

**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	140

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 F	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.....	112

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

Withdawn

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

Withdrawal

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.

Withdrawn

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

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.

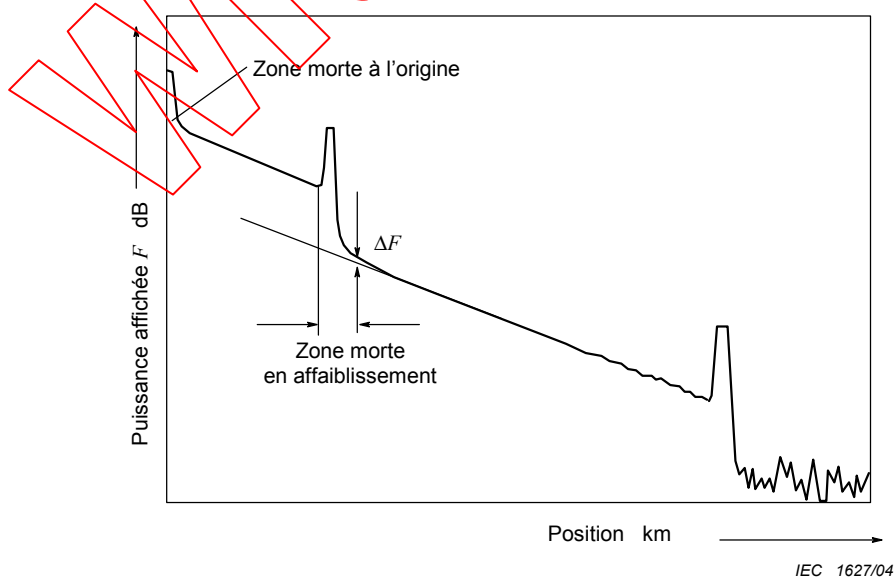


Figure 1 – Définition de la zone morte en affaiblissement

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.

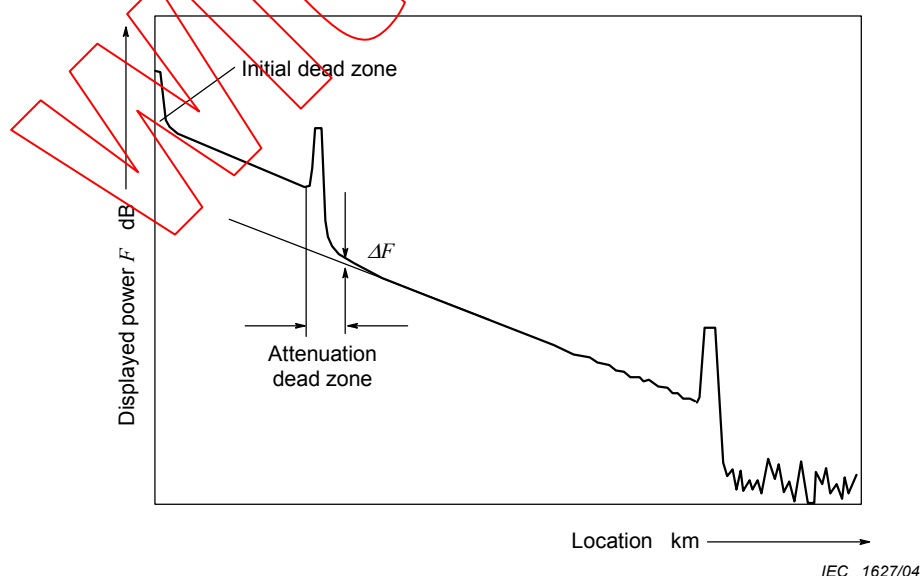


Figure 1 – Definition of attenuation dead zone

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

$\sigma_{L_{\text{readout}}}$

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:

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

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:

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

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, $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$:

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

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} :

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

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.

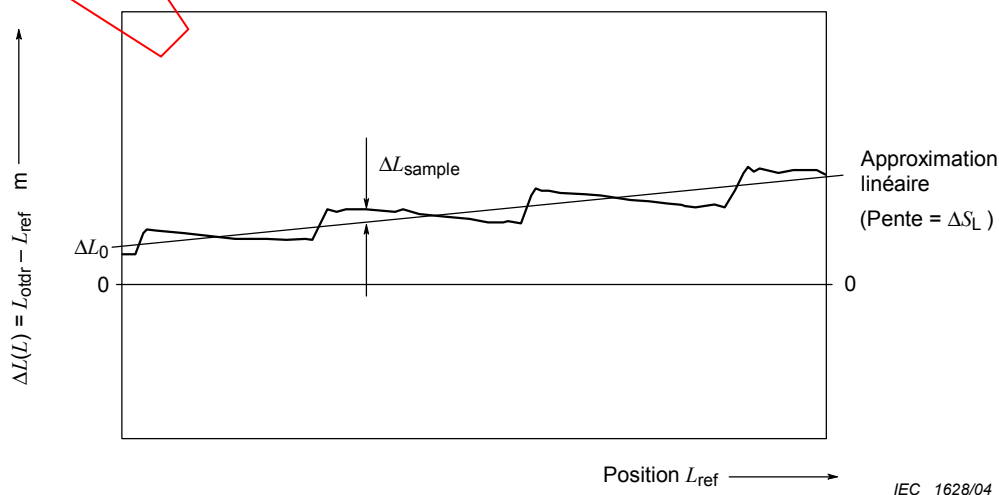


Figure 2 – Représentation de l'erreur de position $\Delta L(L)$

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.

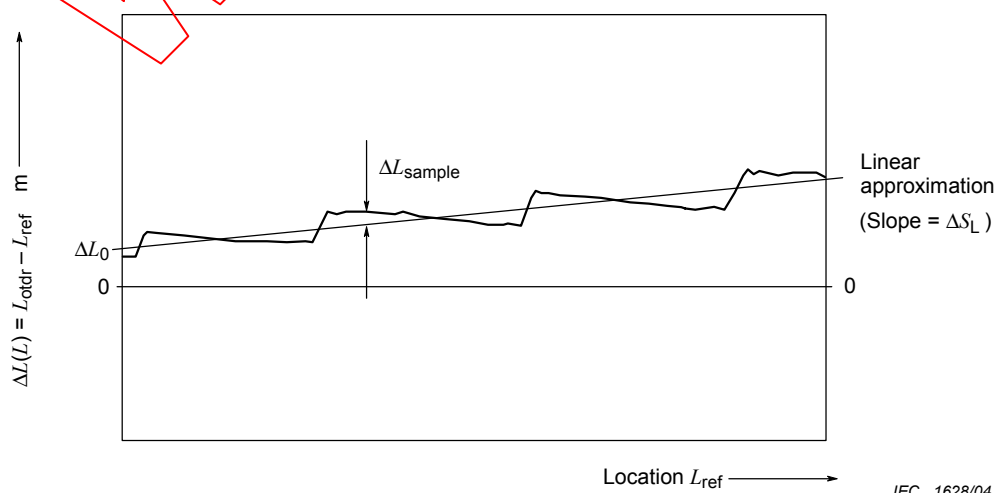


Figure 2 – Representation of the location error $\Delta L(L)$

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:

- un coupleur optique;
- un convertisseur optique/électrique;
- un générateur de retard numérique capable d'impulsion;
- un convertisseur électrique/optique;
- 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

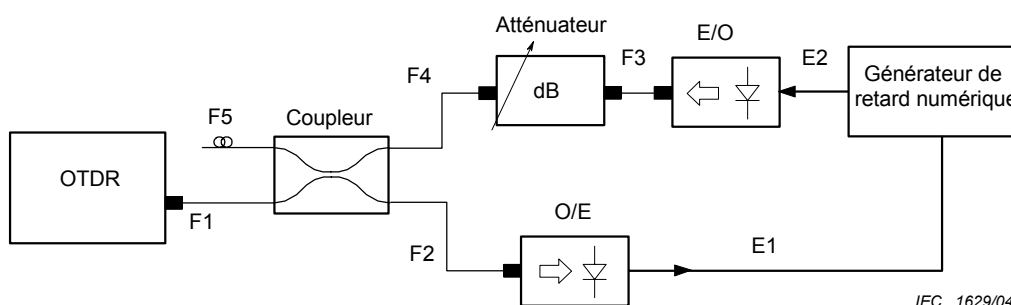
The external source method uses a calibrated time-delay generator to simulate the time delay in a fibre and an optical source to simulate the reflected or scattered signal from a fibre.

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.



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

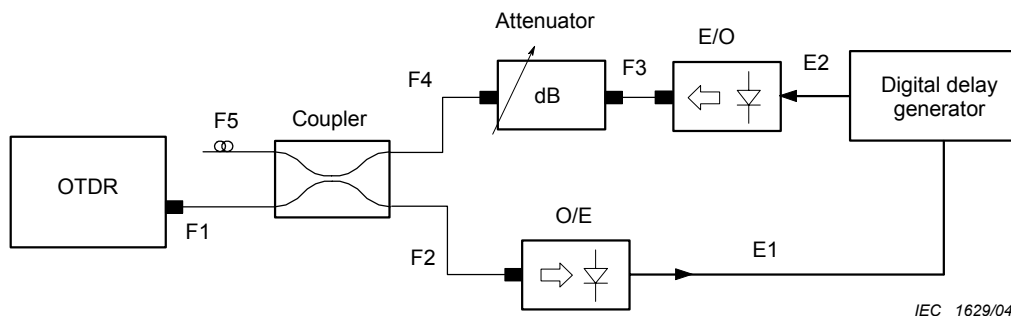
Le coupleur achemine le signal de l'OTDR vers le convertisseur O/E (détecteur). Le détecteur déclenche le générateur de retard qui, après une temporisation connue, déclenche une impulsion optique. Cette impulsion est ensuite renvoyée à l'OTDR par le coupleur.

Le convertisseur E/O peut être un simple un 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**

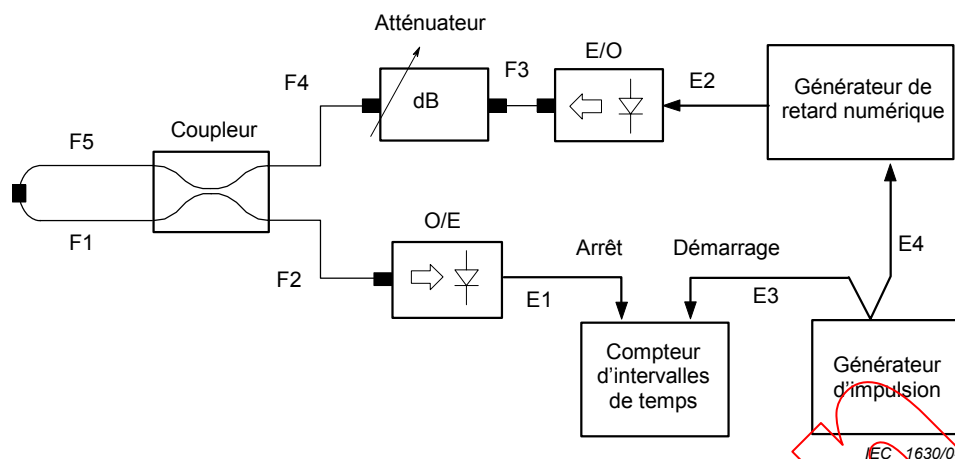
The coupler routes the OTDR signal to the O/E converter (detector). The detector triggers the delay generator, which, after a known time delay, causes an optical pulse to be generated. This pulse is then coupled back to the OTDR.

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.

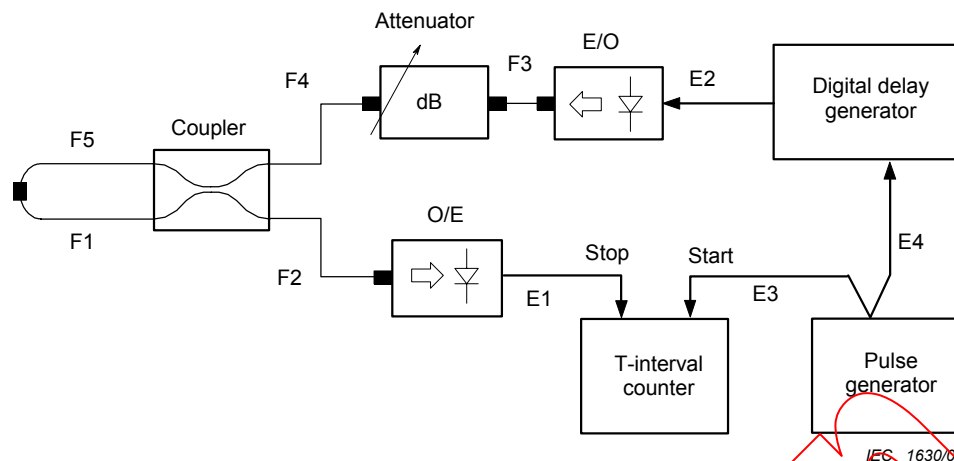
La source externe va ensuite générer une onde optique carrée qui, après reconversion en impulsion électrique, viendra arrêter le compteur d'intervalles de temps. Pour minimiser les incertitudes, il convient que les câbles électriques E3 et E4 soient de longueur égale. Il convient également que les fibres 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.

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

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);

$\sigma_{\langle \text{Dotdr} \rangle} / \langle D_{\text{otdr}} \rangle$ 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 $\sigma_{\langle \text{Dotdr} \rangle}$; 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.

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

where

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

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

$\sigma_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle} / \langle D_{\text{otdr}} \rangle$ 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 $\sigma_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}$; 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 $\sigma_{L_{readout}}$ (qui inclut l'erreur d'échantillonnage en distance) en divisant la plus grande différence par la racine carrée de 3. De manière alternative, $\sigma_{L_{readout}}$ 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:

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

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 ΔS_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

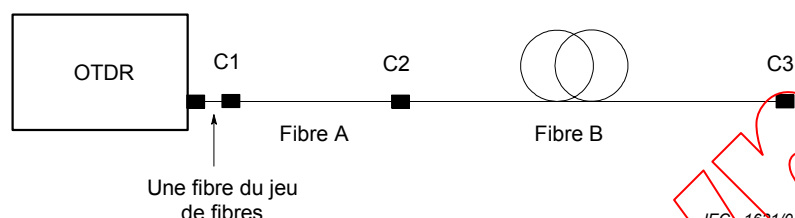
This method uses calibrated fibres with transit times precisely measured at the wavelength of the OTDR under test to calibrate the distance scale.

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.

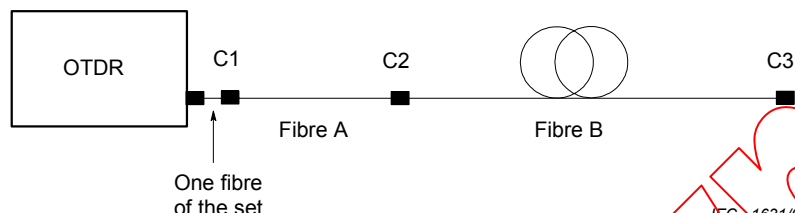
Pour étalonner la fibre, mesurer son temps de transit optique T_b comme indiqué à l'Article 5.

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