root of 3 to obtain the location readout uncertainty σ_{Lreadout} (which includes the distance sampling error).

7 Etalonnage des affaiblissements – Généralités

L'objectif de l'étalonnage des affaiblissements est de déterminer l'écart d'affaiblissement ΔS_A pour des niveaux de puissance F à l'intérieur de la zone de rétrodiffusion utile de l'OTDR et d'évaluer les incertitudes de mesure. ΔS_A est fonction du niveau de puissance affichée F ; il inclut à la fois les inexactitudes de l'affichage d'affaiblissement et la non-linéarité de l'échelle de puissance de l'OTDR.

L'étalonnage peut être réalisé avec l'une des quatre méthodes suivantes: fibre étalon, source externe, simulateur d'épissure, réduction de puissance. Les paragraphes suivants décrivent les principes de l'étalonnage des affaiblissements.

7.1 Détermination du niveau de puissance affiché F

Pour chaque mesure d'affaiblissement, déterminer le niveau de puissance affiché ou un paramètre équivalent qui peut être utilisé pour reproduire la position verticale d'un échantillon de mesure. Ce niveau est appelé F .

Sauf spécification contraire, utiliser le niveau de saturation de l'OTDR comme valeur de référence (par défaut) pour déterminer F : $F_{\text{ref}} = 0$ dB. Préciser toutes les valeurs de F en relation avec ce point de référence (par exemple, si le niveau de puissance affiché est x dB en dessous du niveau de saturation, alors $F = -x$ dB). Le niveau de saturation peut être obtenu en introduisant une réflexion suffisamment forte dans une longueur de fibre, comme indiqué sur la Figure 8. Une autre méthode consiste à utiliser une impulsion optique suffisamment forte provenant d'une source externe (voir 8.2). Le niveau de saturation a été choisi parce qu'il représente le niveau le plus reproductible de la plupart des échelles de puissance des OTDR.

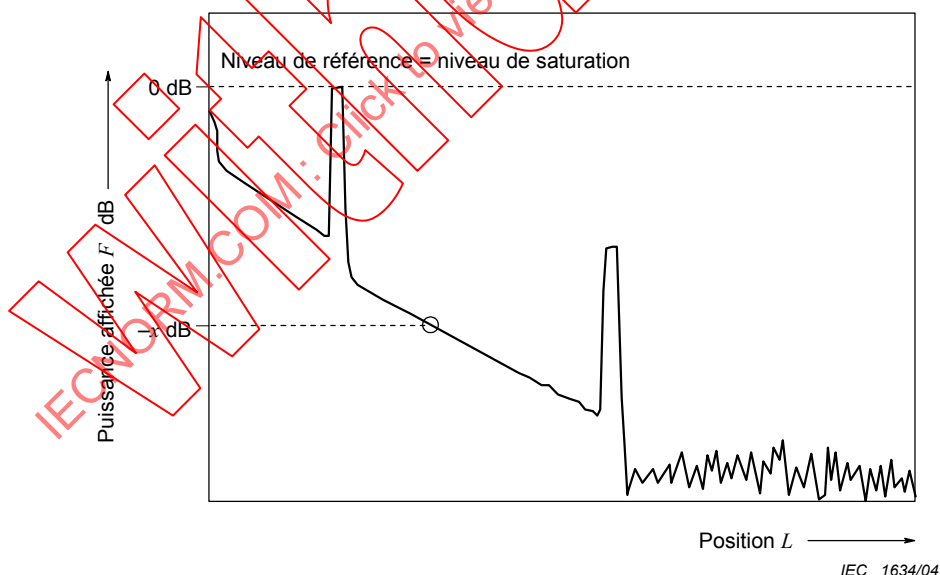


Figure 8 – Détermination du niveau de référence et du niveau de puissance affiché

Il est aussi possible de présenter le niveau de puissance F en dBm si l'OTDR fournit la possibilité de lire la puissance affichée en dBm, ou d'utiliser le niveau du début du signal de rétrodiffusion pour une fibre d'un type donné, à une largeur d'impulsion donnée, comme niveau de référence. Il est à noter que, dans ce dernier cas, la reproductibilité du niveau de référence est généralement affectée par la non-reproductibilité de la connexion de la sortie de l'OTDR.

7 Loss calibration – General

The objective of the loss calibration is to determine the loss deviation ΔS_A for power levels F within the OTDR backscatter regime and to evaluate the measurement uncertainties. ΔS_A is a function of the displayed power level F ; it includes both the inaccuracy of the displayed loss and the non-linearity of the OTDR power scale.

The calibration can be carried out with any of the following four methods: fibre standard, external source, splice simulator or power reduction. The following subclauses outline the principles of the loss calibration.

7.1 Determination of the displayed power level F

For each measured loss, determine the displayed power level or an equivalent parameter that can be used to reproduce the vertical position of a measurement sample. This level is termed F .

Unless otherwise specified, use the OTDR's clipping level as the (default) reference point for determining F : $F_{\text{ref}} = 0$ dB. State all values of F in relation to this reference point (for example, if the displayed power level is x dB below the clipping level, then $F = -x$ dB). The clipping level can be found by introducing a sufficiently large reflection into a length of fibre, as indicated in Figure 8. Alternatively, a sufficiently strong optical pulse from an external source can be used (see 8.2). The clipping level was chosen because it represents the most reproducible level on most OTDR power scales.

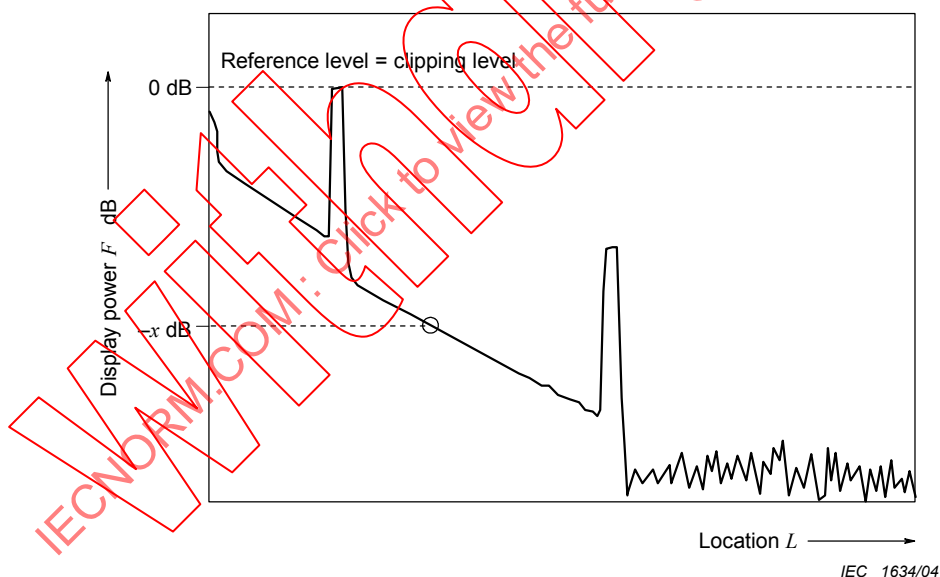


Figure 8 – Determining the reference level and the displayed power level

Alternative solutions may be to state the value of F in dBm if the OTDR provides the capability of reading out the displayed power in dBm, or to use the start level of the backscatter trace from a specified type of fibre, at a specified pulse width, as the reference level. Note that, in the latter case, the reproducibility of the reference level is usually affected by the non-reproducibility of the connection to the OTDR port.

7.2 Détermination d'un affaiblissement de référence approprié A_{ref}

Le principe de l'étalonnage des affaiblissements est d'appliquer un dispositif possédant un affaiblissement de référence connu A_{ref} à l'OTDR, et de mesurer l'affaiblissement affiché $A_{otdr,i}$ en fonction du niveau de puissance affiché F_i comme cela est décrit à la Figure 9. Il est à remarquer que les valeurs F_i représentent la puissance haute de $A_{otdr,i}$.

D'un point de vue théorique, une valeur infiniment petite de A_{ref} serait souhaitable. En pratique, des valeurs de A_{ref} trop petites peuvent causer des incertitudes de mesure supplémentaires dues au bruit de l'OTDR, alors que de fortes valeurs de A_{ref} tendent à cacher les détails plus fins. On doit donc préciser la valeur spécifique de A_{ref} utilisée pour l'étalonnage. La gamme recommandée pour A_{ref} va de 0,5 dB à 2 dB.

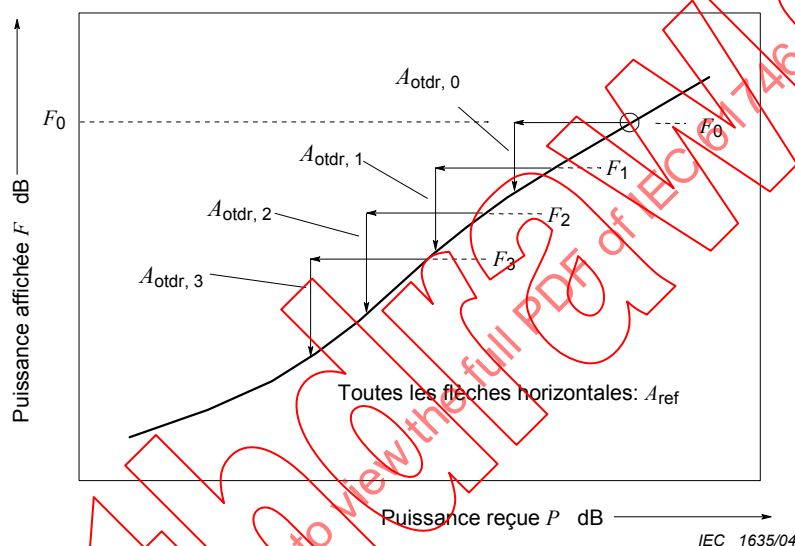


Figure 9 – Mesure des échantillons d'affaiblissement de l'OTDR

L'affaiblissement de référence peut être un composant optique réel ou simulé. Il est à remarquer que les composants de la fibre optique produisent normalement des affaiblissements dépendant de la longueur d'onde. Il est donc nécessaire de connaître la valeur de l'affaiblissement de référence à la longueur d'onde centrale de l'OTDR. Il est également important que l'affaiblissement de référence dépende peu de la polarisation.

7.3 Elaboration d'un plan d'essai

Les échantillons d'affaiblissement peuvent dépendre non seulement du niveau de puissance, mais aussi de la distance et de l'antériorité du signal (c'est-à-dire la réponse de l'OTDR sur la fibre) précédant le dispositif qui doit être mesuré. Plus particulièrement, le détecteur et l'électronique peuvent être affectés par la récupération de l'émission initiale du laser et des signaux provenant soit de la rétrodiffusion soit des réflexions sur la fibre. L'étalonnage sera applicable seulement aux conditions de distance et de signal pour lequel il a été réalisé.

Cette norme ne spécifie pas de conditions particulières de l'antériorité du signal. Afin de faciliter la description des niveaux de puissance et de la distance, cette norme définit une région A de l'affichage de l'OTDR comme étant une approximation de la région où l'opérateur effectue habituellement les mesures. Pour les besoins de cette norme, la région A est définie par quatre quantités, telles que décrites à la Figure 10: le niveau extrapolé de la courbe de rétrodiffusion pour la largeur d'impulsion spécifique utilisée F_0 , la plus faible et la plus forte valeur d'affaiblissement définie par le tableau ci-dessous, et une marge de 3 dB des deux côtés.

7.2 Selection of an appropriate reference loss A_{ref}

The principle of the loss calibration is to apply a device of known (reference) loss A_{ref} to the OTDR and to measure the displayed loss $A_{\text{otdr},i}$ as a function of the displayed power level F_i , as shown in Figure 9. Notice that the F_i values denote the high power ends of $A_{\text{otdr},i}$.

From a theoretical point of view, an infinitesimally small value of A_{ref} would be desirable. In practice, values of A_{ref} being too small may result in additional measurement uncertainty due to OTDR noise, whereas large values of A_{ref} tend to obscure fine details. Therefore, the specific value of A_{ref} used in the calibration has to be documented. The recommended range for A_{ref} is 0,5 dB to 2 dB.

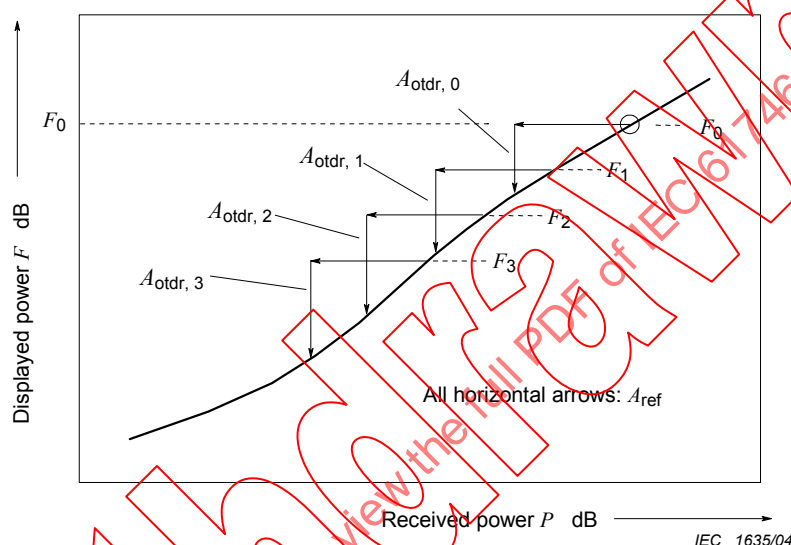


Figure 9 – Measurement of the OTDR loss samples

The reference loss can be an actual or simulated fibre optic component. Note that fibre optic components usually exhibit wavelength-dependent losses. Therefore, it is necessary to know the reference loss at the centre wavelength of the OTDR. It is also important that the reference loss has a small polarization dependence.

7.3 Development of a test plan

The loss samples may depend not only on the power level, but also on the distance and the history of the signal (that is, the shape of the fibre's OTDR signature) prior to the feature that is being measured. In particular, the detector and electronics may be affected by recovery from the initial firing of the laser and from signals due either to scattering or reflections in the fibre. The calibration will apply only to the distance and signal conditions for which it is performed.

This standard does not require specific conditions of signal history. For an aid in describing power levels and distance, this standard defines an OTDR display region A as an approximation to the region where the user normally takes measurements. For the purpose of this standard, region A is defined by four quantities, as illustrated in Figure 10: the extrapolated start of the backscatter trace for the specific pulse width used F_0 , a lowest and a highest attenuation as defined in the table below, and 3 dB margins on both sides.

Tableau 1 – Affaiblissement linéique définissant la région A

Longueur d'onde nm	Affaiblissement linéique de la fibre	
	Valeur minimale ($\alpha_{\min}$) dB/km	Valeur maximale ($\alpha_{\max}$) dB/km
1 310	0,33	0,43
1 550	0,18	0,28

Sur les mêmes bases, des valeurs d'affaiblissement linéique pour d'autres longueurs d'onde peuvent être choisies pour représenter les fibres unimodales typiques. Une description analytique de la région A est donnée par

$$\begin{aligned} F_{\max}(L) &= F_0 - \alpha_{\min} L + 3 \text{ dB} \\ F_{\min}(L) &= F_0 - \alpha_{\max} L - 3 \text{ dB} \end{aligned} \quad (45)$$

Il convient que $F_{\max}$ ne dépasse pas une limite supérieure de 1 dB en dessous du niveau de saturation, sauf spécification contraire du fournisseur de l'OTDR. Il convient que les points d'étalonnage d'affaiblissement F se situent à l'intérieur de la région A. Les points d'étalonnage des régions B et C peuvent être fournis d'une manière volontaire. La région B est applicable lorsque le chemin de la fibre inclut des composants à fort affaiblissement. La région C est applicable lorsque le chemin de la fibre inclut des composants à forte réflexion.

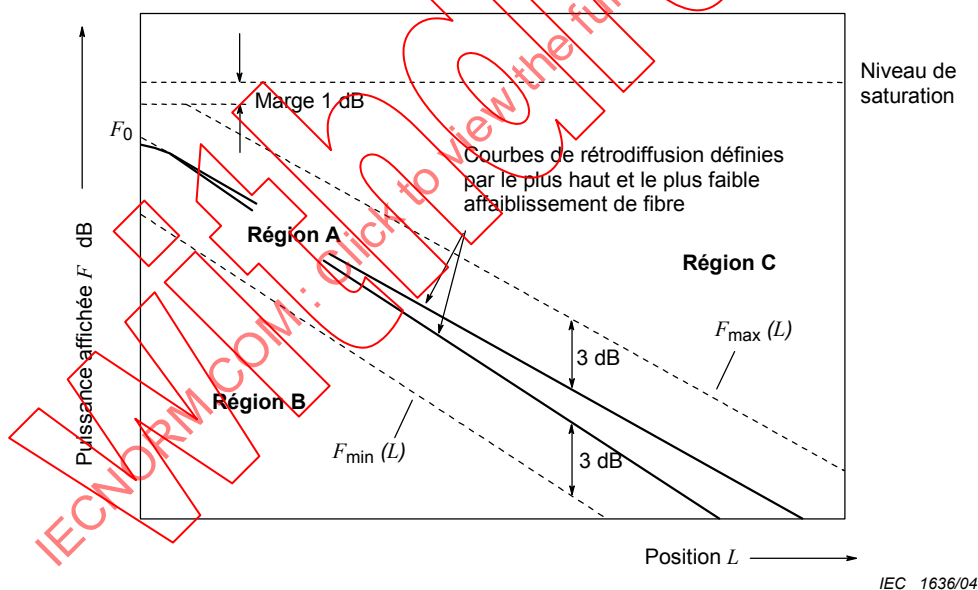


Figure 10 – Région A, recommandée pour les échantillons de mesure d'affaiblissement

Pour chacune des méthodes présentées ci-dessous, élaborer un plan d'essai de placement des échantillons, chacun issu d'une combinaison de la position et du niveau de puissance affichée. Le but est d'avoir un espacement vertical des échantillons de 0,5 dB à 1 dB et jamais supérieur à l'affaiblissement de référence A_{ref} . Il convient de choisir une gamme d'affaiblissement comprise entre F_0 et le niveau de bruit et une distribution régulière des échantillons à l'intérieur de la région A. La superposition des échantillons de mesure, c'est-à-dire des échantillons au même niveau de puissance affichée mais à des positions différentes, est souhaitable, comme indiqué à la Figure 11.

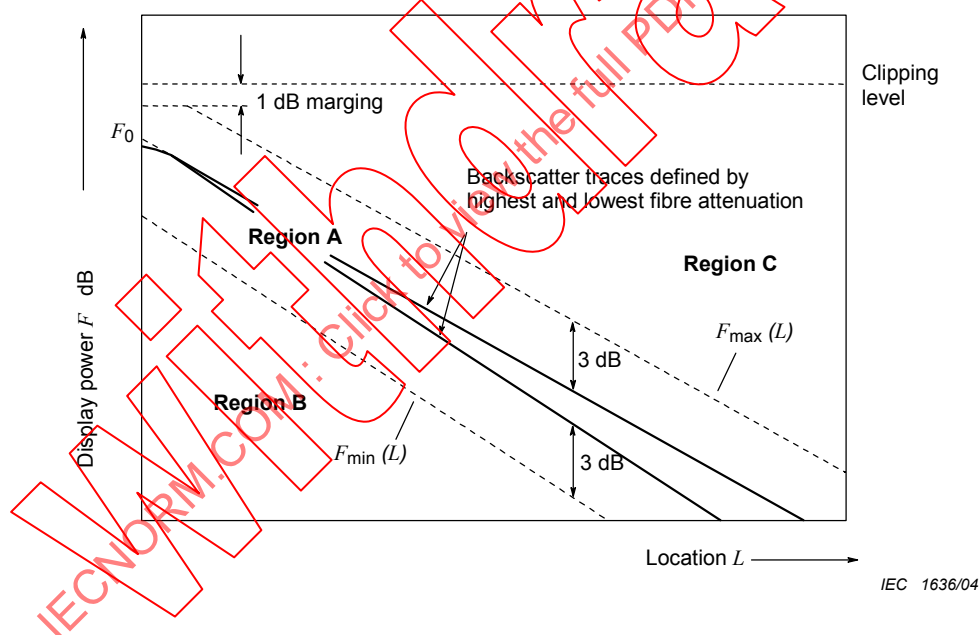
Table 1 – Attenuation coefficients defining region A

Wavelength nm	Fibre attenuation coefficients	
	Lowest ($\alpha_{\min}$) dB/km	Highest ($\alpha_{\max}$) dB/km
1 310	0,33	0,43
1 550	0,18	0,28

On the same basis, attenuation coefficient values for other wavelengths may be chosen to represent typical single-mode fibres. An analytical description of region A is given by

$$\begin{aligned} F_{\max}(L) &= F_0 - \alpha_{\min} L + 3 \text{ dB} \\ F_{\min}(L) &= F_0 - \alpha_{\max} L - 3 \text{ dB} \end{aligned} \quad (45)$$

$F_{\max}$ should not exceed an upper limit of 1 dB below the clipping level, unless otherwise specified by the OTDR manufacturer. The loss calibration points F should lie inside region A. Calibration data in regions B and C can be provided on a voluntary basis. Region B is applicable when the fibre path includes components with high loss. Region C is applicable when the fibre path includes components with strong reflection.

**Figure 10 – Region A, the recommended region for loss measurement samples**

For each of the methods outlined below, develop a test plan of sample placements, each of which is a combination of location and displayed power level. The goal is a vertical sample spacing of 0,5 dB to 1 dB, and not more than the reference loss A_{ref} . An attenuation range from F_0 down to the noise level and an even distribution of samples inside region A should be chosen. Overlapping measurement samples, that is samples at the same displayed power level but at different locations, are desirable, as indicated in Figure 11.

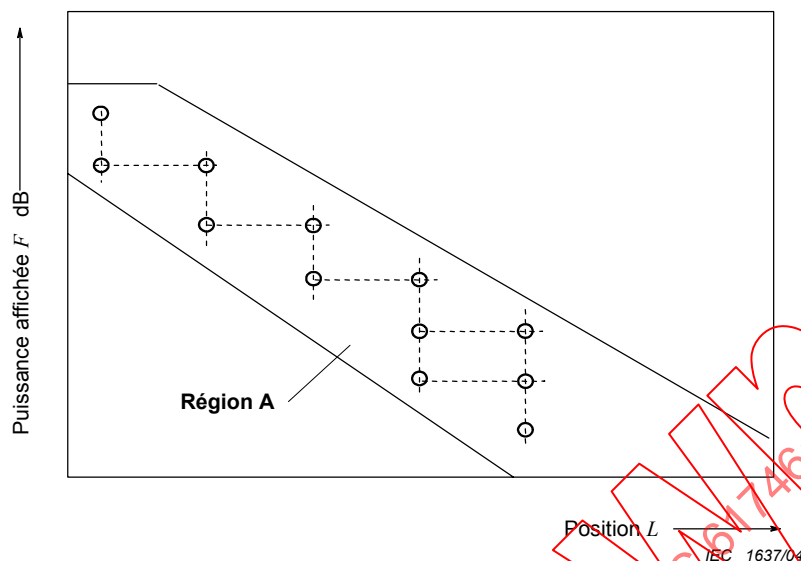
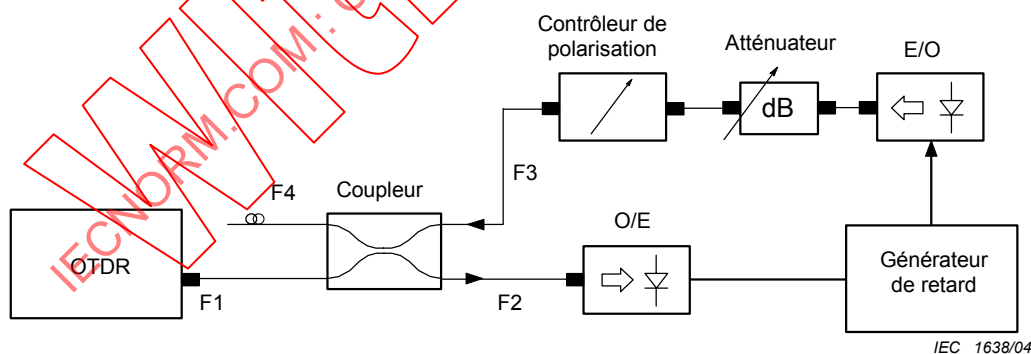


Figure 11 – Placement possible des points d'échantillons à l'intérieur de la région A

7.4 Dépendance envers la polarisation

L'évaluation de la dépendance envers la polarisation (PDL) peut être effectuée en plaçant sur la sortie de l'OTDR un signal externe polarisé ayant un état de polarisation variable et un niveau de puissance constant (voir CEI 61300-3-2). Une solution consiste à inclure un essai de PDL dans la méthode de la source externe décrite en 8.2, en remplaçant un atténuateur par un contrôleur de polarisation. La Figure 12 montre un exemple. Il convient que le contrôleur de polarisation soit capable de fournir tous les états de polarisation tout en conservant essentiellement invariables le niveau de puissance en sortie et le degré de polarisation.



Légende

F1, F2, F3 et F4 fibres

E/O convertisseur électrique/optique

O/E convertisseur optique/électrique

Figure 12 – Méthode de la source externe pour l'essai de dépendance des OTDR envers la polarisation

Une autre solution consiste à utiliser, pour l'essai de PDL, le signal réfléchi provenant par exemple, de la fin d'une fibre clivée. Voir Figure 13.

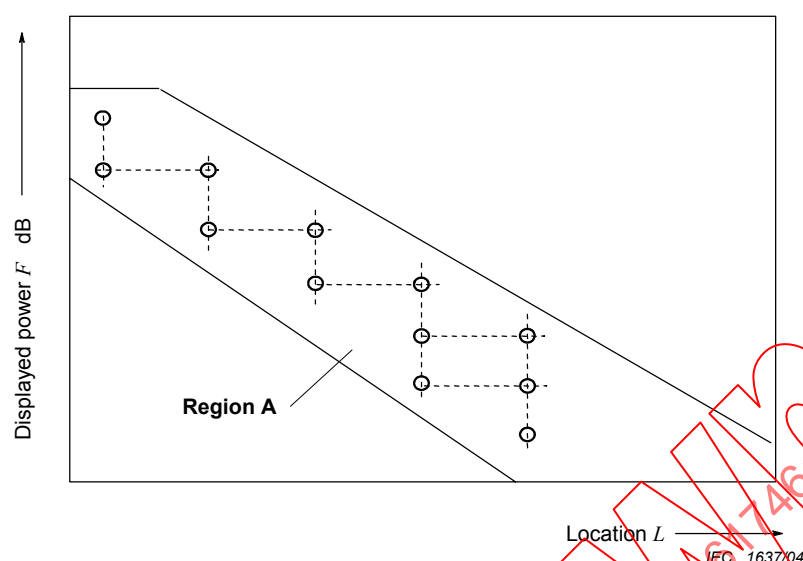
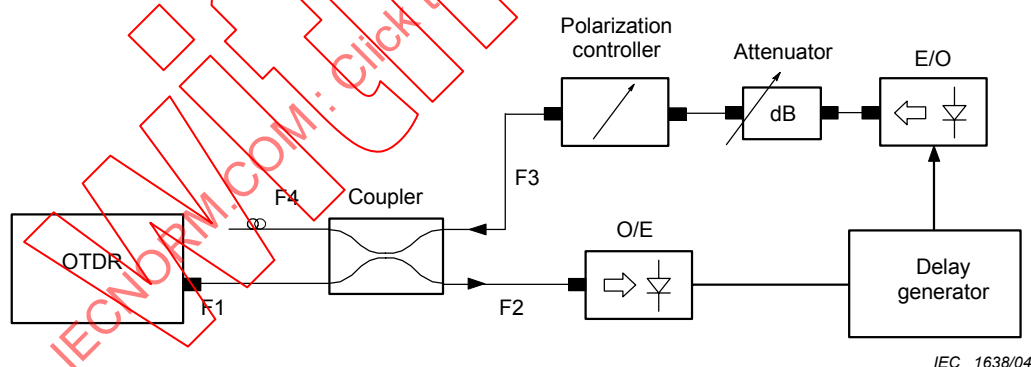


Figure 11 – Possible placement of sample points within region A

7.4 Polarization dependence

PDL testing can be accomplished by feeding a polarized external signal with variable polarization state and constant power level to the OTDR port (see IEC 61300-3-2). One possibility is including a PDL test into the external source method outlined in 8.2, by replacing one attenuator by a polarization controller. Figure 12 shows an example. The polarization controller should be able to generate all states of polarization while leaving the output power and degree of polarization essentially unchanged.



Key

- F1, F2, F3 and F4 fibres
- E/O electrical-to-optical converter
- O/E optical-to-electrical converter

Figure 12 – External source method for testing the polarization dependence of the OTDR

Another possibility for polarization dependence testing is using the reflected signal from, for example, a cleaved fibre end. See Figure 13.

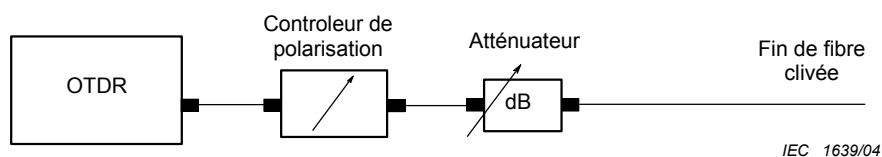


Figure 13 – Méthode de la réflexion pour l'essai de dépendance envers la polarisation des OTDR

Bien prendre en compte le fait que l'affaiblissement du contrôleur de polarisation peut être fonction de sa mise en œuvre (dépendance envers la rotation). Le coupleur utilisé par la méthode de la source externe peut aussi avoir un affaiblissement dû à la polarisation. Il est indispensable que ces dépendances soient plus petites que la dépendance envers la polarisation de l'OTDR. L'ensemble crée des incertitudes de mesure. Il est recommandé de tester le dispositif pour déterminer cette incertitude en procédant comme indiqué ci-dessous.

- a) Pour la méthode de la source externe, évaluer l'incertitude en configurant le convertisseur E/O en mode continu (CW) et en remplaçant l'OTDR par un radiomètre optique insensible à la polarisation.

Pour la méthode de la réflexion, évaluer l'incertitude en configurant si cela est possible l'OTDR en source continue; si cela n'est pas possible, remplacer l'OTDR par une source laser continue (polarisée). Connecter la fin de la fibre à un radiomètre optique insensible à la polarisation.

- b) Ajuster le contrôleur de polarisation de manière à créer un grand nombre d'états de polarisation couvrant la totalité de la sphère de Poincaré. Observer la variation crête à crête du niveau de puissance affiché produite par la modification des états de polarisation $\Delta A_{pdl, set-up}$; cette grandeur inclut également la dépendance du radiomètre envers la polarisation. Suivant les bases mathématiques, noter le résultat sous forme d'incertitude liée au dispositif de mesure de la dépendance envers la polarisation (PDL) $\sigma_{pdl, set-up}$:

$$\sigma_{pdl, set-up} = \frac{\Delta A_{pdl, set-up}}{2\sqrt{3}} \quad (46)$$

Pour tester la dépendance envers la polarisation de l'OTDR, placer l'impulsion optique au centre de l'écran du réflectomètre. Éviter les niveaux de puissance affichés proches du niveau de saturation de l'OTDR en ajustant correctement le niveau de l'atténuateur. Ajuster le contrôleur de polarisation de manière qu'un grand nombre d'états de polarisation soient créés. Observer la modification du niveau de puissance affiché créé par la modification des états de polarisation. Noter la variation de l'amplitude de l'impulsion $\pm \Delta A_{pdl, otdr}$.

Ajouter le résultat de la mesure de la PDL à la documentation. Si l'essai de PDL n'a pas été réalisé, cela doit être clairement précisé dans la documentation.

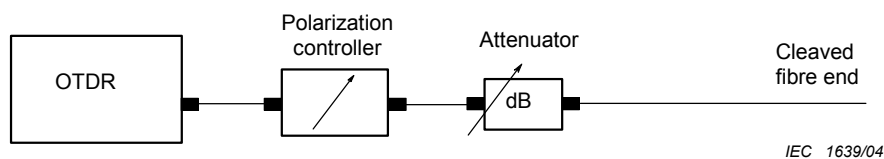
7.5 Calcul des résultats d'étalonnage

A partir des valeurs mesurées $A_{otdr, i}$, calculer les facteurs d'échelle d'affaiblissement $S_{A, i}$:

$$S_{A, i} = \frac{A_{otdr, i}}{A_{ref}} \quad \text{dB/dB} \quad (47)$$

et les écarts d'affaiblissement $\Delta S_{A, i}$:

$$\Delta S_{A, i} = \frac{A_{otdr, i} - A_{ref}}{A_{ref}} = S_{A, i} - 1 \quad \text{dB/dB} \quad (48)$$



IEC 1639/04

Figure 13 – Reflection method for testing the polarization dependence of the OTDR

Be aware that the loss of the polarization controller may depend on its settings (rotation dependence). The coupler used in the external source method may also exhibit polarization-dependent loss. It is essential that these dependences be smaller than the OTDR polarization dependence. Both will introduce a measurement uncertainty. It is recommended to test the set-up for this uncertainty as follows.

- a) In the case of the external source method, evaluate the uncertainty by setting the E/O converter to continuous-wave operation and replacing the OTDR with a polarization-insensitive optical power meter.

In the case of the reflection method, evaluate the uncertainty by setting the OTDR to continuous-wave mode if possible; otherwise, replace the OTDR with a continuous-wave (polarized) laser source. Connect the fibre end to a polarization-insensitive optical power meter.

- b) Adjust the polarization controller so that a large number of polarization states is produced which cover essentially the entire Poincaré sphere. Observe the peak-to-peak change of the displayed power level caused by the change of polarization state, $\Delta A_{\text{pdl, set-up}}$; this quantity will also include the power meter's polarization dependence. Following the mathematical basis, record the result in the form of an uncertainty for the PDL measurement set-up, $\sigma_{\text{pdl, set-up}}$:

$$\sigma_{\text{pdl, set-up}} = \frac{\Delta A_{\text{pdl, set-up}}}{2\sqrt{3}} \quad (46)$$

To test the OTDR polarization dependence, place the optical pulse on the centre of the screen. Avoid displayed power levels near the OTDR's clipping level by proper setting of the attenuator. Adjust the polarization controller so that a large number of polarization states is produced. Observe the change of displayed power level caused by changing the polarization state. Record the variation of the pulse amplitude $\pm \Delta A_{\text{pdl, otdr}}$.

Include the PDL measurement result into the documentation. If PDL testing was not carried out, then this is to be specifically stated in the documentation.

7.5 Calculation of the calibration results

From the measured values $A_{\text{otdr}, i}$, calculate the loss scale factors $S_{A, i}$:

$$S_{A, i} = \frac{A_{\text{otdr}, i}}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB/dB} \quad (47)$$

and the loss deviations $\Delta S_{A, i}$:

$$\Delta S_{A, i} = \frac{A_{\text{otdr}, i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} = S_{A, i} - 1 \quad \text{dB/dB} \quad (48)$$

Les incertitudes d'affaiblissement $\sigma_{\Delta SA}$ sont exposées en même temps que les méthodes d'étalonnage.

7.6 Utilisation des résultats d'étalonnage

L'erreur sur une valeur d'affaiblissement mesurée par l'OTDR $\Delta A_i = A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}$ et son incertitude peuvent être calculées à partir des résultats de l'étalonnage par l'équation suivante, dans laquelle le degré de confiance recommandé de 95 % est utilisé:

$$\Delta A_i = [\Delta S_{A,i} \pm 2\sigma_{\Delta SA,i}] A_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (49)$$

Dans cette formule, A_{ref} peut être remplacé par l'affaiblissement affiché $A_{\text{otdr},i}$ sans qu'il y ait de conséquences sérieuses. Il est à noter que cette erreur s'applique, de manière rigoureuse, seulement pour les affaiblissements mesurés au niveau de puissance affiché et à la position affichée pour lesquelles ΔA_i a été enregistré.

8 Méthodes d'étalonnage de l'affaiblissement

Dans toutes les méthodes d'étalonnage de l'affaiblissement, un affaiblissement de référence est produit hors de l'OTDR, et la réponse de l'OTDR à cet affaiblissement de référence est testée. Dans certains cas, l'affaiblissement de référence est la différence entre deux signaux d'état de polarisation identique (voir 8.2 et 8.4). Dans ces cas, le résultat de l'étalonnage de l'affaiblissement n'est pas influencé par la dépendance de l'OTDR envers la polarisation. Dans d'autres cas, l'affaiblissement de référence est la différence entre deux signaux d'états de polarisation différents (voir 8.1 et 8.3). Dans ces cas, il peut être judicieux d'ajouter un contrôleur de polarisation entre l'OTDR et le dispositif d'affaiblissement de référence, de façon à pouvoir éliminer l'influence de la dépendance de l'OTDR envers la polarisation. Généralement, il est souhaitable que les résultats d'étalonnage de l'affaiblissement ne soient pas influencés par la dépendance de l'OTDR envers la polarisation.

8.1 Etalonnage de l'affaiblissement avec une fibre étalon

8.1.1 Description sommaire et avantages

La méthode de la fibre étalon décrit l'étalonnage de l'échelle de puissance de l'OTDR en utilisant une fibre optique étalon d'affaiblissement précisément déterminé (voir Annexe B). Cet affaiblissement de référence est utilisé pour déterminer $A_{\text{otdr},i}$. Cette méthode d'étalonnage correspond précisément aux conditions de mesure d'affaiblissement de fibre avec un OTDR. Elle est particulièrement bien adaptée pour l'étalonnage de la région A de la Figure 10.

8.1.2 Matériel

En plus de l'OTDR à tester, le matériel de mesure inclut

- a) une fibre étalon telle que décrite à l'Annexe B;
- b) un jeu de fibres amorce, qui doivent être des fibres unimodales de type B (voir CEI 60793-1);
- c) un atténuateur variable;
- d) en option, un contrôleur de polarisation.

Le but de l'atténuateur et des fibres amorce est de placer la fibre étalon à différentes positions dans la région A (voir l'Article 7) de l'affichage de l'OTDR. Exemple: le niveau de puissance affiché peut être ajusté dans une plage de 30 dB par pas de 2 dB par une combinaison adéquate de quatre fibres amorce ayant des valeurs d'affaiblissement de 2 dB, 4 dB, 8 dB et 16 dB.

The loss uncertainties $\sigma_{\Delta SA}$ are discussed in conjunction with the calibration methods.

7.6 Using the calibration results

The error of a loss value measured with the OTDR $\Delta A_i = A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}$ and its uncertainty can be calculated from the calibration results by the following formula, in which the recommended confidence level of 95 % is used:

$$\Delta A_i = [\Delta S_{A,i} \pm 2\sigma_{\Delta SA,i}] A_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (49)$$

In this formula, A_{ref} can be replaced by the displayed loss $A_{\text{otdr},i}$ without serious consequences. Notice that this error applies, in a rigorous sense, only to measured losses at the displayed power level and displayed location for which ΔA_i was recorded.

8 Loss calibration methods

In all loss calibration methods, a reference loss is produced outside the OTDR, and the OTDR response to this reference loss is tested. In some cases, the reference loss is the difference between two signals of equal polarization state (see 8.2 and 8.4). In these cases, the loss calibration result is not influenced by the OTDR's polarization dependence. In other cases, the reference loss is the difference between two signals of potentially different polarization states (see 8.1 and 8.3). In these cases, it may be advisable to add a polarization controller between the OTDR and the reference loss device, in order to be able to average out the influence of the OTDR polarization dependence. Generally, it is desirable that the loss calibration results are not influenced by the OTDR polarization dependence.

8.1 Loss calibration with fibre standard

8.1.1 Short description and advantage

The fibre standard method describes the calibration of the OTDR power scale with the help of an optical fibre standard of precisely determined loss (see Annex B). This reference loss is used to determine $A_{\text{otdr},i}$. This calibration method closely reflects the conditions in measuring fibre attenuation with an OTDR, it is particularly well suited for the calibration of region A of Figure 10.

8.1.2 Equipment

In addition to the test OTDR, the measurement equipment includes

- a) a fibre standard as described in Annex B;
- b) a set of lead-in fibres, these shall be type B single-mode fibres (see IEC 60793-1);
- c) a variable attenuator;
- d) optionally, a polarization controller.

The purpose of the attenuator and lead-in fibres is to place the fibre standard at a number of different locations within region A (see Clause 7) of the OTDR display. Example: the displayed power level can be varied within a 30 dB range with 2 dB steps by a proper combination of four lead-in fibres with attenuation values of 2 dB, 4 dB, 8 dB and 16 dB.

Il convient que ces fibres soient raccordées avec des connecteurs à faible réflectance; les valeurs d'affaiblissement incluent les pertes typiques des connecteurs. Dans le but d'obtenir l'espacement des échantillons recommandé (plus fin) de 0,5 dB, l'atténuateur devra être ajusté entre 0 dB et 1,5 dB par pas de 0,5 dB.

Il convient de noter que l'atténuateur n'est pas nécessaire si les pas de 0,5 dB recommandés sont obtenus à partir d'un nombre de fibres amorces plus élevé.

L'objet du contrôleur de polarisation optionnel est de réduire l'influence possible de la dépendance de l'OTDR envers la polarisation (voir Figure 14).

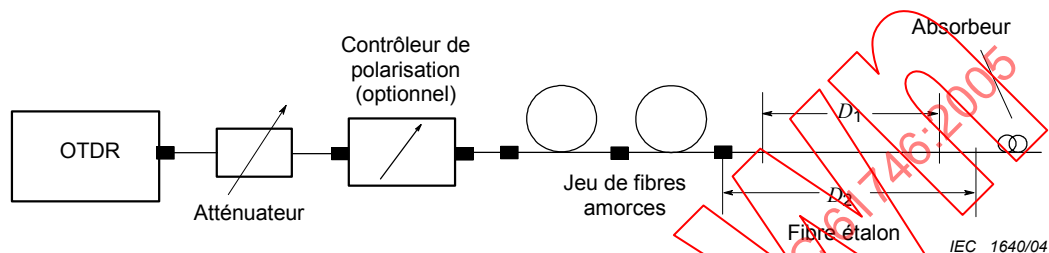


Figure 14 – Etalonnage de l'affaiblissement avec une fibre étalon

Autant l'atténuateur que le contrôleur de polarisation doit présenter de faibles réflexions, car les réflexions peuvent influencer les résultats des mesures d'affaiblissement.

8.1.2.1 Etalonnage de l'affaiblissement de référence

Mesurer la longueur totale D_2 de la fibre étalon selon les spécifications du fabricant de l'OTDR pour la mesure de longueur. En utilisant les curseurs de l'OTDR, sélectionner une section de la fibre étalon, de longueur D_1 , hors de la zone morte d'atténuation causée principalement par tout connecteur placé devant la fibre étalon (voir Figure 15). Choisir le début de la section de telle façon que la différence entre la courbe rétrodiffusée réelle et son extrapolation linéaire $\Delta F_{\max}$ soit suffisamment petite à ce point (une fibre amorce peut être nécessaire à cet effet). Mesurer la longueur de la section D_1 .

These fibres should be equipped with low-reflectance connectors; the attenuation numbers include the typical connector losses. In order to obtain the recommended (finer) sample spacing of 0,5 dB, the attenuator will have to be varied between 0 dB and 1,5 dB in 0,5 dB steps.

It should be noted that the attenuator is not necessary if the recommended steps of 0,5 dB are generated with a larger number of lead-in fibres.

The purpose of the optional polarization controller is to reduce the possible influence of the OTDR polarization dependence (see Figure 14).

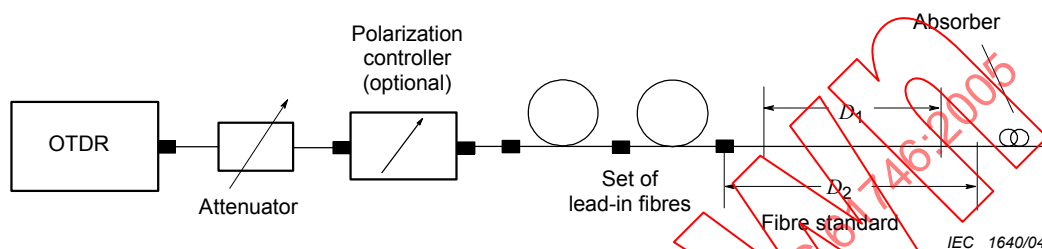


Figure 14 – Loss calibration with a fibre standard

Both the attenuator and the polarization controller shall have low reflections, because reflections can influence the attenuation measurement results.

8.1.2.1 Calibration of the reference loss

Measure the total length D_2 of the fibre standard according to the OTDR manufacturer's instructions for length measurement. Using the OTDR markers, select a section of the fibre standard, of length D_1 , outside the attenuation dead zone caused primarily by any connectors in front of the fibre standard (see Figure 15). Choose the beginning of the section so that the difference between the actual backscatter trace and its linear extrapolation $\Delta F_{\max}$ is sufficiently small at that point (a lead-in fibre may be necessary to accomplish this). Measure the length of the section D_1 .

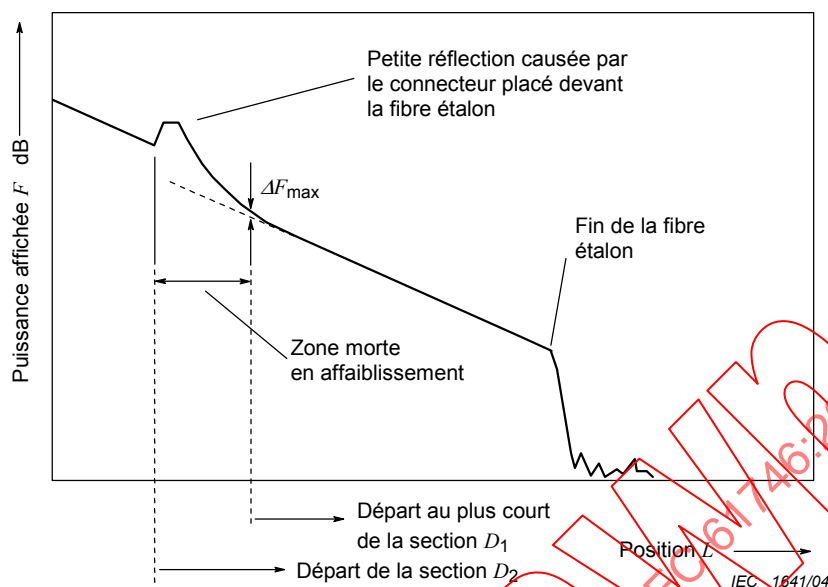


Figure 15 – Placement du début de la section D_1 hors de la zone morte en affaiblissement

Une longueur D_1 qui correspond à un affaiblissement de référence d'environ 0,5 dB est recommandée. Il convient d'éviter soigneusement les rétroreflexions provenant de la fin de la fibre étalon, car elles peuvent affecter la courbe de rétrodiffusion précédente. A cause de l'uniformité longitudinale de la fibre étalon et de l'indépendance directionnelle de sa perte de rétrodiffusion, l'affaiblissement de référence A_{ref} aux positions des curseurs est donné avec une grande précision par

$$A_{\text{ref}} = A_{\text{std}}(\lambda_{\text{centre}}) \frac{D_1}{D_2} \quad \text{dB} \quad (50)$$

où $A_{\text{std}}(\lambda_{\text{centre}})$ est l'affaiblissement étalonné de la fibre étalon pour la longueur d'onde centrale de l'OTDR λ_{centre} (voir Annexe B). A_{ref} doit rester constant durant les mesures suivantes, c'est-à-dire que la distance entre les positions des curseurs doit rester constante. Noter que l'effet de l'indice de groupe est éliminé dans le calcul.

8.1.3 Procédure de mesure

8.1.3.1 Préparation

Elaborer tout d'abord un plan d'essai pour les réglages de l'atténuateur et de la fibre tel que l'espacement d'échantillonnage vertical, de 0,5 dB approximativement, soit réalisé, et que tous les échantillons de mesure se trouvent dans la région A de l'affichage de l'OTDR; un exemple est décrit en 8.1.2. La superposition des échantillons de mesure, c'est-à-dire des échantillons pris au même niveau de puissance affichée mais à des positions différentes, est souhaitable. La part du domaine en dynamique qui pourrait être inaccessible du fait de la perte d'insertion de l'atténuateur (y compris les deux connecteurs) peut être couverte en raccordant directement à l'OTDR la fibre amorce la plus courte et en faisant varier la perte d'insertion en courbant la fibre amorce.

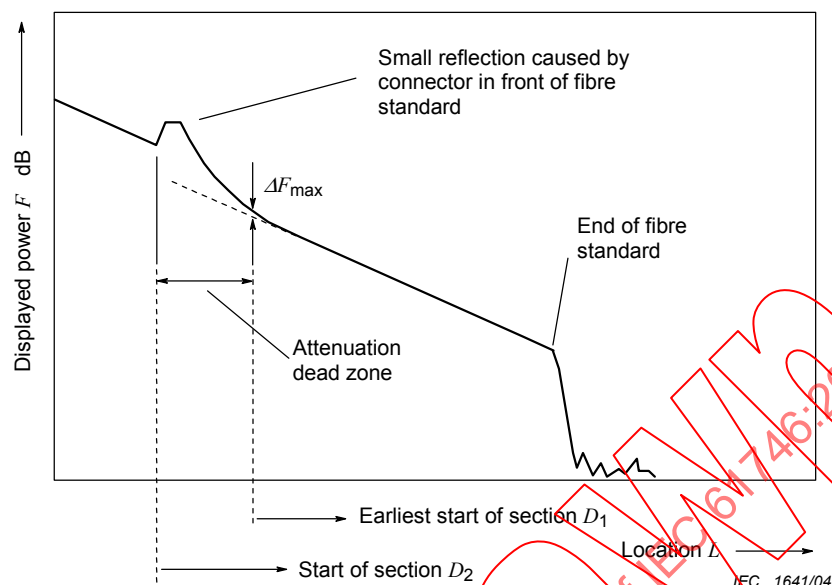


Figure 15 – Placing the beginning of section D_1 outside the attenuation dead zone

A length D_1 that corresponds to a reference loss of about 0,5 dB is recommended. Back reflections from the fibre standard's far end should be carefully avoided, because they can influence the preceding backscatter trace. Due to the longitudinal uniformity of the fibre standard and the directional independence of its backscatter loss, the reference loss A_{ref} at the marker locations is given with high accuracy by

$$A_{\text{ref}} = A_{\text{std}}(\lambda_{\text{centre}}) \frac{D_1}{D_2} \quad \text{dB} \quad (50)$$

where $A_{\text{std}}(\lambda_{\text{centre}})$ is the calibrated loss of the fibre standard at the centre wavelength of the OTDR λ_{centre} (see Annex B). A_{ref} shall remain constant during the subsequent measurements, that is the distance between the marker locations shall be kept fixed. Note that the influence of the group index is eliminated in the calculation.

8.1.3 Measurement procedure

8.1.3.1 Preparation

First, develop a test plan of fibre/attenuator settings so that a vertical sample spacing of approximately 0,5 dB is achieved and all measurement samples fall within the region A of the OTDR display; an example is described in 8.1.2. Overlapping measurement samples, that is samples at the same displayed power level but at different locations, are desirable. That part of the dynamic range which might be inaccessible due to the insertion loss of the attenuator (including both connectors) may be covered by directly connecting the shortest lead-in fibre to the OTDR and varying the insertion loss by bending the lead-in fibre.

8.1.3.2 Réalisation des mesures

Pour chaque niveau de puissance affiché F_i , mesurer la valeur d'affaiblissement $A_{\text{otdr},i}$. Afin de réduire l'incertitude, il est recommandé de réaliser une moyenne autour des curseurs ou sur toute la longueur D_1 , au lieu d'utiliser des niveaux de puissance uniques. Une durée de moyennage de l'OTDR plus longue peut être conseillée pour les faibles niveaux de puissance affichés afin de réduire l'incertitude de type A. Il convient, dans ce cas, de consigner tous les temps de moyennage. Enregistrer tous les $A_{\text{otdr},i}$, tous les niveaux de puissance F_i affichés et toutes les positions L_i .

Les résultats de mesure sont supposés être influencés par la dépendance de l'OTDR envers la polarisation (PDL), car les signaux provenant du début et de la fin de la section D_1 peuvent présenter des états de polarisation différents. Une manière de réduire l'influence de la PDL est d'insérer un contrôleur de polarisation, comme indiqué sur la Figure 14, et de mesurer n échantillons de $A_{\text{otdr},i}$ pour différentes positions du contrôleur de polarisation. Finalement, tous les n échantillons peuvent être réduits à une valeur moyenne $A_{\text{otdr},i}$ pour laquelle l'influence de la PDL est réduite.

8.1.4 Calculs et résultats

Calculer les échantillons d'écart d'affaiblissement $\Delta S_{A,i}$ avec l'équation (41):

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB/dB} \quad (51)$$

8.1.5 Incertitudes

Noter que la liste d'incertitudes suivante n'est pas exhaustive. Il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres causes selon la méthode de mesure et l'appareillage utilisés.

Il convient d'utiliser les lignes directrices des bases mathématiques de l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

L'écart type caractérisant l'incertitude d'affaiblissement $\sigma_{\Delta S_A}$ s'appliquant à chaque ΔS_A peut être calculé à partir de l'équation (51), en utilisant la formule habituelle de propagation des erreurs. En appliquant l'approximation $A_{\text{otdr}} \equiv A_{\text{ref}}$, on obtient:

$$\sigma_{\Delta S_A} \equiv \frac{1}{A_{\text{ref}}} (\sigma_{A_{\text{ref}}}^2 + \sigma_{A_{\text{otdr}}}^2)^{1/2} \quad \text{dB/dB} \quad (52)$$

L'incertitude sur l'affaiblissement de référence $\sigma_{A_{\text{ref}}}$, de la fibre étalon, et l'incertitude $\sigma_{A_{\text{otdr}}}$ de la réponse de l'OTDR doivent être déterminées.

Il convient que l'incertitude $\sigma_{A_{\text{ref}}}$ soit accumulée, par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $\sigma_{A,\text{std}}$ incertitude sur l'affaiblissement, en décibels, de la fibre étalon telle que décrite selon l'Annexe B;
- $\sigma_{A,\text{distance}}$ incertitude sur l'affaiblissement, en décibels, due à la non-utilisation de la totalité de la longueur de la fibre étalon; il convient que cette incertitude soit elle-même accumulée par sommation quadratique de l'incertitude dans la détermination du rapport de longueur D_1/D_2 (voir équation (50)) et de l'incertitude liée à l'uniformité longitudinale de l'affaiblissement (voir Annexe B).

8.1.3.2 Taking the measurement results

For each displayed power level F_i , measure the loss value $A_{\text{otdr},i}$. In order to reduce the uncertainty, it is recommended to average around the markers or over the entire length D_1 , instead of using single power levels. Longer OTDR averaging may be advisable at low displayed power levels in order to reduce the uncertainty type A; all applied averaging times should be reported in this case. Record all $A_{\text{otdr},i}$ displayed power levels F_i and locations L_i .

The measurement results are expected to be influenced by the OTDR polarization dependence (PDL), because the signals from the beginning and the end of section D_1 may have different polarization states. A way of reducing the PDL influence is inserting a polarization controller, as shown in Figure 14, and measuring n samples of $A_{\text{otdr},i}$ at different positions of the polarization controller. Finally, all of the n samples can be averaged to a single $A_{\text{otdr},i}$, in which the PDL influence is reduced.

8.1.4 Calculations and results

Calculate the loss deviation samples $\Delta S_{A,i}$ using equation (48).

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \text{ dB/dB} \quad (51)$$

8.1.5 Uncertainties

Note that the following list of uncertainties may not be complete. Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure.

The guidelines of the mathematical basis given in Annex D should be used to calculate and state the uncertainties.

The standard deviation characterizing the loss uncertainty $\sigma_{\Delta S_A}$ of an individual ΔS_A can be calculated from equation (51), using the standard formula for the propagation of errors. With the approximation $A_{\text{otdr}} \cong A_{\text{ref}}$, the result is

$$\sigma_{\Delta S_A} \cong \frac{1}{A_{\text{ref}}} \left(\sigma_{A_{\text{ref}}}^2 + \sigma_{A_{\text{otdr}}}^2 \right)^{1/2} \text{ dB/dB} \quad (52)$$

The uncertainty $\sigma_{A_{\text{ref}}}$ of the reference loss, that is of the fibre standard, and $\sigma_{A_{\text{otdr}}}$ of the OTDR response shall be determined.

The uncertainty $\sigma_{A_{\text{ref}}}$ should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $\sigma_{A,\text{std}}$ the loss uncertainty, in decibels, of the fibre standard as documented according to Annex B;
- $\sigma_{A,\text{distance}}$ the loss uncertainty, in decibels, due to not using the full length of the fibre standard; this uncertainty should itself be accumulated by root-sum-squaring the uncertainty in determining the length relation D_1/D_2 (see equation (50)) and the uncertainty due to the longitudinal attenuation uniformity (see Annex B).

Il convient que l'incertitude $\sigma_{A_{OTDR}}$ soit accumulée, par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

$\sigma_{A,\lambda}$ incertitude sur l'affaiblissement, en décibels, introduite par l'incertitude sur la longueur d'onde centrale de l'OTDR σ_λ .

NOTE Cette incertitude peut être négligeable aux longueurs d'onde proches de 1 550 nm à cause de la faible dépendance envers la longueur d'onde de l'affaiblissement de la fibre à ces longueurs d'onde; dans la région de longueur d'onde où l'affaiblissement dépend essentiellement de la diffusion de Rayleigh, par exemple à 1 300 nm, l'incertitude est

$$\sigma_{A,\lambda} = \frac{4 A_{ref}}{\lambda} \sigma_\lambda \quad (53)$$

$\sigma_{A,deadzone}$ incertitude sur l'affaiblissement, en décibels, due à la zone morte d'affaiblissement en aval du ou des connecteurs;

$\sigma_{A,attenuator}$ incertitude sur l'affaiblissement de l'atténuateur optique, due à l'éventualité que le signal rétrodiffusé soit polarisé et que l'atténuateur puisse présenter un affaiblissement dépendant de la polarisation;

$\sigma_{A,pdl}$ incertitude sur l'affaiblissement due à la dépendance de l'OTDR envers la polarisation, liée au fait que le signal rétrodiffusé présente différents états de polarisation; cette incertitude peut être réduite (voir 8.1.3.2);

$\sigma_{A,type A}$ incertitude sur l'affaiblissement de type A, en décibels, devant être déterminée expérimentalement. Elle dépendra du niveau de puissance affiché et du temps de moyennage de l'OTDR.

D'autres causes peuvent avoir à être prises en considération, selon le dispositif de mesure et la procédure.

8.2 Méthode de la source externe (voir Figure 16)

8.2.1 Description sommaire et avantages

La méthode de la source externe utilise un générateur de retard étalonné pour simuler le retard de transmission dans une fibre et une source optique destinée à générer une impulsion optique dont la variation d'amplitude soit connue. L'équipement est identique à celui utilisé pour l'étalonnage en distance dans le cadre de la méthode de la source externe (voir 6.1), excepté l'addition du contrôle de l'amplitude du signal optique. La combinaison d'un retard réglable et d'une amplitude d'impulsion réglable permet une caractérisation totale de l'échelle de puissance de l'OTDR, y compris sa dépendance de la distance.

La méthode est parfaitement adaptée aux laboratoires complètement automatisés effectuant des essais contrôlés par ordinateur. Elle permet d'étalonner toutes les régions A, B et C de la Figure 10. Pour simplifier, le texte ci-dessous ne décrit que le cas d'un signal délivré par une source à impulsions, dont les points sont situés dans la région A et ne comprenant pas de trace de rétrodiffusion. Afin d'étalonner l'OTDR pour d'autres conditions, il convient de remplacer la source de lumière impulsionnelle décrite ci-après par une source optique simulant le signal approprié.

8.2.2 Equipement

En plus de l'OTDR soumis aux essais, l'équipement de mesure inclut

- a) un coupleur optique pour interconnecter le dispositif;
- b) un convertisseur optique-électrique (O/E);
- c) un générateur de retard variable, de largeur d'impulsion variable et d'amplitude d'impulsion variable;
- d) un convertisseur électrique-optique (E/O), dont la longueur d'onde centrale est approximativement égale à la longueur d'onde centrale de l'OTDR et qui, de préférence, peut émettre une puissance optique continue (pour l'étalonnage de l'affaiblissement référence);

The uncertainty $\sigma_{A_{otdr}}$ should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

$\sigma_{A,\lambda}$ the loss uncertainty, in decibels, introduced by the uncertainty of the OTDR centre wavelength σ_λ .

NOTE This uncertainty may be negligible at wavelengths near 1 550 nm because of the small wavelength dependence of the fibre loss at these wavelengths; in the wavelength region where the loss is predominantly given by Rayleigh scattering, for example at 1 300 nm, the uncertainty is

$$\sigma_{A,\lambda} = \frac{4 A_{ref}}{\lambda} \sigma_\lambda \quad (53)$$

$\sigma_{A,deadzone}$ the loss uncertainty, in decibels, caused by the attenuation dead zone following the connector(s);

$\sigma_{A,attenuator}$ the loss uncertainty of the optical attenuator caused by the possibility that the backscatter signal is polarized and the attenuator may have polarization-dependent loss;

$\sigma_{A,pdl}$ the loss uncertainty caused by the OTDR's polarization dependence, due to the fact that the backscatter signal exhibits different polarization states; this uncertainty can be reduced (see 8.1.3.2);

$\sigma_{A,type A}$ the loss uncertainty type A, in decibels, to be experimentally determined. It will depend on the displayed power level and OTDR averaging time.

Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure.

8.2 External source method (see Figure 16)

8.2.1 Short description and advantage

This method uses a calibrated delay generator to simulate the time delay in a fibre, and an optical source to generate a known change of optical pulse amplitude. The equipment is similar to the one used for the external source method for distance calibration (see 6.1), except that control of the optical amplitude is added. The combination of variable delay and variable pulse amplitude allows complete characterization of the OTDR power scale, including its dependence on distance.

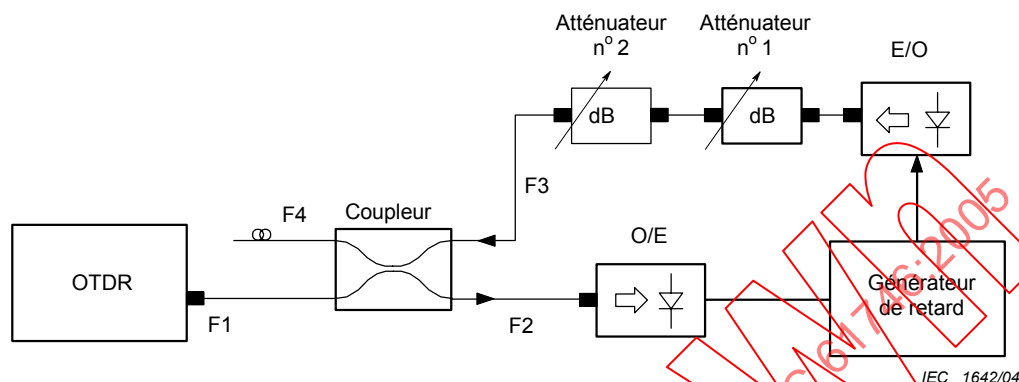
The method is well suited to fully automated laboratory testing under computer control. It can calibrate all regions A, B and C of Figure 10. For simplicity, the text below describes only a pulsed signal source generating points in region A with no backscatter light in the signal history. To calibrate the OTDR for other conditions, the pulsed light source described below should be replaced by an optical source that simulates the appropriate signal.

8.2.2 Equipment

In addition to the test OTDR, the measurement equipment includes

- an optical fibre coupler to interconnect the system;
- an optical to electrical (O/E) converter;
- a delay generator with variable delay, variable pulse width and variable pulse amplitude;
- an electrical to optical (E/O) converter, with a centre wavelength which is approximately equal to the OTDR's centre wavelength, and preferably with the capability of generating continuous-wave optical power (for the calibration of the reference loss);

- e) un atténuateur optique variable (atténuateur n° 1);
- f) un atténuateur optique (atténuateur n° 2) possédant une bonne répétabilité pour introduire puis soustraire un affaiblissement de valeur spécifique (la valeur recommandée est de 1 dB à 4 dB);
- g) des cordons de fibre optique pour connecter le dispositif;
- h) un radiomètre optique.



Légende

F1, F2, F3 et F4 fibres

E/O convertisseur électrique/optique

O/E convertisseur optique/électrique

Figure 16 – Etalonnage de l'affaiblissement à l'aide de la méthode de la source externe

La combinaison de l'atténuateur variable n° 1 et du générateur de retard variable permet de positionner le pic d'une impulsion optique (ou une courbe de rétrodiffusion simulée) n'importe où dans l'espace à deux dimensions de l'affichage de l'OTDR. L'atténuateur n° 2 est utilisé pour introduire puis soustraire une marche d'affaiblissement fixée de telle sorte que l'amplitude de l'impulsion optique varie d'une quantité connue. On note que l'affaiblissement de référence A_{ref} est égal à la moitié de la marche d'affaiblissement, ce qui est dû au facteur de correction de l'échelle verticale de l'OTDR, dont la valeur est de 0,5.

Le but du contrôleur de polarisation facultatif est de réduire l'influence éventuelle de la dépendance envers la polarisation des deux affaiblisseurs et du mesureur de puissance utilisé pour déterminer l'affaiblissement de référence. Le cas échéant, il convient de l'utiliser pour étalonner l'affaiblissement de référence et pour effectuer les mesures réelles, en prenant la moyenne de plusieurs états de polarisation comme décrit en 8.1.3.2.

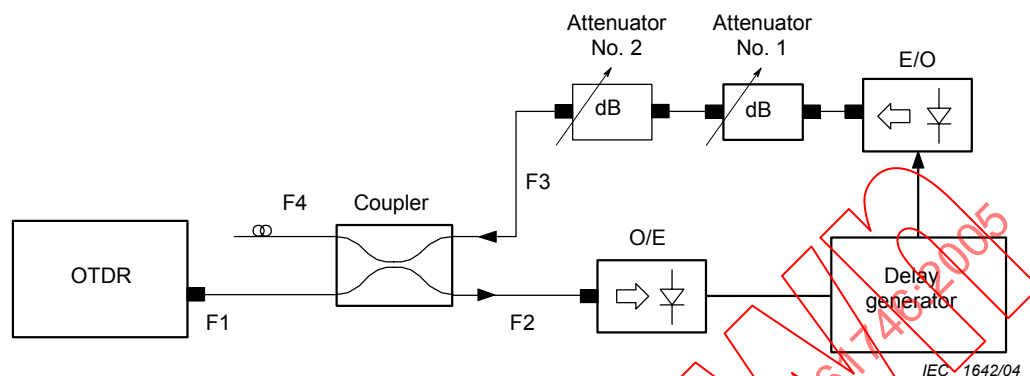
8.2.3 Etalonnage de l'affaiblissement de référence

Choisir une valeur convenable pour l'affaiblissement de référence A_{ref} . Une valeur de 0,5 dB à 2 dB est recommandée – ce qui équivaut à une marche d'affaiblissement de 1 dB à 4 dB.

Régler le convertisseur E/O en fonctionnement continu CW. Connecter le radiomètre optique à l'extrémité destinée à l'OTDR de la fibre F1. Régler la correction en longueur d'onde du radiomètre optique à la longueur d'onde du convertisseur E/O. Mesurer la marche d'atténuation de l'atténuateur n° 2 plusieurs fois afin de déterminer A_{ref} et son incertitude de type A $\sigma_{A,step}$. Noter que les interférences optiques, occasionnées par des réflexions dans le montage de mesure et par une source dont la largeur spectrale est étroite, peuvent engendrer des variations indésirables sur les résultats de mesure.

Calculer l'affaiblissement de référence comme étant la valeur moyenne de la marche d'affaiblissement divisée par 2.

- e) a variable optical attenuator (attenuator No. 1);
- f) an optical attenuator (attenuator No. 2) with good repeatability to toggle in and out a specific quantity of attenuation (the recommended value is 1 dB to 4 dB);
- g) optical fibre jumper cables to connect the system;
- h) an optical power meter.



Key

F1, F2, F3 and F4	fibres
E/O	electrical-to-optical converter
O/E	optical-to-electrical converter

Figure 16 – Loss calibration with the external source method

The combination of variable attenuator No. 1 and variable delay generator allows the peak of an optical pulse (or simulated backscatter trace) to be positioned anywhere in the two-dimensional space of the OTDR display. Attenuator No. 2 is used to toggle a fixed attenuation step in and out so that the optical pulse amplitude changes by a known amount. Note that the reference loss A_{ref} equals half the attenuation step, due to the OTDR's vertical scaling factor of 0,5.

The purpose of the optional polarization controller is to reduce the possible influence of the polarization dependence of the two attenuators and the power meter used in taking the reference loss. If applicable, it should be used in both calibrating the reference loss and taking the actual measurements, by taking the average of several polarization states as described in 8.1.3.2.

8.2.3 Calibration of the reference loss

Select a suitable value for the reference loss A_{ref} . A value of 0,5 dB to 2 dB is recommended – this equals an attenuation step of 1 dB to 4 dB.

Set the E/O converter to CW operation. Connect the optical power meter to the OTDR end of fibre F1. Set the wavelength correction of the optical power meter to the wavelength of the E/O converter. Measure the attenuation step of attenuator No. 2 a number of times to determine A_{ref} and its uncertainty type A $\sigma_{A,\text{step}}$. Note that optical interference, caused by reflections in the measurement set-up and by a narrow spectral width of the source, may cause undesired variability of the measurement results.

Calculate the reference loss as the average attenuation step divided by 2.

8.2.4 Procédure de mesure

8.2.4.1 Préparation

Choisir des combinaisons appropriées d'amplitudes d'impulsion et de réglages de retard de sorte que les échantillons de mesure soient espacés de 0,5 dB à 1 dB et répartis uniformément sur la totalité de la longueur de la région A (voir Figure 10). La superposition des échantillons de mesure, c'est-à-dire des échantillons de même niveau de puissance affiché mais à des positions différentes, est souhaitable. Noter que des échantillons de mesure pris en dehors de la région A peuvent être produits si on le veut.

Choisir la largeur d'impulsion, par exemple 10 μ s, de telle sorte que l'impulsion affichée présente un sommet essentiellement plat. Programmer les atténuateurs n° 1 et n° 2 ainsi que le générateur de retard en conséquence. Une autre possibilité consiste à changer la largeur d'impulsion à chaque nouvelle position, de telle sorte que l'impulsion débute toujours à $L = 0$, en déterminant la marche d'affaiblissement à la fin de l'impulsion; ce type de signal s'apparente mieux à un signal de rétrodiffusion provenant d'une fibre de grande longueur qu'une impulsion qui s'élève depuis le niveau de bruit.

Définir la méthode d'utilisation de l'OTDR destinée à mesurer le changement de niveau de puissance engendré par le basculement de l'atténuateur n° 2. Par exemple, la méthode peut inclure la réalisation d'une moyenne de points au voisinage de l'abscisse de mesure. De même, définir la méthode de mesure du niveau de puissance affiché (voir l'Article 7; le niveau de puissance affiché est défini comme étant le niveau le plus élevé des deux en question).

Mettre en fonctionnement la totalité de l'équipement. Typiquement, prendre un temps de mise en chauffe suffisant pour obtenir du convertisseur E/O une amplitude d'impulsion stable. Basculer l'atténuateur n° 2 plusieurs fois et vérifier la stabilité du niveau de puissance affiché ainsi que de la marche d'affaiblissement A_{otdr} à l'aide de l'OTDR.

8.2.4.2 Réalisation des mesures

Déterminer le niveau de référence de 0 dB comme décrit à l'Article 7.

Pour chaque combinaison présélectionnée de réglages de l'atténuateur n° 1 et de réglages du générateur de retard, procéder comme indiqué ci-après.

Déterminer la position de mesure sur l'impulsion L_i au centre de la largeur de l'impulsion, par exemple. Pour réduire l'incertitude, ne pas modifier L_i durant la série de mesures à cette position particulière.

8.2.4 Measurement procedure

8.2.4.1 Preparation

Select appropriate combinations of pulse amplitudes and delay settings so that the measurement samples are spaced by 0,5 dB to 1 dB and distributed evenly over the entire length of region A (see Figure 10). Overlapping measurement samples are desirable, that is samples at the same displayed power level but at different locations. Note that measurement samples outside of region A can be provided on a voluntary basis.

Select the pulse width, for example, 10 μ s, so that the displayed pulse has an essentially flat top. Program attenuators No. 1 and No. 2 and the delay generator accordingly. Another possibility is to change the pulse width with each new location, so that the pulse always starts at $L = 0$, and determining the attenuation step at the end of the pulse; this type of signal comes closer to the backscatter signal from a long fibre than a pulse which rises from the noise level.

Define the method of using the OTDR to measure the change of power level caused by toggling attenuator No. 2. For example, the method may involve averaging a number of points in the vicinity of the measurement location. Also, define the method of measuring the displayed power level (see Clause 7; the displayed power level is defined as the upper level of the two in question).

Switch on all equipment. Specifically, allow sufficient warm-up time for the E/O converter to achieve a stable pulse amplitude. Toggle attenuator No. 2 a few times and verify the stability of the displayed power level and of the attenuation step A_{otdr} with the OTDR.

8.2.4.2 Taking the measurement results

Determine the 0 dB reference level as described in Clause 7.

For each of the preselected combinations of attenuator No. 1 settings and delay generator settings proceed as follows.

Determine the measurement location on the pulse L_i , for example, as the centre of the pulse width. To reduce the uncertainty, do not change L_i during the set of measurements at this particular location.

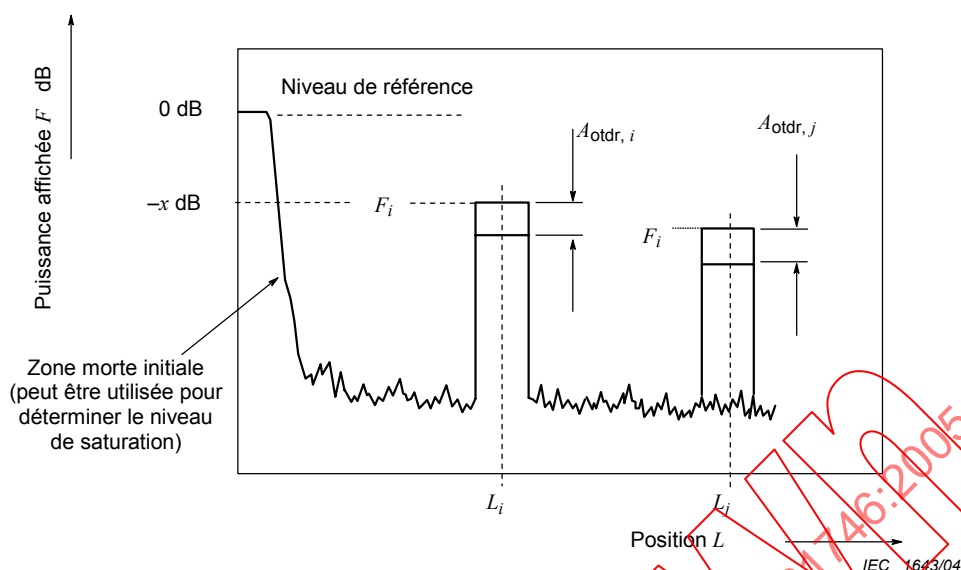


Figure 17 – Position et mesures concernant la méthode de la source externe

Basculer l'atténuateur n° 2 entre ses réglages prédéfinis, enregistrer le niveau de puissance affiché F_i (le niveau le plus élevé des deux en question) et le changement du niveau de puissance affiché $A_{otdr,i}$, comme indiqué sur la Figure 17.

Il peut être recommandé de répéter la mesure de $A_{otdr,i}$ plusieurs fois et d'enregistrer la moyenne de ces échantillons. Il peut également être souhaitable de générer plus d'un échantillon par position, à différents niveaux de puissance affichés, en ajustant la puissance de l'impulsion à l'aide de l'atténuateur n° 1.

Poursuivre en réglant le générateur de retard pour atteindre la position suivante.

8.2.5 Calculs et résultats

Pour chaque échantillon mesure, calculer l'écart d'affaiblissement à l'aide de l'équation (48):

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{otdr,i} - A_{ref}}{A_{ref}} \quad \text{dB/dB} \quad (54)$$

Enregistrer le niveau de puissance affiché F_i et la position L_i pour chaque valeur d'écart d'affaiblissement. Il peut être recommandé de représenter les valeurs d'écart d'affaiblissement en fonction du niveau de puissance affiché F_i .

8.2.6 Incertitudes

Il est à noter que la liste suivante d'incertitudes n'est pas exhaustive. Il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres causes selon la méthode de mesure et l'appareillage utilisés. Il est recommandé d'utiliser les bases mathématiques de l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

L'écart type caractérisant l'incertitude d'affaiblissement peut être calculé à partir de l'équation (54) en utilisant la formule habituelle de propagation des erreurs:

$$\sigma_{\Delta SA} \equiv \frac{1}{A_{ref}} \left(\sigma_{A_{ref}}^2 + \sigma_{A_{otdr}}^2 \right)^{1/2} \quad \text{dB/dB} \quad (55)$$

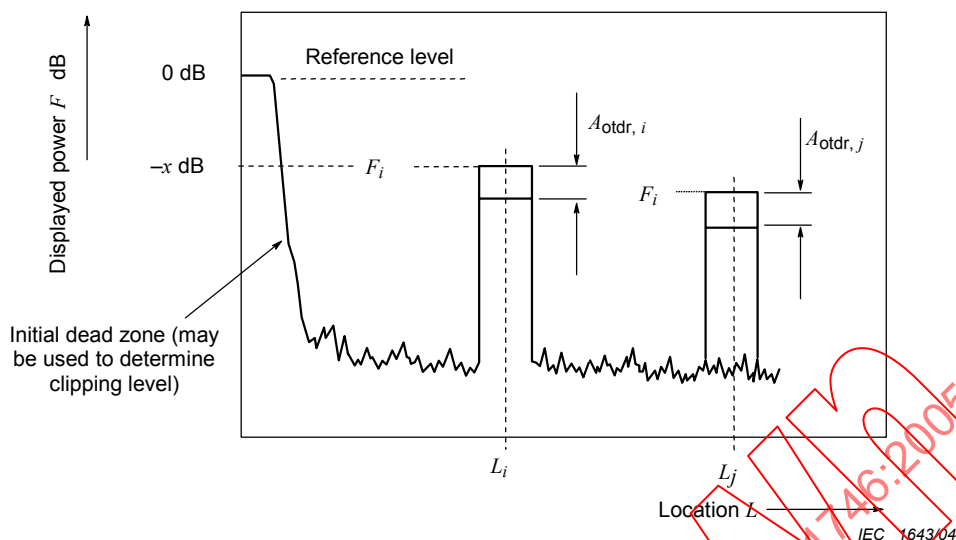


Figure 17 – Location and measurements for external source method

Toggle attenuator No. 2 between its predefined settings, record the displayed power level F_i (the upper level of the two in question) and the change of displayed power level $A_{otdr,i}$ as shown in Figure 17.

It may be advisable to repeat the measurement of $A_{otdr,i}$ several times and to record the average of these samples. It may also be desirable to generate more than one sample per location, at different displayed power levels, by adjusting the pulse power with attenuator No. 1.

Proceed by setting the delay generator to the next location.

8.2.5 Calculations and results

For each measurement sample, calculate the loss deviation using equation (48):

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{otdr,i} - A_{ref}}{A_{ref}} \quad \text{dB/dB} \quad (54)$$

Record the displayed power level F_i and the location L_i with each loss deviation value. It may be advisable to plot the loss deviation values as a function of the displayed power level F_i .

8.2.6 Uncertainties

Note that the following list of uncertainties may not be complete. Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure. The mathematical basis given in Annex D should be used to calculate and state the uncertainties.

The standard deviation characterizing the loss uncertainty can be calculated from equation (54) using the standard formula for the propagation of errors:

$$\sigma_{\Delta SA} \cong \frac{1}{A_{ref}} \left(\sigma_{A_{ref}}^2 + \sigma_{A_{otdr}}^2 \right)^{1/2} \quad \text{dB/dB} \quad (55)$$

Il convient que l'incertitude sur l'affaiblissement de référence σ_{Aref} soit accumulée, par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $\sigma_{A,pm}$ incertitude, en décibels, due à l'étalonnage de l'affaiblissement de référence avec le radiomètre, due par exemple à la non-linéarité du radiomètre, à sa dépendance de la polarisation, aux inhomogénéités et au bruit. Il convient que cette incertitude soit elle aussi accumulée par sommation quadratique;
- $\sigma_{A,refl}$ incertitude due aux différences des caractéristiques de réflexion du montage. Le facteur de réflexion du radiomètre ne sera pas le même que celui de la combinaison coupleur/OTDR, ce qui peut avoir une influence sur la grandeur de l'affaiblissement de référence;
- $\sigma_{A,step}$ incertitude d'affaiblissement, en décibels, générée par l'instabilité de la marche d'affaiblissement, causée par exemple par l'instabilité de la source externe, l'interférence optique ou la dépendance du coupleur envers la polarisation en conjugaison avec l'instabilité de l'état de polarisation.

Il convient que l'incertitude liée aux mesures réflectométriques des échantillons $\sigma_{A,otdr}$ soit accumulée, par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $\sigma_{A,\lambda}$ incertitude, en décibels, causée par la différence entre les longueurs d'onde centrales de l'OTDR et de la source optique utilisée pour l'étalonnage;
- $\sigma_{A,pdl}$ incertitude, en décibels, provoquée par un changement d'état de polarisation suite à la marche d'affaiblissement;
- $\sigma_{A,type A}$ incertitude, en décibels, provoquée par la variabilité des mesures de la marche d'affaiblissement, causée par exemple par une résolution de lecture limitée et par les niveaux de puissance affichés lorsqu'ils s'approchent de la limite du bruit. Cette incertitude peut être déterminée avec $\sigma_{A,step}$ ci-dessus.

NOTE Les incertitudes qui résultent de la dépendance envers la polarisation peuvent être réduites ou éliminées par le contrôleur de polarisation facultatif.

8.3 Méthode du simulateur d'épissure

8.3.1 Description sommaire et avantages

La méthode du simulateur d'épissure utilise ce dispositif pour étalonner l'échelle de puissance de l'OTDR. Le simulateur d'épissure a un affaiblissement de référence fixe d'environ 1,5 dB. Cette méthode s'approche des conditions de mesure des épissures avec un OTDR. Aucun équipement électronique n'est nécessaire pour réaliser cet étalonnage. Cette méthode est bien adaptée à l'étalonnage dans les régions A et B de la Figure 10.

8.3.2 Equipements

En plus de l'OTDR soumis à l'essai, l'équipement de mesure inclut

- a) un simulateur d'épissure tel que décrit à l'Annexe C;
- b) un jeu de fibres amorces. Les fibres amorces doivent être de type B de la série CEI 60793-1;
- c) un atténuateur variable, si nécessaire;
- d) en option, un contrôleur de polarisation.

Le montage d'essai est présenté à la Figure 18.

The uncertainty of the reference loss σ_{Aref} should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $\sigma_{A,pm}$ the uncertainty, in decibels, due to calibrating the reference loss with the power meter, for example, due to the power meter's non-linearity, polarization dependence, inhomogeneity and noise. This uncertainty should itself be accumulated by root-sum-squaring;
- $\sigma_{A,refl}$ the uncertainty due to differences in the reflection characteristics of the set-up. The return loss of the power meter will not be the same as the return loss of the coupler/OTDR combination; this may have an influence on the magnitude of the reference loss;
- $\sigma_{A,step}$ the loss uncertainty, in decibels, introduced by the instability of the attenuation step, for example caused by the instability of the external source, optical interference, or the coupler's polarization dependence in conjunction with instability of the state of polarization.

The uncertainty of the OTDR measurement samples $\sigma_{A,otdr}$ should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $\sigma_{A,\lambda}$ the uncertainty, in decibels, caused by the difference between the centre wavelengths of the OTDR and the optical source used in the calibration;
- $\sigma_{A,pdl}$ the uncertainty, in decibels, introduced by changing polarization state as a result of the attenuation step;
- $\sigma_{A,type A}$ the uncertainty, in decibels, introduced by the variability of the attenuation step measurements, for example, caused by limited readout resolution and displayed power levels when they approach the noise limit. This uncertainty can be determined together with $\sigma_{A,step}$ above.

NOTE The uncertainties due to polarization dependence can be reduced or eliminated by the optional polarization controller.

8.3 Splice simulator method

8.3.1 Short description and advantage

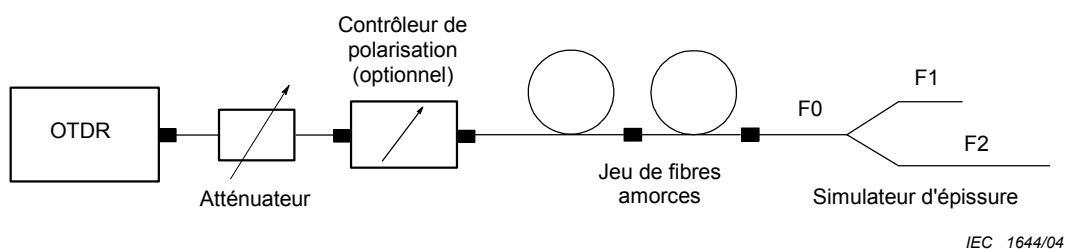
This method uses a splice simulator to calibrate the OTDR power scale. The splice simulator has a fixed reference loss of approximately 1,5 dB. This method closely reflects the condition in measuring splice attenuation with an OTDR. No electronic equipment is needed for the calibration. The method is well suited for the calibration of the regions A and B of Figure 10.

8.3.2 Equipment

In addition to the test OTDR, the measurement equipment includes

- a) a splice simulator as described in Annex C;
- b) a set of lead-in fibres. The lead-in fibres shall be type B of IEC 60793-1 series;
- c) a variable attenuator, if necessary;
- d) optionally, a polarization controller.

The test set-up is shown in Figure 18.



Légende

F0, F1 et F2 fibres

Figure 18 – Montage pour l'étalonnage d'affaiblissement avec un simulateur d'épissure

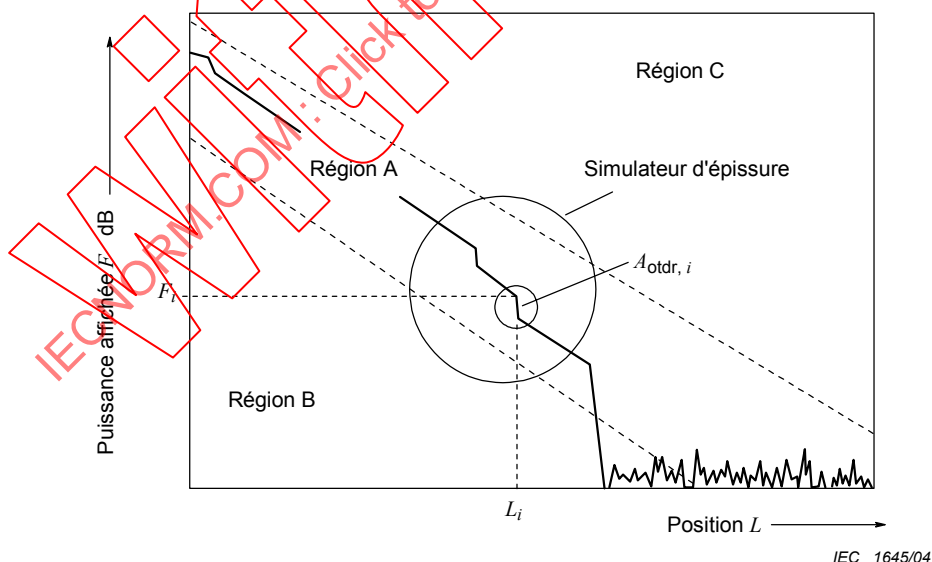
Conformément à l'Annexe C, l'affaiblissement de référence étaloné (approximativement 1,5 dB) apparaît à la fin de la fibre F1. Le but des fibres amorces est de générer des points de mesure à l'intérieur de la région A (voir Article 7 et Figure 19).

L'affaiblissement réalisé par le simulateur d'épissure est la différence entre

- a) la somme des deux signaux de rétrodiffusion provenant des fibres F1 et F2, et
- b) le signal de rétrodiffusion de la fibre F2.

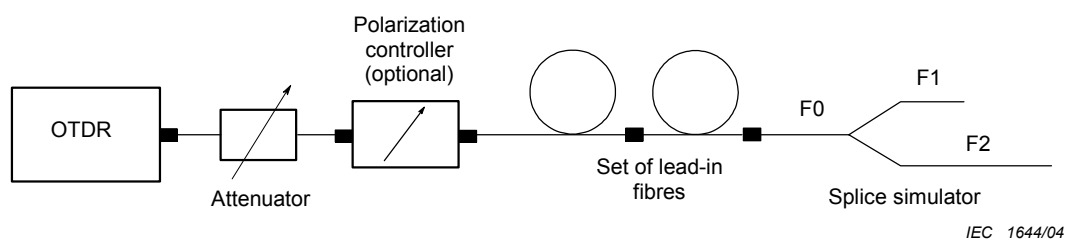
Les deux signaux a) et b) ont généralement des états de polarisation différents. Il peut donc être conseillé d'utiliser un contrôleur de polarisation pour produire différents états de polarisation des signaux a) et b) qui permettront d'éliminer l'effet de la dépendance de l'OTDR envers la polarisation.

Il est important que l'atténuateur et le contrôleur de polarisation aient de faibles réflexions, car les réflexions peuvent influencer les résultats de l'étalonnage.



NOTE Le petit cercle représente la réponse de l'OTDR à l'affaiblissement de référence.

Figure 19 – Ecran de l'OTDR avec simulateur d'épissure

**Key**

F0, F1 and F2 fibres

Figure 18 – Set-up for loss calibration with splice simulator

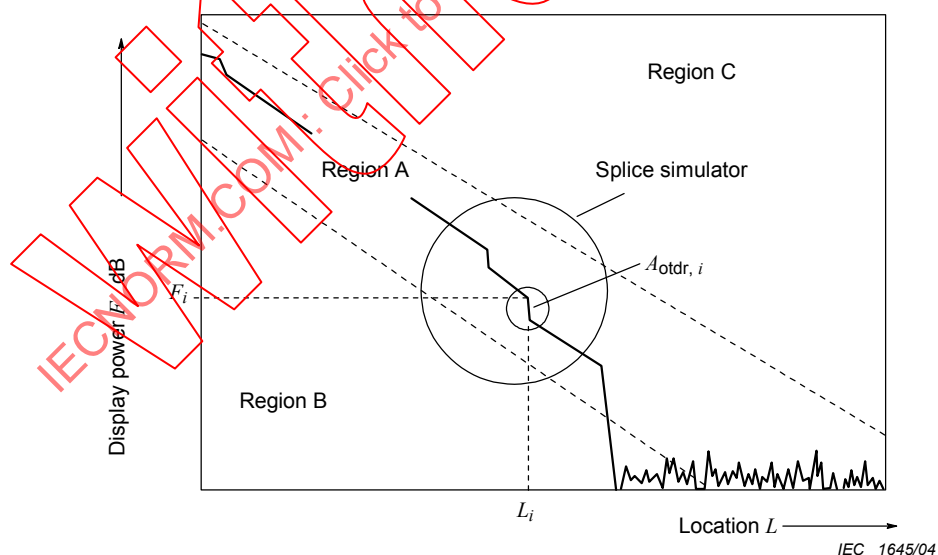
According to Annex C, the calibrated reference loss (approximately 1.5 dB) appears at the end of fibre F1. The purpose of the lead-in fibres is to generate measurement data within region A (see Clause 7 and Figure 19).

The loss produced by the splice simulator is the difference between

- a) the sum of the two backscatter signals from fibres F1 and F2, and
- b) the backscatter signal from fibre F2.

The two signals a) and b) will usually have different polarization states. Therefore, it may be advisable to use a polarization controller to produce a number of different polarization states of signals a) and b), which will then allow to average out the effect from the OTDR's polarization dependence.

It is important that the attenuator and the polarization controller have low reflections, because they can influence the calibration result.



NOTE The smaller circle represents the OTDR response to the reference loss.

Figure 19 – OTDR display with splice simulator

8.3.3 Procédure

8.3.3.1 Préparation

Sélectionner des combinaisons adéquates de réglage des fibres amorce et de l'atténuateur de manière à obtenir un espacement vertical de 0,5 dB à 1 dB et de telle sorte que l'ensemble des échantillons de mesure soient à l'intérieur de la région A de l'affichage de l'OTDR. La superposition des échantillons de mesure, c'est-à-dire des échantillons pris au même niveau de puissance affiché mais à des positions différentes est souhaitable. Il est à noter que l'atténuateur variable peut être utilisé pour accroître le nombre de niveaux de puissance affichés F .

Connecter le simulateur d'épissure directement à l'OTDR.

8.3.3.2 Réalisation des mesures de l'affaiblissement d'épissure

Comme cela est décrit à la Figure 20, l'affaiblissement d'épissure $A_{otdr,i}$ est défini comme étant la distance verticale entre les deux lignes représentant l'affaiblissement linéique.

Suivre les instructions suivantes pour la mesure de l'affaiblissement d'épissure avec deux curseurs (méthode des deux points) ou en utilisant l'approximation des moindres carrés (méthode LSA). Il est à noter que d'autres méthodes telles que la méthode des cinq curseurs ou la mesure automatique peuvent aussi être utilisées. Cependant, la méthode utilisée doit être clairement décrite.

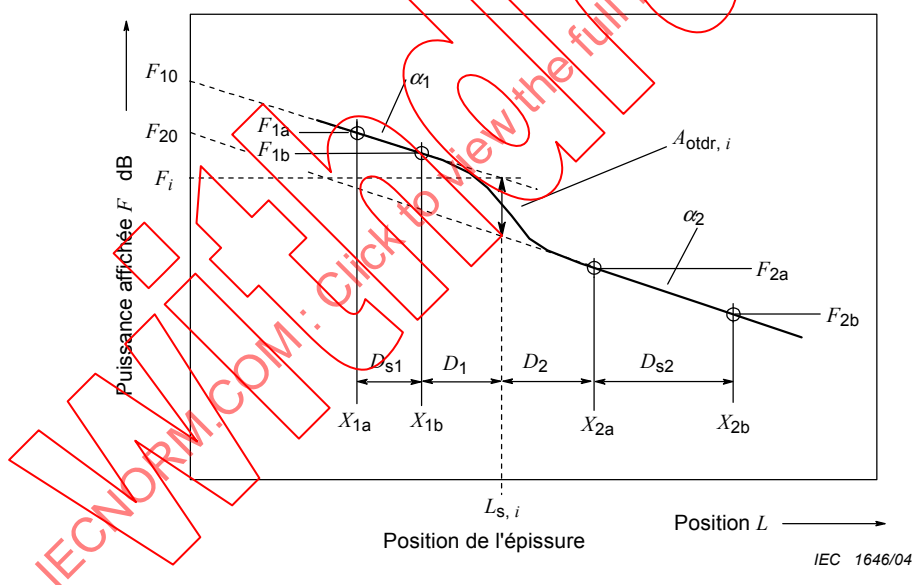


Figure 20 – Mesure de l'affaiblissement d'épissure

Si le contrôleur de polarisation optionnel est utilisé, répéter la procédure suivante n fois pour différentes positions du contrôleur de polarisation. Dans les calculs, moyenner tous les n échantillons en une simple valeur $A_{otdr,i}$ pour laquelle l'influence de la dépendance envers la polarisation a été réduite.

Pour chaque combinaison de fibres amorce et de réglages de l'atténuateur, procéder de la manière suivante:

- définir le point X_{1b} près de l'épissure mais à gauche d'une partie de la courbe droite et sans bruit de rétrodiffusion;

8.3.3 Procedure

8.3.3.1 Preparation

Select appropriate combinations of lead-in fibre and attenuator settings so that a vertical sample spacing of 0,5 dB to 1 dB is achieved and all measurement samples fall within the region A of the OTDR display. Overlapping measurement samples, that is samples which are taken at the same displayed power level but at different locations, are desirable. Note that the variable attenuator can be used in order to increase the number of different displayed power levels F .

Connect the splice simulator directly to the OTDR.

8.3.3.2 Taking the splice loss measurements

As illustrated in Figure 20, the splice loss $A_{\text{otdr},i}$ is defined as the vertical distance between the two lines representing the attenuation coefficients.

Follow the instructions below for splice loss measurement with two cursors (two points method) or with the least squares approximation (LSA method). Note that other methods such as the five cursors method or automatic measurement can also be used. However, the method used shall be clearly specified.

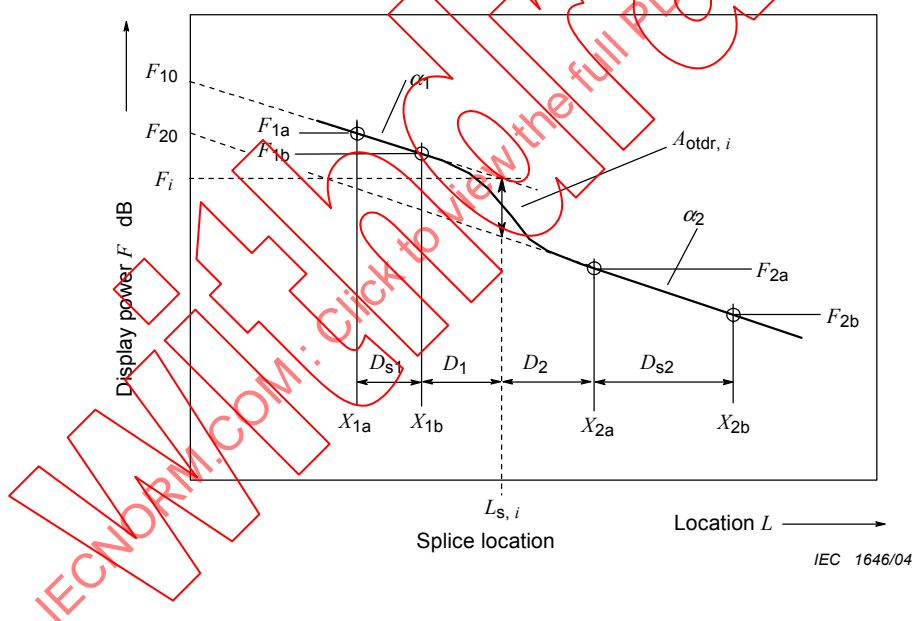


Figure 20 – Measurement of the splice loss

If the optional polarization controller is used, then repeat the following procedure n times for different positions of the polarization controller. In the calculations, average all of the n samples to a single $A_{\text{otdr},i}$, in which the PDL influence is reduced.

For each combination of lead-in fibres and attenuator settings, proceed as follows:

- a) define point X_{1b} near the splice, but to the left on a straight, clean backscatter trace;

- b) définir le point X_{1a} situé à la gauche et au moins à 500 m de X_{1b} . Il convient qu'une courbe de rétrodiffusion droite et sans bruit rejoigne les deux points. Enregistrer la distance entre les deux points D_{s1} ;

NOTE Une distance de 500 m a été choisie parce qu'il est important que l'affaiblissement de rétrodiffusion entre les deux points soit au moins de l'ordre de 0,1 dB.

- c) selon la méthode utilisée – méthode des deux points ou méthode des moindres carrés:
- 1) si la méthode des deux points est utilisée, enregistrer les deux niveaux de puissance, F_{1a} et F_{1b} et calculer l'affaiblissement linéique affiché de la fibre, avec

$$\alpha_1 = \frac{F_{1a} - F_{1b}}{D_{s1}} \quad (56)$$

Noter que l'affaiblissement linéique fourni par l'OTDR peut être utilisé;

- 2) si la méthode LSA est utilisée, calculer la meilleure ligne d'interpolation et déterminer la pente α_1 ainsi que l'intersection avec l'axe vertical, F_{10} . Il convient de réaliser la régression sur tous les points compris entre X_{1a} et X_{1b} . Enregistrer α_1 et F_{10} ;
- d) définir le point X_{2a} près de l'épissure, mais à droite, après tous les effets causés par la chute du signal, sur une partie de la courbe droite et sans bruit de rétrodiffusion;
- e) définir le point X_{2b} à la droite et au moins à 500 m de X_{2a} . Il convient qu'une courbe de rétrodiffusion droite et sans bruit rejoigne les deux points. Enregistrer la distance entre les deux points, D_{s2} ;
- f) selon la méthode utilisée – méthode des deux points ou méthode des moindres carrés:
- 1) si la méthode des deux points est utilisée, enregistrer les deux niveaux de puissance F_{2a} et F_{2b} , et calculer l'affaiblissement linéique affiché de la fibre comme étant:

$$\alpha_2 = \frac{F_{2a} - F_{2b}}{D_{s2}} \quad (57)$$

Noter que l'affaiblissement linéique fourni par l'OTDR peut être utilisé;

- 2) si la méthode LSA est utilisée, calculer la meilleure ligne de régression et déterminer la pente α_2 ainsi que l'intersection avec l'axe vertical F_{20} . La régression doit être réalisée sur tous les points compris entre X_{2a} et X_{2b} . Enregistrer α_2 et F_{20} ;
- g) déterminer la position de l'épissure $L_{s,i}$ comme le point de rotation de la courbe de rétrodiffusion;
- h) calculer la distance D_1 entre le point X_{1b} et la position de l'épissure. Calculer la distance D_2 entre la position de l'épissure et le point X_{2a} .

8.3.4 Calculs et résultats

- a) Selon la méthode utilisée – méthode des deux points ou méthode des moindres carrés:
- 1) si la méthode des deux points est utilisée, calculer l'affaiblissement de l'épissure $A_{otdr,i}$ et le niveau de puissance correspondant F_i (l'indice i indique que cela correspond au $i^{\text{ème}}$ affaiblissement d'épissure) comme étant:

$$A_{otdr,i} = (F_{1b} - \alpha_1 D_1) - (F_{2a} + \alpha_2 D_2) \quad (58)$$

$$F_i = F_{1b} - \alpha_1 D_1$$

- 2) si la méthode LSA est utilisée, calculer l'affaiblissement de l'épissure $A_{otdr,i}$ et le niveau de puissance correspondant F_i comme étant:

$$A_{otdr,i} = F_{10} - F_{20} - L_{s,i}(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (59)$$

$$F_i = F_{1b} - \alpha_1 D_1$$

- b) define point X_{1a} to the left of X_{1b} at least 500 m away. A straight, clean backscatter trace should connect the two points. Record the distance between the two points D_{s1} ;

NOTE A distance of 500 m was chosen because it is essential that the backscatter loss between the two points is at least in the order of 0,1 dB.

- c) according to the method used – the two-point method or the LSA method:

- 1) if using the two-point method, record the two power levels, F_{1a} and F_{1b} , and compute the displayed attenuation coefficient of the fibre as:

$$\alpha_1 = \frac{F_{1a} - F_{1b}}{D_{s1}} \quad (56)$$

Note that the attenuation coefficient given by the OTDR may be used;

- 2) if using the LSA method, compute the best-fit line and determine the slope α_1 and the intercept with the vertical axis F_{10} . The fit should be performed on all points between X_{1a} and X_{1b} . Record α_1 and F_{10} ;
- d) define point X_{2a} near the splice, but to the right, after any effects caused by the drop of signal on a straight, clean backscatter trace;
- e) define point X_{2b} to the right of X_{2a} at least 500 m away. A straight, clean backscatter trace should connect the two points. Record the distance between the two points D_{s2} ;
- f) according to the method used – the two-point method or the LSA method:
- 1) if using the two-point method, record the two power levels, F_{2a} and F_{2b} , and compute the displayed attenuation coefficient of the fibre as

$$\alpha_2 = \frac{F_{2a} - F_{2b}}{D_{s2}} \quad (57)$$

Note that the attenuation coefficient given by the OTDR may be used;

- 2) if using the LSA method, compute the best-fit line and determine the slope α_2 and the intercept with the vertical axis F_{20} . The fit shall be performed on all points between X_{2a} and X_{2b} . Record α_2 and F_{20} ;
- g) define the splice location $L_{s,i}$ as the turning point of the backscatter trace;
- h) compute the distance D_1 between point X_{1b} and the splice location. Compute the distance D_2 between the splice location and point X_{2a} .

8.3.4 Calculations and results

- a) According to the method used – the two-point method or the LSA method:

- 1) if using the two-point method, compute the splice loss $A_{otdr,i}$ and the correspondent power level F_i (the subscript i indicates the i^{th} splice loss) as:

$$A_{otdr,i} = (F_{1b} - \alpha_1 D_1) - (F_{2a} + \alpha_2 D_2) \quad (58)$$

$$F_i = F_{1b} - \alpha_1 D_1$$

- 2) if using the LSA method, compute the splice loss $A_{otdr,i}$ and the correspondent power level F_i , as:

$$A_{otdr,i} = F_{10} - F_{20} - L_{s,i}(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (59)$$

$$F_i = F_{1b} - \alpha_1 D_1$$

b) à partir des valeurs d'affaiblissement A_{otdr} , calculer l'écart d'affaiblissement ΔS_A :

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{otdr,i} - A_{ref}}{A_{ref}} \quad \text{dB/dB} \quad (60)$$

Enregistrer les écarts d'affaiblissement, les niveaux de puissance affichés et les positions de l'épissure. Préciser la méthode utilisée pour l'analyse de l'affaiblissement de l'épissure (par exemple méthode des deux points ou méthode des moindres carrés).

8.3.5 Incertitudes

Il est à noter que la liste suivante d'incertitudes n'est pas exhaustive. Il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres causes selon la méthode de mesure et l'appareillage utilisés. Il convient d'utiliser les bases mathématiques de l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

L'écart type caractérisant l'incertitude d'affaiblissement $\sigma_{\Delta S_A}$ pour une valeur individuelle de ΔS_A peut être calculé à partir de l'équation (60), en utilisant la formule habituelle de propagation des incertitudes:

$$\sigma_{\Delta S_A} \equiv \frac{1}{A_{ref}} (\sigma_{A_{ref}}^2 + \sigma_{A_{otdr}}^2)^{1/2} \quad \text{dB/dB} \quad (61)$$

L'incertitude $\sigma_{A_{ref}}$ peut être extraite du certificat d'étalonnage du simulateur d'épissure (voir Annexe C). Il convient d'accumuler l'incertitude $\sigma_{A_{otdr}}$ par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $\sigma_{A,\lambda}$ incertitude sur la valeur de l'affaiblissement de l'épissure, en décibels, causée par la différence entre la longueur d'onde centrale utilisée pour l'étalonnage du simulateur d'épissure et la longueur d'onde centrale de l'OTDR;
- $\sigma_{A,pol}$ incertitude sur l'affaiblissement de l'épissure provoquée par la dépendance envers la polarisation de l'OTDR due au fait qu'il est possible que les fibres amorce et/ou la marche d'affaiblissement provoquent une modification de l'état de polarisation du signal (lorsqu'un contrôleur de polarisation optionnel est utilisé, cette incertitude est alors réduite);
- $\sigma_{A,pos}$ incertitude sur l'affaiblissement de l'épissure, en décibels, causée par l'incertitude de la position de l'épissure σ_L . Si cela n'est pas disponible par ailleurs, utiliser la moitié de la largeur d'impulsion de l'OTDR, exprimée en mètres. La relation entre ces incertitudes est donnée par l'équation

$$\sigma_{A,pos} = |\alpha_1 - \alpha_2| \sigma_L \quad (62)$$

- $\sigma_{A,slope}$ incertitude sur l'affaiblissement de l'épissure causée par l'incertitude sur la mesure de la pente σ_s . La relation entre ces incertitudes est donnée par:

$$\sigma_{A,slope} = \sqrt{(D_1 \sigma_{\alpha_1})^2 + (D_2 \sigma_{\alpha_2})^2} \quad (63)$$

8.4 Méthode de la réduction de puissance

8.4.1 Description sommaire et avantages

La méthode de la réduction de puissance utilise une variation connue d'un signal optique pour étalonner l'échelle de puissance de l'OTDR. Le changement correspondant du niveau de puissance affiché est une mesure de l'écart d'affaiblissement. Trois variantes de cette méthode sont en conformité avec cette norme:

b) from the loss values A_{otdr} , calculate the loss deviations ΔS_A :

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB/dB} \quad (60)$$

Record the loss deviations, the displayed power levels and the splice locations. State the method used for splice loss analysis (for example two-point method or least-squares approximation).

8.3.5 Uncertainties

Note that the following list of uncertainties may not be complete. Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure. The mathematical basis given in Annex D should be used to calculate and state the uncertainties.

The standard deviation characterizing the loss uncertainty $\sigma_{\Delta S_A}$ of an individual ΔS_A can be calculated from equation (60), using the standard formula for propagation of uncertainties:

$$\sigma_{\Delta S_A} \equiv \frac{1}{A_{\text{ref}}} (\sigma_{A_{\text{ref}}}^2 + \sigma_{A_{\text{otdr}}}^2)^{1/2} \quad \text{dB/dB} \quad (61)$$

The uncertainty $\sigma_{A_{\text{ref}}}$ can be extracted from the calibration certificate of the splice simulator (see Annex C). The uncertainty $\sigma_{A_{\text{otdr}}}$ should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

$\sigma_{A,\lambda}$ the splice loss uncertainty, in decibels, introduced by the difference between the centre wavelength used for the calibration of the splice simulator and the OTDR's centre wavelength;

$\sigma_{A,\text{pdl}}$ the splice loss uncertainty caused by the OTDR polarization dependence, due to the possibility that the lead-in fibres and/or the attenuation step introduce a change of the signal's polarization state (when the optional polarization controller is used, then this uncertainty is reduced);

$\sigma_{A,\text{pos}}$ the splice loss uncertainty, in decibels, introduced by the uncertainty of the splice location σ_L . If not available elsewhere, use one half of the OTDR pulse width, expressed in metres; the relation between these uncertainties is given by:

$$\sigma_{A,\text{pos}} = |\alpha_1 - \alpha_2| \sigma_L \quad (62)$$

$\sigma_{A,\text{slope}}$ the splice loss uncertainty introduced by the uncertainty of the slope measurement σ_s . The relation between these uncertainties is given by:

$$\sigma_{A,\text{slope}} = \sqrt{(D_1 \sigma_{\alpha 1})^2 + (D_2 \sigma_{\alpha 2})^2} \quad (63)$$

8.4 Power reduction method

8.4.1 Short description and advantage

This method uses a known change of optical signal to calibrate the OTDR power scale. The correspondent change of displayed power level is a measure of the loss deviation. Three variants of this method are in compliance with this standard:

- a) la variante «fin de fibre», pour laquelle les marches de puissance sont enregistrées comme changements d'amplitude des réflexions;
- b) la variante «réflexions multiples», pour laquelle les marches de puissance sont enregistrées comme changements des amplitudes de toutes les réflexions produites;
- c) la variante «longue fibre», pour laquelle les marches de puissance sont enregistrées comme changement du signal de rétrodiffusion le long de la fibre.

L'équipement comprend un atténuateur qui bascule entre deux réglages d'atténuation afin de produire un changement du niveau de puissance affiché. L'équipement est léger et bon marché.

L'avantage de la variante «réflexion de fin de fibre» est qu'elle peut mesurer toutes les régions A, B et C. Une fibre bien clivée ou un connecteur poli, un deuxième atténuateur et quelques fibres amorces sont nécessaires, en plus de l'équipement de la variante de «longue fibre», afin de placer les échantillons de mesure dans l'espace bidimensionnel de la puissance et de la distance.

La variante «réflexions multiples» peut également mesurer toutes les régions A, B et C. L'avantage sur la réflexion de fin de fibre «simple» est qu'elle ne nécessite ni fibre amorce ni remise en connexion durant l'étalonnage. Les réflexions multiples peuvent être générées par une cavité optique possédant des miroirs partiellement transparents. Cette variante est bien adaptée à une automatisation complète.

L'avantage de la variante «longue fibre» est que cette méthode est proche d'une mesure d'affaiblissement de la fibre par réflectométrie et que les échantillons de mesure sont automatiquement placés dans la région A. Le placement des échantillons de mesure dans la région C et dans la partie la plus haute de la région A n'est pas possible. Aucune remise en connexion n'est nécessaire durant l'étalonnage. Cette variante est également bien adaptée à une automatisation complète.

Il est attendu qu'introduire puis soustraire la marche d'affaiblissement n'entraîne pas de changement de l'état de polarisation de l'onde retournant vers l'OTDR, permettant de ce fait de s'affranchir de l'incertitude liée à la dépendance de l'OTDR envers la polarisation lors de son étalonnage en affaiblissement. Il est nécessaire que l'atténuateur de basculement présente des caractéristiques de polarisation appropriées pour répondre à ce cas. Il convient de prendre des précautions afin de ne pas modifier la position des fibres dans le montage de mesure lorsque l'on bascule l'atténuateur, car sinon les résultats de mesure seront affectés par la dépendance de l'OTDR envers la polarisation.

Un contrôleur de polarisation optionnel, tel que celui des méthodes de la «fibre étalon» et du «simulateur d'épissure» n'est pas nécessaire dans ce cas car chaque résultat de mesure d'affaiblissement est la différence de deux échantillons reproduisant essentiellement le même état de polarisation.

8.4.2 Equipement

8.4.2.1 Variante «fin de fibre»

L'équipement de mesure inclut, comme indiqué à la Figure 21:

- a) un jeu de fibres, type B de la CEI 60793-1, dont l'extrémité est équipée d'une fibre bien clivée ou d'un connecteur poli; la plus petite fibre du jeu doit être assez longue afin que l'impulsion réfléchie arrive après la récupération de l'impulsion initiale;
- b) un atténuateur optique variable (atténuateur No. 1) d'une résolution $\leq 0,1$ dB, pour régler le niveau de puissance affiché;

- a) the "fibre-end" variant, in which the power steps are recorded as the change of reflection amplitude;
- b) the "multiple-reflections" variant, in which the power steps are recorded as the changes of all reflection amplitudes produced;
- c) the "long-fibre" variant, in which the power steps are recorded as the change of backscatter signal along the length of the fibre.

The equipment includes an attenuator which is toggled between two attenuation settings to produce the change of displayed power level. The equipment is lightweight and inexpensive.

The advantage of the "fibre-end reflection" variant is that it can measure all regions A, B and C. A well-cleaved fibre end or polished connector, a second attenuator and a number of lead-in fibres are needed, in addition to the equipment of the "long fibre" variant, to place the measurement samples into the two-dimensional space of power and distance.

The "multiple-reflections" variant can also measure all regions A, B and C. Its advantage over the "single" fibre-end reflection is that no lead-in fibres and no fibre reconnections are necessary during the calibration. The multiple reflections can be generated by an optical cavity with partially transparent mirrors. This variant is well suited for full automation.

The advantage of the "long-fibre" variant is that this method is close to measuring fibre loss with the OTDR and that the measurement samples automatically fall into region A. Placing measurement samples into region C and the upper part of region A is not possible. No fibre reconnections are necessary during the calibration. This variant is also well suited for full automation.

It is expected that toggling the attenuation step in and out will not change the state of polarization of the wave returning to the OTDR, thereby allowing OTDR loss calibration without an uncertainty contribution from the OTDR polarization dependence. Appropriate polarization characteristics of the "toggle" attenuator are necessary to accomplish this. Care should be taken not to alter the position of the fibres in the measurement set-up while toggling the attenuator, because otherwise the measurement results will be affected by the OTDR polarization dependence.

An optional polarization controller, such as in the "fibre-standard" and "splice-simulator" methods, is not needed here because each loss measurement result is the difference of two samples representing essentially the same polarization state.

8.4.2 Equipment

8.4.2.1 "Fibre-end" variant

The measurement equipment includes, as shown in Figure 21:

- a) a set of fibres, type B, IEC 60793-1, the end of which is equipped with a well-cleaved fibre end or polished connector; the shortest fibre of the set shall be long enough to ensure that the reflected pulse arrives after the recovery from the initial pulse;
- b) a variable optical attenuator (attenuator No. 1) with a resolution of $\leq 0,1$ dB, to set the displayed power level;

- c) un atténuateur optique (atténuateur No. 2) avec une bonne répétabilité pour introduire puis soustraire une valeur spécifique d'affaiblissement (les valeurs recommandées sont de 0,5 dB à 2 dB); il convient que cet atténuateur ait une grande répétabilité en affaiblissement (de préférence < 0,05 dB) lors du basculement entre les deux positions d'affaiblissement; il est important également qu'il n'y ait pas de changement d'états de polarisation dûs au basculement et que les réflectances soient suffisamment faibles pour éviter des changements d'amplitude de la réflexion principale;
- d) des cordons optiques pour connecter le système;
- e) un radiomètre optique.

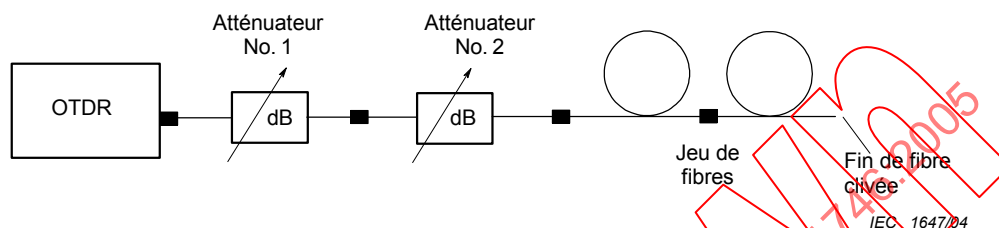


Figure 21 – Etalonnage de l'affaiblissement avec la variante «fin de fibre» de la méthode de réduction de puissance

8.4.2.2 Variante «réflexions multiples»

Le jeu de fibres et l'extrémité clivée de la fibre sont remplacés par une cavité optique, construite par exemple à l'aide de deux miroirs partiellement transparents entre lesquels se trouve une longueur de fibre. Le but est de produire une série de réflexions séparées par une certaine distance.

8.4.2.3 Variante «longue fibre»

L'atténuateur n° 2 n'est pas nécessaire. En remplacement, il est nécessaire d'avoir une longue fibre et un dispositif qui peut réduire la réflexion de fin de fibre à une valeur insignifiante (absorbeur, par exemple des nœuds sur la fibre), comme indiqué à la Figure 22.

Il convient que la longue fibre ait un affaiblissement total correspondant au domaine de mesures de l'OTDR.

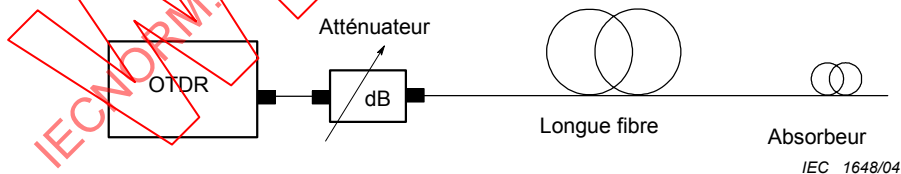


Figure 22 – Etalonnage de l'affaiblissement avec la variante «longue fibre» de la méthode de réduction de puissance

8.4.2.4 Etalonnage de l'affaiblissement de référence

La marche d'affaiblissement de l'atténuateur de «basculement» représente l'affaiblissement de référence A_{ref} . Choisir une valeur convenable pour A_{ref} . Une valeur de 0,5 dB à 2 dB est recommandée. Commuter l'OTDR sur un mode d'émission continu, si possible. Sinon, utiliser une source laser continue, dont la longueur d'onde centrale soit la plus proche possible de celle de l'OTDR. Un deuxième atténuateur peut être pris comme faisant partie de la source. Connecter la source à l'entrée de l'atténuateur de «basculement». Connecter la sortie de l'atténuateur de «basculement» au radiomètre optique. Régler la correction de la longueur d'onde du radiomètre optique.

- c) an optical attenuator (attenuator No. 2) with good repeatability to toggle in and out a specific quantity of attenuation (recommended values are 0,5 dB to 2 dB); this attenuator should have high attenuation repeatability (preferably < 0,05 dB) when toggled between the two attenuation settings; it is also important that there is no change in the polarization state due to toggling, and that the reflectances are sufficiently low to avoid amplitude changes of the main reflection;
- d) optical jumper cables to connect the system;
- e) an optical power meter.

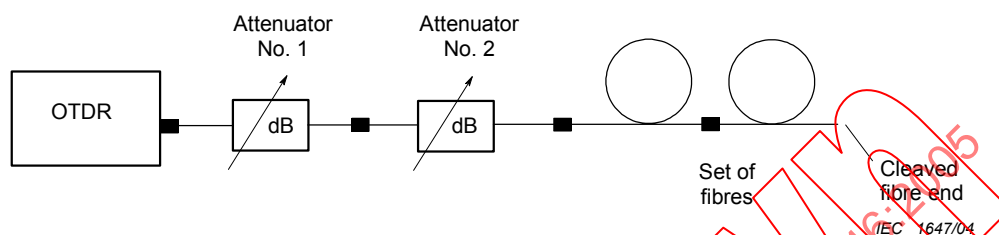


Figure 21 – Loss calibration with "fibre-end" variant of the power reduction method

8.4.2.2 "Multiple-reflections" variant

The set of fibres and the cleared fibre end are replaced by an optical cavity constructed, for example, from two partially transparent mirrors with a length of fibre in between. The intention is to produce a series of reflections which are separated by some distance.

8.4.2.3 "Long-fibre" variant

Attenuator No. 2 is not necessary. Instead, a long fibre and a device which is capable of reducing the fibre-end reflection to insignificance (absorber, for example, fibre knots) are required, as shown in Figure 22.

The long fibre should have a total attenuation corresponding to the OTDR measurement range.

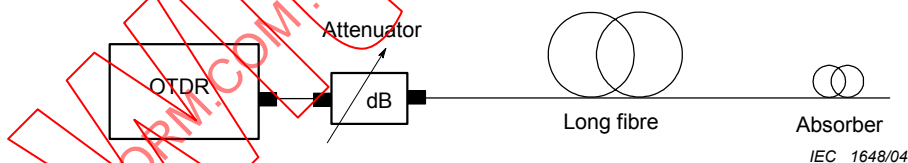


Figure 22 – Loss calibration with "long-fibre" variant of the power reduction method

8.4.2.4 Calibration of the reference loss

The attenuation step of the "toggle" attenuator represents the reference loss A_{ref} . Select a suitable value for A_{ref} . A value of 0,5 dB to 2 dB is recommended. Switch the OTDR to continuous wave mode, if possible. Otherwise, use a continuous wave laser source, with a centre wavelength as close as possible to the OTDR centre wavelength. A second attenuator can be considered as part of the source. Connect the source to the input of the "toggle" attenuator. Connect the output of the "toggle" attenuator to the optical power meter. Set the wavelength correction of the optical power meter.

Mesurer la marche d'affaiblissement plusieurs fois. Calculer l'affaiblissement de référence comme étant la moyenne de la marche d'affaiblissement.

Le radiomètre optique est utilisé pour mesurer avec précision le changement de puissance optique (c'est-à-dire une mesure relative). Par conséquent, étalonner la non-linéarité du radiomètre conformément à la publication CEI appropriée; une précision de mesure de la puissance absolue n'est pas indispensable.

8.4.3 Procédure de mesure

8.4.3.1 Préparation

Pour les variantes «fin de fibre» et «réflexions multiples», déterminer le niveau 0 dB de référence, par exemple le niveau de saturation de l'OTDR, comme décrit à l'Article 7. Le niveau de saturation peut être déterminé en réglant les deux atténuateurs à leur niveau d'affaiblissement minimal. Choisir un jeu de fibres tel que l'impulsion optique soit affichée au centre de l'écran. Choisir la durée d'impulsion, par exemple 10 µs, de sorte que l'impulsion affichée présente un sommet plat. Ajuster l'atténuateur n° 1 de façon que le pic de l'impulsion optique générée soit juste sous (moins de 1 dB) le niveau de saturation. En suivant les directives de l'Article 7, élaborer un plan d'essai de placement des échantillons basé sur les réglages de l'atténuateur n° 1 et l'arrangement des fibres du jeu.

Pour la variante «longue fibre», déterminer le niveau 0 dB de référence, par exemple le début du signal de rétrodiffusion (sans l'atténuateur), tel que décrit dans l'Article 7. Choisir la durée d'impulsion, par exemple 10 µs. Régler l'atténuateur à la plus faible valeur d'affaiblissement possible, de telle manière que la puissance affichée ne soit pas réduite de façon significative par rapport au cas où l'atténuateur ne serait pas inséré. En suivant les directives de l'Article 7, élaborer un plan d'essai de placement des échantillons basé sur la marche d'affaiblissement sélectionnée et la longueur de la fibre connectée.

8.4.3.2 Mesures

Trouver une méthode pour mesurer le changement de hauteur du signal de réflexion ou de rétrodiffusion. Une technique consiste à placer un curseur sur un niveau de puissance stable tel que l'impulsion de départ de l'OTDR et un deuxième curseur au plus haut point du signal de réflexion ou de rétrodiffusion. Afin de réduire l'incertitude sur la distance, ne changer l'abscisse d'aucun curseur durant la série de mesures à une position déterminée.

Les mesures sont identiques à celles décrites en 8.2:

- a) se mettre à l'emplacement du premier échantillon conformément au plan d'essai;
- b) basculer l'atténuateur entre ses réglages prédéterminés;
- c) enregistrer le niveau de puissance affiché F_i , le changement de niveau de puissance affiché $A_{otdr,i}$ et la position correspondante L_i . Il peut être recommandé de répéter la mesure de $A_{otdr,i}$ plusieurs fois et d'enregistrer la moyenne de ces échantillons;
- d) choisir l'emplacement de l'échantillon suivant conformément au plan d'essai et reprendre au point b). Continuer jusqu'à ce que le plan d'essai soit terminé.

8.4.4 Calculs et résultats

Pour chaque échantillon de mesure, calculer l'écart d'affaiblissement à l'aide de l'équation:

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{otdr,i} - A_{ref}}{A_{ref}} \quad \text{dB/dB} \quad (64)$$

Enregistrer le niveau de puissance affiché F_i et la position L_i pour chaque valeur d'écart d'affaiblissement. Il peut être recommandé de représenter les valeurs des écarts d'affaiblissement en fonction du niveau de puissance affiché F_i .

Measure the attenuation step a number of times. Calculate the reference loss as the average attenuation step.

The optical power meter is used to accurately measure the change in optical power (that is a relative measurement). Therefore, calibrate the non-linearity of the power meter according to the appropriate IEC publication; absolute power measurement accuracy is not essential.

8.4.3 Measurement procedure

8.4.3.1 Preparation

In the "fibre-end" and "multiple-reflections" variants, determine the 0 dB reference level, for example the OTDR clipping level, as described in Clause 7. The clipping level can be determined by setting both attenuators to their respective minimum attenuations. Select a set of fibres so that the optical pulse is displayed in the centre of the screen. Select the pulse width, for example 10 μ s, so that the displayed pulse has a flat top. Adjust attenuator No. 1 so that the peak of the generated optical pulse is just below (within 1 dB) the clipping level. Following the guidelines of Clause 7, develop a test plan of sample placements based on attenuator No. 1 settings and fibre combinations from the set.

In the "long-fibre" variant, determine the 0 dB reference level, for example the start of the backscatter signal (without the attenuator), as described in Clause 7. Select the pulse width, for example 10 μ s. Set the attenuator to the smallest attenuation value possible, so that the displayed power is not significantly reduced in comparison with no attenuator inserted. Following the guidelines of Clause 7, develop a test plan of sample placements based on the selected attenuation step and the length of fibre connected.

8.4.3.2 Measurements

Find a method to measure the change in height of the reflection or backscatter signal. One technique is to place one cursor on a stable power level such as the initial OTDR pulse and a second cursor on the pulse top of the reflection or backscatter signal. To reduce the uncertainty of distance, do not change either marker's location during the set of measurements at a particular location.

The measurements are similar to those outlined in 8.2:

- select the first sample placement according to the test plan;
- toggle the attenuator between its predetermined settings;
- record the displayed power level F_i , the change of displayed power level $A_{\text{otdr},i}$ and the correspondent location L_i . It may be advisable to repeat the measurement of $A_{\text{otdr},i}$ several times and to record the average of these samples;
- select the next sample placement according to the test plan and go back to step b). Continue until the test plan is finished.

8.4.4 Calculations and results

For each measurement sample, calculate the loss deviation from the equation:

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB/dB} \quad (64)$$

Record the displayed power level F_i and the location L_i , with each loss deviation value. It may be advisable to plot the loss deviation values as a function of the displayed power level F_i .

8.4.5 Incertitudes

Noter que la liste suivante d'incertitudes n'est pas exhaustive. Il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres causes, selon le montage de mesure et la procédure de mesure utilisés. Il convient d'utiliser les bases mathématiques de l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

L'écart type caractérisant l'incertitude sur l'affaiblissement peut être calculé à partir de l'équation (64), en utilisant la formule habituelle de propagation des erreurs:

$$\sigma_{\Delta SA} \equiv \frac{1}{A_{\text{ref}}} \left(\sigma_{A_{\text{ref}}}^2 + \sigma_{A_{\text{otdr}}}^2 \right)^{1/2} \quad \text{dB/dB} \quad (65)$$

Il convient que l'incertitude sur l'affaiblissement de référence $\sigma_{A_{\text{ref}}}$ soit accumulée, par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $\sigma_{A,\text{pm}}$ incertitude, en décibels, due à l'étalonnage de l'affaiblissement de référence à l'aide du radiomètre, par exemple due à la non-linéarité du radiomètre, au fait qu'il dépend de la polarisation, à l'inhomogénéité spatiale et au bruit. Il convient que cette incertitude elle-même soit accumulée par sommation quadratique;
- $\sigma_{A,\text{refl}}$ incertitude, en décibels, due aux différences des caractéristiques de réflexion du montage. Par exemple, la marche de puissance mesurée à l'aide du radiomètre peut différer de la marche de puissance lorsque l'appareil soumis à l'essai est connecté, du fait des réflexions produites par le radiomètre;
- $\sigma_{A,\lambda}$ incertitude, en décibels, causée par la différence entre les longueurs d'onde centrales de l'OTDR et de la source optique utilisée pour l'étalonnage de l'affaiblissement de référence;
- $\sigma_{A,\text{deadzone}}$ incertitude, en décibels, causée par la possibilité que la marche d'affaiblissement soit influencée par la récupération du signal après les réflexions issues de l'atténuateur (zone morte d'affaiblissement);
- $\sigma_{A,\text{step}}$ incertitude de type A, en décibels, provoquée par l'instabilité de la marche d'affaiblissement.

L'incertitude $\sigma_{A_{\text{otdr}}}$ comprend les composantes suivantes:

- $\sigma_{A,\text{pdl}}$ incertitude, en décibels, provoquée par un changement d'état de polarisation suite à la création de la marche d'affaiblissement;
- $\sigma_{A,\text{type A}}$ incertitude de type A, en décibels, provoquée par la variabilité des mesures de la marche d'affaiblissement, causée par exemple par une résolution de lecture limitée, des sommets d'impulsion inclinés dans le cas des variantes «fin de fibre» et «réflexions multiples», et les niveaux de puissance affichés lorsqu'ils s'approchent de la limite du bruit.

9 Etalonnage de la réflectance

L'objectif de l'étalonnage de la réflectance est de déterminer l'écart de réflectance, ΔS_R , entre la valeur mesurée et la valeur vraie de la réflectance, et d'évaluer son incertitude.

9.1 Mesure de réflectance (voir Figure 23)

Un OTDR mesure la réflectance R_{otdr} d'un composant en utilisant l'amplitude de la réflexion au-dessus de la courbe de rétrodiffusion, ΔF . La réflectance peut être exprimée par une fonction telle que:

8.4.5 Uncertainties

Note that the following list of uncertainties may not be complete. Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure. The mathematical basis given in Annex D should be used to calculate and state the uncertainties.

The standard deviation characterizing the loss uncertainty can be calculated from equation (64), using the standard formula for the propagation of errors:

$$\sigma_{\Delta SA} \cong \frac{1}{A_{\text{ref}}} \left(\sigma_{A_{\text{ref}}}^2 + \sigma_{A_{\text{otdr}}}^2 \right)^{1/2} \quad \text{dB/dB} \quad (65)$$

The uncertainty of the reference loss $\sigma_{A_{\text{ref}}}$ should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

$\sigma_{A,\text{pm}}$	the uncertainty, in decibels, due to calibrating the reference loss with the power meter, for example due to the non-linearity of the power meter, polarization dependence, spatial inhomogeneity and noise. This uncertainty should itself be accumulated by root-sum-squaring;
$\sigma_{A,\text{refl}}$	the uncertainty, in decibels, due to changes in the reflection characteristics of the set-up. For example, the power step measured with the power meter may differ from the power step with the test device connected, due to reflections from the power meter;
$\sigma_{A,\lambda}$	the uncertainty, in decibels, caused by the difference between the centre wavelengths of the OTDR and the optical source used in the calibration of the reference loss;
$\sigma_{A,\text{deadzone}}$	the uncertainty, in decibels, caused by the possibility that the attenuation step is influenced by the recovery from attenuator reflections (attenuation dead zone);
$\sigma_{A,\text{step}}$	the uncertainty type A, in decibels, introduced by the instability of the attenuation step.

The uncertainty $\sigma_{A_{\text{otdr}}}$ includes the following:

$\sigma_{A,\text{pdl}}$	the uncertainty, in decibels, introduced by changing a polarization state as a result of the attenuation step;
$\sigma_{A,\text{type A}}$	the uncertainty type A, in decibels, introduced by the variability of the attenuation step measurements, caused for example by limited readout resolution, tilted pulse top in the case of the "fibre-end" and "multiple-reflections" variants, and displayed power levels when they approach the noise limit.

9 Reflectance calibration

The objective of the reflectance calibration is to determine the reflectance deviation, ΔS_R between the measured and actual reflectance and to evaluate its uncertainty.

9.1 Reflectance measurements (see Figure 23)

An OTDR measures the reflectance R_{otdr} of a fibre optic component, using the amplitude of the reflection over the backscatter trace, ΔF . The reflectance R_{otdr} can be expressed by a function such as:

$$R_{\text{otdr}} \approx f(\Delta F, K, \Delta Td) \quad (66)$$

où K est le paramètre de rétrodiffusion de la fibre, ΔF l'amplitude de la réflexion et ΔTd la largeur affichée de l'impulsion de l'OTDR.

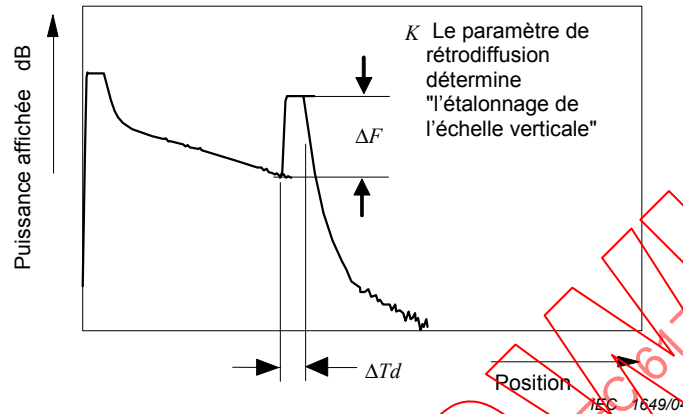


Figure 23 – Paramètres intervenant dans les mesures de réflectance

NOTE 1 La valeur affichée de la largeur d'impulsion de l'OTDR tient compte de tous les paramètres affectant la largeur d'impulsion affichée, tels que:

- a) la valeur vraie du largeur d'impulsion;
- b) la réponse de la photodiode;
- c) la bande passante de l'amplificateur.

NOTE 2 On prend pour hypothèse que l'amplitude de l'impulsion affichée n'est pas perturbée. Par exemple, le sommet de l'impulsion est en dessous du niveau de saturation et le bruit sur la trace de rétrodiffusion avant le pic est très faible devant l'amplitude du pic.

NOTE 3 D'autres paramètres sont susceptibles de perturber les mesures de réflectance, par exemple le niveau de puissance affichée, la position de l'événement, l'affaiblissement associé et la durée de moyennage. Il convient que ces paramètres soient pris en compte dans le processus d'étalonnage.

9.2 Utilisation du paramètre de rétrodiffusion, K

Généralement l'axe vertical d'un OTDR n'est pas étalonné pour la mesure de puissance optique absolue. Lorsqu'un OTDR est utilisé pour les mesures de réflectance, le paramètre de rétrodiffusion, K , intervient comme une référence de niveau pour l'axe vertical. Par conséquent, toute modification de la valeur de K modifie directement la valeur de la réflectance lue, comme illustré à la Figure 24. Ce point est décrit avec plus de détails en Annexe G. Il y est notamment montré que:

$$\Delta F_{\text{dB}}(L) = 5 \log_{10} \left[\frac{R}{K \Delta T} + 1 \right] \quad (67)$$

et

$$R_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(K) + 10 \log_{10}(\Delta T) + 10 \log_{10} \left(10^{\frac{\Delta F_{\text{dB}}(L)}{5}} - 1 \right) \quad (68)$$

$$R_{\text{otdr}} \approx f(\Delta F, K, \Delta Td) \quad (66)$$

where K is the backscatter parameter of the fibre, ΔF the amplitude of the reflection and ΔTd the displayed OTDR's pulsewidth.

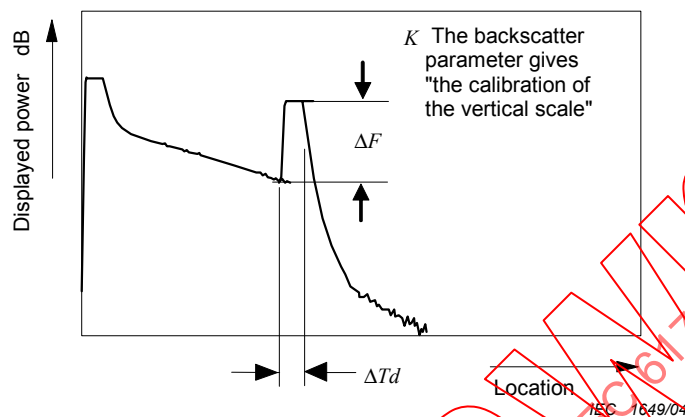


Figure 23 – Parameters involved in reflectance measurements

NOTE 1 The displayed OTDR's pulsewidth includes all parameters affecting the displayed pulsewidth; such as:

- the actual pulsewidth;
- the photodiode response;
- the amplifier bandwidth.

NOTE 2 It is assumed that there is no perturbation on the displayed pulse amplitude. For example, the top of the reflection is below the clipping level, and the noise of the backscatter trace before the pulse is very low with respect to the pulse amplitude.

NOTE 3 Other parameters may affect reflectance measurements e.g. displayed power level, event location, associated attenuation, and averaging time. These parameters should be included in the calibration process.

9.2 Use of the backscatter parameter, K

On a general basis the vertical scale of an OTDR is not calibrated for absolute optical power measurements. When an OTDR is used for reflectance measurements the backscatter parameter, K , effectively acts as reference level for the vertical scale. Therefore any change in K directly changes the displayed reflectance value, as shown in Figure 24. This is discussed in more detail in Annex G where it is shown that

$$\Delta F_{\text{dB}}(L) = 5 \log_{10} \left[\frac{R}{K \Delta T} + 1 \right] \quad (67)$$

and

$$R_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(K) + 10 \log_{10}(\Delta T) + 10 \log_{10} \left(10^{\frac{\Delta F_{\text{dB}}(L)}{5}} - 1 \right) \quad (68)$$

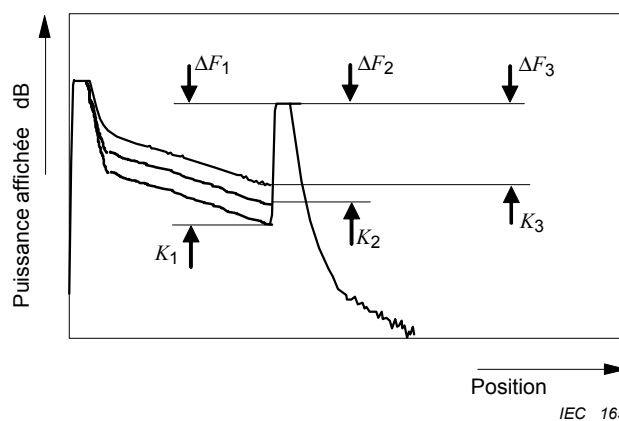


Figure 24 – La même réflectance à l'extrémité de trois fibres ayant des paramètres de rétrodiffusion différents présente des impulsions d'amplitude différentes

Le paramètre de rétrodiffusion est spécifique à la fibre à tester. Cela conduit aux conséquences suivantes:

- L'étalonnage n'est valable que si l'OTDR utilise le même paramètre de rétrodiffusion en mesurant le dispositif en essai que paramètre de rétrodiffusion propre au dispositif en essai. De manière alternative, l'utilisation des résultats d'étalonnage doit prendre en compte les valeurs différentes du paramètre de rétrodiffusion en utilisant par exemple l'équation (68).
En utilisant le même paramètre de rétrodiffusion que celui défini pour l'étalon de réflectance, l'incertitude relative à K s'élimine de l'étalonnage.
- Lors de l'utilisation d'un OTDR pour des mesures de réflectance, les incertitudes de détermination du paramètre de rétrodiffusion de la fibre K peuvent produire des erreurs additionnelles. La détermination de K n'est pas l'objet de cette norme. Par conséquent, la procédure d'étalonnage suivante ne traite que de la capacité de l'OTDR à mesurer ΔF et calculer R_{OTDR} correctement.
Comme le paramètre de rétrodiffusion est nécessaire pour réaliser des mesures de réflectance, et principalement réduire les incertitudes, une méthode de détermination de K est proposée dans l'Annexe informative G.

9.3 Gamme de mesures de réflectance

Pour une largeur d'impulsion donnée, il ne sera pas possible de mesurer toutes les valeurs de réflectance. L'analyse de la gamme de mesures disponible est utile à la préparation du plan d'essai. Pour une configuration donnée de l'OTDR, ΔF est une fonction de la réflectance. L'étendue (à partir de la valeur minimale jusqu'à la valeur maximale) de l'amplitude de l'impulsion est directement liée à la gamme de réflectances disponible.

Il convient que la valeur minimale de l'amplitude de l'impulsion soit égale à zéro. Généralement, une petite valeur minimale, 3 dB par exemple, est applicable. Cela est dû au fait que pour de petites valeurs de ΔF , de petites erreurs conduisent à d'importantes erreurs de R_{dB} , équation G.10. En prenant une valeur minimale pour ΔF de 3 dB, la réflectance minimale qui pourrait être mesurée avec une impulsion de 1 μs est ~ -45 dB et pour une impulsion de 10 ns ~ -65 dB.

L'amplitude maximale de l'impulsion est limitée en haut par le niveau de saturation, F_c , et en bas par le niveau de la courbe de rétrodiffusion, F , qui se rapproche du niveau de bruit. Comme F dépend de l'affaiblissement de la fibre avant la position de l'événement, l'amplitude maximale de l'impulsion dépend de la position de celle-ci (voir Figure 25). A partir de l'équation G.9 on peut montrer que ΔF sera minimum en utilisant l'impulsion la plus large.

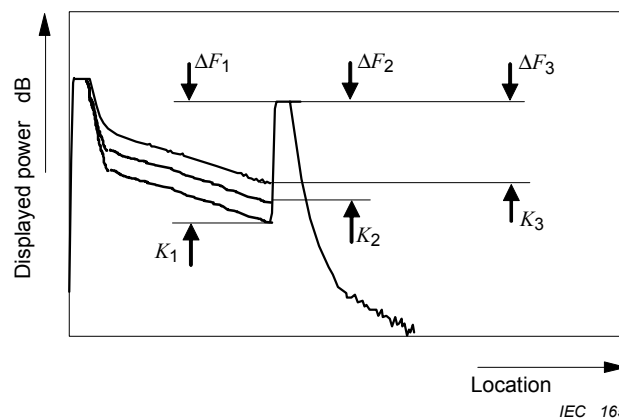


Figure 24 – The same reflectance at the end of three fibres with different values of the backscatter parameter shows different pulse amplitudes

The backscatter parameter is related to the fibre under test. This leads to the following consequences:

- The calibration is only valid if the OTDR uses the same backscatter parameter in measuring the test device as the backscatter parameter of the test device itself. Alternatively, the use of the calibration results shall take into account the different values of the backscatter parameter using for example equation (68).
By using the same backscatter parameter as the one stated in the documentation of the reflection standard, the uncertainty of K is effectively eliminated in the calibration.
- Additional errors in using the OTDR for reflectance measurements may result from the uncertainty in determining the backscatter parameter of the fibre, K . The determination of K is beyond the scope of this document. Consequently, the calibration procedure below only discusses the OTDR's ability to measure ΔF and compute R_{otdr} correctly.
As the fibre backscatter parameter is needed for reflectance measurements, mainly to reduce uncertainties, a method to determine K is provided in informative Annex G.

9.3 Range of reflectance measurement

For a given OTDR setting it will not be possible to measure all reflectance values. Analysis of the available range is useful to prepare the test plan. For a given OTDR setting, the pulse amplitude, ΔF , is a function of the reflectance. The range (from the minimum to the maximum value) of the pulse amplitude is directly related to the available range of reflectance.

The minimum value of the pulse amplitude should be equal to zero. Generally a small minimum value, e.g. 3 dB, is applicable. This is because for small values of ΔF , small errors in this quantity cause large errors in R_{dB} , equation G.10. Taking a minimum value of ΔF of 3 dB, the minimum reflectance that can be measured with a 1 μs pulse is ~ -45 dB and for a 10 ns pulse ~ -65 dB.

The maximum value of the pulse amplitude is limited at the top, by the clipping level, F_c , and at the bottom by the level of the backscatter trace, F , approaching the noise floor. As F depends on the attenuation of the fibre before the event, the maximum value of the pulse amplitude depends on the location of the pulse (see Figure 25). From equation G.9 it can be seen that ΔF is minimised by using the longest pulse width.

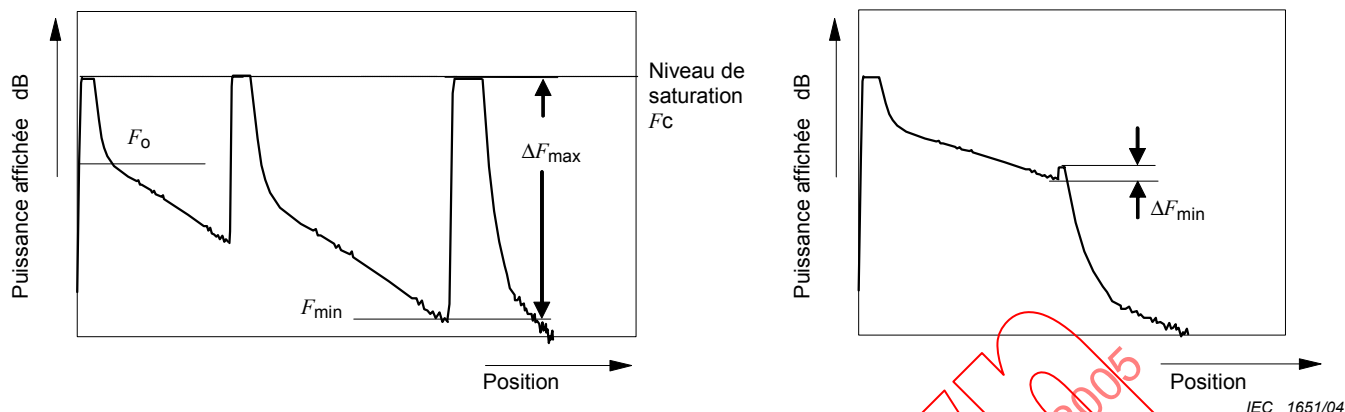


Figure 25 – Valeurs maximales et minimales de l'amplitude de l'impulsion, ΔF

NOTE Certains OTDR intègrent la possibilité de réduire la puissance rétrodiffusée. Dans ce cas, l'amplitude maximale de l'impulsion dépend aussi de l'affaiblissement interne.

La gamme de mesures de réflectance peut être illustrée par l'aire représentée à la Figure 26. La limite basse de l'aire est définie par la valeur minimale de l'amplitude de l'impulsion. Les valeurs maximales de l'amplitude de l'impulsion donnent les valeurs des limites hautes des mesures de réflectance.

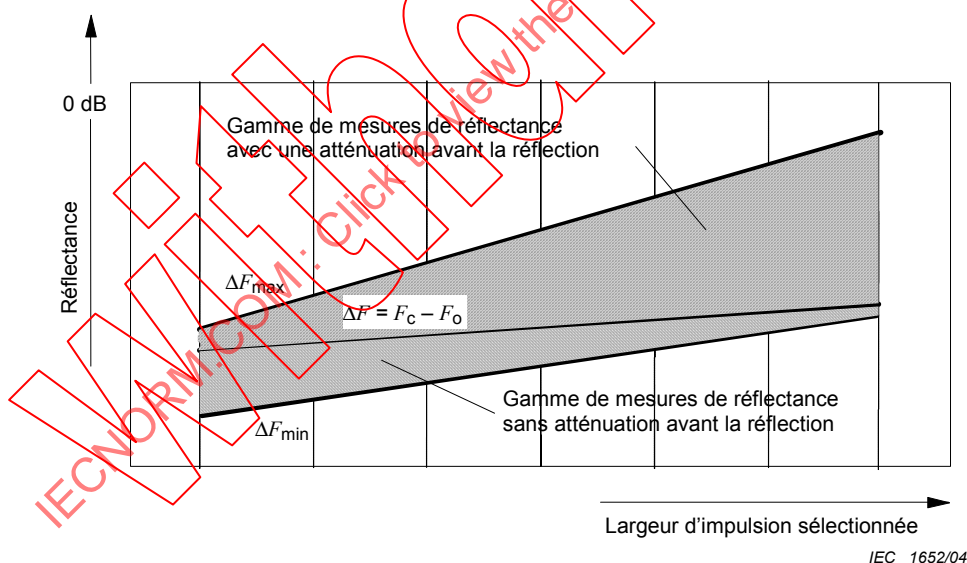


Figure 26 – Gamme de mesures de réflectance

NOTE Les valeurs de réflectance sont négatives.

9.4 Elaboration d'un plan d'essai

Le principe de l'étalonnage en réflectance consiste à appliquer un jeu de réflectances connues (ou de référence), $R_{ref,j}$, à l'OTDR et à mesurer la réflectance affichée, $R_{otdr,j}$, pour un réglage donné de l'OTDR et pour différentes valeurs de position et de niveau de puissance. Il convient que $R_{ref,j}$ constitue un ensemble de valeurs de réflectance régulièrement espacées sur la gamme de mesures de réflectance.

Cela se traduit par un grand nombre de points de mesure.

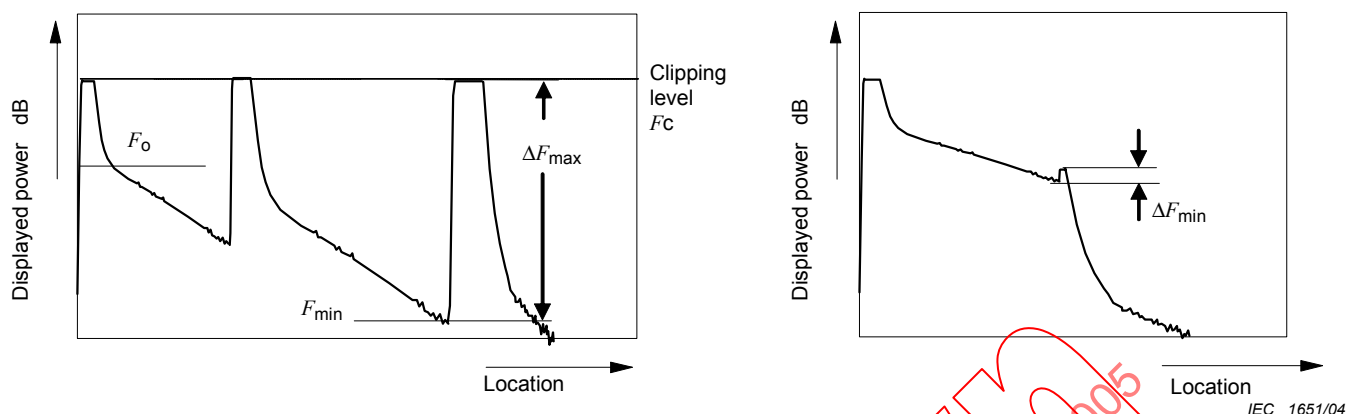


Figure 25 – Maximum and minimum values for the pulse amplitude, ΔF

NOTE Some OTDR are able to internally reduce the backscattered power. In this case the maximum value of the pulse amplitude also depends on the internal attenuation.

The range of reflectance measurements can be illustrated by an area shown in Figure 26. The lower limit of the area is defined by the minimum value of the pulse amplitude. The maximum values of the pulse amplitude give the upper limits of the range of reflectance measurements.

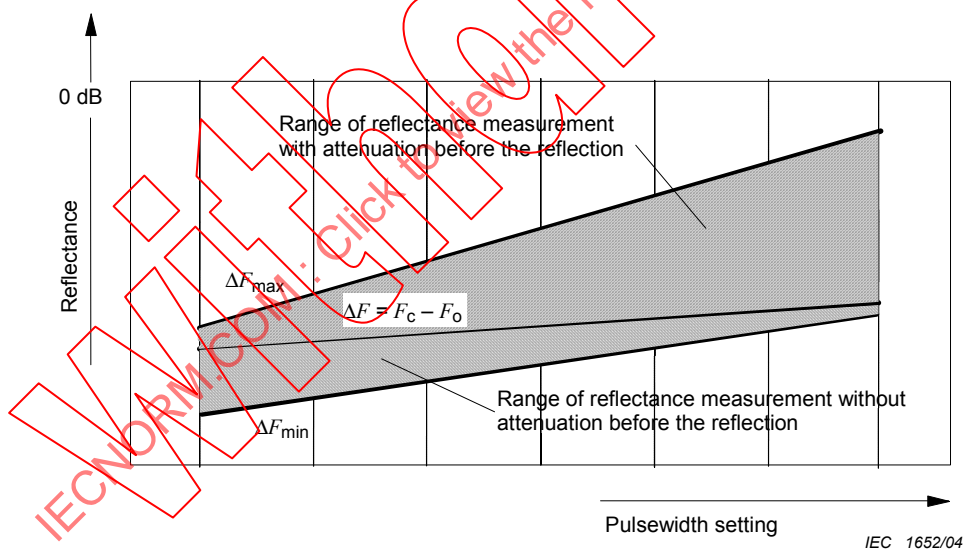


Figure 26 – Range of reflectance measurement

NOTE Reflectance values are negative.

9.4 Development of a test plan

The principle of reflectance calibration is to apply a set of known (or reference) reflectances, $R_{ref,j}$, to the OTDR, and to measure the displayed reflectance, $R_{otdr,j}$, for a given OTDR setting and for different values of location and power level. $R_{ref,j}$ should be chosen as a set of regularly spaced reflectance values within the range of reflectance measurement.

This leads to a very large quantity of measurements.

De manière à faciliter la réduction du nombre de points de mesure, ce document spécifie des valeurs par défaut pour la position, le niveau de puissance affichée et l'espacement des échantillons de réflectance.

Dans le cadre de ce document, les valeurs par défaut de la position L_d et de la puissance affichée F_d sont définies en relation avec la dynamique, comme illustré à la Figure 27.

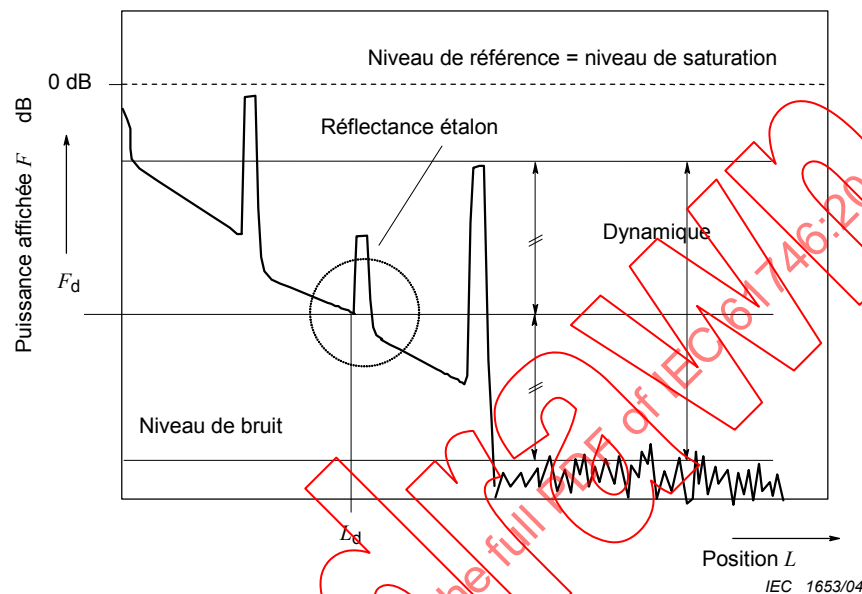


Figure 27 – Détermination des valeurs par défaut du niveau de puissance affichée et de la position

La valeur par défaut du niveau de puissance affichée F_d est positionnée à la moitié de la gamme dynamique au-dessus du niveau de bruit. La position L_d est déterminée de manière à maintenir la position de la réflexion aussi proche que possible du milieu de la région A définie en 7.3.

L'espacement par défaut des échantillons de réflectance est de 2 dB.

Construire un plan d'essai avec un choix de réflectances de référence appropriées, R_{ref} , en utilisant les valeurs par défaut définies précédemment.

Il est possible de choisir d'autres valeurs de position, de niveau de puissance affiché et d'espacement des échantillons de réflectance.

9.5 Equipement

En plus de l'OTDR en essai, l'équipement de mesure se compose

- a) d'un étalon de réflectance tel que décrit en Annexe E ou F;
- b) d'un jeu de fibre amorces. Les fibres amorces doivent être du type B de la CEI 60793-1;
- c) d'un atténuateur variable, si nécessaire;
- d) de manière optionnelle, d'un contrôleur de polarisation.

Le montage d'essai est décrit à la Figure 28.

To help in reducing the quantity of measurements, this document defines default values for the location, the displayed power level and reflectance sample spacing.

For the purpose of this document, the default values of location L_d and displayed power level F_d are defined regarding the dynamic range, as illustrated in Figure 27.

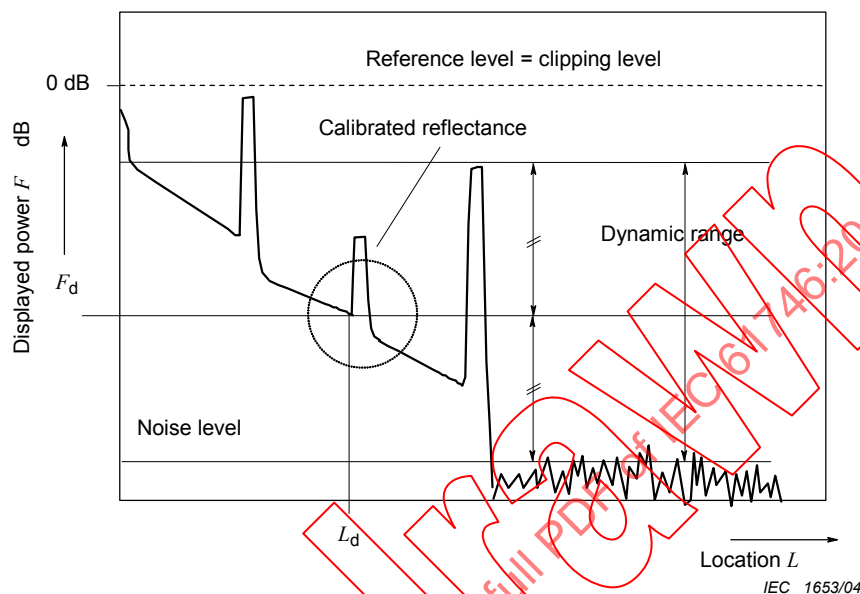


Figure 27 – Determining the default displayed power level and the default location

The default value for displayed power level F_d is defined as the half value of the dynamic range over the noise level. The location L_d is defined in order to keep the reflection location as close as possible to middle of the A region defined in 7.3.

The default for reference reflectance sample spacing is 2 dB.

Build a test plan providing selection for appropriate reference reflectances, R_{ref} , using previously defined default values.

Calibration data for other values of location, displayed power level and reflectance sample spacing can be provided on a voluntary basis.

9.5 Equipment

In addition to the test OTDR, the measurement equipment includes

- a) a reflectance standard as described in Annex E or F;
- b) a set of lead-in fibres. The lead-in fibres shall be type B IEC 60793-1;
- c) a variable attenuator, if necessary;
- d) optionally, a polarization controller.

The test set-up is shown in Figure 28.

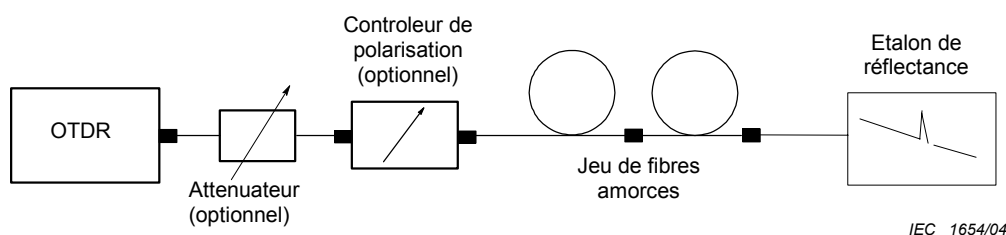


Figure 28 – Montage pour l'étalonnage de réflectance

La fibre amorce (ainsi que l'atténuateur optionnel) a pour but de positionner la réflectance étalon au niveau de puissance affiché et à l'emplacement précédemment définis. Le contrôleur de polarisation optionnel est destiné à réduire l'éventuelle dépendance en polarisation de l'OTDR.

9.6 Procédure de mesure

9.6.1 Préparation

Choisir les combinaisons adaptées de fibres amorces et la configuration de l'atténuateur de manière à positionner l'étalon de réflectance dans les conditions du plan d'essai.

Ajuster le paramètre de rétrodiffusion à la valeur définie par la documentation de l'étalon de réflectance. Vérifier que la configuration de l'instrument est adaptée.

Enregistrer le niveau de puissance affichée, P_d (ou P si la valeur par défaut n'est pas utilisée), la position, L_d (ou L si la position par défaut n'est pas utilisée), le coefficient de rétrodiffusion utilisé, C , et les autres paramètres de configuration de l'OTDR.

9.6.2 Réalisation des mesures de réflectance

Pour chaque valeur de $R_{ref,j}$, suivre les instructions du fournisseur d'OTDR pour réaliser les mesures de l'étalon de réflectance. De manière alternative, il est possible de définir sa propre procédure de mesure de réflectance. L'Annexe G peut être utilisée pour cela.

Si la mesure de réflectance n'a pas été réalisée en suivant les instructions du constructeur, la procédure utilisée doit être ajoutée à la documentation.

Enregistrer $R_{otdr,j}$ pour chaque valeur de $R_{ref,j}$.

9.6.3 Calcul et résultats

Calculer l'écart de réflectance $\Delta S_{R,j}$

$$\Delta S_{R,j} = \frac{R_{otdr,j} - R_{ref}}{R_{ref}} \quad \text{dB/dB} \quad (69)$$

9.6.4 Incertitudes

Il est à noter que la liste suivante d'incertitudes n'est pas exhaustive. Il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres causes en fonction du montage de mesure.

L'écart type caractérisant l'incertitude de réflectance, $\sigma_{\Delta S_R}$, d'un écart individuel de réflectance ΔS_R peut être calculé à partir de l'équation (69), en utilisant la formule habituelle de propagation des erreurs:

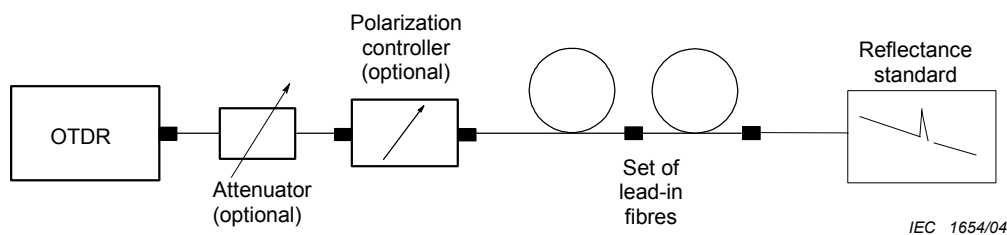


Figure 28 – Set-up for reflectance calibration

The purpose of the lead in fibre (and the optional attenuator) is to place the reflectance standard at the displayed power level and location previously defined. The purpose of the optional polarization controller is to reduce the possible influence of the OTDR's polarization dependence.

9.6 Measurement procedure

9.6.1 Preparation

Select appropriate combination of lead-in fibres and attenuator setting in order to place the reflectance standard within test plan conditions.

Set the backscatter parameter to the one stated in the documentation of the reflection standard. Check that the instrument setting is appropriate.

Record the displayed power level, F_d , (or E if the default value is not used) the location, L_d , (or L if the default value is not used), the used backscatter coefficient, C , and other OTDR's setting parameters.

9.6.2 Taking reflectance measurements

For each values of $R_{ref,j}$, follow the instructions of the OTDR manufacturer to take reflectance measurements of the reflectance standard. Alternatively define a measurement procedure to measure the reflectance. Annex G can be used to prepare this procedure.

If the reflectance measurement was not carried out using the manufacturer's instructions, then the used procedure has to be added in the documentation.

Record $R_{otdr,j}$ for each value of $R_{ref,j}$.

9.6.3 Calculation and results

Calculate the reflectance deviation $\Delta S_{R,j}$

$$\Delta S_{R,j} = \frac{R_{otdr,j} - R_{ref}}{R_{ref}} \quad \text{dB/dB} \quad (69)$$

9.6.4 Uncertainties

Note that the following list of uncertainties may not be complete. Additional contributions may have to be taken into account depending on the measurement set-up.

The standard deviation characterising the reflectance uncertainty, $\sigma_{\Delta S_R}$, of an individual ΔS_R can be calculated from equation (69), using the standard formula for propagation of uncertainties:

$$\sigma_{\Delta SR} \equiv \frac{1}{R_{ref}} (\sigma_{R_{ref}}^2 + \sigma_{R_{otdr}}^2)^{1/2} \text{ dB/dB} \quad (70)$$

L'incertitude $\sigma_{R_{ref}}$ peut être celle définie par le certificat d'étalonnage de l'étalon de réflectance (voir Annexes E ou F). Il convient que l'incertitude sur l'affaiblissement de référence $\sigma_{R_{otdr}}$ soit accumulée, par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $\sigma_{R, \text{type A}}$ = l'incertitude de réflectance de type A en dB, à déterminer expérimentalement. C'est une fonction du niveau de puissance affichée et de la durée de moyennage de l'OTDR;
- $\sigma_{R, l}$ = l'incertitude de réflectance introduite par l'incertitude sur la position de la réflectance, par exemple la position du ou des curseurs utilisés pour mesurer ΔF ;
- $\sigma_{R, \lambda}$ = l'incertitude en dB introduite par la différence entre la longueur d'onde centrale de l'OTDR et la source optique utilisée pour l'étalonnage de l'étalon de réflectance;
- $\sigma_{R, \text{pdl}}$ = l'incertitude en dB introduite par la variation d'état de polarisation de la lumière réfléchiée par l'étalon de réflectance;
- $\sigma_{R, \text{attenuator}}$ = l'incertitude d'affaiblissement de l'atténuateur optique liée à une éventuelle polarisation du signal rétrodiffusé et à l'éventuel affaiblissement dépendant de la polarisation de l'atténuateur.

10 Documentation

10.1 Résultats de mesure et incertitudes

Les certificats d'étalonnage déclarant être en conformité avec cette norme doivent inclure les informations et incertitudes suivantes. Les incertitudes doivent être présentées sous la forme d'incertitudes étendues, c'est-à-dire en multipliant l'incertitude type appropriée par ± 2 .

- a) Décalage de position ΔL_0 et son incertitude $\pm 2 \sigma_{\Delta L_0}$, en mètres. Voir le détail des exigences aux Articles 5 et 6.
- b) Ecart d'échelle des distances ΔS_L et son incertitude $\pm 2 \sigma_{\Delta S_L}$, en m/km. Voir le détail des exigences aux Articles 5 et 6.
- c) Incertitude d'affichage de position $\pm 2 \sigma_{L_{\text{readout}}}$, en mètres. Voir le détail des exigences aux Articles 5 et 6.
- d) Ecarts d'affaiblissement ΔS_A et leurs incertitudes $\pm 2 \sigma_{\Delta S_A}$, en dB/dB, niveaux de puissance affichés correspondants F , positions correspondantes et affaiblissement de référence A_{ref} . De plus, on doit détailler la méthode employée pour mesurer les niveaux de puissance affichés F . Voir le détail des exigences aux Articles 7 et 8.
- e) Dépendance envers la polarisation $\pm \Delta A_{\text{pdl,otdr}}$ et son incertitude $\pm 2 \sigma_{\text{pdl,setup}}$. Voir le détail des exigences à l'Article 7. De manière alternative, déclaration précisant que la dépendance envers la polarisation n'a pas été déterminée.
- f) Longueur d'onde centrale de l'OTDR λ_{centre} et son incertitude $\pm 2 \sigma_{\lambda_{\text{centre}}}$.
- g) L'écart de réflectance, ΔS_R , et son incertitude, $\pm 2 \sigma_{\Delta SR}$, en dB, la valeur correspondante de la réflectance de référence R_{ref} . En plus, le niveau de puissance affichée, F_d , (ou F si la valeur par défaut n'est pas utilisée), la position, L_d , (ou L si la valeur par défaut n'est pas utilisée), le paramètre de rétrodiffusion utilisé, K , et la description de la réflectance étalon. Voir le détail des exigences à l'Article 9.

$$\sigma_{\Delta SR} \equiv \frac{1}{R_{\text{ref}}} (\sigma_{R_{\text{ref}}}^2 + \sigma_{R_{\text{otdr}}}^2)^{1/2} \quad \text{dB/dB} \quad (70)$$

The uncertainty $\sigma_{R_{\text{ref}}}$ can be extracted from the calibration certificate of the reflectance standard (see Annex E or F). The uncertainty $\sigma_{R_{\text{otdr}}}$ should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $\sigma_{R, \text{type A}}$ = the reflectance uncertainty type A in dB, to be experimentally determined. It will depend on the displayed power level and OTDR averaging time;
- $\sigma_{R, l}$ = the reflectance uncertainty introduced by the uncertainty of the reflectance location, e.g. caused by the location of the cursor (s) used to measure ΔF ;
- $\sigma_{R, \lambda}$ = the uncertainty in dB caused by the difference between the centre wavelengths of the OTDR and the optical source used in the calibration of the reflectance standard;
- $\sigma_{R, \text{pdl}}$ = the uncertainty in dB introduced by changing the polarization state of the light reflected from the reflectance standard;
- $\sigma_{R, \text{attenuator}}$ = the loss uncertainty of the optical attenuator caused by the possibility that the backscatter signal is polarized and the attenuator may have polarization-dependent loss.

10 Documentation

10.1 Measurement data and uncertainties

Calibration certificates claimed to be in compliance with this standard shall include the following data and their uncertainties. The uncertainties shall be stated in the form of expanded uncertainties, that is by multiplying the relevant standard uncertainty by ± 2 .

- a) The location offset ΔL_0 and its uncertainty $\pm 2 \sigma_{\Delta L_0}$, in metres. See the detailed requirements in Clauses 5 and 6.
- b) The distance scale deviation ΔS_L and its uncertainty $\pm 2 \sigma_{\Delta S_L}$, in m/km. See the detailed requirements in Clauses 5 and 6.
- c) The location readout uncertainty $\pm 2 \sigma_{L_{\text{readout}}}$, in metres. See the detailed requirements in Clauses 5 and 6.
- d) The loss deviations ΔS_A and their uncertainties $\pm 2 \sigma_{\Delta S_A}$, in dB/dB, the corresponding displayed power levels F , the corresponding locations and the reference loss A_{ref} . In addition, the method of obtaining the displayed power levels F shall be explained. See the detailed requirements in Clauses 7 and 8.
- e) The polarization dependence $\pm \Delta A_{\text{pdl,otdr}}$ and its uncertainty $\pm 2 \sigma_{\text{pdl, set-up}}$. See the detailed requirements in Clause 7. Alternatively, a statement that the polarization dependence has not been determined.
- f) The centre wavelength of the OTDR λ_{centre} and its uncertainty $\pm 2 \sigma_{\lambda_{\text{centre}}}$.
- g) The reflectance deviation, ΔS_R , and its uncertainty, $\pm 2 \sigma_{\Delta S_R}$, in dB. , the corresponding reference reflectance R_{ref} . In addition, the displayed power level, F_d , (or F if the default value is not used) the location, L_d (or L if the default value is not used), the used backscatter parameter, K , and the description of the used reflectance standard. See the detailed requirements in Clause 9.

10.2 Conditions de mesure

La ou les méthodes d'étalonnage et la ou les méthodes d'obtention des résultats de mesure doivent être définies.

Pour chaque spécification, il conviendra également de préciser les caractéristiques de l'instrument de mesure et les conditions de mesure. Les paramètres les plus importants sont

- la date de l'étalonnage, la longueur d'onde centrale, la largeur spectrale, le type de fibre, l'indice de groupe, la largeur d'impulsion, la gamme de mesure horizontale, le temps de moyennage, la position affichée, le niveau de puissance affiché, la résolution horizontale et verticale, la méthode de positionnement des marqueurs, le pas d'échantillonnage, le type de montage utilisé pour l'étalonnage des distances (réflexion ou affaiblissement), la forme du signal utilisée pour l'étalonnage de l'affaiblissement.

NOTE Les résultats d'étalonnage ne sont valables que pour l'ensemble des conditions d'essai du processus d'étalonnage.

10.2 Test conditions

The calibration method(s) and the method(s) of obtaining the measurement results shall be stated.

Each specification should also be accompanied by the instrument state(s) and the test conditions for which they apply. The most important parameters are

- calibration date, centre wavelength, spectral width, fibre type, group index, pulse width, measurement span, averaging time, displayed location, displayed power level, horizontal and vertical display resolution, marker placement method, sample spacing, type of feature (reflection or loss) used in the distance calibration and type of waveform used in the loss calibration.

NOTE The calibration results only apply to the set of test conditions used in the calibration process.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61746:2005

Annexe A (normative)

Boucle à décalage pour l'étalonnage des distances

A.0 Introduction

La présente annexe décrit une boucle à décalage fibrée, utilisée pour l'étalonnage en distances des OTDR.

A.1 Construction

Comme le montre la Figure A.1, le système est réalisé comme suit:

- un coupleur à quatre accès, dont le rapport de couplage est de préférence indépendant de la longueur d'onde, associé à une longue fibre (la longueur de celle-ci dépend de la gamme de distances qui doit être étalonnée) insérée par fusion entre l'entrée et la sortie d'un bras du coupleur;
- une fibre d'entrée (d'environ 1 km) soudée par fusion à l'accès d'entrée de l'autre branche du coupleur et équipée d'un connecteur optique;
- une fibre de sortie soudée à la sortie de l'autre branche du coupleur, équipée d'un connecteur à faible réflexion. La longueur de la fibre est maintenue courte, par exemple <1 m;
- un dispositif de forte réflectance qui peut être utilisé pour créer une réflexion à l'extrémité de la fibre de sortie.

La longueur de la fibre amorce est définie par la fibre d'entrée, une branche du coupleur et la fibre de sortie. La longueur de la boucle est définie comme étant celle de la longue fibre spécifiée au point a) et de la seconde branche du coupleur. Toutes les fibres sont de type unimodal, conformément à la CEI 60793-1.

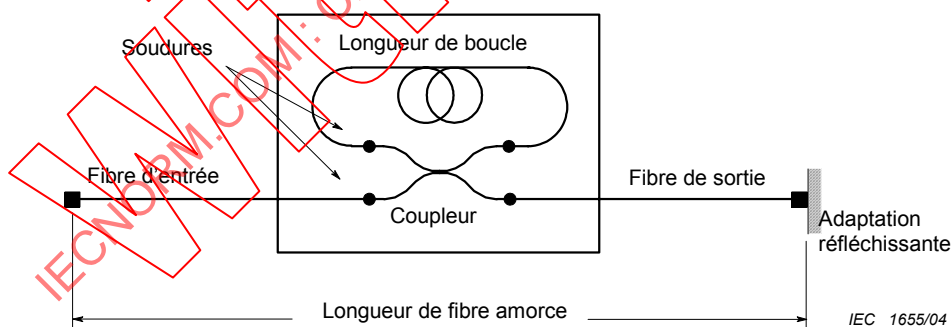


Figure A.1 – Boucle à décalage

A.2 Etalonnage

L'objectif est d'étalonner deux paramètres de la boucle à décalage: le temps de propagation de la fibre dans la boucle T_b et le temps de propagation dans la fibre amorce T_a , qui correspond à la somme des temps de propagation de la fibre d'entrée, de la branche du coupleur et de la fibre de sortie.

Annex A (normative)

Recirculating delay line for distance calibration

A.0 Introduction

In this annex, a fibre-type recirculating delay line to be used as calibration artefact for OTDR distance calibration is described.

A.1 Construction

As illustrated in Figure A.1, the device is constructed from the following:

- a four-port coupler, preferably with a wavelength-insensitive coupling ratio, with a long fibre (the length of which depends on the distance range to be calibrated) fusion spliced between a pair of input and output ports;
- an input fibre (typically around 1 km) which is spliced to the second input port with the input equipped with a connector;
- an output fibre which is spliced to the second output port of the coupler and which is terminated with a low back-reflection connector. The length of this fibre piece is kept short, for example <1 m;
- a device with a high reflectance which can be used to create a reflection at the end of the output fibre.

The length of the lead-in fibre is defined by the input fibre, one branch of the coupler and the output fibre. The length of the loop is defined by the long fibre specified in item a) and the second half of the coupler. All fibres shall be single-mode according to IEC 60793-1.

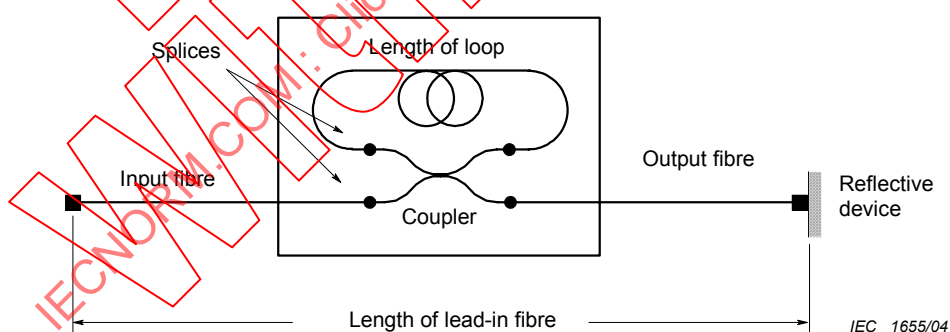


Figure A.1 – Recirculating delay line

A.2 Calibration

The objective is to calibrate a recirculating delay line for two parameters: the transit time of the fibre in the loop T_b and the transit time of the input length T_a . The latter is the sum of the transit times of the input fibre, the coupler pigtailed and output fibre.

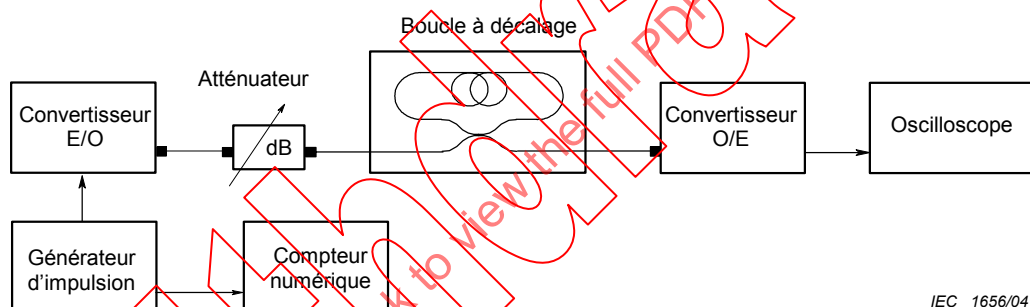
A.2.1 Equipement de mesure

L'équipement de mesure comprend un générateur d'impulsion à période et retard variables, un compteur numérique, des convertisseurs E/O et O/E, un oscilloscope et un atténuateur optique. La longueur d'onde centrale du convertisseur E/O doit être connue.

A.2.2 Procédure

A.2.2.1 Mesure du temps de propagation dans la boucle

Pour déterminer le temps de propagation dans la boucle, réaliser le montage de la Figure A.2. Régler le générateur d'impulsion et l'atténuateur pour obtenir respectivement des impulsions de largeur et d'amplitude adaptées aux caractéristiques du convertisseur E/O. Régler la fréquence des impulsions en kilohertz, à $200/L_b$, où L_b correspond approximativement à la longueur de fibre dans la boucle en kilomètres. Visualiser les impulsions de sortie du convertisseur O/E sur l'oscilloscope et ajuster la fréquence de répétition pour superposer les deux impulsions suivantes sur la courbe de l'oscilloscope: tout d'abord l'impulsion optique transmise directement du convertisseur E/O au convertisseur O/E sans parcourir la boucle et, ensuite, la fraction de l'impulsion optique précédente ayant parcouru la boucle une fois; ces deux impulsions sont détectées simultanément. Noter la fréquence de répétition indiquée par le compteur numérique. Elle correspond au temps de propagation dans la boucle T_b . Estimer l'incertitude σ_{T_b} en introduisant de petites variations sur la fréquence de répétition.



IEC 1656/04

Figure A.2 – Montage de mesure du temps de propagation de la boucle T_b

A.2.2.2 Mesure du temps de propagation dans les fibres amorces

Pour étalonner le temps de propagation dans les fibres amorces, réaliser le montage de la Figure A.3. Régler la largeur, l'amplitude et la fréquence de répétition des impulsions du générateur à des valeurs adaptées (approximativement 1 kHz). Le compteur numérique est déclenché en mode extérieur par le générateur d'impulsion. Il peut être nécessaire de retarder l'impulsion de sortie vers le convertisseur E/O pour être en phase avec celle de déclenchement du compteur. En effet, certains compteurs présentent un «temps mort» entre les déclenchements marche et arrêt. Régler le niveau de déclenchement de la voie B du compteur pour obtenir un déclenchement fiable par le signal du convertisseur O/E, de manière à éviter le déclenchement du compteur par une impulsion d'amplitude plus petite ayant parcouru une ou plusieurs fois le circuit de la boucle. Enregistrer le temps de propagation T_1 affiché par le compteur. Déconnecter temporairement la sortie du convertisseur O/E de l'accès compteur, le connecter à un oscilloscope, visualiser les impulsions directement transmises et relever les amplitudes.

Retirer ensuite la boucle à décalage et relier directement le convertisseur O/E à l'atténuateur. Visualiser à nouveau les impulsions sur l'oscilloscope. Régler l'atténuateur pour obtenir la même amplitude que précédemment. Reconnecter la sortie du convertisseur O/E à l'accès du compteur et mesurer le temps de propagation T_2 . Le temps de propagation de la fibre amorce T_a est alors donné par la relation

$$T_a = T_1 - T_2 \quad (\text{A.1})$$

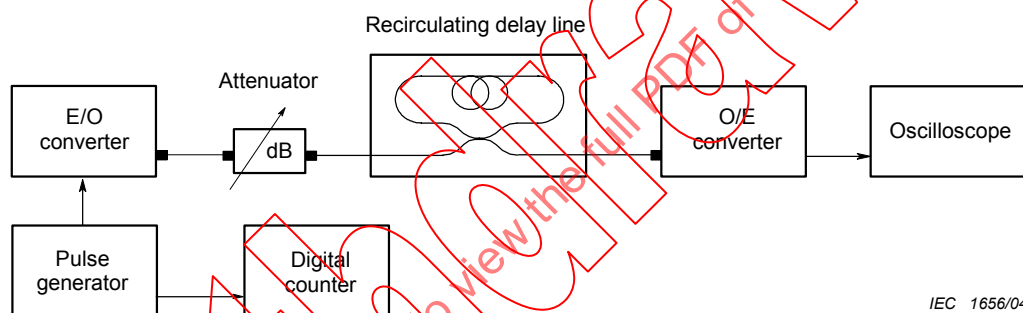
A.2.1 Measurement equipment

The equipment consists of a pulse generator with variable rate and delay, a digital counter, E/O and O/E converters, an oscilloscope and an optical attenuator. The centre wavelength of the E/O converter shall be known.

A.2.2 Procedure

A.2.2.1 Loop transit time measurement

To determine the loop transit time, set up the system shown in Figure A.2. Set the pulse generator to give pulses of suitable width, and the attenuator to generate a suitable amplitude for the E/O converter. Set the pulse repetition rate, in kilohertz, to $200/L_b$, where L_b is the approximate length of the fibre in the loop in kilometres. View the output pulses from the O/E converter on the oscilloscope and then adjust the repetition rate until the following two pulses are superimposed on the oscilloscope trace: first, the optical pulse which has been transmitted directly from the E/O converter to the O/E converter without going round the loop, and second, the fraction of the preceding optical pulse which has travelled once round the loop, are detected together. Record the repetition period with the digital counter. This is the loop transit time T_b . Estimate the uncertainty σ_{T_b} by introducing small changes to the repetition rate.



IEC 1656/04

Figure A.2 – Measurement set-up for loop transit time T_b

A.2.2.2 Lead-in transit time measurement

To calibrate the transit time of the lead-in fibres, set up the system shown in Figure A.3. Adjust the pulse width, amplitude and repetition rate (approximately 1 kHz is suggested) of the pulse generator to suitable values and provide a trigger signal for the digital counter. It may be necessary to delay the output pulse to the E/O converter with respect to this trigger pulse as some counters have a "dead time" between start and stop trigger. Adjust the trigger level of channel B of the counter so that it is just reliably triggered by the output of the O/E converter; this is to prevent the counter being triggered by smaller pulses which have made one or more circuits of the loop. Record the transit time T_1 displayed by the counter. Temporarily disconnect the O/E converter from the counter, connect to an oscilloscope, view the directly transmitted pulses and note their amplitude.

Then remove the recirculating delay line and connect the O/E converter directly to the attenuator. Again view the pulses on the oscilloscope. Adjust the attenuator to give pulses of the same amplitude as before. Reconnect the O/E converter to the counter and measure the transit time T_2 . The transit time of the lead-in fibre T_a is then given by

$$T_a = T_1 - T_2 \quad (\text{A.1})$$

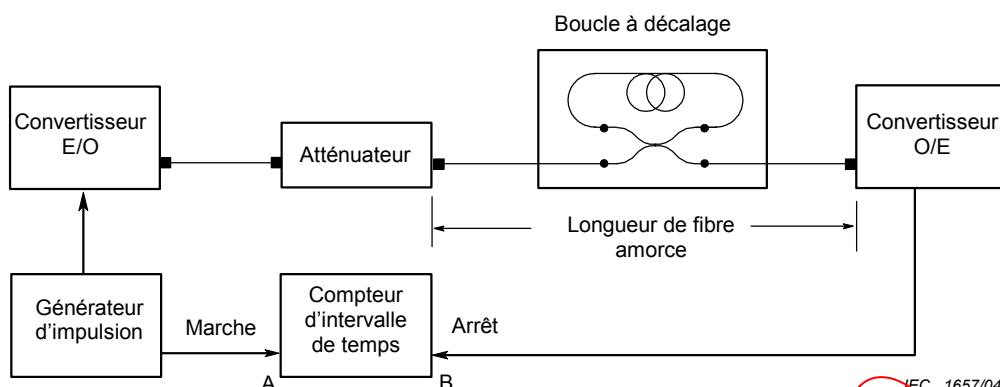


Figure A.3 – Banc d'étalonnage du temps de propagation dans la fibre amorce T_a

A.3 Incertitudes

Il convient que les incertitudes soient calculées et déterminées à partir des lignes directrices sur les bases mathématiques données à l'Annexe D.

Il convient que l'incertitude sur le temps de propagation de la boucle σ_{Tb} soit obtenue, par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $\sigma_{Tb,counter}$ incertitude temporelle, en secondes, due au compteur numérique et provenant à la fois de l'incertitude sur la fréquence d'horloge et de la résolution de l'intervalle de temps;
- $\sigma_{Tb,adjust}$ incertitude temporelle, en secondes, due au réglage de la fréquence de répétition à l'aide de l'oscilloscope;
- $\sigma_{Tb,\lambda}$ incertitude temporelle, en secondes, due à l'incertitude sur la longueur d'onde centrale du convertisseur E/O; elle peut être calculée en multipliant l'incertitude sur la longueur d'onde par la longueur de la fibre L_a et par la dispersion chromatique;
- $\sigma_{Tb,\theta}$ incertitude temporelle due au coefficient de température de la fibre; valeur typique: 1 cm/(km °C) dans la gamme de températures autorisées.

Il convient de calculer l'incertitude sur le temps de propagation σ_{Ta} dans la fibre amorce, par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $\sigma_{Ta,counter}$ incertitude temporelle, en secondes, due au compteur numérique et provenant de l'incertitude sur la fréquence d'horloge, de la résolution de l'intervalle de temps et du seuil de déclenchement de la synchronisation;
- $\sigma_{Ta,type A}$ incertitude temporelle de type A, en secondes, provoquée par exemple par la gigue de temporelle; elle peut être estimée à partir d'une série de lectures successives du compteur;
- $\sigma_{Ta,\lambda}$ incertitude temporelle, en secondes, due à l'incertitude sur la longueur d'onde centrale du convertisseur E/O; elle peut être calculée en multipliant l'incertitude sur la longueur d'onde par la longueur de la fibre L_a et par la dispersion chromatique;
- $\sigma_{Ta,\theta}$ incertitude temporelle due au coefficient de température de la fibre; valeur typique: 1 cm/(km °C) dans la gamme de températures autorisées.

Des contributions additionnelles peuvent être prises en compte en fonction du montage de mesure et de la procédure.

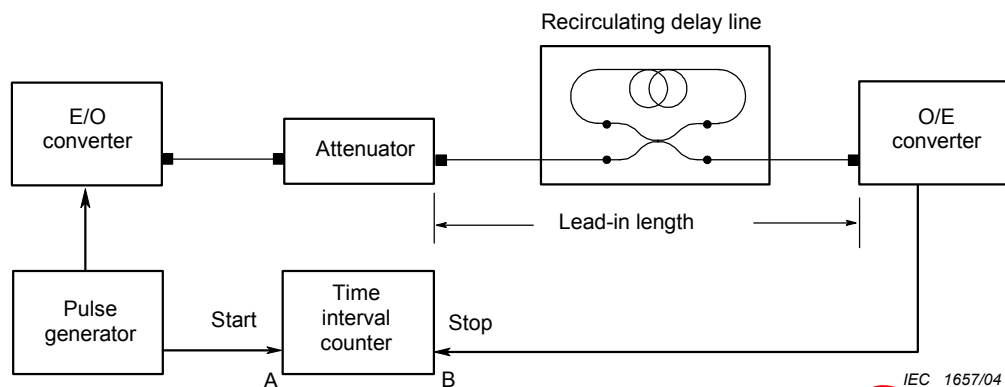


Figure A.3 – Calibration set-up for lead-in transit time T_a

A.3 Uncertainties

The guidelines of the mathematical basis given in Annex D should be used to calculate and state the uncertainties.

The uncertainty of the loop transit time σ_{T_b} should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $\sigma_{T_b, \text{counter}}$ the time uncertainty, in seconds, due to the digital counter, as caused by clock frequency uncertainty and time interval resolution;
- $\sigma_{T_b, \text{adjust}}$ the time uncertainty, in seconds, due to adjusting the repetition rate with the help of the oscilloscope;
- $\sigma_{T_b, \lambda}$ the time uncertainty, in seconds, due to the uncertainty of the E/O converter's centre wavelength, it can be calculated by multiplying the wavelength uncertainty by the fibre length L_a and the chromatic dispersion;
- $\sigma_{T_b, \theta}$ the time uncertainty due to the fibre's temperature coefficient; typical value: 1 cm/(km °C) within the allowable temperature range.

The uncertainty of the lead-in transit time σ_{T_a} should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $\sigma_{T_a, \text{counter}}$ the time uncertainty, in seconds, due to the digital counter, as caused by clock frequency uncertainty, time interval resolution and setting the trigger amplitude;
- $\sigma_{T_a, \text{type A}}$ the time uncertainty type A, in seconds, for example as caused by timing jitter; it can be obtained from a series of successive counter readings;
- $\sigma_{T_a, \lambda}$ the time uncertainty, in seconds, due to the uncertainty of the E/O converter's centre wavelength; it can be calculated by multiplying the wavelength uncertainty by the fibre length L_a and the chromatic dispersion;
- $\sigma_{T_a, \theta}$ the time uncertainty due to the fibre's temperature coefficient; typical value: 1 cm/(km °C) within the allowable temperature range.

Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure.

A.4 Documentation

Les résultats d'étalonnage suivants doivent être fournis avec la boucle à décalage:

- a) longueurs approximatives de la fibre amorce et de la boucle;
- b) temps de propagation mesurés dans la fibre amorce et la boucle;
- c) longueur d'onde centrale du convertisseur E/O;
- d) incertitudes sur le temps $\pm 2 \sigma_{Ta}$ et $\pm 2 \sigma_{Tb}$ calculées conformément à l'Article A.3.

Withd
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61746:2005

A.4 Documentation

The following calibration results shall be supplied with the recirculating delay line:

- a) approximate lengths of lead-in fibre and loop;
- b) measured transit times of lead-in fibre and loop;
- c) centre wavelength of the E/O converter;
- d) time uncertainties $\pm 2 \sigma_{Ta}$ and $\pm 2 \sigma_{Tb}$ as calculated according to Clause A.3.

Withdawn
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61746:2005

Annexe B (normative)

Fibre optique étalon pour l'étalonnage de l'affaiblissement

B.0 Introduction

Cette annexe définit une fibre étalon type pour l'étalonnage des affaiblissements d'un OTDR avec la méthode de la fibre étalon.

B.1 Exigences relatives à la fibre

La fibre doit être une fibre unimodale de type B suivant la CEI 60793-1 et les Recommandations G.650.1 et G.560.2, de l'UIT-T, avec les exigences complémentaires suivantes:

- | | | |
|--|--------------------------|-------------------|
| – affaiblissement linéique à 1 310 nm | α_{1310} | $\leq 0,40$ dB/km |
| – affaiblissement linéique du pic OH à 1 385 nm | α_{1385} | $\leq 1,00$ dB/km |
| – affaiblissement linéique à 1 550 nm | α_{1550} | $\leq 0,25$ dB/km |
| – affaiblissement de courbure à 1 550 nm avec un mandrin de 60 mm de diamètre et 100 tours | ΔL_{bend} | $\leq 0,20$ dB |
| – longueur totale de la fibre | L | ≥ 3 km |

B.2 Vérification de la conformité de la fibre

Les Paragraphes B.2.2 et B.2.3 décrivent le choix d'une fibre utilisable comme fibre étalon. Les essais garantissent que la courbe de rétrodiffusion de la fibre est

- essentiellement indépendante du sens de propagation du signal, ce qui garantit que la courbe de rétrodiffusion peut être utilisée pour mesurer l'affaiblissement;
- essentiellement linéaire – ce qui garantit que l'affaiblissement de rétrodiffusion et, avec la condition a), l'affaiblissement sont linéairement dépendants de la longueur de la fibre.

Ces mesures sont à effectuer à l'aide d'un OTDR présentant une plage de linéarité en puissance suffisamment étendue. L'essai de linéarité est décrit en B.2.1.

B.2.1 Essai de linéarité de l'échelle de puissance de l'OTDR

Afin de vérifier l'uniformité longitudinale de la fibre étalon, s'assurer que la plage de l'échelle de puissance de l'OTDR utilisée pour caractériser la fibre étalon est suffisamment linéaire. Définir cette zone de grande linéarité de la manière suivante:

- réaliser l'acquisition du signal de rétrodiffusion d'une fibre optique unimodale bien plus longue que la fibre étalon (courbe 1 de la Figure B.1). Cette fibre n'a pas à respecter d'exigences particulières;
- recommencer l'opération sur la même fibre avec un niveau d'entrée réduit (par exemple 0,5 dB). Cela peut être obtenu, par exemple, en ajoutant une marche d'affaiblissement à l'aide d'un atténuateur optique variable (courbe 2 de la Figure B.1);
- obtenir la courbe 3 en soustrayant la courbe 2 de la courbe 1 (Figure B.1);
- repérer, sur la courbe 3, la zone de la plus faible pente possible, de longueur au moins égale à celle de la fibre étalon;

Annex B (normative)

Optical fibre standard for loss calibration

B.0 Introduction

In this annex, a fibre-type calibration standard is defined for OTDR loss calibration with the fibre standard method.

B.1 Fibre requirements

The fibre shall be a single-mode fibre type B according to IEC 60793-1 and ITU-T Recommendations G.650.1 and G.650.2, with the following additional requirements:

- | | | |
|--|--------------------------|-------------------|
| – attenuation coefficient at 1 310 nm | α_{1310} | $\leq 0,40$ dB/km |
| – attenuation coefficient at OH-peak 1 385 nm | α_{1385} | $\leq 1,00$ dB/km |
| – attenuation coefficient at 1 550 nm | α_{1550} | $\leq 0,25$ dB/km |
| – bend loss at 1 550 nm using 60 mm diameter mandrel and 100 turns | ΔL_{bend} | $\leq 0,20$ dB |
| – total length of fibre | L | ≥ 3 km |

B.2 Suitability check of the fibre

The selection of a suitable fibre for the fibre standard is outlined in B.2.2 and B.2.3. The tests ensure that the fibre's backscatter trace is

- a) essentially independent of the direction of the signal flow – this ensures that the backscatter trace can be used as a measure for attenuation;
- b) essentially linear – this ensures that the backscatter loss and, in conjunction with a), the attenuation are linearly dependent on the length of fibre.

These tests are to be carried out with a selected OTDR which has a sufficiently long linear region of power levels. The linearity test is described in B.2.1.

B.2.1 Linearity test of the OTDR power scale

In order to check the longitudinal uniformity of the fibre standard, make sure that the range of the OTDR power scale used for characterizing the fibre standard is sufficiently linear. Determine this highly linear range by the following method:

- a) measure the OTDR trace of a single-mode optical fibre which is much longer than the fibre standard (trace 1 in Figure B.1). No specific requirements have to be met for this fibre;
- b) re-measure the same fibre for a reduced (for example, 0,5 dB) input power. For example, this can be achieved by adding an attenuation step using a variable optical attenuator (trace 2 in Figure B.1);
- c) subtract trace 2 from trace 1 to obtain trace 3 (Figure B.1);
- d) identify a region on trace 3, with the smallest possible slope and a length which is at least the length of the fibre standard;

- e) la zone de grande linéarité est définie par la distance entre L_1 et L_2 et par les niveaux de puissance affichés F_1 et F_2 correspondants de la courbe 1 de la Figure B.1.

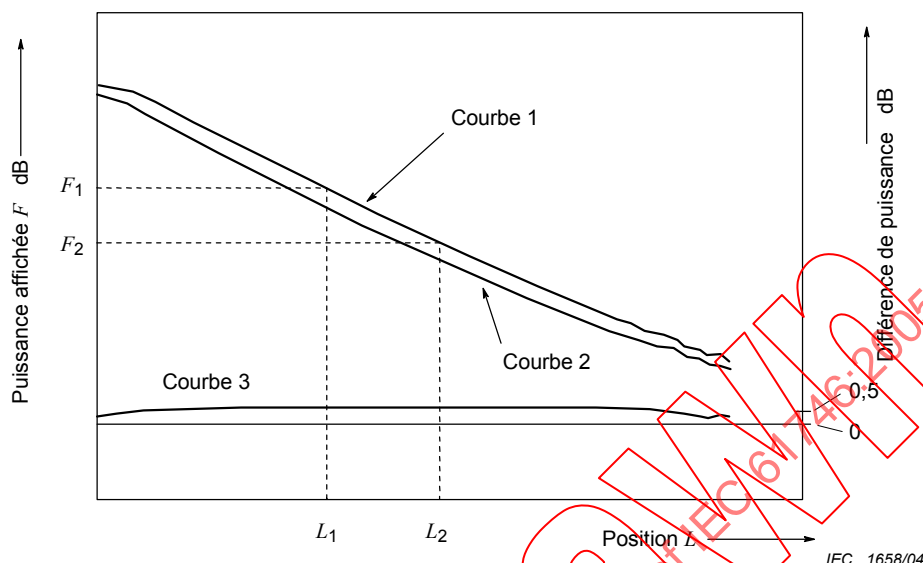


Figure B.1 – Détermination de la zone de grande linéarité

NOTE On suppose que la dépendance envers la polarisation de l'OTDR n'a pas d'influence sur la détermination de la zone de grande linéarité de l'échelle de puissance; si l'ajout, à l'aide d'un atténuateur variable, d'une faible marche d'affaiblissement ne modifie pas l'état de polarisation, alors la dépendance envers la polarisation de l'OTDR créera la même perturbation sur les courbes 1 et 2, sans perturbation sur la courbe 3.

B.2.2 Dépendance envers la direction de l'affaiblissement de rétrodiffusion

Connecter la longueur totale de la fibre à l'OTDR. Régler la largeur d'impulsion de l'OTDR, par exemple à $\leq 1 \mu s$, de manière à ce que l'on obtienne un nombre suffisant de points pour un rapport signal sur bruit approprié. Réaliser les courbes de rétrodiffusion à partir des deux extrémités de la fibre, en alternance, de manière à éliminer les effets de la dépendance envers la polarisation de l'OTDR. Il est plus judicieux d'insérer un contrôleur de polarisation entre l'OTDR et la fibre. Cela permet de supprimer la dépendance envers la polarisation de l'OTDR de manière plus systématique, comme décrit en 8.1.

Pour chaque direction A et B, calculer les courbes de rétrodiffusion moyennes $F_A(L)$ et $F_B(L)$. Ajouter les deux courbes de manière que le signal de rétrodiffusion de chaque position coïncident:

$$\Delta A_{AB}(L) = F_A(L) + F_B(L_{\text{total}} - L) \quad (\text{B.1})$$

Analyser seulement la section centrale de 2 km à 3 km pour éviter l'influence des extrémités des fibres. La différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de $\Delta A_{AB}(L)$ doit être consignée. Cela assure que la courbe de rétrodiffusion peut être utilisée comme mesure d'affaiblissement, comme décrit ci-dessus. Remarque que la précision de cet essai dépend des résultats de mesure de non-linéarité de B.2.1.

B.2.3 Uniformité de l'affaiblissement longitudinal de la fibre

Il convient de réaliser cet essai à une seule extrémité. Régler la largeur d'impulsion de l'OTDR à la même largeur que celle utilisée en B.2.2, par exemple $\leq 1 \mu s$. S'assurer que la courbe de rétrodiffusion se trouve dans la zone de grande linéarité déterminée en B.2.1, par exemple avec une fibre amorce de longueur appropriée. Pour une meilleure précision, insérer un

- e) the highly linear power range is defined by the distance between L_1 and L_2 and by the corresponding displayed power levels F_1 and F_2 of trace 1 in Figure B.1.

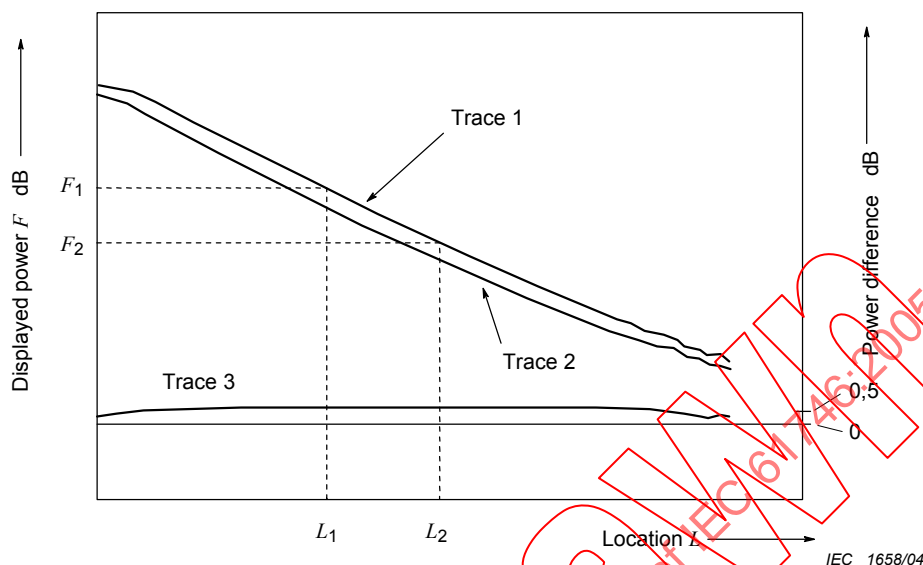


Figure B.1 – Determination of a highly linear power range

NOTE It is expected that the OTDR polarization dependence has no influence on the determination of the highly linear power range; if adding a small attenuation step with a variable attenuator does not change the polarization state, then the OTDR polarization dependence will introduce the same perturbation to both traces 1 and 2, with no perturbation on trace 3.

B.2.2 Directional dependence of the backscatter loss

Connect the total length of fibre to the OTDR. Adjust the OTDR pulse width, for example to $\leq 1 \mu\text{s}$, so that a sufficiently large number of data points and an appropriate signal-to-noise ratio are obtained. Determine the backscatter traces from both fibre ends with alternating OTDR measurements, in order to average out any effects from the OTDR polarization dependence. It is preferable to insert a polarization controller between the OTDR and the fibre. This allows the OTDR polarization dependence to be cancelled out in a more systematic way, as described in 8.1.

For each direction A and B, calculate the average backscatter traces $F_A(L)$ et $F_B(L)$. Add the two backscatter traces so that the backscatter signals from the same location coincide:

$$\Delta A_{AB}(L) = F_A(L) + F_B(L_{\text{total}} - L) \quad (\text{B.1})$$

Analyse only the centre section of 2 km to 3 km, to avoid influences from the fibre ends. The difference between the maximum and the minimum of $\Delta A_{AB}(L)$ shall be stated. This ensures that the backscatter trace can be used as a measure for attenuation, as outlined above. Note that the accuracy of this test depends on the non-linearity measurement results from B.2.1.

B.2.3 Longitudinal attenuation uniformity of the fibre

This test should be carried out from one side only. Adjust the OTDR pulse width to the pulse width used in B.2.2, for example to $\leq 1 \mu\text{s}$. Make sure that the backscatter trace lies within the highly linear power range determined in B.2.1, for example with a lead-in fibre of appropriate length. For best accuracy, insert a polarization controller, measure the backscatter trace at

contrôleur de polarisation, mesurer la courbe de rétrodiffusion pour plusieurs états de polarisation, moyenner les courbes ainsi obtenues et déterminer la droite de régression linéaire à partir de la courbe moyenne (voir Figure B.2). Calculer l'écart ΔA_{reg} entre la courbe moyenne et la droite de régression. S'assurer également que l'incertitude de type A de cette mesure ne contribue pas de manière significative à la valeur de ΔA_{reg} .

Noter que l'essai d'uniformité de l'affaiblissement longitudinal nécessite normalement la mesure de la courbe de rétrodiffusion à partir des deux extrémités de la fibre et le calcul d'une courbe moyenne. Dans ce cas, cela n'est pas nécessaire car l'essai de B.2.2 garantit la quasi-égalité des courbes.

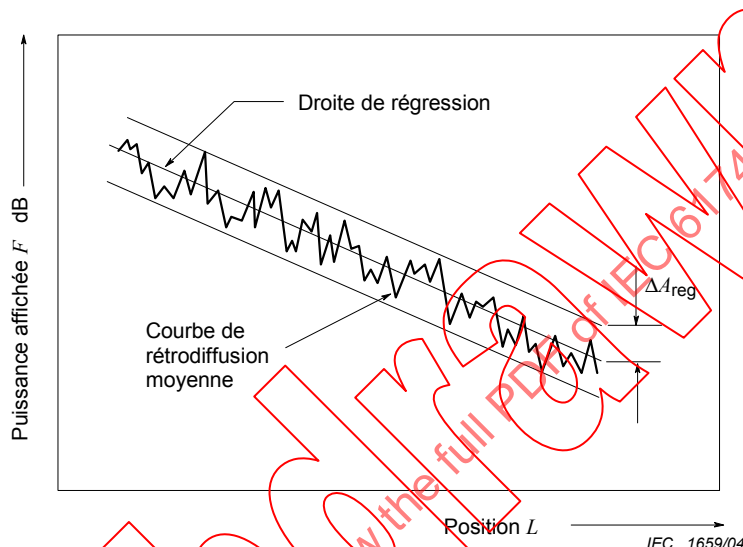


Figure B.2 – Essai d'uniformité de la rétrodiffusion le long de la fibre étalon

Enregistrer l'écart maximal ΔA_{reg} de la courbe à partir de la droite de régression utilisée comme une estimation de l'uniformité de l'affaiblissement longitudinal. Cela assure que l'affaiblissement est linéairement dépendant de la longueur de la fibre, comme décrit ci-dessus.

B.3 Préparation et étalonnage de la fibre étalon

Pour préparer la fibre étalon destinée à l'utilisation, au transport et au stockage, procéder comme suit:

- couper une section centrale de 2 km à 3 km de long sur la longueur totale de la fibre;
- protéger correctement la fibre pour le transport et la manipulation (par exemple par un tube lâche, un gainage secondaire ou un câble);
- enrouler la fibre sans la serrer, de manière qu'aucun affaiblissement supplémentaire ne provienne de l'enroulage ou du transport.

Si la fibre étalon est destinée à être utilisée comme outil d'étalonnage mobile et que de fréquentes expéditions doivent être envisagées, il convient que sa stabilité d'affaiblissement en fonction de la température soit testée suivant la méthode F1 de la CEI 60794-1-2. Les résultats de mesure doivent être identiques aux valeurs initiales dans les limites de la précision des mesures. Si ce n'est pas le cas, alors il convient que le cycle de température soit répété jusqu'à ce que l'on n'observe aucun changement d'affaiblissement à 23 °C; il peut être nécessaire de répéter les procédures de l'Article B.2 pour vérifier que la fibre est toujours utilisable.

several states of polarization, average the thereby obtained traces and determine the regression line from the averaged trace (see Figure B.2). Calculate the deviation ΔA_{reg} of the averaged trace from the regression line. Also, make sure that the uncertainty type A in this measurement does not contribute significantly to the value of ΔA_{reg} .

Note that testing longitudinal attenuation uniformity usually requires measuring the backscatter trace from both ends and calculating an averaged backscatter trace. This is not necessary here because the test in B.2.2 ensures nearly equal backscatter traces.

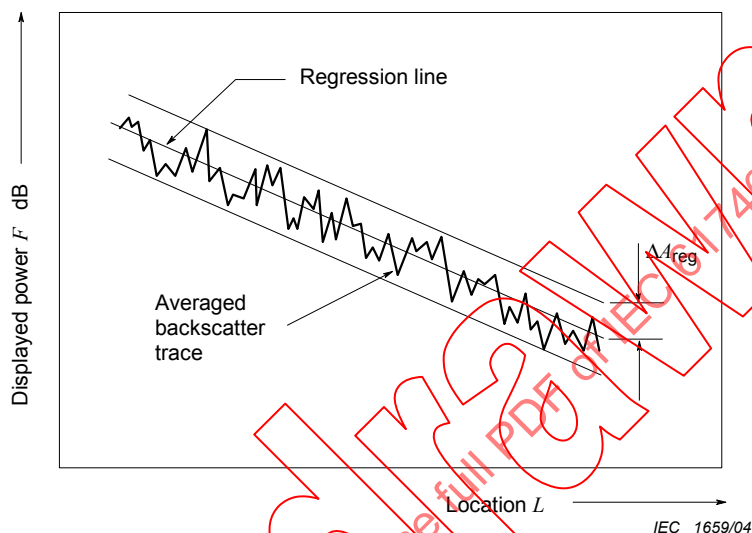


Figure B.2 – Testing the longitudinal backscatter uniformity of the fibre standard

Record the peak deviation ΔA_{reg} of the trace from the regression line as an estimate of the longitudinal attenuation uniformity. This ensures that the attenuation is linearly dependent on the length of fibre, as outlined above.

B.3 Preparation and calibration of the fibre standard

To prepare the fibre standard for use, transport and storage, proceed as follows:

- cut a centre section having a length of 2 km to 3 km from the total length of fibre;
- protect the fibre suitably for transportation and handling (for example by a loose tube, secondary coating or a cable);
- wind the fibre loosely so that no additional loss will occur from winding and transportation.

If the fibre standard is intended to be used as a mobile calibration tool and frequent shipment must be considered, its attenuation stability against temperature cycling should be tested referring to IEC 60794-1-2, method F1. The measurement results shall be identical with the initial values within the limits of the measurement accuracy. If this is not the case, then the temperature cycle should be repeated until no change in the attenuation at 23 °C is observed; it may be necessary to repeat the procedures of Clause B.2 to check that the fibre is still suitable.

Déterminer l'affaiblissement de la fibre $A(\lambda)$ dans la gamme de longueurs d'onde de 1 285 nm à 1 330 nm et de 1 530 nm à 1 570 nm, par exemple à l'aide d'une source de lumière blanche filtrée et par pas de 2 nm, suivant la CEI 60793-1-40 (méthode de la fibre coupée). Une boucle de fibre de $r = 30$ mm est ajoutée dans la longueur de fibre de référence de manière à éviter la propagation des modes d'ordre élevé. La température doit être stabilisée à $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ durant les mesures. Enregistrer la largeur spectrale de la source lumineuse $\Delta\lambda_{FWHM}$.

Préparer la fibre avec des connecteurs unimodaux aux deux extrémités. De manière alternative, l'épissage de connecteurs fibrés est autorisée pour une longueur maximale de 5 m chacun.

B.4 Réétalonnage de la fibre optique étalon

Démonter les connecteurs unimodaux ou les connecteurs fibrés de la fibre optique étalon. Pour le réétalonnage, utiliser la procédure d'affaiblissement de l'Article B.3. Il convient que l'affaiblissement résultant du réétalonnage ne s'écarte pas du premier étalonnage de plus de ± 4 fois $\sigma_{A, std}$ spécifié à l'Article B.5 (cela inclut le vieillissement).

B.5 Incertitude de la fibre étalon

Il convient de calculer et de déterminer les incertitudes à partir des directives sur les bases mathématiques données à l'Annexe D.

Il convient de calculer l'incertitude sur la fibre étalon $\sigma_{A, std}$ par sommation quadratique, à partir des grandeurs suivantes:

$\sigma_{A, cutback}$	incertitude sur l'affaiblissement due à la répétitivité de la mesure de la fibre coupée;
$\sigma_{A, \lambda}$	incertitude sur l'affaiblissement due à l'incertitude sur la longueur d'onde centrale de la lampe source utilisée pour la mesure d'affaiblissement;
$\sigma_{A, meter}$	incertitude sur l'affaiblissement due à la non-linéarité du radiomètre utilisé pour la mesure de la fibre coupée;
$\sigma_{A, \theta}$	incertitude sur l'affaiblissement, en décibels, provoquée par la dépendance envers la température dans la gamme de températures autorisée.

D'autres causes peuvent avoir à être prises en compte en fonction du montage de mesure et de la procédure utilisés.

B.6 Documentation

La fibre étalon doit être accompagnée de la documentation suivante:

- longueur approximative de la fibre;
- affaiblissement de la fibre dans les gammes de longueurs d'onde de 1 285 nm à 1 330 nm et de 1 530 nm à 1 570 nm, par pas de 2 nm;
- largeur spectrale de la source lumineuse utilisée pour la mesure;
- gamme de températures autorisée ($23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, comme spécifié précédemment);
- incertitude sur l'affaiblissement sous sa forme élargie, $\pm 2 \sigma_{A, std}$, calculé à l'Article B.5;
- uniformité d'affaiblissement longitudinal sous la forme ΔA_{reg} décrite en B.2.3.

Determine the fibre attenuation $A(\lambda)$ within the spectral ranges of 1 285 nm to 1 330 nm and 1 530 nm to 1 570 nm, for example with a filtered white-light source and in steps of 2 nm, referring to IEC 60793-1-40 (cut-back method). A fibre loop with $r = 30$ mm is integrated in the reference fibre length in order to avoid the propagation of higher modes. The temperature shall be stabilized within $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ during the measurement. Record the spectral width of the light source $\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$.

Prepare the fibre with single-mode connectors on both ends. Alternatively, splicing of pigtails is permitted up to a maximum length of 5 m each.

B.4 Recalibration of the optical fibre standard

Remove the single-mode connectors or pigtails from the optical fibre standard. For the recalibration, use the attenuation procedure in Clause B.3. The attenuation recalibration result should not differ from the first calibration result by more than ± 4 times $\sigma_{\text{A,std}}$ specified in Clause B.5 (this includes ageing).

B.5 Uncertainty of the fibre standard

The guidelines of the mathematical basis given in Annex D should be used to calculate and state the uncertainties.

The uncertainty of the fibre standard $\sigma_{\text{A,std}}$ should be accumulated by root-sum-squaring from the following contributions:

- $\sigma_{\text{A,cutback}}$ the loss uncertainty due to the repeatability of the cut-back measurement;
- $\sigma_{\text{A},\lambda}$ the loss uncertainty due to the uncertainty of the centre wavelength of the light source used in the attenuation measurement;
- $\sigma_{\text{A,meter}}$ the loss uncertainty due to the non-linearity of the power meter used in the cut-back measurement;
- $\sigma_{\text{A},\theta}$ the loss uncertainty, in decibels, caused by the temperature dependence within the allowable temperature range.

Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure.

B.6 Documentation

The fibre standard shall be accompanied by the following documentation:

- a) approximate length of the fibre;
- b) fibre attenuation for the spectral ranges of 1 285 nm to 1 330 nm and 1 530 nm to 1 570 nm, in steps of 2 nm;
- c) spectral width of the light source used for the measurement;
- d) allowable temperature range ($23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, as specified before);
- e) attenuation uncertainty in the expanded form $\pm 2\sigma_{\text{A,std}}$, as calculated in Clause B.5;
- f) longitudinal attenuation uniformity in the form of ΔA_{reg} , as described in B.2.3.

Annexe C (normative)

Simulateur d'épissure étalon pour l'étalonnage des affaiblissements

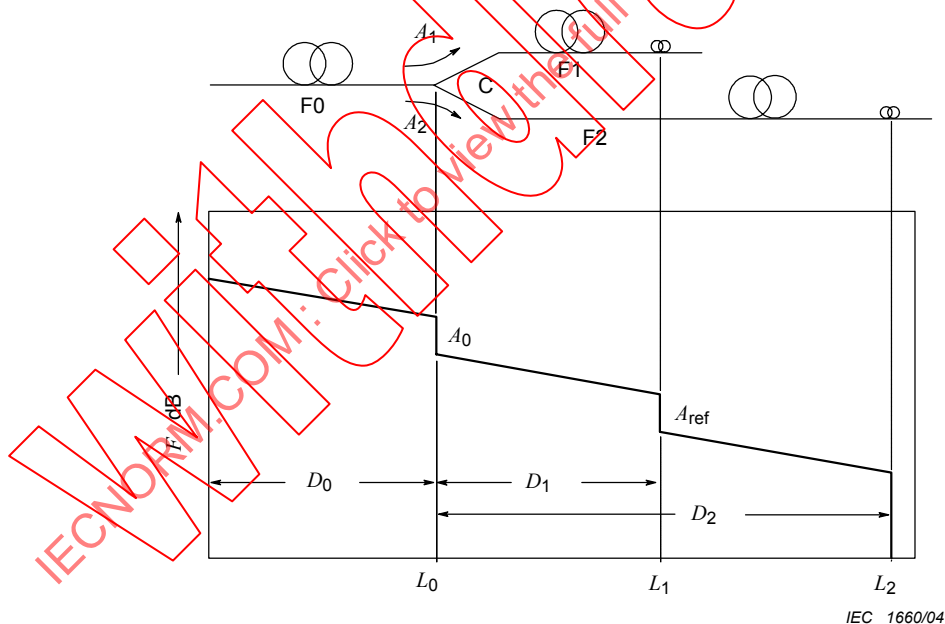
C.1 Structure

C.1.1 Description

Le simulateur est constitué de trois fibres F0, F1 et F2, la longueur de chacune étant D_0 , D_1 , D_2 . Un coupleur C indépendant de la longueur d'onde les relie.

Le simulateur et sa trace de rétrodiffusion théorique sont décrits à la Figure C.1. Les petits cercles à l'extrémité des fibres F1 et F2 représentent des dispositifs destinés à éliminer les réflexions.

Entre L_0 et L_1 , le signal de rétrodiffusion affiché est la contribution des deux fibres F1 et F2. Après L_1 , seul le signal de rétrodiffusion provenant de la fibre F2 est affiché. L'affaiblissement d'épissure étalon utilisé pour l'étalonnage de l'OTDR est A_{ref} . Cette épissure apparaît à la fin de la fibre F1, à la position L_1 .



IEC 1660/04

Légende

F0, F1 et F2	fibres
D_0 , D_1 et D_2	longueur de chaque fibre
L_0 , L_1 et L_2	position de la fin de chaque fibre
C	coupleur
A_1 et A_2	affaiblissement de chaque branche du coupleur
A_0 et A_{ref}	affaiblissement en excès du coupleur et affaiblissement de référence

Figure C.1 – Simulateur d'épissure et trace de réflectométrie idéale

Annex C (normative)

Standard splice simulator for loss calibration

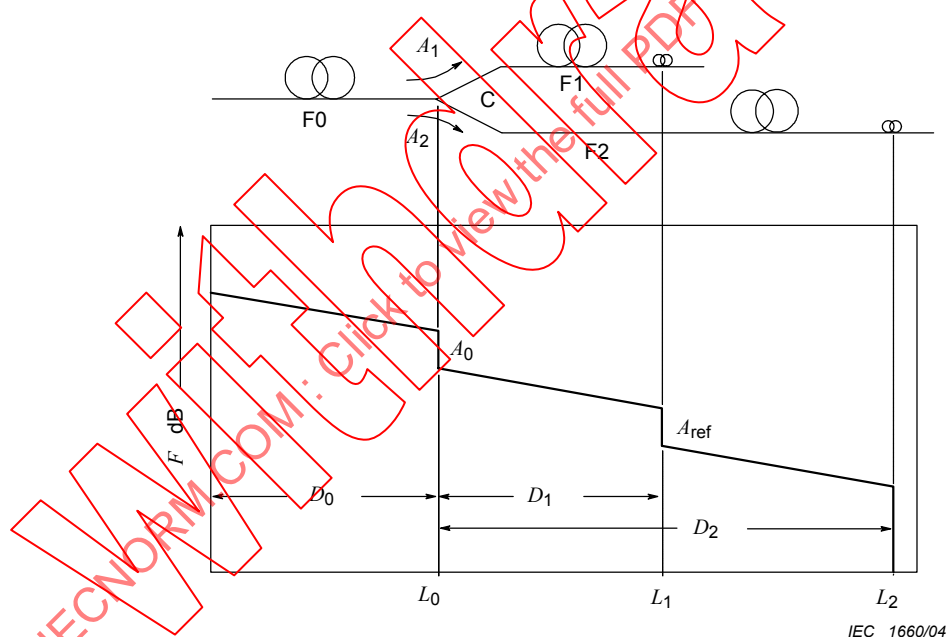
C.1 Structure

C.1.1 Description

The simulator is made with three fibres F0, F1 and F2, the length of which are D_0 , D_1 , D_2 . A wavelength-independent branching device C connects them.

The simulator and its theoretical backscatter signature are shown in Figure C.1. The small circles at the end of fibres F1 and F2 indicate devices which eliminate reflections.

From L_0 to L_1 the displayed backscatter signal is the contribution of the two fibres F1 and F2. After L_1 , only the backscatter signal from fibre F2 is displayed. The standard splice loss used for OTDR calibration is A_{ref} . This splice appears at the end of the fibre F1, at location L_1 .



Key

F0, F1 and F2	fibres
D_0 , D_1 and D_2	length of each fibres
L_0 , L_1 and L_2	location of the end of each fibres
C	branching device
A_1 and A_2	attenuation of each branches of the branching device
A_0 and A_{ref}	excess loss of branching device and reference loss

Figure C.1 – Splice simulator and idealized OTDR signature

C.1.2 Analyse de l'affaiblissement d'épissure

En supposant que les fibres sont de même nature et que l'affaiblissement du coupleur est le même dans les deux directions, la réponse théorique du dispositif est

$$A_1 = -10 \log X_1 \quad X_1 = 10^{-A_1/10} \quad (\text{C.1})$$

$$A_2 = -10 \log X_2 \quad X_2 = 10^{-A_2/10} \quad (\text{C.2})$$

A_1 représente l'affaiblissement du coupleur de F0 à F1 (qui est le même que l'affaiblissement du coupleur de F1 à F0). A_2 représente l'affaiblissement du coupleur de F0 à F2 (qui est le même que l'affaiblissement du coupleur de F2 à F0). De manière équivalente, X_1 et X_2 représentent les taux de couplage.

L'affaiblissement en excès A_0 et l'affaiblissement de référence A_{ref} sont donnés par les équations suivantes. Il est à noter que, en raison de la correction aller-retour de l'OTDR, la conversion logarithmique utilise un facteur 5 au lieu de 10:

$$A_0 = -5 \log (X_1^2 + X_2^2) \quad (\text{C.3})$$

$$A_{\text{ref}} = -5 \log \left(\frac{X_2^2}{X_1^2 + X_2^2} \right) = 5 \log \left(1 + \frac{X_1^2}{X_2^2} \right) \quad (\text{C.4})$$

A_{ref} peut aussi s'exprimer à partir de A_1 et A_2 :

$$A_{\text{ref}} = 5 \log (1 + 10^{(A_2 - A_1)/5}) \quad (\text{C.5})$$

Cette équation définit l'affaiblissement de référence.

C.2 Préparation du simulateur d'épissure étalon

- Sélectionner une bobine de fibre unimodale correspondant à la CEI 60793-1.
- Couper les fibres F0, F1 et F2 à partir de cette même bobine, avec les longueurs respectives D_0 , D_1 et D_2 , par exemple de l'ordre de 1 000 m, 2 000 m et 4 000 m.
- Bobiner les fibres sans les serrer sur différentes bobines.
- Sélectionner un coupleur 1 × 2 achromatique avec des fibres amorces de type unimodal dont la dépendance de la longueur d'onde et de la polarisation est faible. Les exigences typiques sont:
 - taux de couplage: 50 % ± 1,5 % entre 1 260 nm et 1 360 nm et entre 1 500 nm et 1 600 nm;
 - dépendance envers la polarisation du taux de couplage inférieure à ± 0,5 %.
- Souder les trois fibres sur le coupleur.
- Ajouter un connecteur à l'entrée du simulateur d'épissure.
- Placer et fixer les trois bobines de fibres et le coupleur à l'intérieur d'une valise de transport solide, pour protéger l'étalon contre les chocs et les vibrations.

C.1.2 Splice loss analysis

Assuming that the fibres have the same nature and that the attenuation of the branching device is the same in both directions, the theoretical description of the device is

$$A_1 = -10 \log X_1 \quad X_1 = 10^{-A_1/10} \quad (\text{C.1})$$

$$A_2 = -10 \log X_2 \quad X_2 = 10^{-A_2/10} \quad (\text{C.2})$$

A_1 is the branching device attenuation from F0 to F1 (which is the same as the branching device attenuation from F1 to F0). A_2 is the branching device attenuation from F0 to F2 (which is the same as the branching device attenuation from F2 to F0). Equivalently, X_1 and X_2 denote the coupling ratios.

The excess loss A_0 and the reference loss A_{ref} are given by the following equations; note that due to the OTDR round trip correction, the logarithmic conversion uses a factor of 5 instead of 10:

$$A_0 = -5 \log (X_1^2 + X_2^2) \quad (\text{C.3})$$

$$A_{\text{ref}} = -5 \log \left(\frac{X_2^2}{X_1^2 + X_2^2} \right) = 5 \log \left(1 + \frac{X_1^2}{X_2^2} \right) \quad (\text{C.4})$$

A_{ref} can also be expressed with A_1 and A_2 :

$$A_{\text{ref}} = 5 \log (1 + 10^{(A_2 - A_1)/5}) \quad (\text{C.5})$$

This equation defines the reference loss.

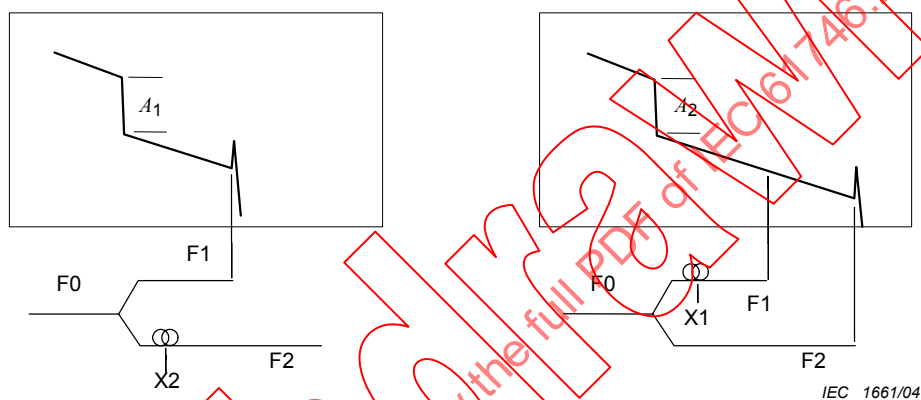
C.2 Preparation of the standard splice simulator

- a) Select a spool of single-mode fibre according to IEC 60793-1 series.
- b) Cut fibres F0, F1 and F2 from this same spool, with respective length D_0 , D_1 and D_2 , for example of about 1 000 m, 2 000 m and 4 000 m.
- c) Wind the fibres loosely on different spools.
- d) Select a 1×2 achromatic branching device with single-mode fibre pigtails and low wavelength and polarization dependence. Typical requirements are:
 - 1) coupling ratio = 50 % $\pm$ 1,5 % from 1 260 nm to 1 360 nm and 1 500 nm to 1 600 nm;
 - 2) polarization dependence of coupling ratio less than $\pm$ 0,5 %.
- e) Splice the three fibres to the branching device.
- f) Add a connector to the input of the splice simulator.
- g) Place and fix the three fibre spools and the branching device in a rugged transit case to protect the standard from shock and vibration.

- h) Si le simulateur d'épissure est destiné à être utilisé comme outil mobile d'étalonnage et que des expéditions fréquentes doivent être envisagées, il convient de tester la stabilité de l'affaiblissement de l'épissure en fonction d'un cycle de température en se référant à la CEI 60794-1-2, méthode F1. Le résultat des mesures doit être identique aux valeurs initiales dans les limites de la précision des mesures. Si ce n'est pas le cas, alors le cycle de température doit être répété jusqu'à qu'il n'y ait pas de changement d'affaiblissement à 23 °C.

C.3 Procédure d'étalonnage

Un OTDR est utilisé pour l'étalonnage: la valeur étalon A_{ref} dépend uniquement du taux de couplage du coupleur. Si le taux de couplage est 50/50, alors les signaux de rétrodiffusion provenant de chacune des branches (F1 et F2) sont égaux. Ce phénomène peut être aisément démontré en supprimant une branche puis l'autre, en utilisant un dispositif approprié pour courber la fibre (voir Figure C.2).



Légende

F0, F1 et F2	fibres
X1 et X2	positions après le coupleur
A_1 et A_2	affaiblissement de chaque branche du coupleur

Figure C.2 – Détermination de l'affaiblissement de référence A_{ref}

Pour étalonner le simulateur d'épissure, procéder de la manière suivante.

- Supprimer la branche F2 en utilisant un dispositif approprié pour courber la fibre au point X2: le degré nécessaire de pliage peut être déterminé en cherchant la valeur maximale réalisable de l'affaiblissement A_1 .
- Mesurer l'affaiblissement A_1 avec l'OTDR.
- Supprimer la branche F1 de la fibre en utilisant un dispositif approprié pour courber la fibre, au point X1.
- Mesurer l'affaiblissement A_2 avec l'OTDR. Faire bien attention que les deux affaiblissements soient mesurés dans les mêmes conditions (par exemple mesure de pente efficace avec les mêmes points de départ et de fin, et avec le même niveau de puissance affiché).

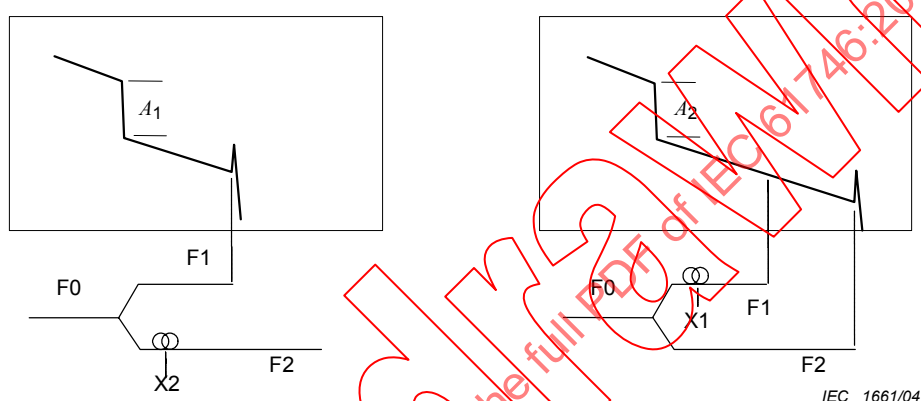
La valeur de l'affaiblissement de référence est obtenue à partir de l'équation (C.5):

$$A_{ref} = 5 \log \left(\frac{A_2 - A_1}{10} + 10^{(A_2 - A_1)/5} \right)$$

- h) If the splice simulator is intended to be used as a mobile calibration tool and frequent shipment must be considered, its splice loss stability against temperature cycling should be tested referring to IEC 60794-1-2, method F1. The measurement results shall be identical with the initial values within the limits of the measurement accuracy. If this is not the case, then the temperature cycle shall be repeated until no change in the attenuation at 23 °C is observed.

C.3 Calibration procedure

An OTDR is used for calibration: the calibrated value A_{ref} is only dependent on the coupling ratio of the branching device. When the coupling ratio is 50/50, then the backscatter signals due to each branch (F1 and F2) are equal. This phenomenon can be demonstrated by excluding one branch then the other, using an appropriate device to bend the fibre (see Figure C.2).



Key

F0, F1 and F2	fibres
X1 and X2	locations after the branching device
A_1 and A_2	attenuation of each branch of the branching device

Figure C.2 – Determination of the reference loss A_{ref}

To calibrate the splice simulator, proceed as follows.

- Exclude branch F2 using an appropriate device to bend the fibre, at point X2; the necessary degree of bending can be determined by searching for the maximum achievable attenuation A_1 .
- Measure the attenuation A_1 with the OTDR.
- Exclude branch F1 using an appropriate device to bend the fibre, at point X1.
- Measure the attenuation A_2 with the OTDR. Be careful that the two attenuation measurements are made in the same condition (for example, RMS slope measurement with the same points for start and stop, and at the same displayed power level).

The reference loss is obtained from equation (C.5):

$$A_{\text{ref}} = 5 \log \left(\frac{A_2}{A_1} + 10^{(A_2 - A_1)/5} \right)$$

Il est à noter qu'il n'y a pas d'exigence particulière concernant la précision de l'OTDR quant à son échelle de puissance car le résultat de ces calculs dépend uniquement de la capacité de l'OTDR à mesurer d'une manière correcte la petite différence entre A_1 et A_2 . Pour un coupleur idéal, $A_1 = A_2$, et $A_{\text{ref}} = 1,505$ dB.

C.4 Incertitudes

Il convient d'utiliser les directives sur les bases mathématiques de l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes. Calculer les incertitudes en utilisant les formules ci-dessous.

Au moment de l'étalonnage, les affaiblissements A_1 et A_2 sont pratiquement les mêmes:

$$A_2 = A_1 + \varepsilon \quad (\text{C.6})$$

$$A_{\text{ref}} = -5 \log(1 + 10^{-\varepsilon/5}) \quad (\text{C.7})$$

Lorsque ε approche zéro:

$$\partial A_{\text{ref}} \cong \frac{1}{2} \partial \varepsilon \quad (\text{C.8})$$

$$\partial A_{\text{ref}} = \frac{1}{2} (\partial A_1^2 + \partial A_2^2)^{1/2} \cong \frac{\sqrt{2}}{2} \partial A_1 \quad (\text{C.9})$$

Le résultat est que l'incertitude sur l'affaiblissement de référence est égale à 0,7 fois l'incertitude sur l'affaiblissement du coupleur.

$$\sigma_{A_{\text{ref}}} = 0,7 \sigma_{A_1} \quad (\text{C.10})$$

Il convient d'accumuler l'incertitude σ_{A_1} , par sommation quadratique, à partir des incertitudes suivantes sur l'affaiblissement du coupleur:

$\sigma_{A,\lambda}$	incertitude sur l'affaiblissement, en décibels, provoquée par l'incertitude sur la longueur d'onde centrale de l'OTDR;
$\sigma_{A,\theta}$	incertitude sur l'affaiblissement, en décibels, provoquée par la dépendance envers la température à l'intérieur de la gamme de températures autorisée;
$\sigma_{A,\text{coupleur pdl}}$	incertitude sur l'affaiblissement, en décibels, provoquée par la dépendance envers la polarisation du coupleur (PDL) et le fait que les ondes incidentes sont polarisées. La CEI 61300-3-2 explique les mesures de (PDL);
$\sigma_{A,\text{otdr pdl}}$	incertitude sur A_1 (ou A_2), en décibels, provoquée par le fait que l'OTDR dépend de la polarisation et le fait que le signal de rétrodiffusion est polarisé. Cette incertitude peut être réduite en insérant un contrôleur de polarisation entre l'OTDR et le simulateur d'affaiblissement d'épissure, en mesurant A_1 et A_2 à différents états de polarisation et en moyennant les résultats;
$\sigma_{A,\text{uni}}$	incertitude sur l'affaiblissement de couplage provoquée par la non-uniformité des fibres.

Note that no specific requirements concerning the accuracy of the OTDR power scale have to be met, because the result of this computation only depends on the capability of the OTDR of measuring the small difference between A_1 and A_2 correctly. For an ideal coupler, $A_1 = A_2$, and $A_{\text{ref}} = 1,505$ dB.

C.4 Uncertainties

The guidelines of the mathematical basis given in Annex D should be used to calculate and state the uncertainties. Calculate the uncertainties using the following.

At the moment of the calibration, the losses A_1 and A_2 are nearly the same:

$$A_2 = A_1 + \varepsilon \quad (\text{C.6})$$

$$A_{\text{ref}} = -5 \log(1 + 10^{-\varepsilon/5}) \quad (\text{C.7})$$

When ε approaches zero:

$$\partial A_{\text{ref}} \cong \frac{1}{2} \partial \varepsilon \quad (\text{C.8})$$

$$\partial A_{\text{ref}} = \frac{1}{2} (\partial A_1^2 + \partial A_2^2)^{1/2} \cong \frac{\sqrt{2}}{2} \partial A_1 \quad (\text{C.9})$$

The result is that the uncertainty of the reference loss is identical with 0,7 times the uncertainty of the branching loss:

$$\sigma_{A_{\text{ref}}} = 0,7 \sigma_{A1} \quad (\text{C.10})$$

The uncertainty σ_{A1} should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following uncertainties of the branching loss:

- $\sigma_{A,\lambda}$ the loss uncertainty, in decibels, caused by the uncertainty of the OTDR's centre wavelength;
- $\sigma_{A,\theta}$ the loss uncertainty, in decibels, caused by the temperature dependence within the allowable temperature range;
- $\sigma_{A,\text{coupler pdl}}$ the loss uncertainty, in decibels, introduced by the coupler's polarization dependence (PDL) and the fact that the incident wave is polarized. IEC 61300-3-2 discusses PDL measurements;
- $\sigma_{A,\text{otdr pdl}}$ the uncertainty of A_1 (or A_2), in decibels, caused by the OTDR's polarization dependence (PDL) and the fact that the backscatter signal is polarized. This uncertainty can be reduced by inserting a polarization controller between the OTDR and the splice loss simulator, measuring A_1 and A_2 at different states of polarization and averaging the results;
- $\sigma_{A,\text{uni}}$ the branching loss uncertainty caused by the fibre's non-uniformity.

C.5 Documentation

Le simulateur d'épissure doit être accompagné de la documentation suivante:

- a) longueur approximative des fibres D_0 , D_1 et D_2 ;
- b) distance approximative entre l'affaiblissement de référence et le connecteur d'entrée du simulateur d'épissure $D_0 + D_1$; cette distance sera utilisée comme position d'épissure;
- c) affaiblissement de référence A_{ref} ;
- d) longueur d'onde centrale utilisée pour l'étalonnage;
- e) gamme de températures autorisée;
- f) incertitude sur l'affaiblissement de référence calculée suivant l'Article C.4.

C.5 Documentation

The splice simulator shall be accompanied by the following documentation:

- a) approximate fibre lengths D_0 , D_1 and D_2 ;
- b) approximate distance of the reference loss from the input connector of the splice simulator $D_0 + D_1$; this distance will be used as splice location;
- c) reference loss A_{ref} ;
- d) centre wavelength used for the calibration;
- e) allowable temperature range;
- f) uncertainty of the reference loss as calculated according to Clause C.4.

Annexe D (informative)

Bases mathématiques

D.0 Introduction

Le texte suivant est basé sur le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* de l'ISO.

La présente annexe distingue trois types d'écarts entre un résultat de mesure réel et la valeur «conventionnellement vraie», de la quantité mesurée: les écarts connus, qui peuvent être corrigés les incertitudes de type A, qui sont obtenues à partir d'une série de mesures de la même quantité mesurée; les incertitudes de type B, qui sont obtenues à partir d'autres connaissances. Chacun d'eux peut être provoqué par une seule grandeur d'influence ou être accumulé à partir de contributions provoquées par plusieurs grandeurs d'influence. Cette annexe propose un moyen normalisé pour évaluer, accumuler et consigner ces contributions.

D.1 Ecarts

Un écart caractérise l'erreur connue d'un résultat de mesure. Noter que le terme «erreur» est équivalent à «écart».

Il est pratique de faire la différence entre les résultats de mesure de forme linéaire, par exemple longueur ou pourcentage, et les résultats de mesure de forme logarithmique, par exemple la puissance optique en décibels. Dans les deux cas, l'écart ou erreur Δy quantifie la différence entre un résultat de mesurage réel y_{actual} et la valeur «vraie» de la quantité mesurée y_{ref} . Voir la Figure D.1.

$$\Delta y = y_{\text{actual}} - y_{\text{ref}} \quad (\text{D.1})$$

Une correction est possible en soustrayant l'écart du résultat de la mesure.

D.2 Incertitudes de type A

Il convient de caractériser les résultats de mesure variant de manière aléatoire par les incertitudes de type A. On suppose habituellement une répartition normale (gaussienne) des échantillons de mesure. Il est recommandé de maintenir ces incertitudes aussi faibles que possible en calculant la moyenne d'un certain nombre d'échantillons de mesures. De manière à gagner du temps lors de l'étalonnage d'un instrument individuel d'une série, il est conseillé d'évaluer l'incertitude de type A en deux étapes.

Une première étape détermine l'écart type expérimental s_{typeA} d'une situation de mesure typique à partir d'un nombre important de mesures m . On considère que le centre de la distribution coïncide avec zéro.

L'écart type expérimental qui caractérise une incertitude de type A est approximativement:

$$s_{\text{typeA}} = \left(\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_i - y_{\text{mean}})^2 \right)^{1/2} \quad (\text{D.2})$$

où

y_{mean} est la valeur moyenne;

y_i est l'échantillon de mesure d'une série de mesures;

m est le nombre de mesures caractéristiques dans la détermination de l'écart type; on considère que m est important, par exemple >30 .

Annex D (informative)

Mathematical basis

D.0 Introduction

The following text is based on the ISO *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

This annex distinguishes three types of deviations between an actual measurement result and the "true" value of the measured quantity: known deviations, which can be corrected; uncertainties type A, which are obtained from a series of measurements on the same measurand; uncertainties type B, which are obtained from other knowledge. Each of these may be caused by a single influencing quantity or may be accumulated from contributions caused by a number of influencing quantities. This annex proposes a standardized form of evaluating, accumulating and reporting these contributions.

D.1 Deviations

A deviation characterizes a known error of a measurement result. Notice that the term "error" is equivalent to "deviation".

It is useful to distinguish between measurement results in linear form, for example length or per cent, and measurement results in logarithmic form, for example optical power in decibels. In both cases, the deviation or error Δy quantifies the difference between an actual measurement result y_{actual} and the "true" value of the measured quantity y_{ref} . See Figure D.1.

$$\Delta y = y_{\text{actual}} - y_{\text{ref}} \quad (\text{D.1})$$

A correction is possible by subtracting the deviation from the measurement result.

D.2 Uncertainties type A

Randomly changing measurement results should be characterized by an uncertainty type A. A normal (gaussian) distribution of measurement samples is usually assumed. It is recommended that these uncertainties be kept as small as possible by averaging a number of measurement samples. In order to save time in the calibration of an individual instrument from a series of instruments, it is suggested that each uncertainty type A be evaluated in two steps.

As the first step, determine the experimental standard deviation s_{typeA} of a typical measurement situation from a large number of measurements m . The centre of the distribution is assumed to coincide with zero.

The experimental standard deviation, characterizing an uncertainty type A, is approximately:

$$s_{\text{typeA}} = \left\{ \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_i - y_{\text{mean}})^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{D.2})$$

where

y_{mean} is the mean value;

y_i is the measurement sample of a series of measurements;

m is the number of characterizing measurements in determining the standard deviation; m is assumed to be large, for example >30 .

Une deuxième étape détermine l'incertitude σ_r du cas individuel à partir d'un nombre de mesures moins important n . Souvent, $n = 1$ de manière à gagner du temps lors des mesures. Le résultat est l'incertitude type de type A:

$$\sigma_{\text{type A}} = \frac{s_r}{\sqrt{n}} \quad (\text{D.3})$$

$\sigma_{\text{type A}}$ exprime l'incertitude de la moyenne, qui suppose le moyennage des n échantillons de mesure. Il faut noter que les deux étapes peuvent être rassemblées en une seule, en faisant en sorte que $m = n$.

Les incertitudes de type A peuvent être exprimées sous forme linéaire, par exemple en pourcentage, ou sous forme logarithmique, en décibels. Le traitement mathématique est identique tant que les incertitudes sont petites.

D.3 Incertitudes de type B

Une incertitude de type B quantifie habituellement un décalage fixe inconnu entre un résultat de mesure et la valeur «vraie» de la quantité mesurée. Ces incertitudes peuvent être décrites par la largeur d'une bande d'incertitudes, comme le montre la Figure D.1. On suppose que la distribution des résultats de mesure est uniforme (rectangulaire).

Cette annexe propose de définir la demi-largeur $U_{\text{type B}}$ de la bande d'incertitudes relatives. La bande d'incertitudes peut être calculée en multipliant la bande de tolérance de la condition d'influence, par exemple la température, par le pire cas de dépendance de l'instrument à cette condition. Il convient que ces calculs soient basés sur des relations physiques connues, sur des spécifications des fournisseurs, sur des données issues de certificats d'étalonnage ou sur un nombre suffisamment grand de mesures caractéristiques d'un même type d'instrument. Les incertitudes de type B relatives à ces mesures doivent être maintenues aussi faibles que possible, par exemple par moyennage.

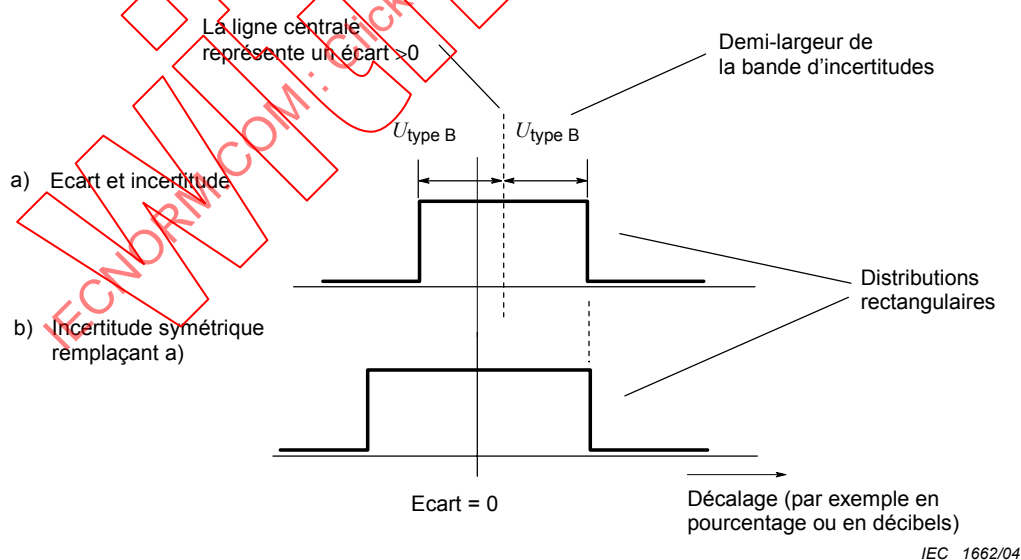


Figure D.1 – Ecart et incertitude de type B, et comment remplacer les deux paramètres par une incertitude appropriée plus large

Comme le montre la Figure D.1, il est possible d'omettre l'écart en spécifiant une bande d'incertitudes plus large et symétrique.

As the second step, determine the uncertainty of the individual case σ_r from a smaller number of measurements, n . Often, $n = 1$ in order to save measurement time. The result is the standard uncertainty type A:

$$\sigma_{\text{typeA}} = \frac{s_r}{\sqrt{n}} \quad (\text{D.3})$$

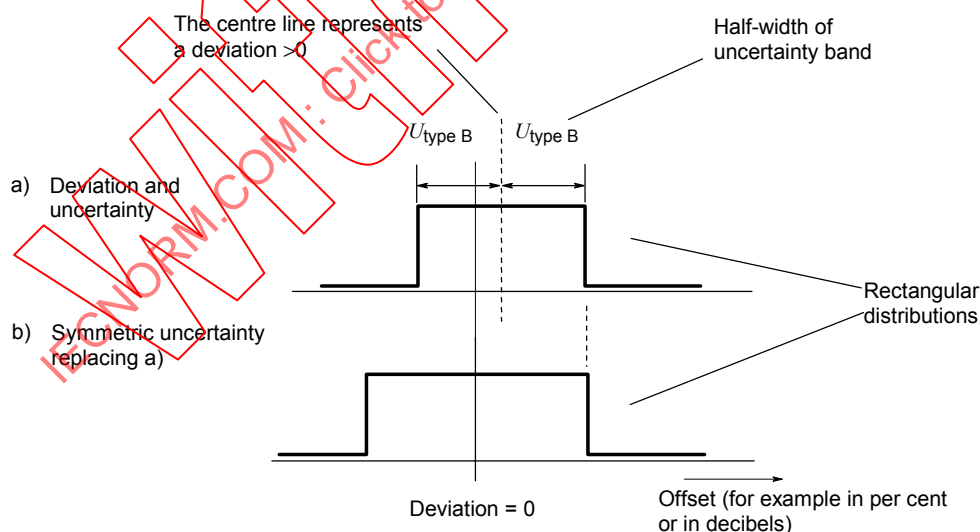
σ_{typeA} expresses the uncertainty of the mean, which assumes averaging of the n measurement samples. Note that the two steps may be gathered to a single step, by making $m = n$.

Uncertainties type A may be expressed in linear form, for example in per cent, or in logarithmic form, in decibels. Their mathematical treatment is identical as long as the uncertainties are small.

D.3 Uncertainties type B

An uncertainty type B usually quantifies an unknown fixed offset between a measurement result and the "true" value of the measured quantity. These uncertainties can be described by the width of an uncertainty band, as illustrated in Figure D.1. A uniform (rectangular) distribution of measurement results is assumed.

This annex suggests specifying the half-width U_{typeB} of the band of relative uncertainties. The uncertainty band can be calculated by multiplying the tolerance band of the influencing condition, for example of the temperature, by the instrument's worst-case dependence on this condition. These calculations should be based on known physical relations, manufacturer's specifications, data provided in calibration certificates or on a sufficiently large number of characterizing measurements of the same type of instrument. Uncertainties type B in these measurements are to be kept as small as possible, for example by averaging.



IEC 1662/04

Figure D.1 – Deviation and uncertainty type B, and how to replace both by an appropriately larger uncertainty

As indicated in Figure D.1, it is possible to omit the deviation by specifying a wider and symmetrical uncertainty band.

La bande d'incertitudes peut également être exprimée par une incertitude type équivalente σ_{typeB} :

– **incertitude de type B (demi-largeur):**

$$U_{\text{typeB}} = (\text{demi-largeur de la bande de tolérance de la condition}) \times (\text{sensibilité de l'instrument}) \quad (\text{D.4})$$

– **incertitude type de type B (calculée):**

$$\sigma_{\text{typeB}} = \frac{U_{\text{typeB}}}{\sqrt{3}} \quad (\text{D.5})$$

Les incertitudes de type B peuvent être exprimées sous forme linéaire, par exemple en pourcentage, ou sous forme logarithmique, en décibels. Le traitement mathématique est identique tant que les incertitudes sont petites.

D.4 Accumulation d'incertitudes

L'«incertitude type cumulée» permet de rassembler plusieurs incertitudes individuelles en un seul nombre. L'incertitude type cumulée est basée sur l'indépendance statistique des incertitudes individuelles; cela donne une valeur quadratique moyenne de leurs écarts types. Conformément au *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* de l'ISO, les formules suivantes définissent l'écart et l'incertitude:

Ecart cumulé (erreur):

$$\Delta y^* = \sqrt{\sum_{i=1}^k \Delta y_i^2} \quad (\text{D.6})$$

Incetitude type cumulée:

$$\sigma_{\text{std}} = \left(\sum_{i=1}^k \sigma_{\text{typeB},i}^2 + \sum_{j=1}^l \sigma_{\text{typeA},j}^2 \right)^{1/2} \quad (\text{D.7})$$

où

i est l'indice d'une contribution individuelle;

$\sigma_{\text{typeB},i}$ est l'écart type (calculé) qui quantifie une incertitude individuelle de type B (voir équation D.5);

$\sigma_{\text{typeA},j}$ est l'écart type qui quantifie une incertitude individuelle de type A (voir équation D.3);

k est le nombre d'incertitudes individuelles de type B;

l est le nombre d'incertitudes individuelles de type A.

Noter que la première partie de l'équation (D.7) rassemble toutes les incertitudes de type B, et que la seconde partie rassemble toutes les incertitudes de type A. Il est acceptable de négliger les contributions d'incertitude à cette équation qui sont inférieures à 1/10 de la plus grande contribution, car le fait de les élever au carré modifiera leur poids à 1/100 de la contribution la plus importante.

Lorsque les grandeurs précédentes doivent être utilisées pour d'autres calculs d'incertitude, alors l'incertitude type cumulée σ_{std} peut être réintégrée dans les équations (D.6) et (D.7). En dépit de son origine partiellement de type A, il convient de considérer σ_{std} comme décrivant une incertitude de type B.

The uncertainty band can alternatively be expressed by an equivalent standard uncertainty σ_{typeB} :

– **uncertainty type B (half-width):**

$$U_{\text{typeB}} = (\text{half-width of condition's tolerance band}) \times (\text{instrument's sensitivity}) \quad (\text{D.4})$$

– **standard uncertainty type B (calculated):**

$$\sigma_{\text{typeB}} = \frac{U_{\text{typeB}}}{\sqrt{3}} \quad (\text{D.5})$$

Uncertainties type B may be expressed in linear form, for example in percent, or in logarithmic form, in decibels. Their mathematical treatment is identical as long as the uncertainties are small.

D.4 Accumulation of uncertainties

The "combined standard uncertainty" is used to collect a number of individual uncertainties into a single number. The combined standard uncertainty is based on the statistical independence of the individual uncertainties; this leads to a root-sum-square of their standard deviations. In compliance with the ISO *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, the following formulas determine the deviation and the uncertainty:

Cumulative deviation (error):
$$\Delta y^* = \sum_{i=1}^k \Delta y_i \quad (\text{D.6})$$

Combined standard uncertainty:
$$\sigma_{\text{std}} = \left(\sum_{i=1}^k \sigma_{\text{typeB},i}^2 + \sum_{j=1}^l \sigma_{\text{typeA},j}^2 \right)^{1/2} \quad (\text{D.7})$$

where

i is the current number of an individual contribution;

$\sigma_{\text{typeB},i}$ is the (calculated) standard deviation quantifying an individual uncertainty type B (see formula D.5);

$\sigma_{\text{typeA},j}$ is the standard deviation quantifying an individual uncertainty type A (see formula D.3);

k is the number of individual uncertainties type B;

l is the number of individual uncertainties type A.

Note that the first part of equation (D.7) collects all uncertainties type B, and that the second part collects all uncertainties type A. It is acceptable to neglect uncertainty contributions to this equation which are smaller than 1/10 of the largest contribution, because squaring them will reduce their significance to 1/100 of the largest contribution.

When the quantities above are to be used as the basis for further uncertainty computations, then the combined standard uncertainty σ_{std} can be re-inserted into the formulae (D.6) and (D.7). Despite its partially type A origin, σ_{std} should be considered as describing an uncertainty type B.