

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**62129**

Première édition  
First edition  
2006-01

---

---

**Etalonnage des analyseurs de spectre optique  
Calibration of optical spectrum analyzers**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 62129:2006

## Numérotation des publications

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

## Editions consolidées

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

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

- **Site web de la CEI ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))**
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/searchpub](http://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](http://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](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## Publication numbering

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

## Consolidated editions

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

## Further information on IEC publications

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

- **IEC Web Site ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))**
- **Catalogue of IEC publications**

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

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC

62129

Première édition  
First edition  
2006-01

---

---

**Etalonnage des analyseurs de spectre optique**  
**Calibration of optical spectrum analyzers**

LICENSED TO MECON Limited, - RANCHI/BANGALORE  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

© IEC 2006 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

XA

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

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	6
1 Domaine d'application.....	10
2 Références normatives .....	10
3 Termes et définitions .....	12
4 Exigences d'étalonnage d'essai .....	20
4.1 Préparation.....	20
4.2 Conditions de référence pour les essais.....	20
4.3 Traçabilité .....	20
5 Essai de résolution spectrale .....	22
5.1 Vue d'ensemble.....	22
5.2 Essai de la résolution spectrale.....	22
6 Etalonnage du niveau affiché de puissance .....	26
6.1 Vue d'ensemble.....	26
6.2 Etalonnage du niveau affiché de puissance (DPL) dans les conditions de référence.....	28
6.3 Etalonnage du niveau affiché de puissance (DPL) pour des conditions de fonctionnement.....	32
6.4 Calcul de l'incertitude étendue du niveau affiché de puissance .....	42
7 Etalonnage de la longueur d'onde .....	44
7.1 Vue d'ensemble.....	44
7.2 Etalonnage de la longueur d'onde dans les conditions de référence .....	46
7.3 Etalonnage de la longueur d'onde pour des conditions de fonctionnement.....	48
7.4 Calcul de l'incertitude étendue en longueur d'onde.....	52
8 Documents .....	54
8.1 Données de mesure et incertitude.....	54
8.2 Conditions de mesure .....	54
Annexe A (normative) Bases mathématiques pour le calcul de l'incertitude d'étalonnage .....	56
Annexe B (informative) Exemples de calcul de l'incertitude d'étalonnage .....	64
Annexe C (informative) En utilisant les résultats de l'étalonnage.....	80
Annexe D (informative) Références de longueur d'onde.....	90
Annexe E (informative) Lecture et références supplémentaires pour l'étalonnage de l'échelle de longueur d'onde .....	100
Figure 1 – Montage utilisant un laser à gaz dont la longueur d'onde est connue .....	22
Figure 2 – Montage utilisant une source à large bande avec un dispositif de transmission .....	22
Figure 3 – Montage utilisant une diode laser avec une longueur d'onde inconnue.....	24
Figure 4 – Montage pour l'étalonnage du niveau affiché de puissance dans les conditions de référence .....	28
Figure 5 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance en longueur d'onde de l'incertitude du niveau affiché de la puissance .....	32
Figure 6 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance en polarisation de l'incertitude du niveau affiché de la puissance .....	36

## CONTENTS

FOREWORD .....	7
1 Scope .....	11
2 Normative references .....	11
3 Terms and definitions .....	13
4 Calibration test requirements .....	21
4.1 Preparation .....	21
4.2 Reference test conditions .....	21
4.3 Traceability .....	21
5 Resolution bandwidth (spectral resolution) test .....	23
5.1 Overview .....	23
5.2 Resolution bandwidth (spectral resolution) test .....	23
6 Displayed power level calibration .....	27
6.1 Overview .....	27
6.2 Displayed power level (DPL) calibration under reference conditions .....	29
6.3 Displayed power level (DPL) calibration for operating conditions .....	33
6.4 Calculation of expanded uncertainty in displayed power level .....	43
7 Wavelength calibration .....	45
7.1 Overview .....	45
7.2 Wavelength calibration under reference conditions .....	47
7.3 Wavelength calibration for operating conditions .....	49
7.4 Calculation of expanded uncertainty in wavelength .....	53
8 Documentation .....	55
8.1 Measurement data and uncertainty .....	55
8.2 Measurement conditions .....	55
Annex A (normative) Mathematical basis for calculation of calibration uncertainty .....	57
Annex B (informative) Examples of calculation of calibration uncertainty .....	65
Annex C (informative) Using the calibration results .....	81
Annex D (informative) Wavelength references .....	91
Annex E (informative) Further reading and references for calibration of wavelength scale .....	101
Figure 1 – Setup using a gas laser whose wavelength is known .....	23
Figure 2 – Setup using a broadband source with a transmission device .....	23
Figure 3 – Setup using an LD with an unknown wavelength .....	25
Figure 4 – Setup for calibration of displayed power level under reference conditions .....	29
Figure 5 – Test configuration for determining the wavelength dependence of displayed power level uncertainty .....	33

Figure 7 – Configuration pour tester l'erreur de linéarité de l'incertitude du niveau affiché de puissance .....	38
Figure 8 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance en température de l'incertitude du niveau affiché de la puissance .....	40
Figure 9 – La configuration d'essai pour déterminer la dépendance en température de l'incertitude en longueur d'onde .....	52
Figure A.1 – Ecart et incertitude de type B, et comment remplacer chacune avec une incertitude de largeur plus grande de manière appropriée .....	58
Figure C.1 – Etalonnage de l'échelle de la longueur d'onde de l'OSA en utilisant des raies d'émission de krypton Intervalles de confiance de 95 % montrés .....	88
Figure D.1 – Absorption de la lumière d'une DEL par l'acétylène ( $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ ) .....	94
Figure D.2 – Absorption de la lumière d'une DEL par l'acide cyanhydrique ( $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ ) .....	96
Tableau 1 – Sources de lumière recommandées.....	24
Tableau C.1 – Résultats de l'étalonnage de l'OSA .....	86
Tableau C.2 – Résumé des paramètres d'étalonnage de l'OSA.....	88
Tableau D.1 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) des raies laser à gaz sélectionnées.....	90
Tableau D.2 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) des raies de référence de gaz rares .....	90
Tableau D.3 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) pour les raies d'absorptions de la bande $\nu_1+\nu_3$ de l'acétylène $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ [11] .....	92
Tableau D.4 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) pour les raies d'absorptions de la bande $\nu_1+\nu_3$ de l'acétylène $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ [11] .....	94
Table D.5 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) pour les raies d'absorptions de l'acide cyanhydrique ( $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ ) sélectionnée [12].....	96

Figure 6 – Test configuration for determining the polarization dependence of displayed power level uncertainty.....	37
Figure 7 – Configuration for testing linearity error of displayed power level uncertainty.....	39
Figure 8 – Test configuration for determining the temperature dependence of displayed power level uncertainty.....	41
Figure 9 – Test configuration for determining the temperature dependence of wavelength uncertainty.....	53
Figure A.1 – Deviation and uncertainty type B, and how to replace both with an appropriately larger uncertainty .....	59
95 % confidence intervals shown.....	89
Figure C.1 – Calibration of OSA wavelength scale using krypton emission lines .....	89
Figure D.1 – Absorption of LED light by acetylene ( $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ ) .....	95
Figure D.2 – Absorption of LED light by hydrogen cyanide ( $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ ).....	97
Table 1 – Recommended light sources .....	25
Table C.1 – OSA calibration results .....	87
Table C.2 – Summary of OSA calibration parameters .....	89
Table D.1 – Vacuum wavelengths (nm) of selected gas laser lines.....	91
Table D.2 – Vacuum wavelengths (nm) of noble gas reference lines .....	91
Table D.3 – Vacuum wavelengths (nm) for the $\nu_1+\nu_3$ band of acetylene $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ absorption lines [11].....	93
Table D.4 – Vacuum wavelengths (nm) for the $\nu_1+\nu_3$ band of acetylene $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ absorption lines [11].....	95
Table D.5 – Vacuum wavelengths (nm) of selected hydrogen cyanide ( $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ ) absorption lines [12].....	97

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## ÉTALONNAGE DES ANALYSEURS DE SPECTRE OPTIQUE

### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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 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 tels 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. Toute divergence entre toute Publication de la CEI et toute publication nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) 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 indispensable 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 62129 a été établie par le Comité d'Etudes 86: Fibres optiques.

La CEI 62129 annule et remplace la CEI/PAS 62129 et constitue une révision technique.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86/245/FDIS	86/250/RVD

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

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

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## CALIBRATION OF OPTICAL SPECTRUM ANALYZERS

## 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 62129 has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics.

IEC 62129 cancels and replaces IEC/PAS 62129, published in 2004, and constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
86/245/FDIS	86/250/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.

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.

# ÉTALONNAGE DES ANALYSEURS DE SPECTRE OPTIQUE

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit des procédures pour étalonner un analyseur de spectre optique destiné à mesurer la distribution en puissance d'un spectre optique. Cet analyseur est équipé d'un port d'entrée à utiliser avec un connecteur à fibres optiques.

Un analyseur de spectre optique est équipé des caractéristiques minimales suivantes:

- a) la capacité de visualiser à l'écran un spectre optique en fonction de longueurs d'onde absolues;
- b) un marqueur/curseur qui affiche la puissance optique et la longueur d'onde d'un point sur la visualisation de spectre.

NOTE La présente norme s'applique aux analyseurs de spectre optique développés pour être utilisés dans les communications par fibres optiques et elle est limitée aux équipements pouvant mesurer directement la sortie de spectre optique à partir d'une fibre optique, lorsque celle-ci est connectée au port d'entrée installé dans l'analyseur de spectre optique, au travers d'un connecteur de fibre optique.

En plus, un analyseur de spectre optique peut mesurer la distribution spectrale de puissance en fonction des longueurs d'onde absolues de la lumière testée et afficher les résultats de telles mesures. Il n'inclura pas d'appareil de mesure de la longueur d'onde optique mesurant uniquement les longueurs centrales, un interféromètre Fabry-Perot ou un monochromateur ne possédant pas d'unité d'affichage.

Les procédures décrites dans la présente norme sont considérées comme destinées à être effectuées principalement par des utilisateurs des analyseurs de spectre optique. Le document n'inclut donc pas les corrections utilisant les résultats de l'étalonnage dans le corps principal. Les procédures de correction sont décrites dans l'Annexe C. La présente norme sera à l'évidence utile aux laboratoires d'étalonnage et aux fabricants d'analyseurs de spectre optique.

## 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 60050-731, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 731: Télécommunications par fibres optiques*

CEI 60359, *Appareils de mesures électriques et électroniques – Expression des performances*

CEI 60793-1 (toutes les parties), *Fibres optiques – Partie 1: Méthodes de mesure et procédures d'essai*

CEI 60825-1, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur*

CEI 60825-2, *Sécurité des appareils à laser – Partie 2: Sécurité des systèmes de communication par fibres optiques*

CEI 61290-3-1, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 3-1: Paramètres du facteur de bruit – Méthode d'analyseur de spectre optique*

## CALIBRATION OF OPTICAL SPECTRUM ANALYZERS

### 1 Scope

This International Standard provides procedures for calibrating an optical spectrum analyzer designed to measure the power distribution of an optical spectrum. This analyzer is equipped with an input port for use with a fibre-optic connector.

An optical spectrum analyzer is equipped with the following minimum features:

- a) the ability to present a display of an optical spectrum with respect to absolute wavelength;
- b) a marker/cursor that displays the optical power and wavelength at a point on the spectrum display.

NOTE This standard applies to optical spectrum analyzers developed for use in fibre-optic communications, and is limited to equipment that can directly measure the optical spectrum output from an optical fibre, where the optical fibre is connected to an input port installed in the optical spectrum analyzer through a fibre-optic connector.

In addition, an optical spectrum analyzer can measure the spectral power distribution with respect to the absolute wavelength of the tested light and display the results of such measurements. It will not include an optical wavelength meter that measures only centre wavelengths, a Fabry-Perot interferometer or a monochromator that has no display unit.

The procedures outlined in this standard are considered to be mainly performed by users of optical spectrum analyzers. The document, therefore, does not include correction using the calibration results in the main body. The correction procedures are described in Annex C. Of course, this standard will be useful in calibration laboratories and for manufacturers of optical spectrum analyzers.

### 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 60050-731, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 731: Optical fibre communication*

IEC 60359, *Electrical and electronic measurement equipment – Expression of performance*

IEC 60793-1 (all parts), *Optical fibres – Part 1: Measurement methods and test procedures*

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

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

IEC 61290-3-1, *Optical amplifiers – Test methods – Part 3-1: Noise figure parameters – Optical spectrum analyzer method*

BIPM, CEI, FICC, ISO, UICPA, UIPPA, et OIML:1993, *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie*

BIPM, CEI, FICC, ISO, UICPA, UIPPA, et OIML, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions contenus dans la CEI 60050-731 ainsi que ceux qui suivent s'appliquent.

#### 3.1

##### étalonnage

ensemble des opérations qui établissent, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs indiquées par l'instrument de mesure et les valeurs connues correspondantes de cette quantité (voir aussi VIM, définition 6.11)

#### 3.2

##### étalonnage dans les conditions de référence

étalonnage qui inclut l'évaluation de l'incertitude d'essai de l'analyseur dans les conditions de référence (3.17)

#### 3.3

##### étalonnage pour les conditions de fonctionnement

étalonnage pour les conditions de fonctionnement d'un **analyseur de spectre optique** (3.16) incluant l'étalonnage de l'incertitude d'essai fonctionnel de l'analyseur

#### 3.4

##### longueur d'onde centrale

$\lambda_{\text{centrale}}$

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

Pour un spectre continu, la longueur d'onde centrale est définie par:

$$\lambda_{\text{centrale}} = (1 / P_{\text{totale}}) \int \rho(\lambda) \lambda \, d\lambda \quad (1)$$

Pour un spectre constitué de modes discrets, la longueur d'onde centrale est définie par:

$$\lambda_{\text{centrale}} = \sum_i P_i \lambda_i / \sum_i P_i \quad (2)$$

où

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

$\lambda_i$  est la  $i^{\text{e}}$  longueur d'onde discret;

$P_i$  est la puissance à  $\lambda_i$ , par exemple, exprimée en watts;

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

NOTE Les intégrales et les sommes ci-dessus s'étendent théoriquement sur le spectre entier de la source de lumière.

#### 3.5

##### niveau de confiance

estimation de la probabilité que la valeur réelle d'un paramètre mesuré se trouve dans la plage donnée (voir **incertitude étendue** (3.11))

BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML:1993, *International vocabulary of basic terms in metrology (VIM)*

BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*

### 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions contained in IEC 60050-731 and the following terms and definitions apply.

#### 3.1 calibration

set of operations which establishes, under specified conditions, the relationship between the values indicated by the measuring instrument and the corresponding known values of that quantity (see also VIM, definition 6.11)

#### 3.2 calibration under reference conditions

calibration which includes the evaluation of the test analyzer uncertainty under **reference conditions** (3.17)

#### 3.3 calibration for operating conditions

the calibration for operating conditions of an **optical spectrum analyzer** (3.16) including the evaluation of the test analyzer operational uncertainty

#### 3.4 centre wavelength

$\lambda_{\text{centre}}$

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

For a continuous spectrum the centre wavelength is defined as:

$$\lambda_{\text{centre}} = (1 / P_{\text{total}}) \int \rho(\lambda) \lambda \, d\lambda \quad (1)$$

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

$$\lambda_{\text{centre}} = \sum_i P_i \lambda_i / \sum_i P_i \quad (2)$$

where

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

$\lambda_i$  is the  $i^{\text{th}}$  discrete wavelength;

$P_i$  is the power at  $\lambda_i$ , for example, in watts;

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

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

#### 3.5 confidence level

an estimation of the probability that the true value of a measured parameter lies in the given range (see **expanded uncertainty** (3.11))

### 3.6

#### facteur de couverture

***k***

facteur utilisé pour calculer l'**incertitude étendue**  $U$  (3.11) à partir de l'**incertitude type**  $\sigma$  (3.21), (voir 3.11)

### 3.7

#### niveau affiché de puissance

**DPL**

niveau de puissance indiqué par un **analyseur de spectre optique** (3.16) soumis à un **étalonnage** (3.1) à une résolution spécifiée de longueur d'onde réglée

NOTE Avec un **analyseur de spectre optique**, le niveau de puissance pour une résolution donnée est mesuré et visualisé.

### 3.8

#### écart du niveau affiché de puissance

**$\Delta P$**

différence entre le niveau affiché de la puissance mesurée par l'analyseur d'essai,  $P_{OSA}$ , et la puissance de référence correspondante,  $P_{ref}$ , le tout divisé par la puissance de référence

$$\Delta P = (P_{OSA} - P_{ref}) / P_{ref} = P_{OSA} / P_{ref} - 1 \quad (3)$$

### 3.9

#### incertitude affichée du niveau de puissance

**$\sigma_{\Delta P}$**

**incertitude type** (3.21) de l'écart du niveau affiché de puissance

$$\sigma_{\Delta P} = \sigma(P_{OSA} / P_{ref} - 1) \quad (4)$$

NOTE Dans les formules ci-dessus,  $\sigma$  est à soumettre comme l'**incertitude type** (3.21).

### 3.10

#### plage de longueur d'onde affichée

la plage complète de longueur d'onde pour une visualisation d'un **analyseur de spectre optique** (3.16) un **état particulier de l'instrument** (3.12)

### 3.11

#### incertitude étendue

***U***

intervalle de confiance

plage de valeurs dans laquelle le paramètre de mesure, au **niveau de confiance** indiqué (3.5), est sensé se trouver. Il est égal au produit du **facteur de couverture** (3.6),  $k$ , par l'**incertitude normalisée** combinée  $\sigma$  (3.21).

$$U = k \sigma \quad (5)$$

NOTE Lorsque la distribution des incertitudes est considérée comme normale et qu'un grand nombre de mesures ont été effectuées, alors les **niveaux de confiance** (3.5) de 68,3 %, 95,5 % et 99,7 % correspondent, respectivement, à des valeurs de  $k$  de 1, 2 et 3.

Il convient que l'incertitude de mesure d'un **analyseur de spectre optique** (3.16) soit spécifiée sous la forme d'une incertitude étendue,  $U$

### 3.12

#### mode de l'appareil

description complète des conditions de mesure et de l'état d'un **analyseur de spectre optique** (3.16) pendant le processus d'étalonnage

NOTE Les paramètres typiques de l'état de l'instrument sont la **plage de longueur d'onde affichée** (3.10) en utilisation, la **résolution spectrale** (3.18), le mode d'affichage (watt or dBm), le temps de pré-chauffage et les autres réglages de l'instrument.

### 3.6 coverage factor

***k***

the coverage factor, *k*, is used to calculate the **expanded uncertainty** (3.11) *U* from the **standard uncertainty** (3.21),  $\sigma$  (see 3.11)

### 3.7 displayed power level

**DPL**

the power level indicated by an **optical spectrum analyzer** (3.16) undergoing **calibration** (3.1) at a specified wavelength resolution setting

NOTE With an **optical spectrum analyzer**, the power level for a set resolution is measured and displayed.

### 3.8 displayed power level deviation

**$\Delta P$**

the difference between the displayed power level measured by the test analyzer,  $P_{\text{OSA}}$ , and the corresponding reference power,  $P_{\text{ref}}$ , divided by the reference power

$$\Delta P = (P_{\text{OSA}} - P_{\text{ref}}) / P_{\text{ref}} = P_{\text{OSA}} / P_{\text{ref}} - 1 \quad (3)$$

### 3.9 displayed power level uncertainty

**$\sigma_{\Delta P}$**

the **standard uncertainty** (3.21) of the displayed power level deviation

$$\sigma_{\Delta P} = \sigma(P_{\text{OSA}} / P_{\text{ref}} - 1) \quad (4)$$

NOTE In the above formula,  $\sigma$  is to be understood as the **standard uncertainty** (3.21).

### 3.10 displayed wavelength range

the complete wavelength range shown in an **optical spectrum analyzer** (3.16) display for a particular **instrument state** (3.12)

### 3.11 expanded uncertainty

***U***

confidence interval

the expanded uncertainty, *U*, is the range of values within which the measurement parameter, at the stated **confidence level** (3.5), can be expected to lie. It is equal to the **coverage factor** (3.6), *k*, times the combined **standard uncertainty** (3.21)  $\sigma$ :

$$U = k \sigma \quad (5)$$

NOTE When the distribution of uncertainties is assumed to be normal and a large number of measurements are made, then **confidence levels** (3.5) of 68,3 %, 95,5 % and 99,7 % correspond to *k* values of 1, 2 and 3 respectively.

The measurement uncertainty of an **optical spectrum analyzer** (3.16) should be specified in the form of expanded uncertainty, *U*.

### 3.12 instrument state

a complete description of the measurement conditions and state of an **optical spectrum analyzer** (3.16) during the calibration process

NOTE Typical parameters of the instrument state are the **displayed wavelength range** (3.10) in use, the **resolution bandwidth (spectral resolution)** (3.18), the display mode (watt or dBm), warm-up time and other instrument settings.

### 3.13

#### **résultat de mesure**

sortie affichée ou électrique de tout **analyseur de spectre optique** (3.16) en longueur d'onde, exprimée en nm ou en  $\mu\text{m}$ , et en niveau de puissance, exprimé en mW ou en dBm, après toutes les opérations suggérées par les instructions d'utilisation, par exemple le pré-chauffage

### 3.14

#### **plage de mesure de longueur d'onde**

la plage de longueur d'onde de la lumière injectée sur laquelle une performance de l'**analyseur de spectre optique** (3.16) est spécifiée

### 3.15

#### **conditions de fonctionnement**

toutes les conditions des qualités de mesure et d'influence, et autres exigences importantes que l'**incertitude étendue** (3.11) d'un **analyseur de spectre optique** (3.16) est destinée à satisfaire

[VIM, définition 5.5, modifiée]

### 3.16

#### **analyseur du spectre optique**

##### **OSA**

instrument optique pour mesurer la distribution de puissance d'un spectre en fonction de la longueur d'onde (fréquence)

NOTE Un OSA est équipé d'un port d'entrée à utiliser avec un connecteur à fibres optiques et le spectre est obtenu à partir de la lumière injectée à l'intérieur du port d'entrée; l'instrument comporte également une fonction de visualisation à l'écran.

### 3.17

#### **conditions de référence**

réglage approprié des paramètres d'influence, ainsi que leurs valeurs nominales et leurs bandes de tolérances, en fonction desquels l'incertitude aux conditions de référence est spécifiée

[CEI 60359, définition 3.3.10, modifiée]

NOTE Chaque bande de tolérance comporte à la fois l'incertitude possible des conditions et l'incertitude lors de la mesure des conditions.

Les conditions de référence incluent normalement les paramètres suivants et, si cela est nécessaire, leurs bandes de tolérance: la date de référence, la température de référence, l'humidité de référence, la pression atmosphérique de référence, la source de lumière de référence, le **niveau affiché de puissance** de référence (3.7), la fibre de référence, la combinaison connecteur-adaptateur de référence, la longueur d'onde de référence, la largeur de bande (spectrale) de référence et le réglage de la **largeur résolution spectrale** (3.18).

### 3.18

#### **résolution spectrale**

##### **R**

largeur totale à mi-hauteur du maximum (FWHM) d'un spectre affiché obtenu par un analyseur d'essai lors de l'utilisation d'une source dont la résolution spectrale (3.20) est suffisamment étroite, c'est-à-dire beaucoup plus petite que la résolution spectrale mesurée

### 3.19

#### **rapport de suppression des modes latéraux**

##### **SMSR**

le rapport de la puissance crête entre le spectre du mode principal et le spectre du mode latéral le plus large, ceci dans une diode laser unimodale comme une diode laser DFB-LD

NOTE Le rapport de suppression des modes latéraux est couramment exprimé en dB.

**3.13****measurement result**

the displayed or electrical output of any **optical spectrum analyzer** (3.16) in wavelength, in units of nm or  $\mu\text{m}$ , and in power level, in units of mW or dBm, after completing all operations suggested by the operating instructions, for example warm-up

**3.14****measurement wavelength range**

the wavelength range of injected light over which an **optical spectrum analyzer** (3.16) performance is specified

**3.15****operating conditions**

all conditions of the measured and influential qualities, and other important requirements which the **expanded uncertainty** (3.11) of an **optical spectrum analyzer** (3.16) is intended to be met

[VIM, definition 5.5 modified]

**3.16****optical spectrum analyzer****OSA**

an optical instrument for measuring the power distribution of a spectrum with respect to wavelength (frequency)

NOTE An OSA is equipped with an input port for use with a fibre-optic connector, and the spectrum is obtained from light injected into the input port; the instrument also includes a screen-display function.

**3.17****reference conditions**

an appropriate set of influencing parameters, their nominal values and their tolerance bands, with respect to which the uncertainty at reference conditions is specified

[IEC 60359, definition 3.3.10 modified]

NOTE Each tolerance band includes both the possible uncertainty of the condition and the uncertainty in measuring the condition.

The reference conditions normally include the following parameters and, if necessary, their tolerance bands: reference date, reference temperature, reference humidity, reference atmospheric pressure, reference light source, reference **displayed power level** (3.7), reference fibre, reference connector-adaptor combination, reference wavelength, reference (spectral) bandwidth and **resolution bandwidth (spectral resolution)** (3.18) set.

**3.18****resolution bandwidth****R**

spectral resolution

full width at half maximum (FWHM) of the displayed spectrum obtained by the test analyzer when using a source whose **spectral bandwidth** (3.20) is sufficiently narrow, that is, very much less than the resolution bandwidth being measured

**3.19****side-mode suppression ratio****SMSR**

the peak power ratio between the main mode spectrum and the largest side mode spectrum in a single-mode laser diode such as a DFB-LD

NOTE The side-mode suppression ratio is usually described in dB.

### 3.20

#### largeur de bande spectrale

##### **B**

pour les besoins de la présente norme, largeur totale à mi-hauteur du maximum (FWHM) de la largeur spectrale de la source.

Si la source présente un spectre continu, alors la largeur de bande spectrale, *B*, est la FWHM de spectre.

Si la source est une diode laser avec un spectre à mode longitudinal multiple, alors la largeur de bande spectrale FWHM *B* est la largeur de bande spectrale efficace (RMS), multipliée par 2,35 (en supposant que la source possède une enveloppe Gaussienne):

$$B = 2,35 \left[ \left\{ \left( 1 / P_{\text{totale}} \right) \times \left[ \sum_i P_i \lambda_i^2 \right] \right\} - \lambda_{\text{centrale}}^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

où

$\lambda_{\text{centrale}}$  est la **longueur d'onde centrale** (3.4) d'une diode laser, exprimée en nm;

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

$P_i$  est la puissance du *i*<sup>ème</sup> mode longitudinal, exprimée en watts;

$\lambda_i$  est la longueur d'onde du *i*<sup>ème</sup> mode longitudinal, exprimée en nm.

### 3.21

#### incertitude type

##### **$\sigma$**

incertitude d'un résultat de mesure exprimée comme un écart normalisé

NOTE Pour des informations supplémentaires, voir l'Annexe A et le Guide ISO/CEI sur l'Expression de l'incertitude de mesure (ISO/CEI GUIDE EXPRES).

### 3.22

#### incertitude de type A

type d'incertitude obtenu par une analyse statistique d'une série d'observations, comme lors de l'évaluation de certains effets aléatoires de mesure (voir l'ISO/CEI GUIDE EXPRES)

### 3.23

#### incertitude de type B

type d'incertitude obtenu par des moyens autres qu'une analyse statistique des observations, par exemple une estimation des sources probables d'incertitudes, comme lors de l'évaluation des effets systématiques de mesure (voir l'ISO/CEI GUIDE EXPRES)

NOTE Les autres moyens peuvent inclure des données de mesures précédentes, l'expérience avec ou la connaissance générale du comportement et des propriétés des matériels en question, des instruments, des spécifications fabricants, des données fournies dans l'étalonnage et autres certificats, et des incertitudes assignées aux données de référence prises des manuels.

### 3.24

#### écart en longueur d'onde

##### **$\Delta\lambda$**

la différence entre la **longueur d'onde centrale** (3.4) mesurée par l'analyseur d'essai,  $\lambda_{\text{OSA}}$ , et la longueur d'onde référence,  $\lambda_{\text{ref}}$ , exprimée en nm ou en  $\mu\text{m}$

$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{OSA}} - \lambda_{\text{ref}} \quad (7)$$

### 3.25

#### incertitude de longueur d'onde

##### **$\sigma\Delta\lambda$**

l'incertitude type (3.21) de l'écart de longueur d'onde (3.24), exprimée en nm ou en  $\mu\text{m}$

### 3.20 spectral bandwidth $B$

for the purpose of this standard, the FWHM of the spectral width of the source

If the source exhibits a continuous spectrum, then the spectral bandwidth,  $B$ , is the FWHM of the spectrum.

If the source is a laser diode with a multiple-longitudinal mode spectrum, then the FWHM spectral bandwidth  $B$  is the RMS spectral bandwidth, multiplied by 2,35 (assuming the source has a Gaussian envelope):

$$B = 2,35 \left[ \left\{ (1 / P_{\text{total}}) \times \left[ \sum_i P_i \lambda_i^2 \right] \right\} - \lambda_{\text{centre}}^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

where

$\lambda_{\text{centre}}$  is the **centre wavelength** (3.4) of laser diode, in nm;

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

$P_i$  is the power of  $i^{\text{th}}$  longitudinal mode, in watts;

$\lambda_i$  is the wavelength of  $i^{\text{th}}$  longitudinal mode, in nm.

### 3.21 standard uncertainty $\sigma$

uncertainty of a measurement result expressed as a standard deviation

NOTE For further information, see Annex A and the ISO/IEC Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (ISO/IEC GUIDE EXPRES).

### 3.22 uncertainty type A

type of uncertainty obtained by a statistical analysis of a series of observations, such as when evaluating certain random effects of measurement (see ISO/IEC GUIDE EXPRES)

### 3.23 uncertainty type B

type of uncertainty obtained by means other than a statistical analysis of observations, for example an estimation of probable sources of uncertainty, such as when evaluating systematic effects of measurement (see ISO/IEC GUIDE EXPRES)

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

### 3.24 wavelength deviation $\Delta\lambda$

the difference between the **centre wavelength** (3.4) measured by the test analyzer,  $\lambda_{\text{OSA}}$ , and the reference wavelength,  $\lambda_{\text{ref}}$ , in nm or  $\mu\text{m}$

$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{OSA}} - \lambda_{\text{ref}} \quad (7)$$

### 3.25 wavelength uncertainty $\sigma_{\Delta\lambda}$

the **standard uncertainty** (3.21) of the **wavelength deviation** (3.24), in nm or  $\mu\text{m}$

## 4 Exigences d'étalonnage d'essai

### 4.1 Préparation

Les recommandations suivantes s'appliquent.

Il convient que les étalonnages soient réalisés dans des installations séparées des autres fonctions de l'organisation. Il convient que cette séparation comprenne l'emplacement de laboratoire et des équipements de mesure.

Il convient que le laboratoire d'étalonnage exploite un système de contrôle de qualité approprié à la plage de mesures qu'il réalise (par exemple, l'ISO 9000), lorsque l'étalonnage est effectué dans des laboratoires d'étalonnage. Il convient qu'un examen minutieux et indépendant des résultats de mesure, des étalonnages intermédiaires et de la préparation des certificats d'étalonnage, soit effectué.

Les conditions d'environnement doivent répondre au degré d'incertitude exigé pour l'étalonnage:

- a) l'environnement doit être propre;
- b) la surveillance et le contrôle de la température sont exigés;
- c) toutes les sources lasers doivent fonctionner de façon sûres (se référer à la CEI 60825-1).

Réaliser tous les essais à une température ambiante de  $(23 \pm 3)$  °C avec une humidité relative de  $(50 \pm 20)$  %, sauf spécifications contraires. Donner à l'équipement d'essai un minimum de 2 h avant l'essai pour lui permettre d'atteindre l'équilibre avec son environnement. Laisser à l'analyseur de spectre optique une période de pré-chauffage conformément aux instructions du fabricant.

### 4.2 Conditions de référence pour les essais

Les conditions de référence pour les essais incluent généralement les paramètres suivants et, si nécessaire, leurs plages de tolérance: la date, la température, l'humidité relative, le niveau affiché de puissance, la longueur d'onde, la source de lumière, la fibre, la combinaison connecteur-adaptateur, le réglage de la largeur de bande (spectrale) et de la résolution spectrale. Sauf spécifications contraires, utiliser une amorce d'entrée de fibre optique unimodale comme exigé par la série CEI 60793-1, possédant une longueur d'au moins 2 m.

Faire fonctionner l'analyseur de spectre optique conformément aux spécifications du fabricant et aux procédures de fonctionnement. Lorsque cela est possible, sélectionner une plage de conditions d'essai et des paramètres qui simulent les conditions de fonctionnement réelles de l'analyseur en essai. Choisir ces paramètres de façon à optimiser la précision de l'analyseur et les capacités de résolution, comme spécifié dans les procédures de fonctionnement du fabricant.

Documenter les conditions comme spécifié à l'Article 8.

Les résultats d'étalonnage s'appliquent uniquement aux réglages des conditions d'essai utilisées dans le processus d'étalonnage. En raison du potentiel de rayonnement dangereux, s'assurer d'établir et de maintenir le laser dans des conditions de sécurité. Se référer à la CEI 60825-1 et à la CEI 60825-2.

### 4.3 Traçabilité

S'assurer que tout équipement d'essai ayant une influence significative sur les résultats d'étalonnage soit étalonné dans une chaîne continue par rapport à la norme nationale appropriée ou à une constante naturelle physique. Sur demande, spécifier cet équipement d'essai et sa (ses) chaîne(s) d'étalonnage. La (les) période(s) de ré-étalonnage doivent être définie(s) et documentée(s).

## 4 Calibration test requirements

### 4.1 Preparation

The following recommendations apply.

Calibrations should be carried out in facilities that are separate from other functions of the organization. This separation should include laboratory accommodation and measurement equipment.

The calibration laboratory should operate a quality control system appropriate to the range of measurement it performs (for example ISO 9000), when the calibration is performed in calibration laboratories. There should be independent scrutiny of the measurement results, intermediary calculations and preparation of calibration certificates.

The environmental conditions shall be commensurate with the degree of uncertainty that is required for calibration:

- a) the environment shall be clean;
- b) temperature monitoring and control is required;
- c) all laser sources shall be safely operated (refer to IEC 60825-1).

Perform all tests at an ambient room temperature of  $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$  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 optical spectrum analyzer a warm-up period in accordance with the manufacturer's instructions.

### 4.2 Reference test conditions

The reference test conditions usually include the following parameters and, if necessary, their tolerance bands: date, temperature, relative humidity, displayed power level, wavelength, light source, fibre, connector-adapter combination, (spectral) bandwidth and resolution bandwidth (spectral resolution) set. Unless otherwise specified, use a single-mode optical fibre input pigtail as prescribed by the IEC 60793-1 series, having a length of at least 2 m.

Operate the optical spectrum analyzer in accordance with the manufacturer's specifications and operating procedures. Where practical, select a range of test conditions and parameters which emulate the actual field operating conditions of the analyzer under test. Choose these parameters so as to optimize the analyzer's accuracy and resolution capabilities, as specified by the manufacturer's operating procedures.

Document the conditions as specified in Clause 8.

The calibration results only apply to the set of test conditions used in the calibration process. 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 any 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 re-calibration period(s) shall be defined and documented.

## 5 Essai de résolution spectrale

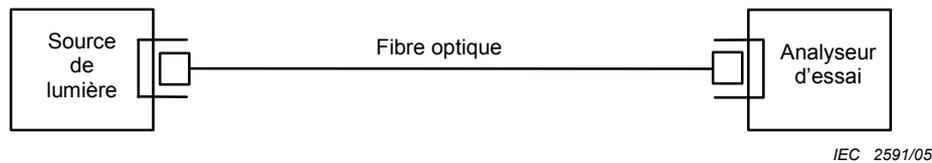
### 5.1 Vue d'ensemble

Il convient que la résolution spectrale de l'analyseur d'essai soit testée avant le niveau affiché de puissance et l'étalonnage de la longueur d'onde parce que la résolution spectrale influence leur étalonnage. Cet essai est effectué sous des conditions d'étalonnage de référence. La longueur d'onde est donnée dans le vide. L'étalonnage de la largeur de bande optique est décrit dans la CEI 61290-3-1.

NOTE Il convient que le résultat de l'essai de résolution spectrale décrit ici soit utilisé comme largeur de bande optique (en unité de longueur d'onde) pour la mesure de la figure de bruit d'un amplificateur optique.

### 5.2 Essai

Des montages alternatifs pour la résolution spectrale sont donnés aux Figures 1, 2, 3. Dans le montage de la Figure 1, un laser à gaz, dont la longueur d'onde est connue, est utilisé comme source de lumière. La Figure 2 montre un montage dans lequel une source à large bande est utilisée conjointement avec un dispositif de transmission avec des longueurs d'onde connues (traçables) de transmission crête (ou nulle). La Figure 3 montre un montage dans lequel une diode laser (LD), dont la longueur d'onde est connue, est utilisée comme source de lumière.



- a) Pour l'essai de la résolution spectrale,
- b) pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans les conditions de référence, et
- c) pour déterminer la dépendance en longueur d'onde de l'incertitude de longueur d'onde.

**Figure 1 – Montage utilisant un laser à gaz dont la longueur d'onde est connue**



- a) Pour l'essai de la résolution spectrale,
- b) pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans les conditions de référence, et
- c) pour déterminer la dépendance en longueur d'onde de l'incertitude de longueur d'onde.

**Figure 2 – Montage utilisant une source à large bande avec un dispositif de transmission**

## 5 Resolution bandwidth (spectral resolution) test

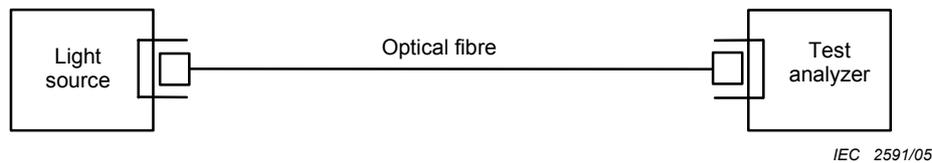
### 5.1 Overview

The resolution bandwidth (spectral resolution) of the test analyzer should be tested prior to displayed power level and wavelength calibration because the resolution bandwidth influences their calibration. This test is performed under reference calibration conditions. Wavelength is shown in a vacuum. Calibration of optical bandwidth is described in IEC 61290-3-1.

NOTE The result of the resolution bandwidth (spectral resolution) test described here should be employed as the optical bandwidth (in wavelength units) for the measurement of optical-amplifier noise-figure.

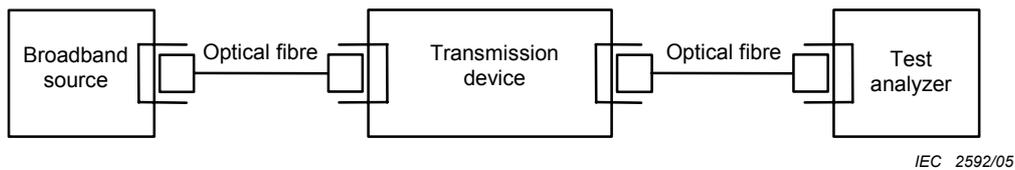
### 5.2 Resolution bandwidth (spectral resolution) test

Alternative setups for the resolution bandwidth are shown in Figures 1, 2, and 3. In the Figure 1 setup, a gas laser whose wavelength is known is used as the light source. Figure 2 shows a setup in which a broadband source is used in conjunction with a transmission device with known (traceable) wavelengths of peak (or null) transmission. Figure 3 shows a setup in which a laser diode (LD) whose wavelength is unknown is used for the light source.



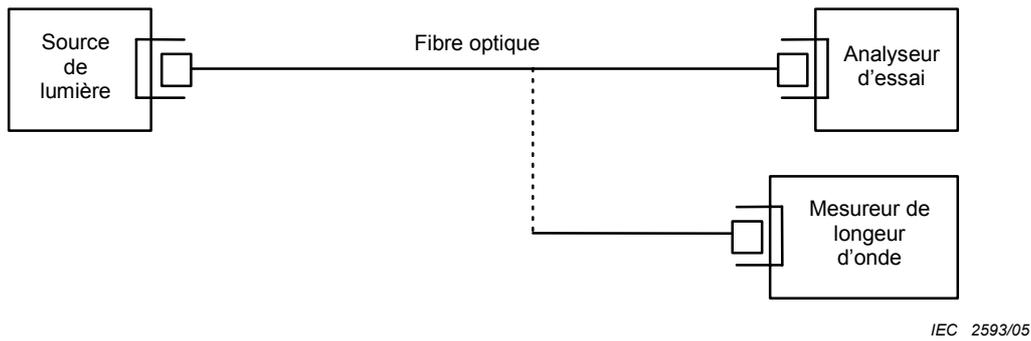
- a) For resolution bandwidth test,
- b) for wavelength calibration under reference conditions, and
- c) for determining the wavelength dependence of wavelength uncertainty.

**Figure 1 – Setup using a gas laser whose wavelength is known**



- a) For resolution bandwidth test,
- b) for wavelength calibration under reference conditions, and
- c) for determining the wavelength dependence of wavelength uncertainty.

**Figure 2 – Setup using a broadband source with a transmission device**



- a) Pour l'essai de résolution spectrale,
- b) pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans les conditions de référence, et
- c) pour déterminer la dépendance en longueur d'onde de l'incertitude de longueur d'onde.

**Figure 3 – Montage utilisant une diode laser avec une longueur d'onde inconnue**

**5.2.1 Equipement pour l'essai de la résolution spectrale**

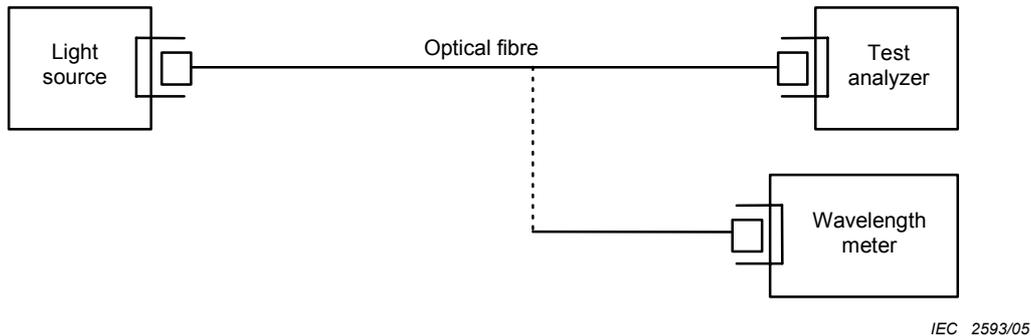
- a) **Source de lumière:** utiliser la source de lumière prescrite pour l'étalonnage de l'analyseur d'essai; si aucune source de lumière n'est prescrite, en utiliser une avec une largeur de bande spectrale et une stabilité de longueur d'onde suffisante pour la résolution spectrale minimale prescrite pour l'analyseur d'essai.

Les sources de lumière recommandées sont des lasers tels que ceux listés au Tableau 1, une diode laser (LD) ou un autre laser (pouvant être accordable) possédant une largeur de bande spectrale beaucoup plus étroite que la résolution spectrale de l'analyseur d'essai. Une source à large bande peut également être utilisé conjointement avec un dispositif de transmission avec des longueurs d'onde connues (traçables) de transmission crête (ou nulle). Le dispositif de transmission peut être, par exemple, une série de filtres à bandes étroites fixées, des raies d'absorption dans un support gazeux, ou des interféromètres de type Fabry-Perot. L'Annexe D indique de nombreuses références de longueur d'onde stable. Il convient que les références utilisées possèdent une stabilité de longueur d'onde, une largeur de bande spectrale et une stabilité de puissance suffisantes pour l'essai de la résolution spectrale.

**Tableau 1 – Sources de lumière recommandées**

Source lumineuse	Longueur d'onde (nm) [vide]
Laser Ar	488,122
	514,673
Laser He-Ne	632,991
	1 152,590
	1 523,488

- b) **Appareil de mesure de la longueur d'onde:** un instrument pour mesurer la longueur d'onde d'une source de lumière. La précision de cet appareil doit être suffisamment meilleure que la précision exigée dans l'essai de la longueur d'onde. Cet instrument est utilisé lorsqu'une diode laser (LD) avec une longueur d'onde inconnue est utilisée comme source de lumière.
- c) **Fibre optique:** fibre optique unimodale comme prescrite par la série CEI 60793-1.



- a) For resolution bandwidth test,
- b) for wavelength calibration under reference conditions, and
- c) for determining the wavelength dependence of wavelength uncertainty.

**Figure 3 – Setup using an LD with an unknown wavelength**

### 5.2.1 Equipment for resolution bandwidth (spectral resolution) test

- a) **Light source:** use the light source prescribed for calibrating the test analyzer; if a light source is not prescribed, use one with a spectral bandwidth and wavelength stability sufficient for the minimum resolution bandwidth prescribed for the test analyzer.

Recommended light sources are lasers such as those listed in Table 1, a laser diode (LD) or other laser (which may be tunable) having a spectral bandwidth much narrower than the resolution bandwidth of the test analyzer. Also, a broadband source may be used in conjunction with a transmission device with known (traceable) wavelengths of peak (or null) transmission. The transmission device may be, for example, a series of fixed narrowband filters, absorption lines in gaseous media, or Fabry-Perot interferometers. Annex D tabulates many stable wavelength references. The reference used should have a wavelength stability, spectral bandwidth and power stability sufficient for the resolution bandwidth test.

**Table 1 – Recommended light sources**

Light source	Wavelength (nm) [vac]
Ar laser	488,122
	514,673
He-Ne laser	632,991
	1 152,590
	1 523,488

- b) **Wavelength meter:** an instrument for measuring the wavelength of a light source. Its precision must be sufficiently better than the precision required in the wavelength test. This instrument is used when a laser diode (LD) with an unknown wavelength is used as the light source.
- c) **Optical fibre:** single-mode optical fibre as prescribed by the IEC 60793-1 series.

### 5.2.2 Procédure d'essai pour la résolution spectrale

En utilisant le montage d'essai donné aux Figures 1, 2 ou 3, régler la plage de mesure de la longueur d'onde de l'analyseur d'essai de façon qu'il intègre la longueur d'onde de la source de lumière.

- a) Régler la résolution spectrale de l'analyseur d'essai à cette valeur spécifiée. Laisser la valeur spécifiée à  $R_{set}$ .
- d) Mesurer la résolution de la largeur de bande spectrale affichée, c'est-à-dire l'intervalle de longueur d'onde à 3 dB en dessous de la valeur crête, comme  $R_{OSA_i}$ . Répéter cette mesure au moins dix fois et calculer la résolution moyenne.

$$R_{OSA} = \sum_{i=1}^m R_{OSA_i} / m \tag{8}$$

où  $m$  est le nombre de mesures.

- e) Calculer le rapport de différence de la valeur de l'OSA à partir du réglage de résolution spectrale utilisant l'équation (9).

$$\Delta r_{diff} = R_{OSA} / R_{set} - 1 \tag{9}$$

- f) Si cela est nécessaire, répéter cette procédure avec différents réglages de la résolution spectrale.

NOTE 1 Lorsque l'analyseur d'essai possède une erreur linéaire étendue en longueur d'onde, il est nécessaire de régler la source de lumière légèrement autour de la longueur d'onde intéressante, tout en effectuant des mesures multiples de largeur de bande affichée à 3 dB pour obtenir une mesure précise de la résolution spectrale réelle à une longueur d'onde donnée. La plage de réglage exigée est de l'ordre de  $\pm 1$  nm, de sorte que cette mesure puisse être effectuée avec un laser DFB à température accordée, un laser à cavité externe ou un laser à fibre accordable. En moyennant les lectures de la résolution spectrale, une mesure plus précise de la résolution spectrale réelle peut être obtenue.

NOTE 2 Si la résolution spectrale doit être corrigée en fonction des résultats d'étalonnage, ceci est généralement mis en œuvre en effectuant des corrections logicielles sur l'instrument, des corrections mathématiques sur les résultats ou des ajustements matériels de l'instrument. Une fois les ajustements effectués, il est judicieux de répéter l'essai pour vérifier que la correction a fonctionné correctement. Voir l'Annexe C.

## 6 Etalonnage du niveau affiché de puissance

### 6.1 Vue d'ensemble

Les facteurs composant l'incertitude dans le niveau affiché de puissance de l'analyseur d'essai se composent de:

- a) l'incertitude intrinsèque de l'analyseur d'essai comme donnée dans l'essai dans les conditions de référence et
- b) des incertitudes partielles dues à la dépendance en longueur d'onde, à la dépendance en polarisation, à la dépendance en linéarité et à la dépendance en température comme donné dans les essais sous des conditions de fonctionnement.

Si l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des conditions de référence, il est nécessaire d'obtenir les incertitudes partielles.

L'incertitude intrinsèque sous les conditions de référence est obtenue par la procédure d'étalonnage décrite en 6.2. Les incertitudes partielles sont obtenues par la procédure d'étalonnage décrite par les paragraphes 6.3.1 à 6.3.4 en conformité avec les facteurs individuels, c'est-à-dire la longueur d'onde, la polarisation, la linéarité et la température. Lorsque l'analyseur d'essai est uniquement utilisé dans les conditions de référence, les procédures d'étalonnage décrites en 6.3 ne sont pas essentielles, et donc elles ne sont pas obligatoires.

NOTE 1 Comme l'unité généralement utilisée pour les valeurs de mesure, dBm, n'est pas adaptée pour l'accumulation d'incertitude, les unités linéaires (mW,  $\mu$ W) sont utilisées. Les résultats de telles accumulations peuvent être convertis en retour en dB pour exprimer l'incertitude totale lorsque cela est nécessaire.

NOTE 2 Un appareil de mesure de la puissance et un appareil de mesure de la puissance de référence seront nécessaires pour vérifier la puissance de la source de lumière, à chaque fois qu'une nouvelle longueur d'onde de la source est utilisée.

NOTE 3 Il convient que l'état de polarisation ne soit pas modifié pendant l'étalonnage sauf dans le cas du contrôle par un contrôleur de polarisation optionnel.

### 5.2.2 Test procedure for resolution bandwidth (spectral resolution)

Using the test setup shown in Figure 1, 2 or 3, set the wavelength measurement range of the test analyzer so that it includes the wavelength of the light source.

- a) Set the resolution bandwidth of the test analyzer to its specified value. Let the specified value be  $R_{\text{set}}$ .
- d) Measure the resolution of the displayed spectral bandwidth, i.e. the wavelength interval 3 dB below the peak value, as  $R_{\text{OSA}i}$ . Repeat this measurement at least ten times and calculate the average resolution.

$$R_{\text{OSA}} = \sum_{i=1}^m R_{\text{OSA}i} / m \quad (8)$$

where  $m$  is the number of measurements.

- e) Calculate the difference ratio of the OSA value from the resolution bandwidth setting using Equation (9).

$$\Delta r_{\text{diff}} = R_{\text{OSA}} / R_{\text{set}} - 1 \quad (9)$$

- f) If necessary, repeat this procedure with different resolution bandwidth settings.

NOTE 1 When the test analyzer has a wavelength span linearity error, it is necessary to tune the light source slightly around the wavelength of interest, while making multiple measurements of the displayed 3 dB bandwidth to obtain an accurate measurement of the true resolution bandwidth at a given wavelength. The required tuning range is of the order of  $\pm 1$  nm, so this measurement can be made with a temperature-tuned DFB laser, an external cavity laser or a tunable fibre laser. By averaging the resolution bandwidth readings, a more accurate measurement of the true resolution bandwidth can be obtained.

NOTE 2 If the resolution bandwidth must be corrected based on the calibration results, this is typically implemented by making software corrections to the instrument, mathematical corrections to the results, or instrument hardware adjustments. Once the adjustments have been made, it is advisable to repeat the test to verify that the correction has operated correctly. See Annex C.

## 6 Displayed power level calibration

### 6.1 Overview

The factors making up uncertainty in the displayed power level of the test analyzer consist of

- a) the intrinsic uncertainty of the test analyzer as found in the test under reference conditions, and
- b) partial uncertainties due to wavelength dependence, polarization dependence, linearity and temperature dependence as found in tests under operating conditions.

If the test analyzer is used beyond the reference conditions, it is necessary to obtain the partial uncertainties.

The intrinsic uncertainty under the reference conditions is obtained by the calibration procedure described in 6.2. The partial uncertainties are obtained by the calibration procedure described in 6.3.1 to 6.3.4 in compliance with the individual factor, i.e. wavelength, polarization, linearity and temperature. When the test analyzer is only used under reference conditions, the calibration procedures described in 6.3 are not essential, that is, they are not mandatory.

NOTE 1 Since the unit generally used for measurement values, dBm, is not appropriate for uncertainty accumulation, linear units (mW,  $\mu$ W) are used. Results of such accumulations can be converted back to dB to express overall uncertainty when needed.

NOTE 2 A power meter or a reference power meter will be needed to check the light source power each time a new source wavelength is used.

NOTE 3 The state of polarization should not be changed during calibration except controlling by an optional polarization controller.

## 6.2 Etalonnage du niveau affiché de puissance (DPL) dans les conditions de référence

La Figure 4 montre la configuration d'essai pour déterminer l'incertitude dans le niveau affiché de puissance (DPL). Cet essai est effectué sous des conditions d'étalonnage de référence.

NOTE Il convient que la source de lumière utilisée pour l'étalonnage du niveau affiché de puissance soit dépolarisée, ou alors il convient qu'un contrôleur de polarisation soit utilisé. Ceci étalonnera l'analyseur d'essai au centre de la variation due à la polarisation

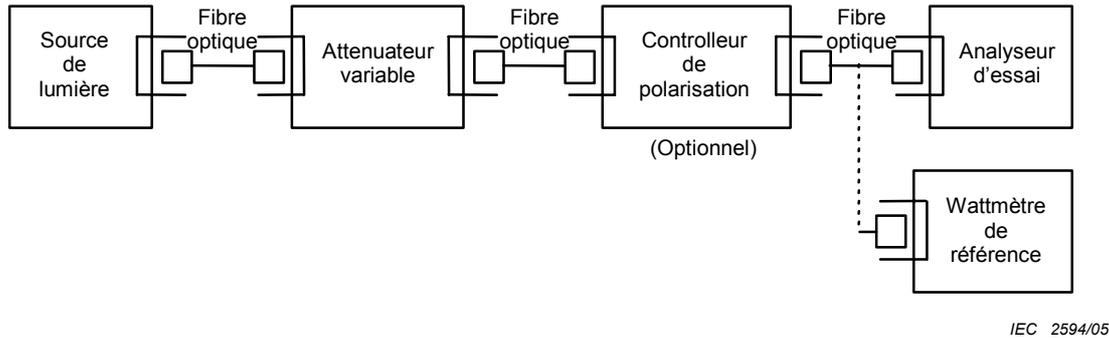


Figure 4 – Montage pour l'étalonnage du niveau affiché de puissance dans les conditions de référence

### 6.2.1 Equipement pour l'étalonnage du DPL dans les conditions de référence

- a) **Source de lumière:** utiliser une source de lumière qui peut émettre une lumière pour fibre optique stable avec une sortie de 0,1 mW (-10 dBm) à 1 mW (0 dBm) et qui présente une bonne suppression des modes latéraux et du bruit optique (> 40 dB, lorsqu'il est mesuré avec une résolution spectrale qui est la même que celle de l'analyseur d'essai) en dehors de sa largeur de bande spectrale. Il convient que la largeur de bande spectrale de la source soit réglée à une valeur suffisamment plus étroite que la résolution exigée pour l'analyseur d'essai. Les sources de lumière données au Tableau 1, une diode laser (LD) (SMSR > 40 dB: voir 3.19) ou un laser à fibres (aussi avec SMSR > 40 dB) sont recommandés.

NOTE Il convient que la longueur d'onde de la source de lumière soit mesurée à l'avance en utilisant un appareil de mesure de longueur d'onde si une diode laser (LD) ou un laser à fibres est utilisé.

- b) **Atténuateur variable:** utiliser un atténuateur variable qui peut être ajusté sur la plage de puissance optique utilisée dans l'essai.
- c) **Appareil de mesure de la puissance optique de référence:** l'un ou l'autre des appareils suivants fonctionnant sous des conditions d'étalonnage de référence:
- 1) un appareil de mesure de la puissance optique étalonné par une institution officielle qui réalise le service d'étalonnage avec une incertitude établie; ou
  - 2) un appareil de mesure de la puissance optique étalonné conformément aux normes spécifiées par une institution officielle avec une incertitude établie.

A savoir, l'incertitude de l'appareil de mesure de la puissance de référence,  $\sigma_{PPM}$ , est déjà connue et est décrite dans sa certification.

- d) **Contrôleur de polarisation optionnel:** on utilise un contrôleur de polarisation qui contrôle l'état de polarisation de la lumière incidente pour obtenir une sortie à fibres optiques présentant un taux d'extinction de 20 dB ou plus. Il convient que la variation de niveau lorsque l'état de polarisation est modifié soit beaucoup plus petite que la dépendance en fonction de la polarisation de l'analyseur d'essai. Certains contrôleurs de polarisation constituent des combinaisons d'un polariseur, d'un plateau à demi-onde et d'un plateau à quart-longueur d'onde; certains tournent la fibre en deux boucles.

## 6.2 Displayed power level (DPL) calibration under reference conditions

Figure 4 shows the test configuration for determining the uncertainty in the displayed power level (DPL). This test is performed under reference calibration conditions.

NOTE The light source used for the displayed power level calibration should be depolarized, or else a polarization controller should be used. This will calibrate the test analyzer at the mid-point of its variation due to polarization

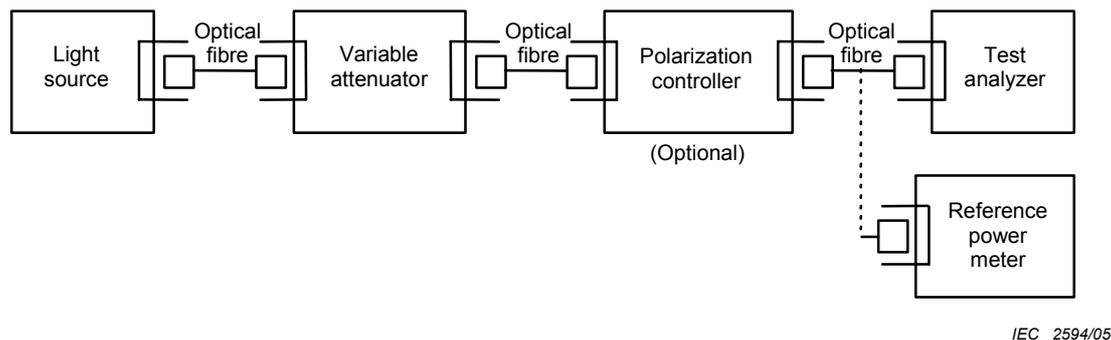


Figure 4 – Setup for calibration of displayed power level under reference conditions

### 6.2.1 Equipment for DPL calibration under reference conditions

- a) **Light source:** use a light source which can emit stable optical-fibre light with an output from 0,1 mW (–10 dBm) to 1 mW (0 dBm), and which offers good suppression of side-modes and optical noise (>40 dB, when measured with a resolution bandwidth which is the same as that of the test analyzer) outside its spectral bandwidth. The source spectral bandwidth should be in turn sufficiently narrower than the resolution prescribed for the test analyzer. The light sources shown in Table 1, a laser diode (LD) (SMSR > 40 dB: see 3.19) or a fibre laser (also with SMSR > 40 dB) are recommended.

NOTE The wavelength of the light source should be measured in advance by using a wavelength meter if a laser diode (LD) or a fibre laser is used.

- b) **Variable attenuator:** use a variable attenuator that can be adjusted over the optical power range used in the test.
- c) **Reference optical power meter:** either of the following operated under reference calibration conditions:
- 1) an optical power meter calibrated by an official institution that performs calibration services with a stated uncertainty; or
  - 2) an optical power meter calibrated according to standards specified by such an official institution with a stated uncertainty.

Namely the uncertainty of the reference power meter,  $\sigma_{PPM}$ , is already known and is described in its certification.

- d) **Optional polarization controller:** a polarization controller is used which controls the state of polarization of incident light to obtain an optical fibre output with an extinction ratio of 20 dB or more. The level variation when the state of polarization is changed should be far smaller than the polarization dependence of the test analyzer. Some polarization controllers are combinations of a polarizer, a 1/2-wavelength plate and a 1/4-wavelength plate; some rotate two fibre loops.

### 6.2.2 Procédure d'essai pour l'étalonnage du DPL dans les conditions de référence

En utilisant la configuration d'essai montrée à la Figure 5, régler la résolution de l'analyseur d'essai suffisamment plus large que la largeur de bande spectrale de la source de lumière. Ajuster l'atténuateur variable de façon que le niveau de puissance de la lumière de sortie vers l'analyseur d'essai soit optimisé. Si la longueur d'onde de la source de lumière n'est pas déjà connue, Il convient qu'elle soit mesurée en utilisant un appareil de mesure de la longueur d'onde.

La séquence de mesure est la suivante.

- a) Mesurer la valeur de la lumière en sortie de la fibre optique comme  $P_{REF,i}$  en utilisant un appareil de mesure de la puissance optique de référence. Si un contrôleur de polarisation est utilisé, mesurer plusieurs fois à des états différents de polarisation et moyenner ces valeurs.
- b) Après cela, connecter la lumière en sortie de la fibre optique à l'analyseur d'essai et lire le niveau de puissance crête mesuré par l'analyseur d'essai comme  $P_{OSAi}$ . Utiliser une échelle linéaire (d'unité mW ou  $\mu$ W) pour lire la valeur. Si un contrôleur de polarisation est utilisé, mesurer plusieurs fois à des états différents de polarisation et moyenner ces valeurs.
- c) Calculer le rapport de différence de la valeur de l'OSA à partir de la mesure de l'appareil de mesure de puissance en utilisant l'équation (10).

$$\Delta P_{diff,i} = P_{OSAi} / P_{REF,i} - 1 \quad (10)$$

- d) Répéter cette mesure au moins dix fois.

### 6.2.3 Calcul de l'incertitude du DPL dans les conditions de référence

Calculer la moyenne et l'écart normalisé du rapport de différence en utilisant les équations suivantes.

$$\Delta P_{diff} = \sum_{i=1}^m (\Delta P_{diff,i}) / m \quad (11)$$

$$\sigma_{\Delta P_{diff}} = \left[ \sum_{i=1}^m (\Delta P_{diff,i} - \Delta P_{diff})^2 / (m - 1) \right]^{1/2} \quad (12)$$

où  $m$  est le nombre de mesures utilisé.

L'incertitude  $\sigma_{\Delta P_{ref}}$  par rapport au niveau affiché de puissance pour l'analyseur d'essai fonctionnant sous des conditions d'étalonnage de référence est donnée par l'équation (13).

$$\sigma_{\Delta P_{ref}} = (\sigma_{PPM}^2 + \sigma_{\Delta P_{diff}}^2)^{1/2} \quad (13)$$

où

$\sigma_{PPM}$  est l'incertitude de l'appareil de mesure de la puissance optique de référence telle qu'indiquée dans son certificat;

$\sigma_{\Delta P_{diff}}$  est l'écart normalisé des valeurs mesurées pendant l'essai.

L'écart de niveau affiché de la puissance  $\Delta P_{ref}$  est donné par l'équation (14), qui est la même que la valeur moyenne du rapport de différence.

$$\Delta P_{ref} = \Delta P_{diff} \quad (14)$$

### 6.2.2 Test procedure for DPL calibration under reference conditions

Using the test configuration shown in Figure 5, set the resolution of the test analyzer sufficiently larger than the spectral bandwidth of the light source. Adjust the variable attenuator so that the power level of the outgoing light to the test analyzer is optimized. If the wavelength of the light source is not already known, it should be measured by using a wavelength meter.

The measurement sequence is as follows.

- a) Measure the value of the outgoing optical-fibre light as  $P_{REF,i}$  using a reference optical power meter. If a polarization controller is used, measure multiple times at different states of polarization and average these values.
- b) After this, connect the outgoing optical-fibre light to the test analyzer and read the peak power level measured by the test analyzer as  $P_{OSA,i}$ ; use a linear scale (in units of mW or  $\mu$ W) to read the value. If a polarization controller is used, measure multiple times at different states of polarization and average these values.
- c) Calculate the difference ratio of the OSA value from the power meter measurement using Equation (10).

$$\Delta P_{diff,i} = P_{OSA,i} / P_{REF,i} - 1 \quad (10)$$

- d) Repeat this measurement at least ten times.

### 6.2.3 Calculation of DPL uncertainty under reference conditions

Calculate the mean and standard deviation of the difference ratio using the following equations.

$$\Delta P_{diff} = \sum_{i=1}^m (\Delta P_{diff,i}) / m \quad (11)$$

$$\sigma_{\Delta P_{diff}} = \left[ \sum_{i=1}^m (\Delta P_{diff,i} - \Delta P_{diff})^2 / (m - 1) \right]^{1/2} \quad (12)$$

where  $m$  is the number of measurements used.

The uncertainty  $\sigma_{\Delta P_{ref}}$  with respect to the displayed power level for the test analyzer operated under reference calibration conditions is given by Equation (13).

$$\sigma_{\Delta P_{ref}} = (\sigma_{PPM}^2 + \sigma_{\Delta P_{diff}}^2)^{1/2} \quad (13)$$

where

$\sigma_{PPM}$  is the uncertainty of the reference optical power meter described in its certification;

$\sigma_{\Delta P_{diff}}$  is the standard deviation of the values measured during the test.

The displayed power level deviation  $\Delta P_{ref}$  is given by Equation (14), which is the same as the mean value of the difference ratio.

$$\Delta P_{ref} = \Delta P_{diff} \quad (14)$$

### 6.3 Etalonnage du niveau affiché de puissance (DPL) pour des conditions de fonctionnement

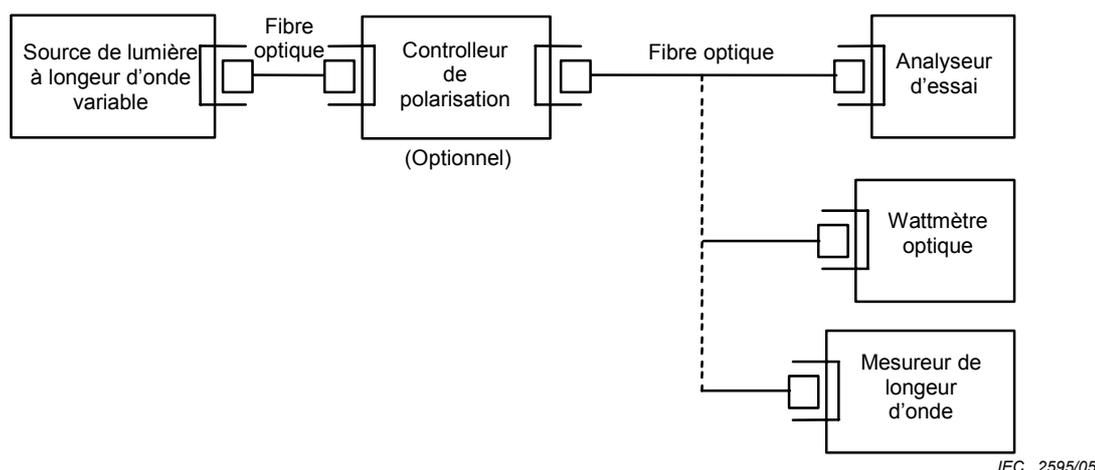
L'étalonnage décrit dans ce paragraphe n'est pas obligatoire. Réaliser la procédure d'étalonnage lorsque l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des étalonnages de référence.

Les facteurs individuels dans l'incertitude du niveau affiché de la puissance pour les conditions de fonctionnement peuvent être constituées des éléments suivants:

- 1) dépendance en fonction de la longueur d'onde;
- 2) dépendance en fonction de la polarisation
- 3) linéarité; et
- 4) dépendance en fonction de la température.

#### 6.3.1 Dépendance en longueur d'onde

La Figure 5 montre la configuration d'essai pour déterminer la dépendance en longueur d'onde. Cet essai est effectué sous des conditions d'étalonnage de référence excepté pour la longueur d'onde.



**Figure 5 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance en longueur d'onde de l'incertitude du niveau affiché de la puissance**

##### 6.3.1.1 Equipement pour déterminer la dépendance en longueur d'onde du DPL

- a) **Source de lumière:** utiliser une source de lumière à longueur d'onde variable, telle qu'un laser accordable. Il convient que la source de lumière fournisse la quantité nécessaire de puissance de lumière, de façon stable, à l'intérieur de la plage de longueurs d'ondes d'essai de l'analyseur d'essai et il convient que sa largeur de bande spectrale soit beaucoup plus étroite que la résolution spectrale de l'analyseur d'essai spécifiée.
- b) **Appareil de mesure de la longueur d'onde:** utiliser pour mesurer la longueur d'onde de la source de lumière à longueur d'onde variable. Ceci n'est pas nécessaire si la source de lumière a été étalonnée.
- c) **Appareil de mesure de la puissance optique:** utiliser un appareil de mesure de la puissance optique indépendant en longueur d'onde ou un appareil dont la dépendance en longueur d'onde a été étalonnée.

### 6.3 Displayed power level (DPL) calibration for operating conditions

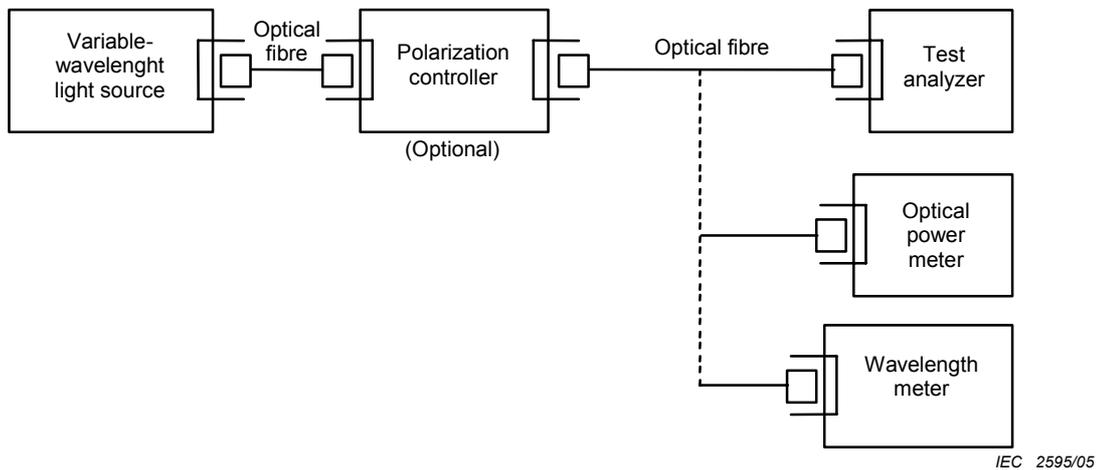
The calibration described in this chapter is not mandatory. Perform the calibration procedure when the test analyzer is used beyond the reference calibrations.

Individual factors in the displayed power level uncertainty for the operating conditions may consist of the following:

- 1) wavelength dependence;
- 2) polarization dependence;
- 3) linearity; and
- 4) temperature dependence.

#### 6.3.1 Wavelength dependence

Figure 5 shows the test configuration for determining wavelength dependence. This test is performed under reference calibration conditions except for the wavelength.



**Figure 5 – Test configuration for determining the wavelength dependence of displayed power level uncertainty**

##### 6.3.1.1 Equipment for determining DPL wavelength dependence

- a) **Light source:** use a variable-wavelength light source such as a tunable laser. It should supply the needed amount of light power stably within the test wavelength range of the test analyzer, and its spectral bandwidth should be far narrower than the specified resolution bandwidth of the test analyzer.
- b) **Wavelength meter:** use to measure the wavelength of the variable-wavelength light source. It is unnecessary if the light source has been calibrated.
- c) **Optical power meter:** use a non-wavelength-dependent optical power meter, or one whose wavelength dependence has been calibrated.

- d) **Contrôleur de polarisation optionnel:** on utilise un contrôleur de polarisation qui contrôle l'état de polarisation de la lumière incidente pour obtenir une sortie à fibres optiques avec un taux d'extinction de 20 dB ou plus. Il convient que la variation de niveau lorsque l'état de polarisation est modifié soit beaucoup plus petite que la dépendance de la polarisation de l'analyseur d'essai. Certains contrôleurs de polarisation sont des combinaisons d'un polariseur, d'un plateau à demi-longueur d'onde et un plateau à quart-longueur d'onde; certains tournent deux boucles de fibre.

### 6.3.1.2 Procédure d'essai pour déterminer la dépendance en longueur d'onde du DPL

Utiliser la configuration d'essai montré à la Figure 5.

La procédure d'essai est la suivante.

- a) Après complète stabilisation de la température d'environnement, faire entrer la lumière de la source de lumière vers l'appareil de mesure de la longueur d'onde pour une mesure de celle-ci. La lecture de la longueur d'onde fournie par l'appareil de mesure est définie comme  $\lambda_j$ .
- b) A l'aide de l'appareil de mesure de la longueur d'onde, mesurer la puissance optique de la source de lumière. La lecture de la longueur d'onde fournie par l'appareil de mesure est définie comme  $P_{REF}$ ; Si un contrôleur de polarisation est utilisé, mesurer plusieurs fois à différents états de polarisation et faire la moyenne des valeurs.
- c) Faire entrer la lumière de la source de lumière vers l'analyseur d'essai. Il convient que la résolution spectrale de l'analyseur d'essai soit pré-réglée pour être plus large que la largeur de bande spectrale de la lumière incidente. Le niveau de puissance crête mesuré par l'analyseur d'essai est défini comme  $P_{OSA_j}$ . Si un contrôleur de polarisation est utilisé, mesurer plusieurs fois à des états différents de polarisation et moyenner les valeurs.

L'erreur sur l'écart à la longueur d'onde  $\lambda_j$ ,  $\Delta P(\lambda_j)$ , est donnée par l'équation (15).

$$\Delta P(\lambda_j) = P_{OSA_j} / P_{REF,j} - 1 \quad (15)$$

- d) Répéter cette procédure avec différents réglages de longueur d'onde (changer  $\lambda_j$ ).
- e) Soient  $\Delta P_{\lambda,MAX}$  et  $\Delta P_{\lambda,MIN}$  les valeurs, respectivement maximale et minimale, de  $\Delta P(\lambda_j)$  obtenues.

### 6.3.1.3 Calcul de l'incertitude du DPL due à la dépendance en longueur d'onde

L'écart des valeurs mesurées dépendantes de la longueur d'onde,  $\Delta P_\lambda$ , est donnée par l'équation (16).

$$\Delta P_\lambda = (\Delta P_{\lambda,MAX} + \Delta P_{\lambda,MIN}) / 2 \quad (16)$$

L'incertitude type due à la dépendance en longueur d'onde,  $\sigma_{\Delta P_\lambda}$  est donnée par l'équation (17).

$$\sigma_{\Delta P_\lambda} = (\Delta P_{\lambda,MAX} - \Delta P_{\lambda,MIN}) / 2\sqrt{3} \quad (17)$$

## 6.3.2 Dépendance en polarisation

La Figure 6 montre la configuration d'essai pour déterminer la dépendance en polarisation. Cet essai est effectué sous des conditions d'étalonnage de référence excepté pour la polarisation.

NOTE 1 IL est nécessaire que la source de lumière utilisée soit à la longueur d'onde de référence. Cependant, il est recommandé que cet essai soit entrepris à plusieurs longueurs d'onde auxquelles l'analyseur d'essai est utilisé, puisque la dépendance en polarisation peut différer selon la longueur d'onde.

NOTE 2 Le taux d'extinction de la sortie du contrôleur de polarisation du système de mesure est considéré comme étant de 20 dB au port de sortie de la fibre. Le taux d'extinction affecte la précision des résultats d'essai de la dépendance en polarisation; spécifiquement, cela réduit la précision de mesure d'environ 2 % à 20 dB.

- d) **Optional polarization controller:** a polarization controller is used which controls the state of polarization of incident light to obtain an optical fibre output with an extinction ratio of 20 dB or more. The level variation when the state of polarization is changed should be far smaller than the polarization dependence of the test analyzer. Some polarization controllers are combinations of a polarizer, a 1/2-wavelength plate and a 1/4-wavelength plate; some rotate two fibre loops.

### 6.3.1.2 Test procedure for determining DPL wavelength dependence

Use the test configuration shown in Figure 5.

The test procedure is as follows.

- After the environmental temperature is completely stabilized, input light from the light source to the wavelength meter for wavelength measurement. The reading provided by the wavelength meter is defined as  $\lambda_j$ .
- Using the optical power meter, measure the optical power of the light source. The reading provided by the optical power meter is defined as  $P_{REF,j}$ . If a polarization controller is used, measure multiple times at different states of polarization and average values.
- Input light from the light source to the test analyzer. The resolution bandwidth (spectral resolution) of the test analyzer should be preset so as to be wider than the spectral bandwidth of the incident light. The peak power level measured by the test analyzer is defined as  $P_{OSA,j}$ . If a polarization controller is used, measure multiple times at different states of polarization and average the values.

The deviation error at wavelength  $\lambda_j$ ,  $\Delta P(\lambda_j)$ , is given by Equation (15).

$$\Delta P(\lambda_j) = P_{OSA,j} / P_{REF,j} - 1 \quad (15)$$

- Repeat this procedure with different wavelength settings (change  $\lambda_j$ ).
- Let  $\Delta P_{\lambda,MAX}$  and  $\Delta P_{\lambda,MIN}$  be the maximum and minimum obtained values of  $\Delta P(\lambda_j)$ , respectively.

### 6.3.1.3 Calculation of DPL uncertainty due to wavelength dependence

The deviation of measured values dependent on the wavelength,  $\Delta P_\lambda$ , is given by Equation (16).

$$\Delta P_\lambda = (\Delta P_{\lambda,MAX} + \Delta P_{\lambda,MIN}) / 2 \quad (16)$$

The standard uncertainty due to wavelength dependence,  $\sigma_{\Delta P_\lambda}$  is given by Equation(17).

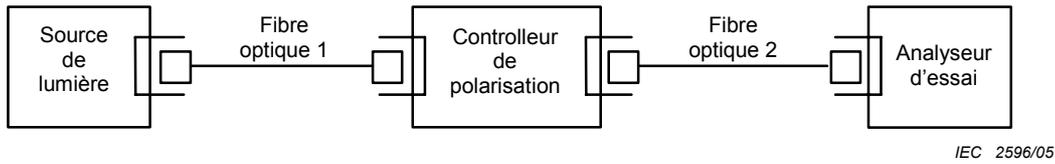
$$\sigma_{\Delta P_\lambda} = (\Delta P_{\lambda,MAX} - \Delta P_{\lambda,MIN}) / 2\sqrt{3} \quad (17)$$

### 6.3.2 Polarization dependence

Figure 6 shows the test configuration for determining polarization dependence. This test is performed under reference calibration conditions except for the polarization.

NOTE 1 The light source used must be at the reference wavelength. However, it is recommended that this test be undertaken at several wavelengths at which the test analyzer is used, since the polarization dependence may differ according to the wavelength.

NOTE 2 The extinction ratio of the output from the polarization controller of the measurement system is assumed to be 20 dB at the fibre's output port. The extinction ratio affects the precision of the polarization dependence test results; specifically, it reduces the measurement precision by about 2 % at 20 dB.



**Figure 6 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance en polarisation de l'incertitude du niveau affiché de la puissance**

### 6.3.2.1 Equipement pour déterminer la dépendance en polarisation du DPL

- a) **Source de lumière:** utiliser une source de lumière stable avec une sortie de 0,1 mW (– 10 dBm) à 1 mW (0 dBm) et qui possède une largeur de bande spectrale suffisamment plus étroite que la résolution prescrite pour l'analyseur d'essai. Les sources de lumière données au Tableau 1, une diode laser (LD) (SMSR > 40 dB: voir 3.19) ou un laser à fibre (aussi avec SMSR > 40 dB) sont recommandés.
- b) **Contrôleur de polarisation:** on utilise un contrôleur de polarisation qui contrôle l'état de polarisation de la lumière incidente pour obtenir une sortie à fibres optiques avec un taux d'extinction de 20 dB ou plus. Il convient que la variation de niveau lorsque l'état de polarisation est modifié soit beaucoup plus petite que la dépendance de la polarisation de l'analyseur d'essai. Certains contrôleurs de polarisation sont des combinaisons d'un polariseur, d'un plateau à demi-onde et d'un plateau à quart-d'onde; certains tournent la fibre en deux boucles.
- c) **Fibre optique:** fibre optique unimodale comme prescrite par la série CEI 60793-1 et possédant une longueur de 1 m à 2 m. Il est préférable d'utiliser une fibre à maintien de polarisation à la fibre d'entrée de certains contrôleurs de polarisation.

### 6.3.2.2 Procédure d'essai pour déterminer la dépendance en polarisation du DPL

En utilisant la configuration d'essai montrée à la Figure 6, régler la résolution spectrale de l'analyseur d'essai à une valeur suffisamment plus large que la largeur de bande spectrale de la source de lumière. Fixer les fibres optiques en place pour les empêcher de bouger, parce que l'état de polarisation dans la fibre peut varier suite au déplacement de la fibre.

La procédure d'essai effectuée à plusieurs longueurs d'onde est comme suit.

- a) Faire entrer la sortie de la source de lumière dans le contrôleur de polarisation au travers de la fibre optique 1 et faire entrer la sortie du contrôleur dans l'analyseur d'essai au travers de la fibre optique 2.
- b) Ajuster le contrôleur de polarisation de façon qu'un grand nombre d'états de polarisation soient produits qui couvrent essentiellement la sphère entière de Poincaré. Observer la variation crête-à-crête du niveau affiché de puissance, causée en changeant l'état de polarisation. Enregistrer les lectures maximale et minimale comme, respectivement,  $P_{MAX}(\lambda_j)$  et  $P_{MIN}(\lambda_j)$ , respectivement.
- c) Les variations du niveau de puissance dues à la polarisation avec des longueurs d'onde de  $\lambda_j$ ,  $\Delta P_{UL}(\lambda_j)$  et  $\Delta P_{LL}(\lambda_j)$ , sont données par les équations (18) et (19).

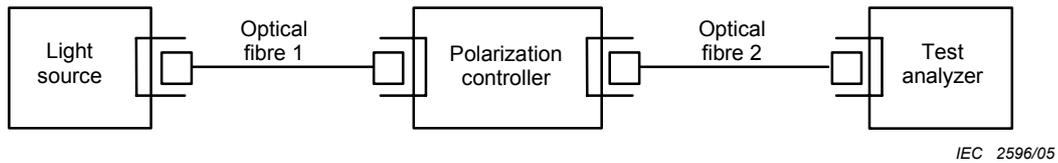
$$\Delta P_{UL}(\lambda_j) = P_{MAX}(\lambda_j) / P_{AVE}(\lambda_j) - 1 \quad (18)$$

$$\Delta P_{LL}(\lambda_j) = P_{MIN}(\lambda_j) / P_{AVE}(\lambda_j) - 1 \quad (19)$$

où,  $P_{AVE}(\lambda_j)$  est la variation moyenne du niveau de puissance due à la polarisation avec une longueur d'onde de  $\lambda_j$  et est donnée par l'équation (20).

$$P_{AVE}(\lambda_j) = [ P_{MAX}(\lambda_j) + P_{MIN}(\lambda_j) ] / 2 \quad (20)$$

- d) Répéter cette procédure avec différents réglages de longueur d'onde (changer  $\lambda_j$ ).
- e) Soit  $\Delta P_{POL, MAX}$  la valeur maximale de  $\Delta P_{UL}(\lambda_j)$ , et  $\Delta P_{POL, MIN}$  la valeur minimale de  $\Delta P_{LL}(\lambda_j)$ .



**Figure 6 – Test configuration for determining the polarization dependence of displayed power level uncertainty**

### 6.3.2.1 Equipment for determining DPL polarization dependence

- Light source:** use a stable light source with an output of 0,1 mW (–10 dBm) to 1 mW (0 dBm) and which has a spectral bandwidth sufficiently narrower than the resolution prescribed for the test analyzer. The light sources shown in Table 1, a laser diode (LD) (SMSR > 40 dB: see 3.19) or a fibre laser (also with SMSR > 40 dB) are recommended.
- Polarization controller:** a polarization controller is used which controls the state of polarization of incident light to obtain an optical fibre output with an extinction ratio of 20 dB or more. The level variation when the state of polarization is changed should be far smaller than the polarization dependence of the test analyzer. Some polarization controllers are combinations of a polarizer, a 1/2-wavelength plate and a 1/4-wavelength plate; some rotate two fibre loops.
- Optical fibre:** single-mode optical fibre as prescribed by the IEC 60793-1 series and having a length of 1 m to 2 m. A polarization-maintaining fibre is preferred to the input fibre of some polarization controllers.

### 6.3.2.2 Test procedure for determining DPL polarization dependence

Using the test configuration shown in Figure 6, set the resolution bandwidth of the test analyzer sufficiently larger than the spectral bandwidth of the light source. Fix optical fibres in place to prevent them from moving, because the state of polarization in the fibre can vary due to motion of the fibre.

The test procedure performed at many wavelengths is as follows:

- Input the light output from the light source into the polarization controller through optical fibre 1, and input the output from the controller into the test analyzer through optical fibre 2.
- Adjust the polarization controller so that a large number of polarization states are produced which essentially cover the entire Poincaré sphere. Observe the peak-to-peak change in displayed power level caused by changing the polarization state. Record the maximum and minimum readings as  $P_{MAX}(\lambda_j)$  and  $P_{MIN}(\lambda_j)$ , respectively.
- The variations in power level due to polarization with wavelengths of  $\lambda_j$ ,  $\Delta P_{UL}(\lambda_j)$  and  $\Delta P_{LL}(\lambda_j)$ , are given by Equations (18) and (19).

$$\Delta P_{UL}(\lambda_j) = P_{MAX}(\lambda_j) / P_{AVE}(\lambda_j) - 1 \quad (18)$$

$$\Delta P_{LL}(\lambda_j) = P_{MIN}(\lambda_j) / P_{AVE}(\lambda_j) - 1 \quad (19)$$

where,  $P_{AVE}(\lambda_j)$  is the average variation in power level due to polarization with a wavelength of  $\lambda_j$ , and is given by Equation (20).

$$P_{AVE}(\lambda_j) = [ P_{MAX}(\lambda_j) + P_{MIN}(\lambda_j) ] / 2 \quad (20)$$

- Repeat this procedure with different wavelength settings (change  $\lambda_j$ ).
- Let  $\Delta P_{POL, MAX}$  be the maximum value of  $\Delta P_{UL}(\lambda_j)$ , and  $\Delta P_{POL, MIN}$  be the minimum value of  $\Delta P_{LL}(\lambda_j)$ .

### 6.3.2.3 Calcul de l'incertitude due à la dépendance en polarisation

L'écart des valeurs mesurées dépendantes en polarisation et en longueur d'onde,  $\Delta P_{POL}$ , est donné par l'équation (21).

$$\Delta P_{POL} = (\Delta P_{POL,MAX} + \Delta P_{POL,MIN}) / 2 \tag{21}$$

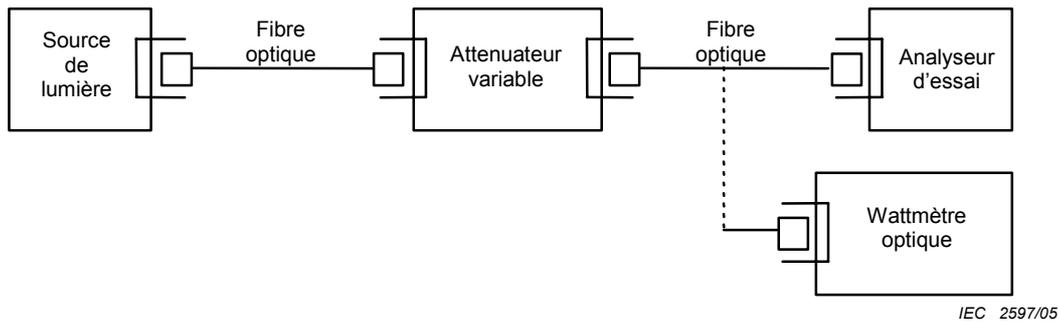
L'incertitude des variations du niveau de puissance due à la polarisation,  $\sigma_{\Delta P_{POL}}$ , est donnée par l'équation (22).

$$\sigma_{\Delta P_{POL}} = (\Delta P_{POL,MAX} - \Delta P_{POL,MIN}) / 2\sqrt{3} \tag{22}$$

### 6.3.3 Linéarité

La Figure 7 montre le montage pour l'essai de linéarité. Cet essai est effectué sous des conditions d'étalonnage de référence excepté pour le niveau de puissance.

NOTE Il est nécessaire que la source de lumière utilisée soit à la longueur d'onde de référence. S'il y a plus d'une longueur d'onde de référence et le détecteur pour l'analyseur d'essai est en danger de dépendance en longueur d'onde, il convient que la linéarité soit effectuée à chaque longueur d'onde de référence.



**Figure 7 – Configuration pour tester l'erreur de linéarité de l'incertitude du niveau affiché de puissance**

#### 6.3.3.1 Equipement pour déterminer l'erreur de linéarité du DPL

- a) **Source de lumière:** utiliser une source de lumière stable avec une sortie de 0,1 mW (-10 dBm) à 1 mW (0 dBm) et qui possède une largeur de bande spectrale suffisamment plus étroite que la résolution prescrite pour l'analyseur d'essai. Les sources de lumière données au Tableau 1, une diode laser (LD) (SMSR > 40 dB: voir 3.19) ou un laser à fibre (aussi avec SMSR > 40 dB) sont recommandés.
- b) **Atténuateur variable:** utiliser un atténuateur variable qui peut être ajusté sur la plage de puissance optique utilisée dans l'essai.
- c) **Appareil de mesure de la puissance optique:** utiliser un appareil de mesure de la puissance optique qui peut couvrir avec précision les plages de puissance, de longueur d'onde et de température mesurées dans l'essai.

#### 6.3.3.2 Procédure d'essai pour déterminer l'erreur de linéarité du DPL

- a) Avec le montage d'essai montré à la Figure 7, régler la largeur de résolution spectrale de l'analyseur d'essai de façon qu'elle soit beaucoup plus grande que la largeur de bande spectrale de la source de lumière utilisée pour la mesure. Ajuster l'atténuateur variable de façon que le niveau de puissance de la lumière envoyée vers l'analyseur d'essai soit la même que celle utilisée pour l'étalonnage du niveau de puissance dans les conditions de référence.

### 6.3.2.3 Calculation of uncertainty due to polarization dependence

The deviation of measured values dependent on the polarization and wavelength,  $\Delta P_{POL}$ , is given by Equation (21).

$$\Delta P_{POL} = (\Delta P_{POL,MAX} + \Delta P_{POL,MIN}) / 2 \quad (21)$$

The uncertainty of power level variations due to polarization,  $\sigma_{\Delta PPOL}$ , is given by Equation (22).

$$\sigma_{\Delta PPOL} = (\Delta P_{POL,MAX} - \Delta P_{POL,MIN}) / 2\sqrt{3} \quad (22)$$

### 6.3.3 Linearity

Figure 7 shows the setup for the linearity test. This test is performed under reference calibration conditions except for the power level.

NOTE The light source used must be at the reference wavelength. If there is more than one reference wavelength and the detector for the test analyzer is in danger of wavelength dependence, the linearity test should be performed at each of the reference wavelengths.

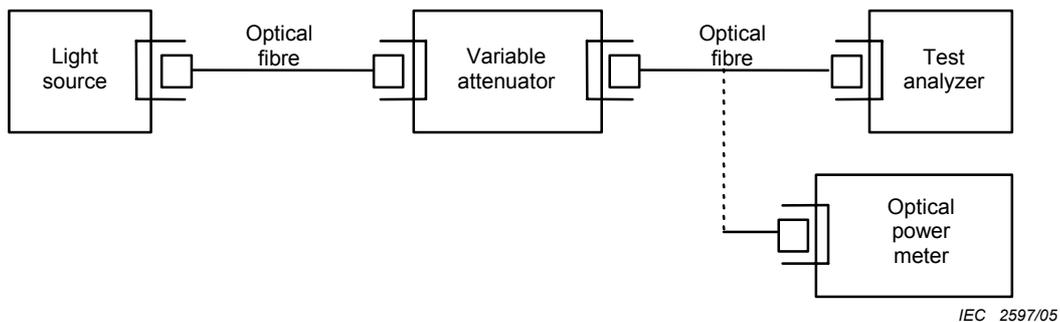


Figure 7 – Configuration for testing linearity error of displayed power level uncertainty

#### 6.3.3.1 Equipment for determining DPL linearity error

- Light source:** use a stable light source with an output of 0,1 mW (–10 dBm) to 1 mW (0 dBm) and which has a spectral bandwidth sufficiently narrower than the resolution prescribed for the test analyzer. The light sources shown in Table 1, a laser diode (LD) (SMSR > 40 dB: see 3.19) or a fibre laser (also with SMSR > 40 dB) are recommended.
- Variable attenuator:** use a variable attenuator that can be adjusted over the optical power range used in the test.
- Optical power meter:** use an optical power meter that can accurately cover the power, wavelength and temperature ranges measured in the test.

#### 6.3.3.2 Test procedure for determining DPL linearity error

- With the test setup shown in Figure 7, set the resolution bandwidth of the test analyzer so that it is far larger than the spectral bandwidth of the light source used for the measurement. Adjust the variable attenuator so that the power level of the light sent to the test analyzer is the same as that used for the power level calibration test under reference conditions.

Les lectures simultanées de l'analyseur d'essai et de l'appareil de mesure de la puissance optiques sont définies comme  $P_{OSA}$  et  $P_{REF}$ , respectivement et le rapport des deux comme  $P_{LIN,ref}$ .

$$P_{LIN,ref} = P_{OSA} / P_{REF} \tag{23}$$

- b) Modifier alors le niveau de puissance de la lumière envoyée à l'analyseur d'essai, en utilisant l'atténuateur variable. Le niveau de puissance est défini comme  $P_j$ . Les lectures de l'analyseur d'essai et de l'appareil de mesure de la puissance sont définies, respectivement, comme  $P_{OSA,j}$  et  $P_{REF,j}$ , et le rapport des deux comme  $P_{LIN,j}$ .

$$P_{LIN,j} = P_{OSA,j} / P_{REF,j} \tag{24}$$

L'erreur de linéarité à un niveau de puissance  $P_j, \Delta P_{LIN}(P_j)$ , est donnée par l'équation (25).

$$\Delta P_{LIN}(P_j) = P_{LIN,j} / P_{LIN,ref} - 1 \tag{25}$$

- c) Répéter cette procédure avec différents niveaux de puissance lumineuse (changer  $P_j$ ) pour au moins cinq points à l'intérieur de la plage du niveau de puissance d'entrée spécifiée dans l'analyseur d'essai.  
 d) Soit  $\Delta P_{LIN,MAX}$  la valeur maximale de  $\Delta P_{LIN}(P_j)$  obtenue et  $\Delta P_{LIN,MIN}$  la valeur minimale.

**6.3.3.3 Calcul de l'incertitude due à l'erreur de linéarité du DPL**

L'écart des valeurs mesurées dépendantes des niveaux de puissance de la lumière,  $\Delta P_{LIN}$ , est donnée par l'équation (26).

$$\Delta P_{LIN} = (\Delta P_{LIN,MAX} + \Delta P_{LIN,MIN})/2 \tag{26}$$

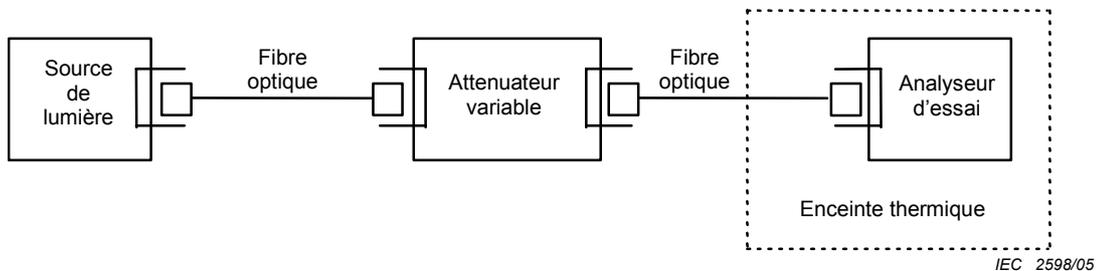
L'incertitude de linéarité,  $\sigma_{\Delta P_{LIN}}$ , est donnée par l'équation (27).

$$\sigma_{\Delta P_{LIN}} = (\Delta P_{LIN,MAX} - \Delta P_{LIN,MIN}) / 2\sqrt{3} \tag{27}$$

**6.3.4 Dépendance en température**

La Figure 8 montre la configuration d'essai pour déterminer la dépendance en fonction de la température. Cet essai est effectué sous des conditions d'étalonnage de référence excepté la température.

NOTE Il est nécessaire que la source de lumière utilisée soit à la longueur d'onde de référence. S'il y a plus d'une longueur d'onde de référence et le détecteur pour l'analyseur d'essai est en danger de dépendance en longueur d'onde et dépendance en température, il convient que l'essai de dépendance en température soit effectué à chaque longueur d'onde de référence.



**Figure 8 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance en température de l'incertitude du niveau affiché de la puissance**

The readings from the test analyzer and the optical power meter at that time are defined as  $P_{\text{OSA}}$  and  $P_{\text{REF}}$ , respectively, and the ratio of the two as  $P_{\text{LIN,ref}}$ .

$$P_{\text{LIN,ref}} = P_{\text{OSA}} / P_{\text{REF}} \quad (23)$$

- b) Then, change the power level of the light sent to the test analyzer, using the variable attenuator. The power level is defined as  $P_j$ . The readings from the test analyzer and the power meter are defined as  $P_{\text{OSA}_j}$  and  $P_{\text{REF}_j}$ , respectively, and the ratio of the two as  $P_{\text{LIN}_j}$ .

$$P_{\text{LIN}_j} = P_{\text{OSA}_j} / P_{\text{REF}_j} \quad (24)$$

The linearity error at a power level of  $P_j$ ,  $\Delta P_{\text{LIN}}(P_j)$ , is given by Equation (25).

$$\Delta P_{\text{LIN}}(P_j) = P_{\text{LIN}_j} / P_{\text{LIN,ref}} - 1 \quad (25)$$

- c) Repeat this procedure with different light power levels (change  $P_j$ ) for at least five points within the input power level range specified in the test analyzer.  
 d) Let  $\Delta P_{\text{LIN,MAX}}$  be the maximum value of  $\Delta P_{\text{LIN}}(P_j)$  obtained, and  $\Delta P_{\text{LIN,MIN}}$  the minimum.

### 6.3.3.3 Calculation of uncertainty due to DPL linearity error

The deviation of measured values dependent on the light power levels,  $\Delta P_{\text{LIN}}$ , is given by Equation (26).

$$\Delta P_{\text{LIN}} = (\Delta P_{\text{LIN,MAX}} + \Delta P_{\text{LIN,MIN}}) / 2 \quad (26)$$

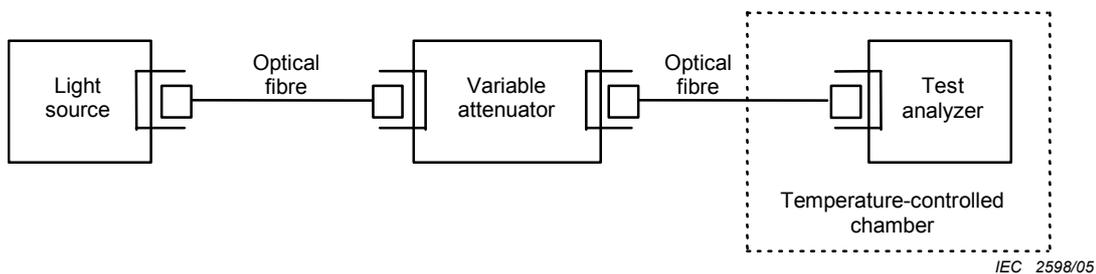
The uncertainty of linearity,  $\sigma_{\Delta P_{\text{LIN}}}$ , is given by Equation (27).

$$\sigma_{\Delta P_{\text{LIN}}} = (\Delta P_{\text{LIN,MAX}} - \Delta P_{\text{LIN,MIN}}) / 2\sqrt{3} \quad (27)$$

### 6.3.4 Temperature dependence

Figure 8 shows the test configuration for temperature dependence. This test is performed under reference calibration conditions with the exception of temperature.

NOTE The light source used must be at the reference wavelength. If there is more than one reference wavelength and the detector for the test analyzer is in danger of wavelength dependence and temperature dependence, the temperature dependence test should be performed at each of the reference wavelengths.



**Figure 8 – Test configuration for determining the temperature dependence of displayed power level uncertainty**

### 6.3.4.1 Equipement pour déterminer la dépendance en température du DPL

- a) **Source de lumière:** utiliser une source de lumière stable avec une sortie de 0,1 mW (–10 dBm) à 1 mW (0 dBm) et qui possède une largeur de bande spectrale suffisamment plus étroite que la résolution prescrite pour l'analyseur d'essai. Les sources de lumière données au Tableau 1, une diode laser (LD) (SMSR > 40 dB: voir 3.19) ou un laser à fibres (aussi avec SMSR > 40 dB) sont recommandés.
- b) **Atténuateur variable:** utiliser un atténuateur variable qui peut être ajusté sur la plage de puissances optiques utilisée dans l'essai.

### 6.3.4.2 Procédure d'essai pour déterminer la dépendance en température du DPL

- a) Avec la configuration d'essai montrée à la Figure 8, régler la résolution spectrale de l'analyseur d'essai de façon qu'elle soit beaucoup plus grande que la largeur de bande spectrale de la source de lumière utilisée pour la mesure. Après que la température de l'analyseur d'essai soit stabilisée comme spécifié sous les conditions d'essai de référence, ajuster l'affaiblisseur de façon que le niveau de puissance de la lumière envoyée à l'analyseur d'essai soit la même que celui utilisé pour l'étalonnage dans les conditions de référence. La lecture fournie par l'analyseur d'essai à ce moment est définie comme  $P_{OSA,Tref}$ .
- b) Modifier alors la température de l'enceinte thermique. Suffisamment de temps (par exemple 2 h) doit être laissé à l'OSA soumis à l'étalonnage pour atteindre l'équilibre thermique à chaque température utilisée. La nouvelle température est définie comme  $T_j$ , et la lecture de l'analyseur d'essai est définie comme  $P_{OSA_j}$ .

L'erreur de sensibilité à la température  $T_j$ ,  $\Delta P(T_j)$ , est donnée par l'équation (28).

$$\Delta P(T_j) = P_{OSA_j} / P_{OSA,Tref} - 1 \quad (28)$$

- c) Répéter cette procédure avec différents réglages de température (changer  $T_j$ ).
- d) Soit  $\Delta P_{TMP,MAX}$  la valeur maximale de  $\Delta P(T_j)$  obtenue et  $\Delta P_{TMP,MIN}$  la valeur minimale.

### 6.3.4.3 Calcul de l'incertitude due à la dépendance en température du DPL

L'écart des valeurs mesurées dépendantes de la température,  $\Delta P_{TMP}$ , est donnée par l'équation (29):

$$\Delta P_{TMP} = (\Delta P_{TMP,MAX} + \Delta P_{TMP,MIN}) / 2 \quad (29)$$

L'incertitude due à la dépendance en température,  $\sigma_{\Delta P_{TMP}}$  est donnée par l'équation (30):

$$\sigma_{\Delta P_{TMP}} = (\Delta P_{TMP,MAX} - \Delta P_{TMP,MIN}) / 2\sqrt{3} \quad (30)$$

## 6.4 Calcul de l'incertitude étendue du niveau affiché de puissance

Lorsque l'analyseur d'essai est uniquement utilisé dans les conditions de référence, l'incertitude étendue,  $U_{P_{ref}}$ , peut être calculée par l'équation (31) avec un facteur de couverture  $k$ .

$$U_{P_{ref}} = \pm k \sigma_{\Delta P_{ref}} \quad (31)$$

Lorsque l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des conditions de référence, il convient que l'incertitude du niveau de puissance cumulatif de l'analyseur d'essai,  $\sigma_{\Delta P_{Cu}}$ , soit calculée en utilisant l'équation (32) avec les résultats des équations (13), (17), (22), (27) et (30) lorsque toutes les procédures d'étalonnage sont effectuées sous des conditions de fonctionnement.

$$\sigma_{\Delta P_{Cu}} = (\sigma_{\Delta P_{ref}}^2 + \sigma_{\Delta P_{\lambda}}^2 + \sigma_{\Delta P_{POL}}^2 + \sigma_{\Delta P_{LIN}}^2 + \sigma_{\Delta P_{TMP}}^2)^{1/2} \quad (32)$$

### 6.3.4.1 Equipment for determining DPL temperature dependence

- a) **Light source:** use a stable light source with an output of 0,1 mW (–10 dBm) to 1 mW (0 dBm) and which has a spectral bandwidth sufficiently narrower than the resolution prescribed for the test analyzer. The light sources shown in Table 1, a laser diode (LD) (SMSR > 40 dB: see 3.19) or a fibre laser (also with SMSR > 40 dB) are recommended.
- b) **Variable attenuator:** use a variable attenuator that can be adjusted over the optical power range used in the test.

### 6.3.4.2 Test procedure for determining DPL temperature dependence

- a) With the test configuration shown in Figure 8, set the resolution bandwidth of the test analyzer so that it is far larger than the spectral bandwidth of the light source used for the measurement. After the temperature of the test analyzer is stabilized as specified under reference test conditions, adjust the attenuator so that the power level of the light sent to the test analyzer is the same as that used for the calibration under reference conditions. The reading provided by the test analyzer at that time is defined as  $P_{OSA,Tref}$ .
- b) Then change the temperature of the temperature-controlled chamber. Sufficient time (for example 2 h) must be allowed for the OSA undergoing calibration to reach thermal equilibrium at each temperature used. The new temperature is defined as  $T_j$ , and the test analyzer reading is defined as  $P_{OSAj}$ .

The sensitivity error at temperature  $T_j$ ,  $\Delta P(T_j)$ , is given by Equation (28).

$$\Delta P(T_j) = P_{OSAj} / P_{OSA,Tref} - 1 \quad (28)$$

- c) Repeat this procedure with different temperature settings (change  $T_j$ ).
- d) Let  $\Delta P_{TMP,MAX}$  be the maximum value of  $\Delta P(T_j)$  obtained, and  $\Delta P_{TMP,MIN}$  the minimum.

### 6.3.4.3 Calculation of uncertainty due to DPL temperature dependence

The deviation of measured values dependent on the temperature,  $\Delta P_{TMP}$ , is given by,

$$\Delta P_{TMP} = (\Delta P_{TMP,MAX} + \Delta P_{TMP,MIN}) / 2 \quad (29)$$

The uncertainty due to temperature dependence,  $\sigma_{\Delta P_{TMP}}$ , is given by Equation (30):

$$\sigma_{\Delta P_{TMP}} = (\Delta P_{TMP,MAX} - \Delta P_{TMP,MIN}) / 2\sqrt{3} \quad (30)$$

## 6.4 Calculation of expanded uncertainty in displayed power level

When the test analyzer is only used under reference conditions, the expanded uncertainty,  $U_{P_{ref}}$ , can be calculated by Equation (31) with a coverage factor  $k$ .

$$U_{P_{ref}} = \pm k \sigma_{\Delta P_{ref}} \quad (31)$$

When the test analyzer is operated beyond the reference conditions, the accumulative power level uncertainty of the test analyzer,  $\sigma_{\Delta P_{Cu}}$ , should be calculated using Equation (32) with the results of Equations (13), (17), (22), (27) and (30) when all the calibration procedures are performed under operating conditions.

$$\sigma_{\Delta P_{Cu}} = (\sigma_{\Delta P_{ref}}^2 + \sigma_{\Delta P_{\lambda}}^2 + \sigma_{\Delta P_{POL}}^2 + \sigma_{\Delta P_{LIN}}^2 + \sigma_{\Delta P_{TMP}}^2)^{1/2} \quad (32)$$

où

- $\sigma_{\Delta P_{ref}}$  est l'incertitude de l'analyseur d'essai dans les conditions de référence,
- $\sigma_{\Delta P_{\lambda}}$  est l'incertitude due à la dépendance en longueur d'onde;
- $\sigma_{\Delta P_{POL}}$  est l'incertitude due à la dépendance en polarisation;
- $\sigma_{\Delta P_{LIN}}$  est l'incertitude due à linéarité;
- $\sigma_{\Delta P_{TMP}}$  est l'incertitude due à la dépendance en température.

L'incertitude étendue,  $U_{P_{Cu}}$ , avec un facteur de couverture  $k$  est exprimée par l'équation suivante:

$$U_{P_{Cu}} = \pm k \sigma_{\Delta P_{Cu}} \quad (33)$$

L'écart du niveau affiché de puissance cumulative,  $\Delta P_{Cu}$ , est donnée par l'équation (34) avec les résultats des équations (14), (16), (21), (26) et (29).

$$\Delta P_{Cu} = \Delta P_{ref} + \Delta P_{\lambda} + \Delta P_{POL} + \Delta P_{LIN} + \Delta P_{TMP} \quad (34)$$

L'écart, l'incertitude et l'incertitude étendue du niveau affiché de puissance,  $\Delta P$ ,  $\sigma_P$  et  $U_P$ , à un niveau affiché de puissance indiqué par  $P$  (mW) sont donnés par l'équation ci-dessous, lorsque l'objectif est d'obtenir ces valeurs en unités de puissance absolues.

$$\Delta P = \Delta P_{Cu} P \quad (\text{mW}) \quad (35)$$

$$\sigma_P = \sigma_{\Delta P_{Cu}} P \quad (\text{mW}) \quad (36)$$

$$U_P = U_{P_{Cu}} P \quad (\text{mW}) \quad (37)$$

Lorsque l'écart ou l'incertitude doivent être exprimés en tant qu'unités dB, utiliser l'équation suivante pour convertir en unités dB:

$$10 \log_{10}(1 + X) \quad (\text{dB}) \quad (38)$$

où  $X = \Delta P_{Cu}$  ou  $\sigma_{\Delta P_{Cu}}$ .

NOTE Si ceci est le niveau affiché de puissance qui doit être corrigé sur la base des résultats d'étalonnage, ceci est généralement mis en œuvre en réalisant des corrections logicielles sur l'instrument, des corrections mathématiques sur les résultats ou des ajustements matériels de l'instrument. Une fois les ajustements effectués, il est judicieux de répéter l'essai pour vérifier que la correction a fonctionné correctement. Voir l'Annexe C

## 7 Etalonnage de la longueur d'onde

### 7.1 Vue d'ensemble

Les facteurs composant l'incertitude dans la longueur d'onde de l'analyseur d'essai sont constitués de:

- a) l'incertitude intrinsèque de l'analyseur d'essai comme donnée dans l'essai, dans les conditions de référence, et
- b) des incertitudes partielles dues à la dépendance en longueur d'onde et à la dépendance en température comme données dans les essais, dans les conditions de fonctionnement.

L'étalonnage dans les conditions de référence décrites en 7.2 pour obtenir l'incertitude intrinsèque est obligatoire. Cependant, l'étalonnage dans les conditions de référence décrite en 7.3 n'est pas obligatoire. Si l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des conditions de référence, il doit être étalonné dans la plage des conditions de fonctionnement. La longueur d'onde est celle dans le vide.

where

- $\sigma_{\Delta P_{\text{ref}}}$  is the uncertainty of the test analyzer under reference conditions;
- $\sigma_{\Delta P_{\lambda}}$  is the uncertainty due to wavelength dependence;
- $\sigma_{\Delta P_{\text{POL}}}$  is the uncertainty due to polarization dependence;
- $\sigma_{\Delta P_{\text{LIN}}}$  is the uncertainty due to linearity;
- $\sigma_{\Delta P_{\text{TMP}}}$  is uncertainty due to temperature dependence .

The expanded uncertainty,  $U_{P_{\text{Cu}}}$ , with a coverage factor  $k$  is expressed by the following equation:

$$U_{P_{\text{Cu}}} = \pm k \sigma_{\Delta P_{\text{Cu}}} \quad (33)$$

The accumulative displayed power level deviation,  $\Delta P_{\text{Cu}}$ , is given by Equation (34) with the results of Equations (14), (16), (21), (26) and (29).

$$\Delta P_{\text{Cu}} = \Delta P_{\text{ref}} + \Delta P_{\lambda} + \Delta P_{\text{POL}} + \Delta P_{\text{LIN}} + \Delta P_{\text{TMP}} \quad (34)$$

The deviation, uncertainty and expanded uncertainty of the displayed power level,  $\Delta P$ ,  $\sigma_P$  and  $U_P$ , at the displayed power level indicated by  $P$ (mW) are given by the equations below, when the aim is to obtain these values in absolute power units.

$$\Delta P = \Delta P_{\text{Cu}} P \quad (\text{mW}) \quad (35)$$

$$\sigma_P = \sigma_{\Delta P_{\text{Cu}}} P \quad (\text{mW}) \quad (36)$$

$$U_P = U_{P_{\text{Cu}}} P \quad (\text{mW}) \quad (37)$$

When the deviation or uncertainty must be expressed as dB units, use the following equation to convert to dB units:

$$10 \log_{10}(1 + X) \quad (\text{dB}) \quad (38)$$

where  $X = \Delta P_{\text{Cu}}$  or  $\sigma_{\Delta P_{\text{Cu}}}$ .

NOTE If this is the displayed power level which must be corrected based on the calibration results, this is typically implemented by making software corrections to the instrument, mathematical corrections to the results, or instrument hardware adjustments. Once the adjustments have been made, it is advisable to repeat the test to verify that the correction has operated correctly. See Annex C.

## 7 Wavelength calibration

### 7.1 Overview

The factors making up the uncertainty in the wavelength of the test analyzer consist of

- a) the intrinsic uncertainty of the test analyzer as found in the test under reference conditions, and
- b) partial uncertainties due to wavelength dependence and temperature dependence as found in the tests under operating conditions.

Calibration under reference conditions described in 7.2 to obtain the intrinsic uncertainty is mandatory. However, calibration under operating conditions described in 7.3 is not mandatory. If the test analyzer is operated beyond the reference conditions, it must be calibrated within the range of operating conditions. The wavelength is that in a vacuum.

## 7.2 Etalonnage de la longueur d'onde dans les conditions de référence

Des montages alternatifs pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans les conditions de référence sont donnés aux Figures 1, 2 et 3. Dans le montage de la Figure 1, un laser à gaz, dont la longueur d'onde est connue, est utilisé comme source de lumière. La Figure 2 montre un montage dans lequel une source à large bande peut être utilisée conjointement avec un dispositif de transmission avec des longueurs d'onde connues (traçables) de transmission crête (ou nulle). La Figure 3 montre un montage dans lequel une diode laser (LD), dont la longueur d'onde est inconnue, est utilisée comme source de lumière. Cet essai est effectué sous des conditions d'étalonnage de référence.

### 7.2.1 Equipement pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans les conditions de référence

- a) **Source de lumière:** utiliser la source de lumière prescrite pour l'étalonnage de l'analyseur d'essai; si aucune source de lumière n'est prescrite, en utiliser une avec une stabilité de largeur de bande spectrale et une stabilité de longueur d'onde suffisantes pour l'incertitude en longueur d'onde prescrite pour l'analyseur d'essai.

Les sources de lumière recommandées sont des lasers, tels que ceux listés au Tableau 1, une diode laser (LD) ou autre laser (qui peuvent être accordable) possédant un spectre unimodal. En plus, une source à large bande peut être utilisée conjointement avec un dispositif de transmission avec des longueurs d'onde connues (traçables) de transmission crête (ou nulle). Le dispositif de transmission peut être, par exemple, une série de filtres à bandes étroites fixées, des raies d'absorption dans un support gazeux, ou des interféromètres type Fabry-Perot.

L'Annexe D indique beaucoup de références de longueurs d'ondes stables. Il convient que la référence utilisée possède une stabilité en longueur d'onde, une largeur de bande spectrale et une stabilité de puissance suffisantes pour l'incertitude en longueur d'onde prescrite pour l'analyseur d'essai.

- b) **Appareil de mesure de la longueur d'onde:** un instrument pour mesurer la longueur d'onde de la source de lumière. Cette précision doit être suffisamment meilleure que la précision exigée dans l'essai de la longueur d'onde. Cet instrument est utilisé lorsqu'une diode laser (LD) avec une longueur d'onde inconnue est utilisée comme source de lumière (Figure 3).

### 7.2.2 Procédure d'essai pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans les conditions de référence

- a) En utilisant le montage d'essai donné aux Figures 1, 2 ou 3, régler la plage de la longueur d'onde affichée de l'analyseur d'essai de façon qu'il intègre la longueur d'onde de la source de lumière autour du centre de l'affichage. En plus, régler la résolution de la longueur d'onde de l'analyseur d'essai de façon qu'elle satisfasse à l'équation (39) et qu'elle soit meilleure que l'incertitude de la longueur d'onde testée.

$$R_{\text{set}} > 10 \cdot S / N \quad (39)$$

où

$R_{\text{set}}$  est le réglage de résolution spectrale choisi de l'analyseur de spectre optique en essai;

$S$  est la plage de longueur d'onde affichée;

$N$  est le nombre de points affichés.

Lorsqu'on utilise la configuration d'essai montrée aux Figures 1 ou 2, soit  $\lambda_{\text{REF}}$  la valeur de la longueur d'onde connue de la source de lumière ou de l'artefact de transmission et lorsqu'on utilise la configuration d'essai montrée à la Figure 3, soit  $\lambda_{\text{REF}}$  la longueur d'onde de la source de lumière comme mesurée par l'appareil de mesure de la longueur d'onde.

Par rapport au  $\lambda_{\text{REF}}$  de la source de lumière, soit  $\lambda_{\text{OSA}i}$  la longueur d'onde centrale mesurée par l'analyseur d'essai.

## 7.2 Wavelength calibration under reference conditions

Alternative setups for the calibration under reference conditions are shown in Figures 1, 2, and 3. In the Figure 1 setup, a gas laser whose wavelength is known is used for the light source. Figure 2 shows a setup in which a broad band source may be used in conjunction with a transmission device with known (traceable) wavelengths of peak (or null) transmission. Figure 3 shows a setup in which a laser diode (LD) whose wavelength is unknown is used for the light source. This test is performed under reference calibration conditions.

### 7.2.1 Equipment for wavelength calibration under reference conditions

- a) **Light source:** use the light source prescribed for calibrating the test analyzer; if a light source is not prescribed, use one with a spectral bandwidth and wavelength stability sufficient for the wavelength uncertainty prescribed for the test analyzer.

The recommended light sources are lasers such as those listed in Table 1, a laser diode (LD) or laser (which may be tunable) which has a single-mode spectrum. In addition, a broadband source may be used in conjunction with a transmission device with known (traceable) wavelengths of peak (or null) transmission. The transmission device may be for example a series of fixed narrowband filters, absorption lines in gaseous media, or Fabry-Perot interferometers.

Annex D tabulates many stable wavelength references. The reference used should have wavelength stability, and a spectral bandwidth, and power stability sufficient for the uncertainty of wavelength required for the test analyzer.

- b) **Wavelength meter:** an instrument for measuring the wavelength of the light source. Its precision must be sufficiently better than the precision required in the wavelength test. This instrument is used when a laser diode (LD) with an unknown wavelength is used as the light source (Figure 3).

### 7.2.2 Test procedure for wavelength calibration under reference conditions

- a) Using the test setup shown in Figure 1, 2 or 3, set the displayed wavelength range of the test analyzer so that it includes the wavelength of the light source around the centre of the display. In addition, set the wavelength resolution of the test analyzer so that it satisfies Equation (39) and is better than the tested wavelength uncertainty.

$$R_{\text{set}} > 10 \cdot S / N \quad (39)$$

where

$R_{\text{set}}$  is the set resolution bandwidth (spectral resolution) of the optical spectrum analyzer under test;

$S$  is the displayed wavelength range;

$N$  is the number of display points.

When using the test configuration shown in Figure 1 or 2, let the value of the known wavelength of the light source or transmission artefact be  $\lambda_{\text{REF}}$ , and when using the test configuration shown in Figure 3, let  $\lambda_{\text{REF}}$  indicate the wavelength of the light source as measured by the wavelength meter.

With respect to  $\lambda_{\text{REF}}$  of the light source, let the centre wavelength measured by the test analyzer be  $\lambda_{\text{OSAi}}$ .

b) Répéter cette mesure au moins dix fois et calculer la longueur d'onde moyenne.

$$\lambda_{\text{OSAAV}} = \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{OSAi}} / m \quad (40)$$

où  $m$  est le nombre de mesures utilisé.

### 7.2.3 Calculs de l'incertitude en longueur d'onde dans les conditions de référence

A partir de la valeur mesurée, calculer l'écart,  $\Delta\lambda_{\text{ref}}$ :

$$\Delta\lambda_{\text{ref}} = \lambda_{\text{OSAAV}} - \lambda_{\text{REF}} \quad (41)$$

Calculer l'incertitude type  $\sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}$  des valeurs mesurées  $\lambda_{\text{OSAi}}$  en utilisant l'équation (42).

$$\sigma_{\lambda_{\text{OSA}}} = \left[ \sum_{i=1}^m (\lambda_{\text{OSAi}} - \lambda_{\text{OSAAV}})^2 / (m - 1) \right]^{1/2} \quad (42)$$

L'incertitude  $\sigma_{\Delta\lambda_{\text{ref}}}$  de l'analyseur d'essai par rapport à la longueur d'onde sous des conditions d'étalonnage de référence est donnée par l'équation (43).

$$\sigma_{\Delta\lambda_{\text{ref}}} = (\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + \sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}^2)^{1/2} \quad (43)$$

où

$\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}$  est l'incertitude en longueur d'onde de la source de lumière;

$\sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}$  est l'incertitude normalisée des valeurs mesurées pendant l'essai.

NOTE L'incertitude en longueur d'onde de la source de lumière,  $\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}$ , peut être ignorée si un laser ou un dispositif de transmission avec une longueur d'onde stable est utilisé comme source de lumière et que ces performances sont suffisamment meilleures que l'incertitude en longueur d'onde de l'analyseur d'essai. Lorsqu'une diode laser (LD) est utilisée comme source de lumière, mesurer la longueur d'onde à plusieurs reprises avec l'appareil de mesure de la longueur d'onde et garder l'incertitude de la source de lumière comme son écart-type normalisé,  $\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}$ .

## 7.3 Etalonnage de la longueur d'onde pour des conditions de fonctionnement

L'étalonnage décrit dans ce paragraphe n'est pas obligatoire. Réaliser la procédure d'étalonnage lorsque l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des étalonnages de référence.

Les facteurs individuels dans l'incertitude en longueur d'onde pour les conditions de fonctionnement peuvent être constituées des éléments suivants:

- a) dépendance en longueur d'onde et
- b) dépendance en température.

### 7.3.1 Dépendance en longueur d'onde

Les Figures 1, 2 et 3 montrent les configurations d'essai pour déterminer la dépendance en longueur d'onde. Ces configurations d'essai sont les mêmes que celles utilisées pour l'étalonnage dans les conditions de référence. Cet essai est effectué sous des conditions d'étalonnage de référence, à l'exception des longueurs d'onde de la source.

#### 7.3.1.1 Equipement pour déterminer la dépendance en longueur d'onde

- a) **Source de lumière:** utiliser une source de lumière avec 1) une largeur de bande spectrale suffisamment plus étroite que la résolution spectrale de l'analyseur d'essai et 2) une stabilité de longueur d'onde et une stabilité de puissance suffisantes pour l'incertitude en longueur d'onde prescrite pour l'analyseur d'essai.

b) Repeat this measurement at least ten times and calculate the average wavelength.

$$\lambda_{\text{OSAAV}} = \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{OSAi}} / m \quad (40)$$

where  $m$  is the number of measurements used.

### 7.2.3 Calculations of wavelength uncertainty under reference conditions

From the measured value, calculate the deviation,  $\Delta\lambda_{\text{ref}}$ :

$$\Delta\lambda_{\text{ref}} = \lambda_{\text{OSAAV}} - \lambda_{\text{REF}} \quad (41)$$

Calculate the standard uncertainty  $\sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}$  of the measured  $\lambda_{\text{OSAi}}$  values using Equation (42).

$$\sigma_{\lambda_{\text{OSA}}} = \left[ \sum_{i=1}^m (\lambda_{\text{OSAi}} - \lambda_{\text{OSAAV}})^2 / (m - 1) \right]^{1/2} \quad (42)$$

The uncertainty  $\sigma_{\Delta\lambda_{\text{ref}}}$  of the test analyzer with regard to wavelength under the reference calibration conditions is given by Equation (43).

$$\sigma_{\Delta\lambda_{\text{ref}}} = (\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + \sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}^2)^{1/2} \quad (43)$$

where

$\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}$  is the uncertainty of the light source wavelength;

$\sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}$  is the standard uncertainty of the values measured during the test.

NOTE The uncertainty of the light source wavelength,  $\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}$ , can be ignored if a laser or transmission device with a stable wavelength is used as the light source and its performance is sufficiently better than the wavelength uncertainty of the test analyzer. When an LD is used for the light source, measure the wavelength several times with the wavelength meter and let the uncertainty of the light source be its standard deviation,  $\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}$ .

## 7.3 Wavelength calibration for operating conditions

The calibration described in this subclause is not mandatory. Perform the calibration procedure when the test analyzer is used beyond the reference calibrations.

Individual factors in wavelength uncertainty for the operating conditions may consist of the following:

- a) wavelength dependence and
- b) temperature dependence.

### 7.3.1 Wavelength dependence

Figures 1, 2 and 3 show the test configurations for determining wavelength dependence. These are the same as those used for calibration under the reference conditions. This test is performed under reference calibration conditions with the exception of the source wavelengths.

#### 7.3.1.1 Equipment for determining wavelength dependence

- a) **Light source:** use a light source with 1) a spectral bandwidth sufficiently narrower than the resolution bandwidth (spectral resolution) of the test analyzer, and 2) wavelength and power stability sufficient for the wavelength uncertainty prescribed for the test analyzer.

Les sources de lumière recommandées sont des lasers, tels que ceux listés au Tableau 1 et une diode laser (LD) avec un spectre unimodal (par exemple, une source diode laser accordable). Une source à large bande peut également être utilisée conjointement avec un dispositif de transmission avec des longueurs d'onde connues (traçables) de transmission crête (ou nulle). Le dispositif de transmission peut être, par exemple, une série de filtres à bandes étroites fixées, des raies d'absorption dans un support gazeux, ou des interféromètres de type Fabry-Perot.

L'Annexe D indique beaucoup de références de longueurs d'ondes stables. Il convient que la référence utilisée possède une stabilité en longueur d'onde, une largeur de bande spectrale et une stabilité de puissance suffisantes pour l'incertitude en longueur d'onde prescrite pour l'analyseur d'essai.

- b) **Appareil de mesure de la longueur d'onde:** instrument pour mesurer la longueur d'onde de la source de lumière. Sa précision doit être suffisamment meilleure que la précision exigée dans l'essai de la longueur d'onde. Cet instrument est utilisé lorsqu'une diode laser (LD), dont la longueur d'onde est inconnue, est utilisée comme source de lumière (Figure 3).

### 7.3.1.2 Procédure d'essai pour déterminer la dépendance en longueur d'onde

Lorsqu'on utilise la configuration d'essai montrée aux Figures 1 ou 2, soit  $\lambda_{REF,j}$  la valeur de la longueur d'onde connue de la (des) source(s) de lumière ou de l'artefact(s) de transmission et pour la configuration d'essai montrée à la Figure 3, soit  $\lambda_{REF,j}$  la longueur d'onde de la (des) source(s) de lumière comme mesurée par l'appareil de mesure de la longueur d'onde.

- a) Faire entrer la lumière de la source de lumière dans l'analyseur d'essai et lire la valeur indiquée  $\lambda_{OSA_j}$ . Déterminer alors l'écart de longueur d'onde  $\Delta\lambda_{\lambda_j}$  par rapport à la  $\lambda_{REF,j}$  en utilisant l'équation (44).

$$\Delta\lambda_{\lambda_j} = \lambda_{OSA_j} - \lambda_{REF,j} \quad (44)$$

- b) Ensuite, modifier la longueur d'onde de la source et effectuer le même essai, en déterminant de nouveau l'écart en utilisant l'équation (44).
- c) Soit  $\Delta\lambda_{\lambda,MAX}$  la valeur maximale des valeurs des écarts obtenus et  $\Delta\lambda_{\lambda,MIN}$  la valeur minimale.

### 7.3.1.3 Calculs de l'incertitude en longueur d'onde due à la dépendance en longueur d'onde

En utilisant l'écart des valeurs mesurées pour plusieurs longueurs d'onde, déterminer l'écart,  $\Delta\lambda_{\lambda}$  et l'incertitude,  $\sigma_{\Delta\lambda\lambda}$  due à la dépendance en longueur d'onde en utilisant respectivement l'équation (45) et l'équation (46).

$$\Delta\lambda_{\lambda} = (\Delta\lambda_{\lambda,MAX} + \Delta\lambda_{\lambda,MIN}) / 2 \quad (45)$$

$$\sigma_{\Delta\lambda\lambda} = (\Delta\lambda_{\lambda,MAX} - \Delta\lambda_{\lambda,MIN}) / 2\sqrt{3} \quad (46)$$

### 7.3.2 Dépendance en température

La Figure 9 montre la configuration d'essai pour déterminer la dépendance en température de l'incertitude en longueur d'onde. Cet essai est effectué sous des conditions d'étalonnage de référence excepté la température.

The recommended light sources are lasers such as those listed in Table 1, and a laser diode (LD) with a single-mode spectrum (for example, tunable laser diode source). Also, a broadband source may be used in conjunction with a transmission device with known (traceable) wavelengths of peak (or null) transmission. The transmission device may be for example a series of fixed narrowband filters, absorption lines in gaseous media, or Fabry-Perot interferometers.

Annex D tabulates many stable wavelength references. The reference used should have wavelength stability, and a spectral bandwidth, and power stability sufficient for the uncertainty of wavelength required for the test analyzer.

- b) **Wavelength meter:** an instrument for measuring the wavelength of the light source. Its precision must be sufficiently better than the precision required in the wavelength test. This instrument is used when a laser diode (LD) whose wavelength is unknown is used as the light source (Figure 3).

### 7.3.1.2 Test procedure for determining wavelength dependence

When using the test configuration shown in Figure 1 or 2, let the value of the known wavelength of the light source(s) or transmission artefact(s) be  $\lambda_{REF,j}$ , and for the test configuration shown in Figure 3, let  $\lambda_{REF,j}$  be the wavelength of the light source(s) as measured by the wavelength meter.

- a) Input light from the light source into the test analyzer and read the indicated value  $\lambda_{OSA,j}$ . Then determine the wavelength deviation  $\Delta\lambda_{\lambda,j}$  with respect to  $\lambda_{REF,j}$  using Equation (44).

$$\Delta\lambda_{\lambda,j} = \lambda_{OSA,j} - \lambda_{REF,j} \quad (44)$$

- b) Next, change the source wavelength and perform the same test, again determining the deviation using Equation (44).
- c) Let  $\Delta\lambda_{\lambda,MAX}$  be the maximum value of the deviation values obtained, and  $\Delta\lambda_{\lambda,MIN}$  the minimum.

### 7.3.1.3 Calculations of wavelength uncertainty due to wavelength dependence

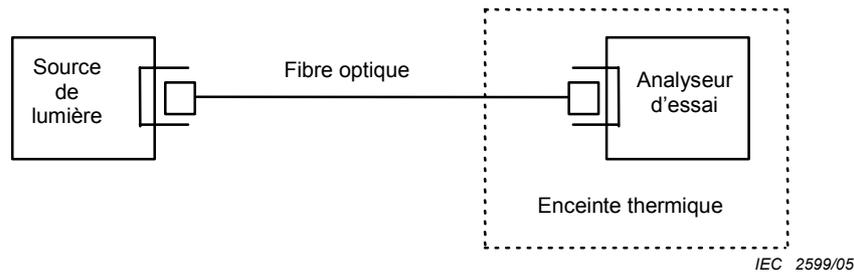
By using the deviation of measurement values for several wavelengths, determine the deviation,  $\Delta\lambda_{\lambda}$  and uncertainty,  $\sigma_{\Delta\lambda\lambda}$  due to wavelength dependence by using Equation (45) and Equation (46), respectively.

$$\Delta\lambda_{\lambda} = (\Delta\lambda_{\lambda,MAX} + \Delta\lambda_{\lambda,MIN}) / 2 \quad (45)$$

$$\sigma_{\Delta\lambda\lambda} = (\Delta\lambda_{\lambda,MAX} - \Delta\lambda_{\lambda,MIN}) / 2\sqrt{3} \quad (46)$$

### 7.3.2 Temperature dependence

Figure 9 shows the test configuration for determining the temperature dependence of wavelength uncertainty. This test is performed under reference calibration conditions with the exception of temperature.



**Figure 9 – La configuration d’essai pour déterminer la dépendance en température de l’incertitude en longueur d’onde**

**7.3.2.1 Equipement pour déterminer la dépendance en température**

- a) **Source de lumière:** utiliser la source de lumière prescrite pour l’étalonnage de l’analyseur d’essai; si aucune source de lumière n’est prescrite, en utiliser une avec une stabilité de largeur de bande spectrale et une stabilité de longueur d’onde suffisantes pour l’incertitude en longueur d’onde prescrite pour l’analyseur d’essai.

Les sources de lumière recommandées sont des lasers à gaz listés au Tableau 1, une diode laser (LD) ou un laser avec un spectre unimodal et une source à large bande avec un dispositif de transmission. L’Annexe D indique beaucoup de références de longueurs d’ondes stables.

**7.3.2.2 Procédure d’essai pour déterminer la dépendance en température**

Sous des conditions d’étalonnage de référence et à l’intérieur de la plage de températures prescrites pour l’analyseur d’essai, mesurer la longueur d’onde de la lumière d’entrée de la source de lumière pour au moins cinq points de température ( $T_j$ ).

- a) Soit  $\lambda_{REF}$  la longueur d’onde de la lumière d’entrée et  $\lambda_{OSA_j}$  la valeur indiquée sur l’analyseur d’essai, déterminer l’écart de la longueur d’onde par l’équation (47).

$$\Delta\lambda_{T_j} = \lambda_{OSA_j} - \lambda_{REF} \tag{47}$$

- b) Ensuite, modifier la température et répéter l’essai et le calcul de l’écart. Suffisamment de temps (par exemple 2 h) doit être laissé à l’OSA soumis à l’étalonnage pour atteindre l’équilibre thermique à chaque température utilisée.
- c) Soit  $\Delta\lambda_{TMP,MAX}$  la valeur maximale de  $\Delta\lambda(T_j)$  obtenue et  $\Delta\lambda_{TMP,MIN}$  la valeur minimale.

**7.3.2.3 Calculs de l’incertitude en longueur d’onde due à la dépendance en température**

En utilisant les écarts des valeurs mesurées à plusieurs températures, déterminer l’écart,  $\Delta\lambda_T$  et l’incertitude  $\sigma_{\Delta\lambda_T}$  dus à la dépendance en température en utilisant, respectivement, l’équation (48) et l’équation (49).

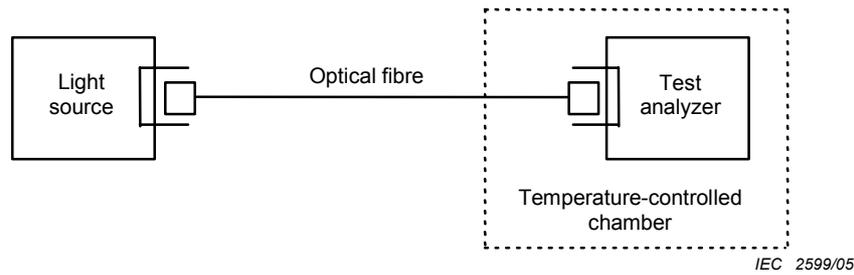
$$\Delta\lambda_T = (\Delta\lambda_{T,MAX} + \Delta\lambda_{T,MIN}) / 2 \tag{48}$$

$$\sigma_{\Delta\lambda_T} = (\Delta\lambda_{T,MAX} - \Delta\lambda_{T,MIN}) / 2\sqrt{3} \tag{49}$$

**7.4 Calcul de l’incertitude étendue en longueur d’onde**

Lorsque l’analyseur d’essai est uniquement utilisé dans les conditions de référence, l’incertitude étendue,  $U_{\lambda_{ref}}$ , peut être calculée par l’équation (50) avec un facteur de couverture  $k$ .

$$U_{\lambda_{ref}} = \pm k \sigma_{\Delta\lambda_{ref}} \tag{50}$$



**Figure 9 – Test configuration for determining the temperature dependence of wavelength uncertainty**

### 7.3.2.1 Equipment for determining temperature dependence

- a) **Light source:** use the light source prescribed for calibrating the test analyzer; if a light source is not prescribed, use one with a spectral bandwidth and wavelength stability sufficient for the wavelength uncertainty prescribed for the test analyzer.

The recommended light sources are the gas lasers listed in Table 1, a laser diode (LD) or a laser with a single-mode spectrum and a broad band source with a transmission device. Annex D tabulates many stable wavelength references.

### 7.3.2.2 Test procedure for determining temperature dependence

Under reference calibration conditions and within the temperature range prescribed for the test analyzer, measure the wavelength of the light input from the light source for at least five temperature points ( $T_j$ ).

- a) Letting the wavelength of the input light be  $\lambda_{REF}$  and the indicated value on the test analyzer be  $\lambda_{OSA_j}$ , determine the deviation in wavelength by Equation (47).

$$\Delta\lambda_{T_j} = \lambda_{OSA_j} - \lambda_{REF} \quad (47)$$

- b) Next, change the temperature and repeat the test and deviation calculation. Sufficient time (for example 2 hours) must be allowed for the OSA undergoing calibration to reach thermal equilibrium at each temperature used.
- c) Let  $\Delta\lambda_{T,MAX}$  be the maximum value of  $\Delta\lambda_{T_j}$  obtained, and  $\Delta\lambda_{T,MIN}$  the minimum.

### 7.3.2.3 Calculations of wavelength uncertainty due to temperature dependence

By using the deviations of measurement values at several temperatures, determine the deviation  $\Delta\lambda_T$  and uncertainty  $\sigma_{\Delta\lambda_T}$  due to temperature dependence, using Equations (48) and (49), respectively.

$$\Delta\lambda_T = (\Delta\lambda_{T,MAX} + \Delta\lambda_{T,MIN}) / 2 \quad (48)$$

$$\sigma_{\Delta\lambda_T} = (\Delta\lambda_{T,MAX} - \Delta\lambda_{T,MIN}) / 2\sqrt{3} \quad (49)$$

## 7.4 Calculation of expanded uncertainty in wavelength

When the test analyzer is only used under reference conditions, the expanded uncertainty,  $U_{\lambda_{ref}}$ , can be calculated by Equation (50) with a coverage factor  $k$ .

$$U_{\lambda_{ref}} = \pm k \sigma_{\Delta\lambda_{ref}} \quad (50)$$

L'incertitude totale en longueur d'onde est calculée en utilisant l'incertitude sous des conditions d'étalonnage de référence et l'incertitude dans les conditions de fonctionnement qui sont déterminées au travers des essais d'incertitude individuels de la dépendance en longueur d'onde et de la dépendance en température, lorsque l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des conditions de référence.

L'écart cumulatif de longueur d'onde  $\Delta\lambda_{cu}$  est calculé en utilisant l'équation (51) avec les résultats des équations (41), (45) et (48):

$$\Delta\lambda_{cu} = \Delta\lambda_{ref} + \Delta\lambda_{\lambda} + \Delta\lambda_T \quad (51)$$

L'incertitude en longueur d'onde  $\sigma_{\Delta\lambda_{cu}}$  est calculée en utilisant l'équation (52) avec les dispersions cumulatives des résultats des équations (43), (46) et (49):

$$\sigma_{\Delta\lambda_{cu}} = (\sigma_{\Delta\lambda_{ref}}^2 + \sigma_{\Delta\lambda_{\lambda}}^2 + \sigma_{\Delta\lambda_T}^2)^{1/2} \quad (52)$$

L'incertitude étendue  $U_{\lambda_{cu}}$  avec un facteur de couverture  $k$  est exprimée par l'équation suivante:

$$U_{\lambda_{cu}} = \pm k \sigma_{\Delta\lambda_{cu}} \quad (53)$$

NOTE Si la longueur d'onde doit être corrigée sur la base des résultats d'étalonnage, ceci est généralement mis en œuvre en effectuant des corrections logicielles sur l'instrument, des corrections mathématiques sur les résultats ou des ajustements matériels de l'instrument. Des exemples d'évaluations et de calculs des corrections de certains paramètres sont donnés dans l'Annexe C. Une fois les ajustements effectués, il est judicieux de répéter l'essai pour vérifier que la correction a fonctionné correctement.

## 8 Documents

### 8.1 Données de mesure et incertitude

Les certificats d'étalonnage déclarés être en conformité avec ce document doivent inclure les données suivantes et leurs incertitudes et les incertitudes doivent être indiquées sous la forme des intervalles de confiance estimés en multipliant l'écart normalisé applicable par  $\pm k$ .

- a) Résultats d'essai de la résolution spectrale si mesurés. Par exemple, le rapport de différence,  $\Delta R_{diff}$ . La longueur d'onde est celle dans le vide. Voir les exigences particulières de l'Article 5.
- b) L'écart du niveau affiché de puissance,  $\Delta P_{cu}$ , et son incertitude  $\pm k\sigma_{\Delta P_{cu}}$ , par exemple, exprimée en mW ou en dB. Voir les exigences particulières de l'Article 6.
- c) L'écart de longueur d'onde,  $\Delta\lambda_{cu}$ , et son incertitude  $\pm k\sigma_{\Delta\lambda_{cu}}$ , par exemple, exprimée en nm, dans le vide. Voir les exigences particulières de l'Article 7.

### 8.2 Conditions de mesure

La (les) méthode(s) d'étalonnage et la (les) méthode(s) pour obtenir les résultats de mesure doivent être indiquées.

Il convient que chaque spécification soit également accompagnée par une indication de l'(des) état(s) des instruments et les conditions de mesure pour lesquelles ils s'appliquent. Les paramètres les plus importants sont: la date d'étalonnage, le niveau affiché de puissance, la résolution horizontale et verticale de l'affichage, la température, l'humidité, la pression atmosphérique et la plage de longueur d'onde affichée.

NOTE Les résultats d'étalonnage s'appliquent uniquement aux réglages des conditions d'essai utilisées pour le processus d'étalonnage.

The overall wavelength uncertainty is calculated using the uncertainty under reference calibration conditions and the uncertainty under operating conditions which are determined through individual uncertainty tests of the wavelength dependence and temperature dependence, when the test analyzer is used beyond the reference conditions.

Cumulative wavelength deviation  $\Delta\lambda_{cu}$  is calculated by using Equation (51) with the results of Equations (41), (45), and (48):

$$\Delta\lambda_{cu} = \Delta\lambda_{ref} + \Delta\lambda_{\lambda} + \Delta\lambda_T \quad (51)$$

The uncertainty of wavelength  $\sigma_{\Delta\lambda_{cu}}$  is calculated by using Equation (52) with cumulative dispersions with the results of Equations (43), (46) and (49):

$$\sigma_{\Delta\lambda_{cu}} = (\sigma_{\Delta\lambda_{ref}}^2 + \sigma_{\Delta\lambda_{\lambda}}^2 + \sigma_{\Delta\lambda_T}^2)^{1/2} \quad (52)$$

The expanded uncertainty,  $U_{\lambda_{cu}}$  with a coverage factor  $k$  is expressed by the following equation:

$$U_{\lambda_{cu}} = \pm k \sigma_{\Delta\lambda_{cu}} \quad (53)$$

NOTE If the wavelength must be corrected based on the results of the calibration results, this is typically implemented by making software corrections to the instrument, mathematical corrections to the results, or instrument hardware adjustments. Examples of evaluation and calculations of corrections for certain parameters are given in Annex C. Once the adjustments have been made, it is advisable to repeat the test to verify that the correction has operated correctly.

## 8 Documentation

### 8.1 Measurement data and uncertainty

Calibration certificates claiming to be in compliance with this document shall include the following data and their uncertainties, and the uncertainties shall be stated in the form of estimated confidence intervals by multiplying the relevant standard deviation by  $\pm k$ .

- Resolution bandwidth (spectral resolution) test result, if measured. For example, difference ratio,  $\Delta R_{diff}$ . The wavelength is that in a vacuum. See the detailed requirements in Clause 5.
- The displayed power level deviation,  $\Delta P_{cu}$ , and its uncertainty,  $\pm k\sigma_{\Delta P_{cu}}$ , for example, in mW or dB. See the detailed requirements in Clause 6.
- The wavelength deviation,  $\Delta\lambda_{cu}$ , and its uncertainty,  $\pm k\sigma_{\Delta\lambda_{cu}}$ , for example, in nm, in a vacuum. See the detailed requirements in Clause 7.

### 8.2 Measurement conditions

The calibration method(s) and the method(s) of obtaining the measurement results shall be stated.

Each specification should also be accompanied by a statement of the instrument state(s) and the measurement conditions to which they apply. The most important parameters are: calibration date, displayed power level, horizontal and vertical display resolution, temperature, humidity, atmospheric pressure and displayed wavelength range.

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

## Annexe A (normative)

### Bases mathématiques pour le calcul de l'incertitude d'étalonnage

Une partie importante de l'effort d'étalonnage vient de l'évaluation des incertitudes. Cette annexe suggère un format normalisé pour les rapports et l'accumulation des incertitudes.

L'élément suivant est basé sur l'*ISO/CEI Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*. Ce document distingue trois types d'écarts (voir l'Article A.1) entre une mesure réelle et la "vraie" valeur de la quantité mesurée: les écarts connus, qui peuvent être corrigés, les incertitudes de type A, qui sont obtenues à partir d'une série de mesures sur la même grandeur mesurée et les incertitudes de type B qui sont obtenues à partir d'autres connaissances. Chacun de ces types d'écart peut être causé par un certain nombre de quantités influentes. Cette annexe indique une forme normalisée pour l'évaluation, le cumul et les rapports de ces contributions.

#### A.1 Ecarts

Un écart caractérise une erreur connue dans un résultat de mesure. Noter que le terme "erreur" est équivalent à "écart".

Il est utile de faire une distinction entre les résultats de mesures sous forme linéaire, par exemple, en longueur d'onde ou en pour cent, et les résultats de mesures sous forme logarithmiques, par exemple la puissance optique en dBm. Dans les deux cas, l'écart ou l'erreur,  $\Delta_y$ , quantifie la différence entre un résultat de mesure réel,  $y_{\text{actual}}$ , et la "vraie" valeur de la quantité mesurée,  $y_{\text{ref}}$ .

$$\Delta_y = y_{\text{actual}} - y_{\text{ref}} \quad (\text{A.1})$$

Une correction est possible en soustrayant l'écart du résultat de mesure.

#### A.2 Incertitude de type A

Il convient que les résultats de mesure changeant de façon aléatoire soient caractérisés comme une incertitude de type A. Une distribution normale (Gaussienne) des échantillons de mesure est généralement considérée. Il est recommandé que ces incertitudes soient conservées aussi petites que possible en moyennant les résultats pour un nombre d'échantillons de mesure. Pour gagner du temps dans l'étalonnage d'un instrument individuel à partir d'une série d'instruments, il est suggéré que chaque incertitude aléatoire (de type A) soit évaluée en deux étapes, décrites ci-dessous.

Dans un premier temps, déterminer l'écart normalisé expérimental  $S_{\text{typeA}}$  d'une situation typique de mesure à partir d'un grand nombre de mesures,  $m$ . Le centre de la distribution est supposé coïncider avec le zéro, c'est-à-dire la valeur normalisée de référence.

L'écart normalisé expérimental, caractérisant une incertitude de type A, est approximativement:

$$S_{\text{typeA}} = \left[ \sum_{i=1}^m (y_i - y_{\text{mean}})^2 / (m - 1) \right]^{1/2} \quad (\text{A.2})$$

## Annex A (normative)

### Mathematical basis for calculation of calibration uncertainty

A major part of the calibration effort goes into evaluating uncertainties. This annex suggests a standard format for reporting and accumulating uncertainties.

The following is based on the ISO/IEC *Guide to the expression of uncertainty in measurement*. This document distinguishes three types of deviations (see clause A.1) between an actual measurement result and the "true" value of the measured quantity: known deviations, which can be corrected, uncertainties of type A, which are obtained from a series of measurements on the same measurand, and uncertainties of type B which are obtained from other knowledge. Each of these may be caused by a number of influencing quantities. This annex indicates a standardized form of evaluating, accumulating and reporting these contributions.

#### A.1 Deviations

A deviation characterizes a known error in a measurement result. Note that the term "error" is equivalent to "deviation".

It is useful to distinguish between measurement results in linear form, for example, wavelength or percent, and measurement results in logarithmic form, for example, optical power in dBm. In both cases, the deviation or error,  $\Delta_y$ , quantifies the difference between an actual measurement result,  $y_{\text{actual}}$ , and the "true" value of the measured quantity,  $y_{\text{ref}}$ .

$$\Delta_y = y_{\text{actual}} - y_{\text{ref}} \quad (\text{A.1})$$

Correction is possible by subtracting the deviation from the measurement result.

#### A.2 Uncertainty type A

Randomly changing measurement results should be characterized as an uncertainty of type A. A normal (Gaussian) distribution of measurement samples is usually assumed. It is recommended that these uncertainties be kept as small as possible by averaging the results for a number of measurement samples. To save time in the calibration of an individual instrument from a series of instruments, it is suggested that each random (type A) uncertainty be evaluated in two steps:

As the first step, determine the experimental standard deviation,  $S_{\text{typeA}}$ , of a typical measurement situation from a large number of measurements,  $m$ . The centre of the distribution is assumed to coincide with zero that is, the reference standard value.

The experimental standard deviation, characterizing an uncertainty type A, is approximately:

$$S_{\text{typeA}} = \left[ \sum_{i=1}^m (y_i - y_{\text{mean}})^2 / (m - 1) \right]^{1/2} \quad (\text{A.2})$$

où

$y_i$  est l'échantillon de mesure d'une série de mesures;

$y_{\text{mean}}$  est la valeur moyenne des données;

$m$  est le nombre de mesures de caractérisation en déterminant l'écart normalisé;  $m$  est supposé être grand, par exemple, > 30.

Dans un second temps, déterminer l'incertitude type du cas individuel  $\sigma_{\text{typeA}}$ , à partir d'un nombre plus petit de mesures  $n$ . Souvent  $n = 1$  afin de gagner du temps de mesure. Le résultat est l'incertitude type de type A:

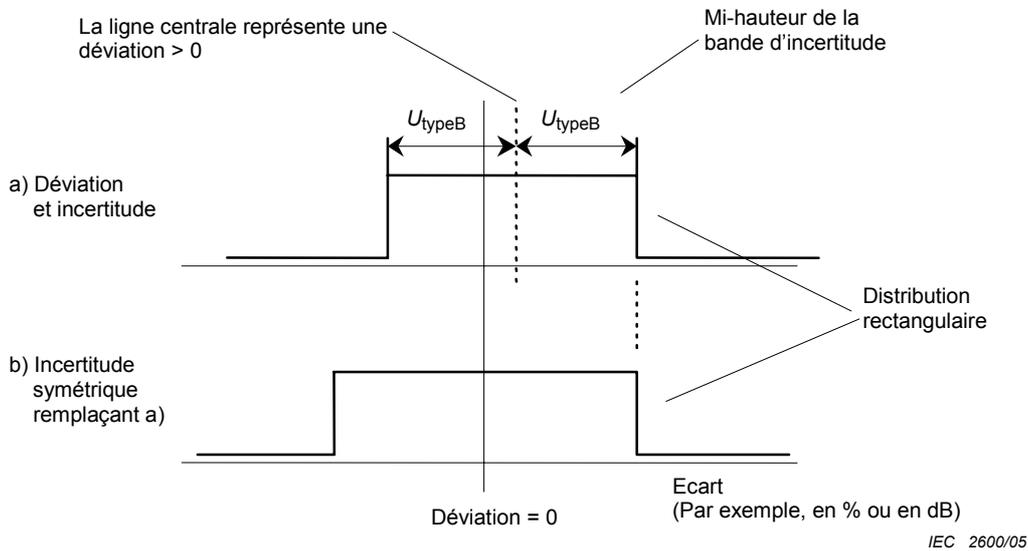
$$\sigma_{\text{typeA}} = S_{\text{typeA}} / n^{1/2} \tag{A.3}$$

$\sigma_{\text{typeA}}$  exprime l'incertitude de la moyenne, qui suppose un moyennage des résultats pour les  $n$  échantillons de mesure. Noter que les deux étapes peuvent être rassemblées en une seule étape, en faisant  $m = n$ . Des techniques supplémentaires de statistiques, par exemple les statistiques-t peuvent être exigées.

Les incertitudes de type A peuvent être exprimées sous forme linéaire, par exemple, en %, ou sous forme logarithmique, en dB. Leur traitement mathématique est identique tant que les incertitudes sont petites.

### A.3 Incertitude de type B

L'incertitude de type B quantifie généralement un décalage connu fixe entre un résultat de mesure et la "vraie" valeur de la quantité mesurée. Ces incertitudes peuvent être décrites par la largeur d'une bande d'incertitude, comme illustré à la Figure A.1. Les résultats de mesure sont supposés avoir une distribution uniforme (rectangulaire).



**Figure A.1 – Ecart et incertitude de type B, et comment remplacer chacune avec une incertitude de largeur plus grande de manière appropriée**

La présente norme suggère de spécifier la demie largeur,  $U_{\text{typeB}}$ , de la bande des incertitudes relatives. La bande d'incertitude peut être calculée en multipliant la bande de tolérance de la condition influente, par exemple de la température, avec le pire cas de dépendance de l'instrument en fonction de cette condition. Il convient que ces calculs soient basés sur des relations physiques connues, des spécifications fabricants, des données fournies dans des certificats d'étalonnage ou sur un nombre suffisamment grand de mesures de caractérisation du même type d'instrument. Les incertitudes de type A, dans ces mesures, doivent être gardées aussi petites que possible, par exemple en moyennant.

where

$y_i$  is the measurement sample of a series of measurements;

$y_{\text{mean}}$  is the mean value of the data;

$m$  is the number of characterizing measurements in determining the standard deviation;  $m$  is assumed to be large, for example,  $> 30$ .

As the second step, determine the uncertainty of the individual case,  $\sigma_{\text{typeA}_i}$ , from a smaller number of measurements,  $n$ . Often,  $n = 1$ , to save measurement time. The result is the standard uncertainty type A:

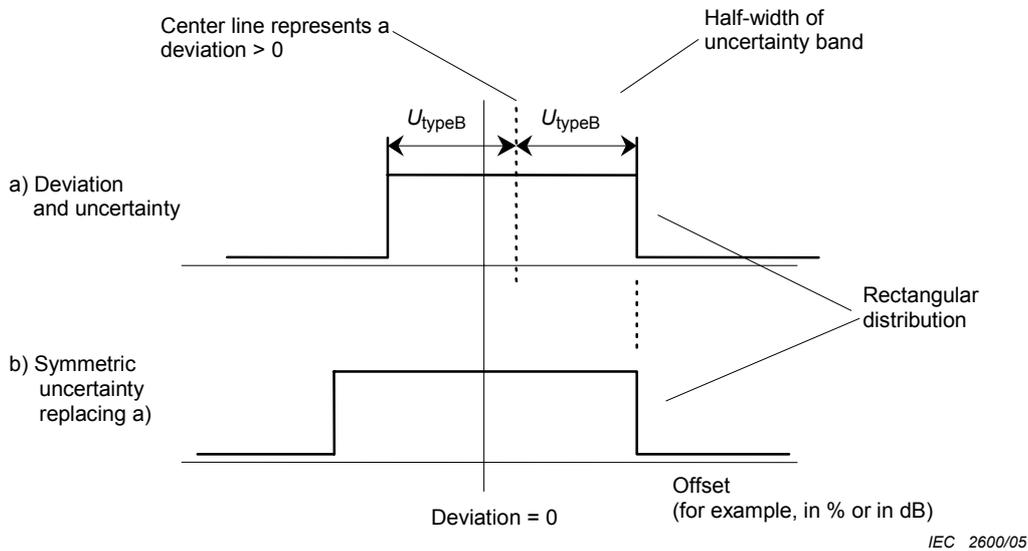
$$\sigma_{\text{typeA}} = S_{\text{typeA}} / n^{1/2} \quad (\text{A.3})$$

$\sigma_{\text{typeA}}$  expresses the uncertainty of the mean, which assumes an averaging of results for the  $n$  measurement samples. Note that the two steps may be combined into a single step, by making  $m = n$ . Additional statistical techniques, for example t-statistics, may be required.

Uncertainties of type A may be expressed in linear form, for example, in %, or in logarithmic form, in dB. Their mathematical treatment is identical as long as the uncertainties are small.

### A.3 Uncertainty type B

An uncertainty of type B usually quantifies an unknown fixed offset between a measurement result and the "true" value of a measured quantity. These uncertainties can be described by the width of an uncertainty band, as illustrated in Figure A.1. The measurement results are assumed to have a uniform (rectangular) distribution.



**Figure A.1 – Deviation and uncertainty type B, and how to replace both with an appropriately larger uncertainty**

This standard suggests specifying the half-width,  $U_{\text{typeB}}$ , of the band of relative uncertainties. The uncertainty band can be calculated by multiplying the tolerance band of the influencing condition, for example, of the temperature, with the instrument's worst-case dependence on this condition. These calculations should be based on known physical relations, manufacturer's specifications, data provided in calibration certificates or on a sufficiently large number of characterizing measurements of the same type of instrument. In these measurements, type A uncertainties are to be kept as small as possible, for example, by averaging.

Comme indiqué à la Figure A.1, il est possible d'omettre l'écart en spécifiant une bande d'incertitude plus grande et symétrique. L'incertitude étendue peut alternativement s'exprimer par une incertitude type équivalente  $\sigma_{\text{typeB}}$ :

Incertitude de type B (demie largeur):

$$U_{\text{typeB}} = \text{demie largeur de la bande de tolérance aux conditions x sensibilité de l'instrument(A.4)}$$

Incertitude type de type B (calculée):

$$\sigma_{\text{typeB}} = U_{\text{typeB}} / 3^{1/2} \quad (\text{A.5})$$

Les incertitudes de type B peuvent être exprimées sous forme linéaire, par exemple, en %, ou sous forme logarithmique, en dB. Leur traitement mathématique est identique tant que les incertitudes sont petites.

#### A.4 Accumulation des incertitudes

L' "incertitude combinée normalisée" est utilisée pour collecter un nombre,  $i$ , d'incertitudes individuelles à l'intérieur d'un nombre simple. L'incertitude combinée normalisée est basée sur l'indépendance statistique des incertitudes individuelles; ceci fournit une racine carrée de la somme de leurs écarts normalisés. En conformité avec le *ISO/CEI Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*, la formule suivante doit déterminer l'écart cumulatif, l'incertitude combinée normalisée et l'incertitude combinée étendue.

$$\text{Ecart cumulatif (erreur): } \Delta_y^* = \sum \Delta_{y_i} \quad (\text{A.6})$$

$$\text{Incertainete normalisee combinee: } \sigma_{\text{std}} = \left( \sum_{i=1}^n \sigma_{\text{typeB},i}^2 + \sum_{j=1}^l \sigma_{\text{typeA},j}^2 \right)^{1/2} \quad (\text{A.7})$$

où

- $i$  est le nombre actuel de contributions individuelles;
- $\sigma_{\text{typeB},i}$  est l'incertitude type (calculée) représentant l'incertitude systématique (de type B) , (voir la formule A.5);
- $\sigma_{\text{typeA},j}$  est l'incertitude type caractérisant une incertitude aléatoire (de type A), (voir la formule A.3);
- $n$  est le nombre des incertitudes de type B;
- $l$  est le nombre des incertitudes de type A.

NOTE La première partie de l'équation (A.7) collecte toutes les incertitudes de type B, et la seconde partie collecte toutes les incertitudes de type A. Il est acceptable d'ignorer dans cette équation les contributions d'incertitude qui sont plus petites que 1/10 de la contribution la plus grande, car en les élevant à la puissance carrée, on réduira leur valeur significative de 1/100 par rapport à la contribution la plus grande.

Lorsque les quantités ci-dessus sont utilisées comme base pour des computations d'incertitude supplémentaires, alors l'écart combiné normalisé,  $\sigma_{\text{std}}$ , peut être réintégré dans les formules (A.6) et (A.7). Malgré son origine partielle de type A, il convient que  $\sigma_{\text{std}}$  soit considéré comme décrivant une incertitude de type B.

Les incertitudes combinées normalisées, aussi bien des incertitudes de type A et de type B, peuvent être exprimées sous forme linéaire ou logarithmique, sans différence dans le traitement mathématique. Voir l'Article A.2.

As indicated in Figure A.1, it is possible to omit the deviation by specifying a wider and symmetrical uncertainty band. The expanded uncertainty band can alternatively be expressed by an equivalent standard uncertainty,  $\sigma_{\text{typeB}}$ :

Uncertainty type B (half-width):

$$U_{\text{typeB}} = \text{half-width of condition's tolerance band} \times \text{instrument's sensitivity} \quad (\text{A.4})$$

Standard uncertainty type B (calculated):

$$\sigma_{\text{typeB}} = U_{\text{typeB}} / 3^{1/2} \quad (\text{A.5})$$

Type B uncertainties may be expressed in linear form, for example, in %, or in logarithmic form, in dB. Their mathematical treatment is identical as long as the uncertainties are small.

#### A.4 Accumulation of uncertainties

The "combined standard uncertainty" is used to collect a number,  $i$ , of individual uncertainties into a single number. The combined standard uncertainty is based on the statistical independence of the individual uncertainties; this provides a root-sum-square of their standard deviations. In compliance with the *ISO/IEC Guide to the expression of uncertainty in measurement*, the following formulae shall determine the cumulative deviation and the combined standard uncertainty and expanded uncertainty.

$$\text{Cumulative deviation (error): } \Delta_y^* = \sum \Delta_{y_i} \quad (\text{A.6})$$

$$\text{Combined standard uncertainty: } \sigma_{\text{std}} = \left( \sum_{i=1}^n \sigma_{\text{typeB},i}^2 + \sum_{j=1}^l \sigma_{\text{typeA},j}^2 \right)^{1/2} \quad (\text{A.7})$$

where

$i$  is the current number of individual contributions;

$\sigma_{\text{typeB},i}$  is the (calculated) standard uncertainty representing systematic (type B) uncertainty, (see formula A.5);

$\sigma_{\text{typeA},j}$  is the standard uncertainty characterizing a random (type A) uncertainty (see formula A.3);

$n$  is the number of type B uncertainties;

$l$  is the number of type A uncertainties.

NOTE The first part of Equation (A.7) collects all type B uncertainties, and the second part collects all type A uncertainties. It is acceptable to ignore uncertainty contributions to this equation which are smaller than 1/10 of the largest contribution, because squaring them will reduce their significance to 1/100 that of the largest contribution.

When the quantities above are to be used as the basis for further uncertainty computations, then the combined standard deviation,  $\sigma_{\text{std}}$ , can be re-inserted into the formulae (A.6) and (A.7). Despite its partially type A origin,  $\sigma_{\text{std}}$  should be considered as describing a type B uncertainty.

Combined standard uncertainties, as well as type A and B uncertainties, may be expressed in linear or logarithmic form, with no difference in mathematical treatment. See Clause A.2.

$$\text{Incertitude étendue: } U_{\text{exp}} = \pm k \sigma_{\text{std}} \quad (\text{A.8})$$

où  $k$  est le facteur de couverture.

Si le nombre de mesures à réaliser pour déterminer les incertitudes de type A est grand et si un niveau de confiance estimé de 95 % est choisi (par défaut), alors  $k = 2$ ; si un niveau de confiance estimé de 99 % est choisi (il convient que ceci soit établi spécifiquement), alors  $k = 3$ . Les facteurs de couverture plus grands sont utilisés lorsque le nombre de mesure à réaliser pour déterminer les incertitudes de type A est petit, par exemple,  $< 10$ . Voir *ISO/IEC Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

## A.5 Rapport

Dans les rapports d'étalonnage et les notices de données techniques, les incertitudes combinées normalisées doivent être rapportées sous forme d'incertitudes étendues, ainsi que le niveau de confiance applicable. Le niveau de confiance par défaut est 95 %.

Un écart peut être spécifié si cela est nécessaire.

$$\text{Ecart: } \Delta y = \Delta y^* \quad (\text{A.9})$$

$$\text{Expanded uncertainty: } U_{\text{exp}} = \pm k \sigma_{\text{std}} \quad (\text{A.8})$$

where  $k$  is the coverage factor.

If the number of measurements made in determining type A uncertainties is large, and an estimated confidence level of 95 % is chosen (default), then  $k = 2$ ; if an estimated confidence level of 99 % is chosen (this should be specifically stated), then  $k = 3$ . Larger coverage factors are to be used when the number of measurements made in determining the type A uncertainties is small, for example,  $<10$ . See ISO/IEC *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

## A.5 Reporting

In calibration reports and technical data sheets, combined standard uncertainties shall be reported in the form of expanded uncertainties, together with the applicable confidence level. The default confidence level is 95 %.

A deviation shall be specified if necessary.

$$\text{Deviation: } \Delta y = \Delta y^* \quad (\text{A.9})$$

## Annexe B (informative)

### Exemples de calcul de l'incertitude d'étalonnage

Des exemples de calcul de l'incertitude d'étalonnage relative au niveau affiché de puissance et à la longueur d'onde sont montrés dans la suite.

#### B.1 Etalonnage du niveau affiché de puissance

##### B.1.1 Incertitudes dans les conditions de référence: $\sigma_{\Delta P_{ref}}$

L'incertitude de l'analyseur,  $\sigma_{\Delta P_{ref}}$ , concernant le niveau affiché de puissance sous des conditions d'étalonnage de référence est calculée en utilisant l'équation (13):

$$\sigma_{\Delta P_{ref}} = (\sigma_{PPM}^2 + \sigma_{\Delta P_{diff}}^2)^{1/2}$$

où

$\sigma_{PPM}$  est l'incertitude de l'appareil de mesure de la puissance optique de référence;

$\sigma_{\Delta P_{diff}}$  est l'écart normalisé des valeurs mesurées pendant l'essai.

Ici, l'incertitude de l'appareil de mesure de la puissance de référence est donnée comme 2,0 % dans sa certification, alors

$$\sigma_{PPM} = 0,02 \tag{B.1}$$

En utilisant les 10 prochaines paires de  $P_{ref,i}$  et  $P_{OSA_i}$  mesurées avec l'appareil de mesure de la puissance optique de référence et l'analyseur d'essai, nous pouvons trouver l'incertitude de l'analyseur d'essai.

$P_{ref1} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{OSA1} = 0,210 \text{ mW}$
$P_{ref2} = 0,202 \text{ mW}$	$P_{OSA2} = 0,205 \text{ mW}$
$P_{ref3} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{OSA3} = 0,203 \text{ mW}$
$P_{ref4} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{OSA4} = 0,215 \text{ mW}$
$P_{ref5} = 0,199 \text{ mW}$	$P_{OSA5} = 0,195 \text{ mW}$
$P_{ref6} = 0,199 \text{ mW}$	$P_{OSA6} = 0,190 \text{ mW}$
$P_{ref7} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{OSA7} = 0,197 \text{ mW}$
$P_{ref8} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{OSA8} = 0,213 \text{ mW}$
$P_{ref9} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{OSA9} = 0,215 \text{ mW}$
$P_{ref10} = 0,202 \text{ mW}$	$P_{OSA10} = 0,220 \text{ mW}$

Le rapport de différence entre le résultat de l'OSA et le résultat de l'appareil de mesure de la puissance est calculé en utilisant l'équation (10).

$\Delta P_{diff1} = 0,05$	$\Delta P_{diff2} = 0,015$
$\Delta P_{diff3} = 0,010$	$\Delta P_{diff4} = 0,075$
$\Delta P_{diff5} = -0,02$	$\Delta P_{diff6} = -0,045$
$\Delta P_{diff7} = -0,015$	$\Delta P_{diff8} = 0,06$
$\Delta P_{diff9} = 0,07$	$\Delta P_{diff10} = 0,089$

## Annex B (informative)

### Examples of calculation of calibration uncertainty

Examples of the calculation of calibration uncertainty related to displayed power level and wavelength are shown in the following.

#### B.1 Displayed power level calibration

##### B.1.1 Uncertainty under reference conditions: $\sigma_{\Delta P_{\text{ref}}}$

The uncertainty of the test analyzer,  $\sigma_{\Delta P_{\text{ref}}}$ , with regard to displayed power level under reference calibration conditions is calculated using Equation (13):

$$\sigma_{\Delta P_{\text{ref}}} = (\sigma_{PPM}^2 + \sigma_{\Delta P_{\text{diff}}}^2)^{1/2}$$

where

$\sigma_{PPM}$  is the uncertainty of the reference optical power meter;

$\sigma_{\Delta P_{\text{diff}}}$ : is the standard deviation of the values measured during the test.

Here, the uncertainty of the reference power meter is given as 2,0 % in its certification, then

$$\sigma_{PPM} = 0,02 \quad (\text{B.1})$$

Using the next 10 pairs of  $P_{\text{ref},i}$  and  $P_{\text{OSA}i}$  measured with the reference optical power meter and the test analyzer, we can find the uncertainty of the test analyzer.

$P_{\text{ref}1} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{\text{OSA}1} = 0,210 \text{ mW}$
$P_{\text{ref}2} = 0,202 \text{ mW}$	$P_{\text{OSA}2} = 0,205 \text{ mW}$
$P_{\text{ref}3} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{\text{OSA}3} = 0,203 \text{ mW}$
$P_{\text{ref}4} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{\text{OSA}4} = 0,215 \text{ mW}$
$P_{\text{ref}5} = 0,199 \text{ mW}$	$P_{\text{OSA}5} = 0,195 \text{ mW}$
$P_{\text{ref}6} = 0,199 \text{ mW}$	$P_{\text{OSA}6} = 0,190 \text{ mW}$
$P_{\text{ref}7} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{\text{OSA}7} = 0,197 \text{ mW}$
$P_{\text{ref}8} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{\text{OSA}8} = 0,213 \text{ mW}$
$P_{\text{ref}9} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{\text{OSA}9} = 0,215 \text{ mW}$
$P_{\text{ref}10} = 0,202 \text{ mW}$	$P_{\text{OSA}10} = 0,220 \text{ mW}$

The difference ratio between the OSA result and the power meter result is calculated using Equation (10).

$\Delta P_{\text{diff}1} = 0,05$	$\Delta P_{\text{diff}2} = 0,015$
$\Delta P_{\text{diff}3} = 0,010$	$\Delta P_{\text{diff}4} = 0,075$
$\Delta P_{\text{diff}5} = -0,02$	$\Delta P_{\text{diff}6} = -0,045$
$\Delta P_{\text{diff}7} = -0,015$	$\Delta P_{\text{diff}8} = 0,06$
$\Delta P_{\text{diff}9} = 0,07$	$\Delta P_{\text{diff}10} = 0,089$

Les écarts moyens et normalisés du rapport de différence sont calculés en utilisant les équations (11) et (12).

$$\Delta P_{\text{diff}} = \sum_{i=1}^m (\Delta P_{\text{diff}, i}) / m = 0,289 / 10 = 0,0289 \quad (\text{B.2})$$

$$\sigma_{\Delta P_{\text{diff}}} = \left[ \sum_{i=1}^m (\Delta P_{\text{diff}, i} - \Delta P_{\text{diff}})^2 / (m - 1) \right]^{1/2} = (0,01917 / 9)^{1/2} = 0,0462 \quad (\text{B.3})$$

L'écart normalisé de la différence ( $\sigma_{\Delta P_{\text{diff}}} = 0,0462$ ) est plus grand que l'incertitude de l'appareil de mesure de la puissance ( $\sigma_{PPM} = 0,02$ ). Ceci signifie qu'il convient de le considérer comme une incertitude de type A de l'analyseur d'essai.

A partir de l'équation (13), l'incertitude  $\sigma_{\Delta P_{\text{ref}}}$  est,

$$\sigma_{\Delta P_{\text{ref}}} = (\sigma_{PPM}^2 + \sigma_{\Delta P_{\text{diff}}}^2)^{1/2} = (0,02^2 + 0,0462^2)^{1/2} = 0,0503 \quad (\text{B.4})$$

L'écart du niveau affiché de puissance est trouvé à partir de l'équation (14).

$$\Delta P_{\text{ref}} = \Delta P_{\text{diff}} = 0,0289 \quad (\text{B.5})$$

### B.1.2 Incertitude dans les conditions de fonctionnement

L'exemple suivant montre le calcul de l'incertitude lorsque les étalonnages sont effectués individuellement sur quatre facteurs, qui sont: la longueur d'onde, la polarisation, la linéarité et la température.

#### B.1.2.1 Dépendance en longueur d'onde

La dépendance en longueur d'onde sera déduite pour des niveaux affichés de puissance crête ( $P_{\text{OSA}j}$ ) de l'analyseur d'essai et les valeurs de référence sur l'appareil de mesure de la puissance optique ( $P_{\text{REF},j}$ ) pour les longueurs d'onde montrées ci-dessous:

$\lambda_1 = 488 \text{ nm}$	$P_{\text{OSA}1} = 0,1225 \text{ } \mu\text{W}$	$P_{\text{REF}1} = 0,1202 \text{ } \mu\text{W}$
$\lambda_2 = 632,8 \text{ nm}$	$P_{\text{OSA}2} = 0,1307 \text{ } \mu\text{W}$	$P_{\text{REF}2} = 0,1205 \text{ } \mu\text{W}$
$\lambda_3 = 780 \text{ nm}$	$P_{\text{OSA}3} = 0,1310 \text{ } \mu\text{W}$	$P_{\text{REF}3} = 0,1230 \text{ } \mu\text{W}$
$\lambda_4 = 850 \text{ nm}$	$P_{\text{OSA}4} = 0,1532 \text{ } \mu\text{W}$	$P_{\text{REF}4} = 0,1470 \text{ } \mu\text{W}$
$\lambda_5 = 1 \text{ 500 nm}$	$P_{\text{OSA}5} = 0,1605 \text{ } \mu\text{W}$	$P_{\text{REF}5} = 0,1758 \text{ } \mu\text{W}$
$\lambda_6 = 1 \text{ 550 nm}$	$P_{\text{OSA}6} = 0,1520 \text{ } \mu\text{W}$	$P_{\text{REF}6} = 0,1620 \text{ } \mu\text{W}$
$\lambda_7 = 1 \text{ 600 nm}$	$P_{\text{OSA}7} = 0,1207 \text{ } \mu\text{W}$	$P_{\text{REF}7} = 0,1155 \text{ } \mu\text{W}$

A partir de l'équation (15):

$$\begin{aligned} \Delta P(\lambda_1) &= P_{\text{OSA}1} / P_{\text{REF}1} - 1 = 0,1225 / 0,1202 - 1 = 0,019 \text{ 13} \\ \Delta P(\lambda_2) &= P_{\text{OSA}2} / P_{\text{REF}2} - 1 = 0,1307 / 0,1205 - 1 = 0,084 \text{ 65} \\ \Delta P(\lambda_3) &= P_{\text{OSA}3} / P_{\text{REF}3} - 1 = 0,1310 / 0,1230 - 1 = 0,065 \text{ 04} \\ \Delta P(\lambda_4) &= P_{\text{OSA}4} / P_{\text{REF}4} - 1 = 0,1532 / 0,1470 - 1 = 0,042 \text{ 18} \\ \Delta P(\lambda_5) &= P_{\text{OSA}5} / P_{\text{REF}5} - 1 = 0,1605 / 0,1758 - 1 = -0,087 \text{ 03} \\ \Delta P(\lambda_6) &= P_{\text{OSA}6} / P_{\text{REF}6} - 1 = 0,1520 / 0,1620 - 1 = -0,061 \text{ 73} \\ \Delta P(\lambda_7) &= P_{\text{OSA}7} / P_{\text{REF}7} - 1 = 0,1207 / 0,1155 - 1 = 0,045 \text{ 02} \end{aligned}$$

The mean and standard deviations of the difference ratio are calculated using Equations (11) and (12).

$$\Delta P_{\text{diff}} = \sum_{i=1}^m (\Delta P_{\text{diff}, i}) / m = 0,289 / 10 = 0,0289 \quad (\text{B.2})$$

$$\sigma_{\Delta P_{\text{diff}}} = \left[ \sum_{i=1}^m (\Delta P_{\text{diff}, i} - \Delta P_{\text{diff}})^2 / (m - 1) \right]^{1/2} = (0,01917 / 9)^{1/2} = 0,0462 \quad (\text{B.3})$$

The standard deviation of the difference ( $\sigma_{\Delta P_{\text{diff}}} = 0,0462$ ) is larger than the uncertainty of the power meter ( $\sigma_{\text{PPM}} = 0,02$ ). This means it should be considered as a type A uncertainty of the test analyzer.

From Equation (13), the uncertainty  $\sigma_{\Delta P_{\text{ref}}}$  is,

$$\sigma_{\Delta P_{\text{ref}}} = (\sigma_{\text{PPM}}^2 + \sigma_{\Delta P_{\text{diff}}}^2)^{1/2} = (0,02^2 + 0,0462^2)^{1/2} = 0,0503 \quad (\text{B.4})$$

The displayed power level deviation is found from Equation (14).

$$\Delta P_{\text{ref}} = \Delta P_{\text{diff}} = 0,0289 \quad (\text{B.5})$$

## B.1.2 Uncertainty under operating conditions

The following example shows the uncertainty calculation when calibrations are performed individually on four factors, that is, wavelength, polarization, linearity and temperature.

### B.1.2.1 Wavelength dependence

The wavelength dependence will be derived for the displayed peak power levels ( $P_{\text{OSA}_j}$ ) of the test analyzer and reference values on the optical power meter ( $P_{\text{REF}_j}$ ) for the wavelengths shown below:

$\lambda_1 = 488 \text{ nm}$	$P_{\text{OSA1}} = 0,1225 \text{ }\mu\text{W}$	$P_{\text{REF1}} = 0,1202 \text{ }\mu\text{W}$
$\lambda_2 = 632,8 \text{ nm}$	$P_{\text{OSA2}} = 0,1307 \text{ }\mu\text{W}$	$P_{\text{REF2}} = 0,1205 \text{ }\mu\text{W}$
$\lambda_3 = 780 \text{ nm}$	$P_{\text{OSA3}} = 0,1310 \text{ }\mu\text{W}$	$P_{\text{REF3}} = 0,1230 \text{ }\mu\text{W}$
$\lambda_4 = 850 \text{ nm}$	$P_{\text{OSA4}} = 0,1532 \text{ }\mu\text{W}$	$P_{\text{REF4}} = 0,1470 \text{ }\mu\text{W}$
$\lambda_5 = 1 \text{ 500 nm}$	$P_{\text{OSA5}} = 0,1605 \text{ }\mu\text{W}$	$P_{\text{REF5}} = 0,1758 \text{ }\mu\text{W}$
$\lambda_6 = 1 \text{ 550 nm}$	$P_{\text{OSA6}} = 0,1520 \text{ }\mu\text{W}$	$P_{\text{REF6}} = 0,1620 \text{ }\mu\text{W}$
$\lambda_7 = 1 \text{ 600 nm}$	$P_{\text{OSA7}} = 0,1207 \text{ }\mu\text{W}$	$P_{\text{REF7}} = 0,1155 \text{ }\mu\text{W}$

From Equation (15):

$$\begin{aligned} \Delta P(\lambda_1) &= P_{\text{OSA1}} / P_{\text{REF1}} - 1 = 0,1225 / 0,1202 - 1 = 0,019 \text{ 13} \\ \Delta P(\lambda_2) &= P_{\text{OSA2}} / P_{\text{REF2}} - 1 = 0,1307 / 0,1205 - 1 = 0,084 \text{ 65} \\ \Delta P(\lambda_3) &= P_{\text{OSA3}} / P_{\text{REF3}} - 1 = 0,1310 / 0,1230 - 1 = 0,065 \text{ 04} \\ \Delta P(\lambda_4) &= P_{\text{OSA4}} / P_{\text{REF4}} - 1 = 0,1532 / 0,1470 - 1 = 0,042 \text{ 18} \\ \Delta P(\lambda_5) &= P_{\text{OSA5}} / P_{\text{REF5}} - 1 = 0,1605 / 0,1758 - 1 = -0,087 \text{ 03} \\ \Delta P(\lambda_6) &= P_{\text{OSA6}} / P_{\text{REF6}} - 1 = 0,1520 / 0,1620 - 1 = -0,061 \text{ 73} \\ \Delta P(\lambda_7) &= P_{\text{OSA7}} / P_{\text{REF7}} - 1 = 0,1207 / 0,1155 - 1 = 0,045 \text{ 02} \end{aligned}$$

A partir de ces valeurs:

$$\begin{aligned}\Delta P_{\lambda, \text{MAX}} &= \Delta P(\lambda_2) = 0,084\ 65 \\ \Delta P_{\lambda, \text{MIN}} &= \Delta P(\lambda_5) = -0,087\ 03\end{aligned}$$

A partir de l'équation (16):

$$\Delta P_{\lambda} = (\Delta P_{\lambda, \text{MAX}} + \Delta P_{\lambda, \text{MIN}}) / 2 = (0,084\ 65 - 0,087\ 03) / 2 = -0,0012 \quad (\text{B.6})$$

L'incertitude due à la dépendance en longueur d'onde,  $\sigma_{\Delta P_{\lambda}}$  est donnée par l'équation (17).

$$\sigma_{\Delta P_{\lambda}} = (\Delta P_{\lambda, \text{MAX}} - \Delta P_{\lambda, \text{MIN}}) / 2\sqrt{3} = 0,1716 / 2\sqrt{3} = 0,0496 \quad (\text{B.7})$$

### B.1.2.2 Dépendance en polarisation

La dépendance en polarisation sera déduite en utilisant les valeurs suivantes de  $P_{\text{MAX}}(\lambda_j)$  et  $P_{\text{MIN}}(\lambda_j)$  mesurées en tournant un plateau d'une demie longueur d'onde pour déplacer le plan de polarisation de la source de lumière de 0 à 180 degrés.

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 850\ \text{nm} & P_{\text{MAX}}(\lambda_1) &= 0,310\ \text{mW} & P_{\text{MIN}}(\lambda_1) &= 0,292\ \text{mW} \\ \lambda_2 &= 1\ 310\ \text{nm} & P_{\text{MAX}}(\lambda_2) &= 0,204\ \text{mW} & P_{\text{MIN}}(\lambda_2) &= 0,194\ \text{mW} \\ \lambda_3 &= 1\ 550\ \text{nm} & P_{\text{MAX}}(\lambda_3) &= 0,206\ \text{mW} & P_{\text{MIN}}(\lambda_3) &= 0,193\ \text{mW}\end{aligned}$$

A partir des équations (18) et (19), les variations  $\Delta P_{\text{UL}}(\lambda_j)$  et  $\Delta P_{\text{LL}}(\lambda_j)$  et la variation moyenne  $P_{\text{AVE}}(\lambda_j)$  dans le niveau de puissance due à la polarisation avec la longueur d'onde  $\lambda_j$ , sont données comme,

$$\begin{aligned}P_{\text{AVE}}(\lambda_1) &= 0,301\ \text{mW} & \Delta P_{\text{UL}}(\lambda_1) &= 0,310 / 0,301 - 1 = 0,0299 \\ & & \Delta P_{\text{LL}}(\lambda_1) &= 0,292 / 0,301 - 1 = -0,0299 \\ P_{\text{AVE}}(\lambda_2) &= 0,199\ \text{mW} & \Delta P_{\text{UL}}(\lambda_2) &= 0,204 / 0,199 - 1 = 0,0251 \\ & & \Delta P_{\text{LL}}(\lambda_2) &= 0,194 / 0,199 - 1 = -0,0251 \\ P_{\text{AVE}}(\lambda_3) &= 0,1995\ \text{mW} & \Delta P_{\text{UL}}(\lambda_3) &= 0,206 / 0,1995 - 1 = 0,0326 \\ & & \Delta P_{\text{LL}}(\lambda_3) &= 0,193 / 0,1995 - 1 = -0,0326\end{aligned}$$

A partir de ces valeurs:

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{POL, MAX}} &= \Delta P_{\text{UL}}(\lambda_3) = 0,0326 \\ \Delta P_{\text{POL, MIN}} &= \Delta P_{\text{LL}}(\lambda_3) = -0,0326\end{aligned}$$

L'écart des valeurs mesurées dépendantes en polarisation et en longueur d'onde,  $\Delta P_{\text{POL}}$ , est donnée par l'équation (21).

$$\Delta P_{\text{POL}} = (\Delta P_{\text{POL, MAX}} + \Delta P_{\text{POL, MIN}}) / 2 = (0,0326 - 0,0326) / 2 = 0 \quad (\text{B.8})$$

L'incertitude des variations du niveau de puissance dues à la polarisation,  $\sigma_{\Delta P_{\text{POL}}}$ , est donnée par l'équation (22).

$$\sigma_{\Delta P_{\text{POL}}} = (\Delta P_{\text{POL, MAX}} - \Delta P_{\text{POL, MIN}}) / 2\sqrt{3} = (0,0326 + 0,0326) / 2\sqrt{3} = 0,0188 \quad (\text{B.9})$$

From these values:

$$\begin{aligned}\Delta P_{\lambda, \text{MAX}} &= \Delta P(\lambda_2) = 0,084\ 65 \\ \Delta P_{\lambda, \text{MIN}} &= \Delta P(\lambda_5) = -0,087\ 03\end{aligned}$$

From Equation (16):

$$\Delta P_{\lambda} = (\Delta P_{\lambda, \text{MAX}} + \Delta P_{\lambda, \text{MIN}}) / 2 = (0,084\ 65 - 0,087\ 03) / 2 = -0,0012 \quad (\text{B.6})$$

The uncertainty due to wavelength dependence,  $\sigma_{\Delta P_{\lambda}}$ , is given by Equation (17).

$$\sigma_{\Delta P_{\lambda}} = (\Delta P_{\lambda, \text{MAX}} - \Delta P_{\lambda, \text{MIN}}) / 2\sqrt{3} = 0,1716 / 2\sqrt{3} = 0,0496 \quad (\text{B.7})$$

### B.1.2.2 Polarization dependence

The polarization dependence will be derived using the following values of  $P_{\text{MAX}}(\lambda_j)$  and  $P_{\text{MIN}}(\lambda_j)$  measured by rotating a 1/2-wavelength plate to move the light source polarization plane from 0 through 180 degrees.

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 850\ \text{nm} & P_{\text{MAX}}(\lambda_1) &= 0,310\ \text{mW} & P_{\text{MIN}}(\lambda_1) &= 0,292\ \text{mW} \\ \lambda_2 &= 1\ 310\ \text{nm} & P_{\text{MAX}}(\lambda_2) &= 0,204\ \text{mW} & P_{\text{MIN}}(\lambda_2) &= 0,194\ \text{mW} \\ \lambda_3 &= 1\ 550\ \text{nm} & P_{\text{MAX}}(\lambda_3) &= 0,206\ \text{mW} & P_{\text{MIN}}(\lambda_3) &= 0,193\ \text{mW}\end{aligned}$$

From Equations (18) and (19), variations  $\Delta P_{\text{UL}}(\lambda_j)$  and  $\Delta P_{\text{LL}}(\lambda_j)$  and the average variation  $P_{\text{AVE}}(\lambda_j)$  in power level due to polarization with wavelength  $\lambda_j$ , are given as,

$$\begin{aligned}P_{\text{AVE}}(\lambda_1) &= 0,301\ \text{mW} & \Delta P_{\text{UL}}(\lambda_1) &= 0,310 / 0,301 - 1 = 0,0299 \\ & & \Delta P_{\text{LL}}(\lambda_1) &= 0,292 / 0,301 - 1 = -0,0299 \\ P_{\text{AVE}}(\lambda_2) &= 0,199\ \text{mW} & \Delta P_{\text{UL}}(\lambda_2) &= 0,204 / 0,199 - 1 = 0,0251 \\ & & \Delta P_{\text{LL}}(\lambda_2) &= 0,194 / 0,199 - 1 = -0,0251 \\ P_{\text{AVE}}(\lambda_3) &= 0,1995\ \text{mW} & \Delta P_{\text{UL}}(\lambda_3) &= 0,206 / 0,1995 - 1 = 0,0326 \\ & & \Delta P_{\text{LL}}(\lambda_3) &= 0,193 / 0,1995 - 1 = -0,0326\end{aligned}$$

From these values:

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{POL,MAX}} &= \Delta P_{\text{UL}}(\lambda_3) = 0,0326 \\ \Delta P_{\text{POL,MIN}} &= \Delta P_{\text{LL}}(\lambda_3) = -0,0326\end{aligned}$$

The deviation of measured values depending on the polarization and wavelength,  $\Delta P_{\text{POL}}$ , is given by Equation (21).

$$\Delta P_{\text{POL}} = (\Delta P_{\text{POL,MAX}} + \Delta P_{\text{POL,MIN}}) / 2 = (0,0326 - 0,0326) / 2 = 0 \quad (\text{B.8})$$

The uncertainty of power level variations due to polarization,  $\sigma_{\Delta P_{\text{POL}}}$ , is given by Equation (22).

$$\sigma_{\Delta P_{\text{POL}}} = (\Delta P_{\text{POL,MAX}} - \Delta P_{\text{POL,MIN}}) / 2\sqrt{3} = (0,0326 + 0,0326) / 2\sqrt{3} = 0,0188 \quad (\text{B.9})$$

### B.1.2.3 Linéarité

La linéarité sera déduite, en utilisant les valeurs suivantes, pour le rapport  $P_{LIN,ref}$  de la valeur mesurée par l'analyseur d'essai sur la valeur obtenue à partir de l'appareil de mesure de la puissance et pour le rapport  $P_{LIN,j}$  de la valeur mesurée par l'analyseur d'essai sur la valeur obtenue à partir de l'appareil de mesure de la puissance lorsque le niveau de puissance a varié en utilisant un atténuateur variable. L'erreur de linéarité  $\Delta P_{LIN}(P_j)$  au niveau de puissance  $P_j$  est donnée par l'équation (25).

$P_{LIN,ref} = 1,025$	
$P_{LIN1} = 0,998$	$\Delta P_{LIN}(P_1) = -0,026\ 34$
$P_{LIN2} = 0,985$	$\Delta P_{LIN}(P_2) = -0,039\ 02$
$P_{LIN3} = 1,011$	$\Delta P_{LIN}(P_3) = -0,013\ 66$
$P_{LIN4} = 1,009$	$\Delta P_{LIN}(P_4) = -0,01561$
$P_{LIN5} = 1,055$	$\Delta P_{LIN}(P_5) = 0,029\ 27$

A partir de ces valeurs:

$$\Delta P_{LIN,MAX} = 0,029\ 27$$

$$\Delta P_{LIN,MIN} = -0,039\ 02$$

L'écart des valeurs mesurées,  $\Delta P_{LIN}$ , est obtenu à partir de l'équation (26):

$$\Delta P_{LIN} = (\Delta P_{LIN,MAX} + \Delta P_{LIN,MIN}) / 2 = (0,029\ 27 - 0,039\ 02) / 2 = -0,0049 \quad (B.10)$$

L'incertitude de linéarité,  $\sigma_{\Delta P_{LIN}}$ , est obtenue par l'équation (27):

$$\sigma_{\Delta P_{LIN}} = (\Delta P_{LIN,MAX} - \Delta P_{LIN,MIN}) / 2\sqrt{3} = (0,029\ 27 + 0,039\ 02) / 2\sqrt{3} = 0,0197 \quad (B.11)$$

### B.1.2.4 Dépendance en température

La dépendance en température est obtenue à partir des valeurs suivantes. Il s'agit des valeurs de référence,  $P_{OSA,Tref}$ , de l'analyseur d'essai à la température spécifiée par les conditions d'étalonnage de référence et des valeurs du niveau de puissance,  $P_{OSA,j}$  mesurées par l'analyseur d'essai à diverses températures indiquées, pour l'entrée de lumière, à partir d'un laser à semiconducteur  $\lambda = 1\ 310$  nm avec une puissance optique d'entrée de 0,200 mW (la valeur utilisée pour l'essai dans les conditions de référence). L'erreur de sensibilité à la température  $T_j$ ,  $\Delta P(T_j)$ , est donnée par l'équation (28) comme suit:

$P_{OSA,Tref} = 0,200$ mW		
$T_1 = 10$ °C	$P_{OSA1} = 0,202$ mW	$\Delta P(T_1) = 0,010$
$T_2 = 15$ °C	$P_{OSA2} = 0,204$ mW	$\Delta P(T_2) = 0,020$
$T_3 = 20$ °C	$P_{OSA3} = 0,199$ mW	$\Delta P(T_3) = -0,005$
$T_4 = 25$ °C	$P_{OSA4} = 0,197$ mW	$\Delta P(T_4) = -0,015$
$T_5 = 30$ °C	$P_{OSA5} = 0,200$ mW	$\Delta P(T_5) = 0,0$
$T_6 = 35$ °C	$P_{OSA6} = 0,207$ mW	$\Delta P(T_6) = 0,035$

A partir de ces valeurs:

$$\Delta P_{TMP,MAX} = 0,035$$

$$\Delta P_{TMP,MIN} = -0,015$$

### B.1.2.3 Linearity

The linearity will be derived using the following values for the ratio  $P_{LIN,ref}$  of the value measured by the test analyzer to the value obtained from the power meter, and the ratio  $P_{LIN,j}$  of the value measured by the test analyzer to the value obtained from the power meter when the power level is varied using a variable attenuator. The linearity error  $\Delta P_{LIN}(P_j)$  at the power level  $P_j$  is given by Equation (25).

$$\begin{aligned}
 P_{LIN,ref} &= 1,025 \\
 P_{LIN1} &= 0,998 & \Delta P_{LIN}(P_1) &= -0,026\ 34 \\
 P_{LIN2} &= 0,985 & \Delta P_{LIN}(P_2) &= -0,039\ 02 \\
 P_{LIN3} &= 1,011 & \Delta P_{LIN}(P_3) &= -0,013\ 66 \\
 P_{LIN4} &= 1,009 & \Delta P_{LIN}(P_4) &= -0,01561 \\
 P_{LIN5} &= 1,055 & \Delta P_{LIN}(P_5) &= 0,029\ 27
 \end{aligned}$$

From these values:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{LIN,MAX} &= 0,029\ 27 \\
 \Delta P_{LIN,MIN} &= -0,039\ 02
 \end{aligned}$$

The deviation of measured values,  $\Delta P_{LIN}$ , is obtained from Equation (26):

$$\Delta P_{LIN} = (\Delta P_{LIN,MAX} + \Delta P_{LIN,MIN}) / 2 = (0,029\ 27 - 0,039\ 02) / 2 = -0,0049 \quad (B.10)$$

The uncertainty of linearity,  $\sigma_{\Delta P_{LIN}}$ , is obtained from Equation (27):

$$\sigma_{\Delta P_{LIN}} = (\Delta P_{LIN,MAX} - \Delta P_{LIN,MIN}) / 2\sqrt{3} = (0,029\ 27 + 0,039\ 02) / 2\sqrt{3} = 0,0197 \quad (B.11)$$

### B.1.2.4 Temperature dependence

The temperature dependence is obtained from the following values. These are the reference values,  $P_{OSA,Tref}$ , of the test analyzer at the temperature specified by the reference calibration conditions, and the power level values,  $P_{OSA,j}$ , measured by the test analyzer at the various temperatures shown, for light input from a semiconductor laser  $\lambda = 1\ 310\ \text{nm}$  with an input optical power of 0,200 mW (the value used for the test under reference conditions). The sensitivity error at a temperature of  $T_j$ ,  $\Delta P(T_j)$ , is given by Equation (28) as follows:

$$\begin{aligned}
 P_{OSA,Tref} &= 0,200\ \text{mW} \\
 T_1 = 10\ ^\circ\text{C} & & P_{OSA1} &= 0,202\ \text{mW} & \Delta P(T_1) &= 0,010 \\
 T_2 = 15\ ^\circ\text{C} & & P_{OSA2} &= 0,204\ \text{mW} & \Delta P(T_2) &= 0,020 \\
 T_3 = 20\ ^\circ\text{C} & & P_{OSA3} &= 0,199\ \text{mW} & \Delta P(T_3) &= -0,005 \\
 T_4 = 25\ ^\circ\text{C} & & P_{OSA4} &= 0,197\ \text{mW} & \Delta P(T_4) &= -0,015 \\
 T_5 = 30\ ^\circ\text{C} & & P_{OSA5} &= 0,200\ \text{mW} & \Delta P(T_5) &= 0,0 \\
 T_6 = 35\ ^\circ\text{C} & & P_{OSA6} &= 0,207\ \text{mW} & \Delta P(T_6) &= 0,035
 \end{aligned}$$

From these values:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{TMP,MAX} &= 0,035 \\
 \Delta P_{TMP,MIN} &= -0,015
 \end{aligned}$$

L'écart des valeurs mesurées,  $\Delta P_{\text{TMP}}$ , est obtenu à partir de l'équation (29):

$$\Delta P_{\text{TMP}} = (\Delta P_{\text{TMP,MAX}} + \Delta P_{\text{TMP,MIN}}) / 2 = (0,035 - 0,015) / 2 = 0,010 \quad (\text{B.12})$$

L'incertitude due à la dépendance en température,  $\sigma_{\Delta P_{\text{TMP}}}$ , est obtenue à partir de l'équation (30):

$$\sigma_{\Delta P_{\text{TMP}}} = (\Delta P_{\text{TMP,MAX}} - \Delta P_{\text{TMP,MIN}}) / 2\sqrt{3} = (0,035 + 0,015) / 2\sqrt{3} = 0,0144 \quad (\text{B.13})$$

### B.1.3 Calcul de l'incertitude étendue

L'exemple suivant montre le calcul de l'incertitude étendue lorsque l'étalonnage est effectué sous des conditions de fonctionnement.

L'écart cumulé du niveau de puissance affiché est trouvé à partir de l'équation (34):

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{cu}} &= \Delta P_{\text{ref}} + \Delta P_{\lambda} + \Delta P_{\text{POL}} + \Delta P_{\text{LIN}} + \Delta P_{\text{TMP}} \\ &= 0,0289 - 0,0012 + 0 - 0,0049 + 0,010 \\ &= 0,0328 \end{aligned} \quad (\text{B.14})$$

L'incertitude du niveau de puissance affiché est obtenue à partir de l'équation (32):

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta P_{\text{cu}}} &= (\sigma_{\Delta P_{\text{ref}}}^2 + \sigma_{\Delta P_{\lambda}}^2 + \sigma_{\Delta P_{\text{POL}}}^2 + \sigma_{\Delta P_{\text{LIN}}}^2 + \sigma_{\Delta P_{\text{TMP}}}^2)^{1/2} \\ &= (0,0503^2 + 0,0496^2 + 0,0188^2 + 0,0197^2 + 0,0144^2)^{1/2} \\ &= (0,00594)^{1/2} = 0,0771 \end{aligned} \quad (\text{B.15})$$

En conséquence, l'écart et l'incertitude,  $\Delta P$  et  $\sigma_P$ , dans les valeurs mesurées pour  $P = 0,2$  mW peuvent être trouvés à partir des équations (35) et (36):

$$\Delta P = \Delta P_{\text{cu}} P = 0,0328 \times 0,2 = 0,0066 \quad (\text{mW}) \quad (\text{B.16})$$

$$\sigma_P = \sigma_{\Delta P_{\text{cu}}} P = 0,0771 \times 0,2 = 0,0154 \quad (\text{mW}) \quad (\text{B.17})$$

L'incertitude étendue,  $U_P$ , avec un facteur de couverture  $k = 2$  pour un niveau de confiance de 95,5 % est obtenue à partir de l'équation (37):

$$U_P = U_{P_{\text{cu}}} P = \pm k \sigma_{\Delta P_{\text{cu}}} P = \pm k \sigma_P = \pm 2 \times 0,0154 = \pm 0,0308 \quad (\text{mW}) \quad (\text{B.18})$$

$\Delta P$  et  $\sigma_P$  en unité dB sont obtenues à partir de l'équation (38):

$$\Delta P \text{ ( en dB )} = 10 \log_{10}(1 + 0,0328) = 0,14 \quad (\text{dB}) \quad (\text{B.19})$$

$$\sigma_{\Delta P_{\text{cu}}} \text{ ( en dB )} = 10 \log_{10}(1 + 0,0771) = 0,32 \quad (\text{dB}) \quad (\text{B.20})$$

The deviation of measured values,  $\Delta P_{\text{TMP}}$ , is obtained from Equation (29):

$$\Delta P_{\text{TMP}} = (\Delta P_{\text{TMP,MAX}} + \Delta P_{\text{TMP,MIN}}) / 2 = (0,035 - 0,015) / 2 = 0,010 \quad (\text{B.12})$$

The uncertainty due to temperature dependence,  $\sigma_{\Delta P_{\text{TMP}}}$ , is obtained from Equation (30):

$$\sigma_{\Delta P_{\text{TMP}}} = (\Delta P_{\text{TMP,MAX}} - \Delta P_{\text{TMP,MIN}}) / 2\sqrt{3} = (0,035 + 0,015) / 2\sqrt{3} = 0,0144 \quad (\text{B.13})$$

### B.1.3 Expanded uncertainty calculation

The following example shows the expanded uncertainty calculation when calibration is performed under operating conditions.

The accumulative displayed power level deviation is found from Equation (34):

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{cu}} &= \Delta P_{\text{ref}} + \Delta P_{\lambda} + \Delta P_{\text{POL}} + \Delta P_{\text{LIN}} + \Delta P_{\text{TMP}} \\ &= 0,0289 - 0,0012 + 0 - 0,0049 + 0,010 \\ &= 0,0328 \end{aligned} \quad (\text{B.14})$$

The uncertainty of the displayed power level is obtained from Equation (32):

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta P_{\text{cu}}} &= (\sigma_{\Delta P_{\text{ref}}}^2 + \sigma_{\Delta P_{\lambda}}^2 + \sigma_{\Delta P_{\text{POL}}}^2 + \sigma_{\Delta P_{\text{LIN}}}^2 + \sigma_{\Delta P_{\text{TMP}}}^2)^{1/2} \\ &= (0,0503^2 + 0,0496^2 + 0,0188^2 + 0,0197^2 + 0,0144^2)^{1/2} \\ &= (0,00594)^{1/2} = 0,0771 \end{aligned} \quad (\text{B.15})$$

Accordingly, the deviation and uncertainty,  $\Delta P$  and  $\sigma_P$ , in the measured values for  $P = 0,2$  mW can be found from Equations (35), (36):

$$\Delta P = \Delta P_{\text{cu}} P = 0,0328 \times 0,2 = 0,0066 \quad (\text{mW}) \quad (\text{B.16})$$

$$\sigma_P = \sigma_{\Delta P_{\text{cu}}} P = 0,0771 \times 0,2 = 0,0154 \quad (\text{mW}) \quad (\text{B.17})$$

The expanded uncertainty,  $U_P$ , with a coverage factor  $k = 2$  for a confidence level of 95,5 % is obtained from Equation (37):

$$U_P = U_{P_{\text{cu}}} P = \pm k \sigma_{\Delta P_{\text{cu}}} P = \pm k \sigma_P = \pm 2 \times 0,0154 = \pm 0,0308 \quad (\text{mW}) \quad (\text{B.18})$$

$\Delta P$  and  $\sigma_P$  in dB units are obtained from Equation (38):

$$\Delta P \text{ (in dB)} = 10 \log_{10}(1 + 0,0328) = 0,14 \quad (\text{dB}) \quad (\text{B.19})$$

$$\sigma_{\Delta P_{\text{cu}}} \text{ (in dB)} = 10 \log_{10}(1 + 0,0771) = 0,32 \quad (\text{dB}) \quad (\text{B.20})$$

## B.2 Etalonnage de la longueur d'onde

### B.2.1 Incertitudes sous des conditions de référence: $\sigma_{\Delta\lambda_{ref}}$

L'incertitude, dans les conditions de référence de l'analyseur d'essai,  $\sigma_{\Delta\lambda_{ref}}$ , concernant la longueur d'onde est calculée en utilisant l'équation (43):

$$\sigma_{\Delta\lambda_{ref}} = (\sigma_{\lambda_{REF}}^2 + \sigma_{\lambda_{OSA}}^2)^{1/2}$$

où

$\sigma_{\lambda_{REF}}$  est l'incertitude de la longueur d'onde de la source de lumière

$\sigma_{\lambda_{OSA}}$ : est l'incertitude type des valeurs mesurées pendant l'essai

En utilisant les 10 valeurs suivantes de la longueur d'onde centrale  $\lambda_{OSA_i}$  pour un laser He-Ne avec une longueur d'onde de  $\lambda_{REF} = 633,0$  nm mesurée par l'analyseur d'essai, nous pouvons trouver l'incertitude:

$\lambda_{OSA1} = 632,9$ nm	$\lambda_{OSA6} = 633,0$ nm
$\lambda_{OSA2} = 633,0$ nm	$\lambda_{OSA7} = 632,8$ nm
$\lambda_{OSA3} = 632,8$ nm	$\lambda_{OSA8} = 632,7$ nm
$\lambda_{OSA4} = 632,8$ nm	$\lambda_{OSA9} = 632,8$ nm
$\lambda_{OSA5} = 632,9$ nm	$\lambda_{OSA10} = 632,7$ nm

A partir de l'équation (42), l'écart normalisée des valeurs mesurées est calculé comme suit:

Calculer l'incertitude type  $\sigma_{\lambda_{OSA}}$  des valeurs mesurées  $\lambda_{OSA_i}$  en utilisant l'équation (42).

$$\begin{aligned} \sigma_{\lambda_{OSA}} &= \left[ \sum_{i=1}^m (\lambda_{OSA_i} - \lambda_{OSA_{AV}})^2 / (m - 1) \right]^{1/2} \\ &= [((632,9 - 632,84)^2 + (633,0 - 632,84)^2 + \dots + (632,7 - 632,84)^2) / (10 - 1)]^{1/2} \\ &= 0,107 \text{ (nm)} \end{aligned} \tag{B.21}$$

L'incertitude de la longueur d'onde de la source de lumière est  $\sigma_{\lambda_{REF}} = 10^{-5} \sim 10^{-6}$ , qui est assez bon pour permettre l'utilisation de l'approximation  $\sigma_{\lambda_{REF}} = 0$ . Alors l'incertitude dans les conditions de référence,  $\sigma_{\Delta\lambda_{ref}}$ , de l'analyseur d'essai peut être trouvée en utilisant l'équation (43):

$$\sigma_{\Delta\lambda_{ref}} = (\sigma_{\lambda_{REF}}^2 + \sigma_{\lambda_{OSA}}^2)^{1/2} = (0,0 + 0,107^2)^{1/2} = 0,107 \text{ (nm)} \tag{B.22}$$

La valeur moyenne des valeurs mesurées  $\lambda_{OSA_{AV}}$  est trouvée à partir de l'équation (40):

$$\lambda_{OSA_{AV}} = \sum_{i=1}^m \lambda_{OSA_i} / m = 6328,4 / 10 = 632,84 \text{ (nm)} \tag{B.23}$$

L'écart des valeurs mesurées,  $\Delta\lambda_{ref}$  est trouvé à partir de l'équation (41):

$$\Delta\lambda_{ref} = \lambda_{OSA_{AV}} - \lambda_{REF} = 632,84 - 633,0 = -0,16 \text{ (nm)} \tag{B.24}$$

## B.2 Wavelength calibration

### B.2.1 Uncertainty under reference conditions: $\sigma_{\Delta\lambda_{\text{ref}}}$

The uncertainty under reference conditions of the test analyzer,  $\sigma_{\Delta\lambda_{\text{ref}}}$ , with regard to wavelength is calculated using Equation (43):

$$\sigma_{\Delta\lambda_{\text{ref}}} = (\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + \sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}^2)^{1/2}$$

where

$\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}$  is the uncertainty of the light source's wavelength

$\sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}$ : is the standard uncertainty of the values measured during the test

Using the following 10 values of centre wavelength  $\lambda_{\text{OSA}i}$  for a He-Ne laser with a wavelength of  $\lambda_{\text{REF}} = 633,0$  nm measured by the test analyzer, we can find the uncertainty:

$\lambda_{\text{OSA}1} = 632,9$ nm	$\lambda_{\text{OSA}6} = 633,0$ nm
$\lambda_{\text{OSA}2} = 633,0$ nm	$\lambda_{\text{OSA}7} = 632,8$ nm
$\lambda_{\text{OSA}3} = 632,8$ nm	$\lambda_{\text{OSA}8} = 632,7$ nm
$\lambda_{\text{OSA}4} = 632,8$ nm	$\lambda_{\text{OSA}9} = 632,8$ nm
$\lambda_{\text{OSA}5} = 632,9$ nm	$\lambda_{\text{OSA}10} = 632,7$ nm

From Equation (42), the standard deviation of the measured values is calculated as follows:

Calculate the standard uncertainty  $\sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}$  of the measured  $\lambda_{\text{OSA}i}$  values using Equation (42).

$$\begin{aligned} \sigma_{\lambda_{\text{OSA}}} &= \left[ \sum_{i=1}^m (\lambda_{\text{OSA}i} - \lambda_{\text{OSA}_{\text{AV}}})^2 / (m - 1) \right]^{1/2} \\ &= [((632,9 - 632,84)^2 + (633,0 - 632,84)^2 + \dots + (632,7 - 632,84)^2) / (10 - 1)]^{1/2} \\ &= 0,107 \text{ (nm)} \end{aligned} \quad (\text{B.21})$$

The wavelength uncertainty of the light source is  $\sigma_{\lambda_{\text{REF}}} = 10^{-5} \sim 10^{-6}$ , which is good enough to allow the use of the approximation  $\sigma_{\lambda_{\text{REF}}} = 0$ . So the uncertainty under reference conditions,  $\sigma_{\Delta\lambda_{\text{ref}}}$ , of the test analyzer can be found using Equation (43):

$$\sigma_{\Delta\lambda_{\text{ref}}} = (\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + \sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}^2)^{1/2} = (0,0 + 0,107^2)^{1/2} = 0,107 \text{ (nm)} \quad (\text{B.22})$$

The average value of the measured values  $\lambda_{\text{OSA}_{\text{AV}}}$  is found from Equation (40):

$$\lambda_{\text{OSA}_{\text{AV}}} = \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{OSA}i} / m = 6328,4 / 10 = 632,84 \text{ (nm)} \quad (\text{B.23})$$

The deviation of the measured values,  $\Delta\lambda_{\text{ref}}$ , is found from Equation (41):

$$\Delta\lambda_{\text{ref}} = \lambda_{\text{OSA}_{\text{AV}}} - \lambda_{\text{REF}} = 632,84 - 633,0 = -0,16 \text{ (nm)} \quad (\text{B.24})$$

## B.2.2 Incertitude dans les conditions de fonctionnement

L'exemple suivant montre le calcul de l'incertitude lorsque la dépendance en longueur d'onde et en température est étalonnée.

### B.2.2.1 Dépendance en longueur d'onde

La dépendance en longueur d'onde sera déduite en utilisant les valeurs des longueurs d'onde centrales suivantes mesurées pour cinq sources de lumières possédant des longueurs d'onde différentes de  $\lambda_{\text{ref}}$ :

$\lambda_{\text{OSA1}} = 650,4 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF1}} = 650,6 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA2}} = 780,5 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF2}} = 780,3 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA3}} = 850,2 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF3}} = 850,1 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA4}} = 1310,5 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF4}} = 1310,7 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA5}} = 1552,1 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF5}} = 1552,0 \text{ nm}$

L'écart de la valeur mesurée pour la source de lumière individuelle est calculé à partir de l'équation (44), pour chaque longueur d'onde.

$$\begin{aligned} \Delta\lambda_{\lambda 1} &= 650,4 - 650,6 = -0,2 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{\lambda 2} &= 780,5 - 780,3 = 0,2 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{\lambda 3} &= 850,2 - 850,1 = 0,1 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{\lambda 4} &= 1310,5 - 1310,7 = -0,2 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{\lambda 5} &= 1552,1 - 1552,0 = 0,1 \text{ (nm)} \end{aligned}$$

Dés ces valeurs:

$$\begin{aligned} \Delta\lambda_{\lambda, \text{MAX}} &= 0,2 \text{ nm,} \\ \Delta\lambda_{\lambda, \text{MIN}} &= -0,2 \text{ nm} \end{aligned}$$

L'incertitude de l'erreur de dépendance en longueur d'onde,  $\sigma_{\Delta\lambda\lambda}$ , est donnée par l'équation (46).

$$\sigma_{\Delta\lambda\lambda} = (\Delta\lambda_{\lambda, \text{MAX}} - \Delta\lambda_{\lambda, \text{MIN}}) / 2\sqrt{3} = 0,4 / 2\sqrt{3} = 0,115 \quad (\text{B.25})$$

De même, l'écart dû à la dépendance en longueur d'onde est donné par l'équation (45):

$$\Delta\lambda_{\lambda} = (\Delta\lambda_{\lambda, \text{MAX}} + \Delta\lambda_{\lambda, \text{MIN}}) / 2 = 0 \quad (\text{B.26})$$

### B.2.2.2 Dépendance en température

Les valeurs des longueurs centrales suivantes, mesurées pour diverses températures en utilisant un laser He-Ne

$\lambda_{\text{REF}} = 633,0 \text{ nm}$  seront utilisées pour montrer la dépendance en température:

T1 = 10 °C	$\lambda_{\text{OSA1}} = 632,8 \text{ nm}$
T2 = 15 °C	$\lambda_{\text{OSA2}} = 632,7 \text{ nm}$
T3 = 20 °C	$\lambda_{\text{OSA3}} = 632,8 \text{ nm}$
T4 = 25 °C	$\lambda_{\text{OSA4}} = 632,9 \text{ nm}$
T5 = 30 °C	$\lambda_{\text{OSA5}} = 633,1 \text{ nm}$
T6 = 35 °C	$\lambda_{\text{OSA6}} = 633,2 \text{ nm}$

## B.2.2 Uncertainty under operating conditions

The following example shows the uncertainty calculation when the wavelength and temperature dependence are calibrated.

### B.2.2.1 Wavelength dependence

The wavelength dependence will be derived using the following centre wavelength values measured for five light sources having wavelengths other than  $\lambda_{\text{ref}}$ :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{OSA1}} &= 650,4 \text{ nm} & \lambda_{\text{REF1}} &= 650,6 \text{ nm} \\ \lambda_{\text{OSA2}} &= 780,5 \text{ nm} & \lambda_{\text{REF2}} &= 780,3 \text{ nm} \\ \lambda_{\text{OSA3}} &= 850,2 \text{ nm} & \lambda_{\text{REF3}} &= 850,1 \text{ nm} \\ \lambda_{\text{OSA4}} &= 1\,310,5 \text{ nm} & \lambda_{\text{REF4}} &= 1\,310,7 \text{ nm} \\ \lambda_{\text{OSA5}} &= 1\,552,1 \text{ nm} & \lambda_{\text{REF5}} &= 1\,552,0 \text{ nm}\end{aligned}$$

The deviation of the measured value for the individual light source is calculated from Equation (44), for each wavelength.

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_{\lambda1} &= 650,4 - 650,6 = -0,2 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{\lambda2} &= 780,5 - 780,3 = 0,2 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{\lambda3} &= 850,2 - 850,1 = 0,1 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{\lambda4} &= 1\,310,5 - 1\,310,7 = -0,2 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{\lambda5} &= 1\,552,1 - 1\,552,0 = 0,1 \text{ (nm)}\end{aligned}$$

From these values:

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_{\lambda,\text{MAX}} &= 0,2 \text{ nm,} \\ \Delta\lambda_{\lambda,\text{MIN}} &= -0,2 \text{ nm}\end{aligned}$$

The uncertainty of the wavelength dependence error,  $\sigma_{\Delta\lambda\lambda}$ , is given by Equation (46):

$$\sigma_{\Delta\lambda\lambda} = (\Delta\lambda_{\lambda,\text{MAX}} - \Delta\lambda_{\lambda,\text{MIN}}) / 2\sqrt{3} = 0,4 / 2\sqrt{3} = 0,115 \quad (\text{B.25})$$

Also, the deviation due to wavelength dependence is given by Equation (45):

$$\Delta\lambda_{\lambda} = (\Delta\lambda_{\lambda,\text{MAX}} + \Delta\lambda_{\lambda,\text{MIN}}) / 2 = 0 \quad (\text{B.26})$$

### B.2.2.2 Temperature dependence

The following centre wavelength values, measured for various temperatures using a He-Ne laser

$\lambda_{\text{REF}} = 633,0 \text{ nm}$  will be used to show the temperature dependence:

$$\begin{aligned}T1 = 10 \text{ }^\circ\text{C} & & \lambda_{\text{OSA1}} &= 632,8 \text{ nm} \\ T2 = 15 \text{ }^\circ\text{C} & & \lambda_{\text{OSA2}} &= 632,7 \text{ nm} \\ T3 = 20 \text{ }^\circ\text{C} & & \lambda_{\text{OSA3}} &= 632,8 \text{ nm} \\ T4 = 25 \text{ }^\circ\text{C} & & \lambda_{\text{OSA4}} &= 632,9 \text{ nm} \\ T5 = 30 \text{ }^\circ\text{C} & & \lambda_{\text{OSA5}} &= 633,1 \text{ nm} \\ T6 = 35 \text{ }^\circ\text{C} & & \lambda_{\text{OSA6}} &= 633,2 \text{ nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\lambda_{T1} &= 632,8 - 633,0 = -0,2 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{T2} &= 632,7 - 633,0 = -0,3 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{T3} &= 632,8 - 633,0 = -0,2 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{T4} &= 632,9 - 633,0 = -0,1 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{T5} &= 633,1 - 633,0 = 0,1 \text{ (nm)} \\ \Delta\lambda_{T6} &= 633,2 - 633,0 = 0,2 \text{ (nm)} \end{aligned}$$

A partir des équations (49) et (48):

$$\sigma_{\Delta\lambda T} = (\Delta\lambda_{T,MAX} - \Delta\lambda_{T,MIN}) / 2\sqrt{3} = (0,2 + 0,3) / 2\sqrt{3} = 0,144 \text{ (nm)} \quad (\text{B.27})$$

$$\Delta\lambda_T = (\Delta\lambda_{T,MAX} + \Delta\lambda_{T,MIN}) / 2 = (0,2 - 0,3) / 2 = -0,05 \text{ (nm)} \quad (\text{B.28})$$

### B.2.3 Calcul de l'incertitude étendue

L'exemple suivant montre le calcul de l'incertitude étendue lorsque l'étalonnage est effectué sous des conditions de fonctionnement.

Nous pouvons trouver l'incertitude accumulée en utilisant l'équation (52):

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta\lambda_{cu}} &= (\sigma_{\Delta\lambda_{ref}}^2 + \sigma_{\Delta\lambda}^2 + \sigma_{\Delta\lambda T}^2)^{1/2} \\ &= (0,107^2 + 0,115^2 + 0,144^2)^{1/2} \\ &= (0,045)^{1/2} = 0,213 \text{ (nm)} \end{aligned} \quad (\text{B.29})$$

L'écart de longueur d'onde peut être trouvé à partir de l'équation (51):

$$\Delta\lambda_{cu} = \Delta\lambda_{ref} + \Delta\lambda_{\lambda} + \Delta\lambda_T = -0,16 + 0,0 - 0,05 = -0,21 \text{ (nm)} \quad (\text{B.30})$$

En conséquence, nous obtenons l'incertitude étendue,  $U_{\lambda_{cu}}$  avec un facteur de couverture  $k = 2$  pour un niveau de confiance de 95 %:

$$U_{\lambda_{cu}} = \pm k \sigma_{\Delta\lambda_{cu}} = \pm 2 \times 0,213 = \pm 0,43 \text{ (nm)} \quad (\text{B.31})$$

$$\Delta\lambda_{T1} = 632,8 - 633,0 = -0,2 \text{ (nm)}$$

$$\Delta\lambda_{T2} = 632,7 - 633,0 = -0,3 \text{ (nm)}$$

$$\Delta\lambda_{T3} = 632,8 - 633,0 = -0,2 \text{ (nm)}$$

$$\Delta\lambda_{T4} = 632,9 - 633,0 = -0,1 \text{ (nm)}$$

$$\Delta\lambda_{T5} = 633,1 - 633,0 = 0,1 \text{ (nm)}$$

$$\Delta\lambda_{T6} = 633,2 - 633,0 = 0,2 \text{ (nm)}$$

From Equations (49) and (48):

$$\sigma_{\Delta\lambda T} = (\Delta\lambda_{T,MAX} - \Delta\lambda_{T,MIN}) / 2\sqrt{3} = (0,2 + 0,3) / 2\sqrt{3} = 0,144 \text{ (nm)} \quad (\text{B.27})$$

$$\Delta\lambda_T = (\Delta\lambda_{T,MAX} + \Delta\lambda_{T,MIN}) / 2 = (0,2 - 0,3) / 2 = -0,05 \text{ (nm)} \quad (\text{B.28})$$

### B.2.3 Expanded uncertainty calculation

The following example shows the expanded uncertainty calculation when the calibration is performed under operating conditions.

We can find the accumulated uncertainty using Equation (52):

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta\lambda_{cu}} &= (\sigma_{\Delta\lambda_{ref}}^2 + \sigma_{\Delta\lambda}^2 + \sigma_{\Delta\lambda T}^2)^{1/2} \\ &= (0,107^2 + 0,115^2 + 0,144^2)^{1/2} \\ &= (0,045)^{1/2} = 0,213 \text{ (nm)} \end{aligned} \quad (\text{B.29})$$

The wavelength deviation can be found from Equation (51):

$$\Delta\lambda_{cu} = \Delta\lambda_{ref} + \Delta\lambda_{\lambda} + \Delta\lambda_T = -0,16 + 0,0 - 0,05 = -0,21 \text{ (nm)} \quad (\text{B.30})$$

Accordingly, we obtain the expanded uncertainty,  $U_{\lambda_{cu}}$  with a coverage factor  $k = 2$  for a confidence level of 95 %:

$$U_{\lambda_{cu}} = \pm k \sigma_{\Delta\lambda_{cu}} = \pm 2 \times 0,213 = \pm 0,43 \text{ (nm)} \quad (\text{B.31})$$

## **Annexe C** (informative)

### **En utilisant les résultats de l'étalonnage**

#### **C.1 Généralités**

##### **C.1.1 Domaine d'application**

Des mesures étalonnées peuvent être exigées pour des conditions qui diffèrent de celles sous lesquelles l'instrument a été étalonné. Par exemple, la mesure d'une source à une longueur d'onde qui tombe entre deux points d'étalonnage de la longueur d'onde. Ainsi, il est nécessaire d'employer les techniques d'interpolation indiquées dans cette annexe.

L'interpolation des résultats de l'étalonnage sera valide uniquement pour certains paramètres et des restrictions seront appliquées aux plages sur lesquelles l'interpolation est valide.

##### **C.1.2 Paramètres**

La méthode indiquée dans cette annexe peut être appliquée aux paramètres suivants:

- a) Etalonnage de la correction d'échelle de la longueur d'onde comme fonction de la longueur d'onde du vide;
- b) Etalonnage de la résolution spectrale de l'instrument comme fonction de la longueur d'onde du vide;
- c) Etalonnage du niveau affiché de puissance de l'instrument comme fonction de la longueur d'onde du vide;
- d) Etalonnage de la linéarité de puissance de l'instrument comme fonction de la longueur d'onde du vide.

La méthode indiquée dans cette annexe n'est pas applicable au paramètre suivant:

- e) dépendance en polarisation.

##### **C.1.3 Restrictions**

La méthode d'interpolation indiquée dans cette annexe est sujette à certaines restrictions.

- a) L'opérateur a à charge de s'assurer que suffisamment de points d'étalonnage sont disponibles pour vérifier que le modèle d'interpolation est valide.
- b) La prédiction des corrections d'étalonnage pour les paramètres tombant en dehors de la plage des points d'étalonnage (extrapolation) n'est pas permise.
- c) Certains modèles d'OSA utilisent un élément de diffraction pour sélectionner la longueur d'onde et peuvent également utiliser différents détecteurs pour couvrir la plage de longueurs d'ondes de l'instrument. L'interpolation des corrections d'étalonnage à travers de tels changements dans l'état de l'instrument n'est pas permise.
- d) Si un modèle d'ajustement polynomial est utilisé, alors il convient que le degré du polynôme soit significativement plus petit que le nombre de points d'étalonnage.
- e) La plage de validité de toutes les fonctions d'interpolation doit toujours être fournie.
- f) Si la distribution des points d'étalonnage n'est pas uniforme, alors il peut être nécessaire de pondérer les valeurs d'étalonnage lors de l'ajustement du modèle d'interpolation. Il convient qu'un statisticien ou autre personnel qualifié de manière appropriée certifie que le choix des valeurs de pondération est justifié.

## **Annex C** (informative)

### **Using the calibration results**

#### **C.1 General**

##### **C.1.1 Scope**

Calibrated measurements may be required for conditions that differ from those under which the instrument was calibrated. For example, the measurement of a source at a wavelength that falls between two wavelength calibration points. Therefore, it is necessary to employ the interpolation techniques outlined in this annex.

Interpolation of calibration results will only be valid for certain parameters and restrictions will apply to the ranges over which the interpolation is valid.

##### **C.1.2 Parameters**

The method outlined in this annex can be applied to the following parameters:

- a) calibration of the wavelength scale correction as a function of vacuum wavelength;
- b) calibration of the instrument resolution bandwidth as a function of vacuum wavelength;
- c) calibration of the instrument displayed power level as a function of vacuum wavelength;
- d) calibration of the instrument power linearity as a function of vacuum wavelength.

The method outlined in this annex is not applicable to the following parameter:

- e) polarization dependence.

##### **C.1.3 Restrictions**

The interpolation method outlined in this annex is subject to certain restrictions.

- a) The operator must ensure that sufficient calibration points are available to verify that the interpolation model is valid.
- b) Prediction of calibration corrections for parameters falling outside the range of the calibration points (extrapolation) is not allowed.
- c) Certain OSA designs use a diffractive element to select the wavelength and may also use different detectors to cover the wavelength range of the instrument. Interpolation of calibration corrections across such changes in the instrument state is not allowed.
- d) If a polynomial fit model is used then the degree of the polynomial should be significantly less than the number of calibration points.
- e) The validity range of any interpolating function must always be provided.
- f) If the distribution of calibration points is not uniform then it may be necessary to weight the calibration values when fitting the interpolation model. A statistician or other suitably qualified staff should certify that the choice of weighting values is justified.

## C.2 Corrections additives

### C.2.1 Paramètres

Dans ce paragraphe, tous les exemples ou symboles seront liés à l'étalonnage de l'échelle de longueur d'onde d'un OSA en utilisant un ajustement linéaire.

### C.2.2 Mesures proche de la longueur d'onde de référence d'étalonnage

Si l'OSA est utilisé pour mesurer une longueur d'onde suffisamment proche d'une des longueurs d'onde de référence utilisée dans l'étalonnage, alors les longueurs d'onde mesurées peuvent être corrigées pour donner une approximation de la longueur d'onde dans le vide  $\lambda_c$  en réorganisant l'équation (44) comme montré:

$$\lambda_c = \lambda_{OSA} - \Delta\lambda_j \quad (C.1)$$

où

$\lambda_{OSA}$  est la longueur d'onde mesurée par l'analyseur d'essai;

$\Delta\lambda_j$  est l'écart de longueur d'onde obtenu à partir des résultats de l'étalonnage.

L'incertitude dans la longueur d'onde corrigée,  $\sigma_{\lambda_c}$ , est trouvée en sommant les contributions de mesure et de correction.

$$\sigma_{\lambda_c} = (\sigma_{\Delta\lambda_j}^2 + \sigma_{\lambda_{osa}}^2)^{1/2} \quad (C.2)$$

où

$\sigma_{\Delta\lambda_j}$  est l'incertitude de l'analyseur d'essai due à la dépendance en longueur d'onde.

$\sigma_{\lambda_{osa}}$  est l'incertitude type des valeurs mesurées pendant l'étalonnage.

### C.2.3 Mesures à d'autres longueurs d'onde

En général, seules quelques longueurs d'onde de référence peuvent être utilisées réparties sur une large plage de longueurs d'ondes. En ce cas, il peut être approprié de décrire l'écart de longueur d'onde par:

$$\Delta\lambda_{osa}(\lambda_{osa}) = \Delta S_\lambda \cdot \lambda_{osa} + \Delta\lambda_o \quad (C.3)$$

où  $\Delta S_\lambda$  est un facteur d'échelle qui devrait être idéalement nul et  $\Delta\lambda_o$  est un décalage qui devrait être idéalement à zéro. La relation entre la longueur d'onde mesurée et la vraie longueur d'onde dans le vide est donnée par:

$$\lambda_{vac}(\lambda_{osa}) = \lambda_{osa} + \Delta\lambda_{osa}(\lambda_{osa}) + \epsilon(\lambda_{osa}) \quad (C.4)$$

Où  $\lambda_{vac}(\lambda_{osa})$  est la longueur d'onde dans le vide. Le terme  $\epsilon(\lambda_{osa})$  représente une erreur additionnelle. La forme de celui-ci peut dépendre de l'instrument particulier. Par exemple, dans un instrument utilisant un mécanisme sinusoïdal, il pourrait présenter une erreur sinusoïdale périodique. Ce terme inclut également les contributions de l'incertitude de type A (aléatoire).

Ajuster les résultats d'étalonnage à l'équation (C.3) en utilisant une procédure des moindres carrés qui donnera  $\Delta S_\lambda$  et  $\Delta\lambda_o$

NOTE Si suffisamment de longueurs d'onde de référence sont utilisées, les différences de longueur d'onde peuvent être ajustées à une équation d'ordre plus élevé. Des dispositifs systématiques ou fonctionnels dans  $\epsilon(\lambda)$  émergeront comme terme(s) d'ordre plus élevé et peuvent donc être utilisés pour corriger les longueurs d'onde mesurées. L'équation d'ajustement appropriée pour les caractéristiques de  $\epsilon(\lambda)$  et pour le nombre de longueurs d'onde de référence utilisées sera choisie avec une attention particulière.

## C.2 Additive corrections

### C.2.1 Parameters

In this subclause all examples and symbols will relate to the calibration of the wavelength scale of an OSA using a linear fit.

### C.2.2 Measurements close to a calibration reference wavelength

If the OSA is used to measure a wavelength sufficiently close to one of the reference wavelengths used in the calibration, then the measured wavelengths can be corrected to give an approximation to the vacuum wavelength  $\lambda_c$ , by rearranging Equation (44) as shown:

$$\lambda_c = \lambda_{\text{OSA}} - \Delta\lambda_{\lambda_j} \quad (\text{C.1})$$

where

$\lambda_{\text{OSA}}$  is the wavelength measured by the test analyzer;

$\Delta\lambda_{\lambda_j}$  is the wavelength deviation obtained from the calibration results.

The uncertainty in the corrected wavelength,  $\sigma_{\lambda_c}$ , is found by summing the measurement and correction contributions:

$$\sigma_{\lambda_c} = (\sigma_{\Delta\lambda_{\lambda_j}}^2 + \sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}^2)^{1/2} \quad (\text{C.2})$$

where

$\sigma_{\Delta\lambda_{\lambda_j}}$  is the uncertainty of the test analyzer due to wavelength dependence.

$\sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}$  is the standard uncertainty of the values measured during calibration.

### C.2.3 Measurements at other wavelengths

In general, only a few reference wavelengths may have been used spread over a wide wavelength range. In this case it may be appropriate to describe the wavelength deviation by

$$\Delta\lambda_{\text{OSA}}(\lambda_{\text{OSA}}) = \Delta S_{\lambda} \cdot \lambda_{\text{OSA}} + \Delta\lambda_0 \quad (\text{C.3})$$

where  $\Delta S_{\lambda}$  is a scale factor which ideally should be zero and  $\Delta\lambda_0$  is an offset which again ideally should be zero. The relationship between the measured wavelength and the true vacuum wavelength is given by:

$$\lambda_{\text{vac}}(\lambda_{\text{OSA}}) = \lambda_{\text{OSA}} + \Delta\lambda_{\text{OSA}}(\lambda_{\text{OSA}}) + \varepsilon(\lambda_{\text{OSA}}) \quad (\text{C.4})$$

Where  $\lambda_{\text{vac}}(\lambda_{\text{OSA}})$  is the vacuum wavelength. The term  $\varepsilon(\lambda_{\text{OSA}})$  represents an additional error the form of which may depend on the particular instrument. For example, in an instrument using a sine-bar mechanism it might represent a periodic sine-bar error. This term also includes type A (random) uncertainty contributions.

Fitting the calibration results to Equation (C.3) using a least squares procedure will give  $\Delta S_{\lambda}$ , and  $\Delta\lambda_0$ .

NOTE Provided sufficient reference wavelengths are used, the wavelength differences can be fitted to an equation of higher order. Systematic or functional features in  $\varepsilon(\lambda)$  will emerge as higher order term(s) and can therefore be used to correct the measured wavelengths. Appropriate care must be taken to choose a fit equation appropriate for the characteristics of  $\varepsilon(\lambda)$  and for the number of reference wavelengths used.

L'erreur de la valeur efficace,  $\sigma_{\varepsilon\lambda}$ , due à l'ajustement imparfait peut être calculée à partir des erreurs résiduelles aux valeurs de référence:

$$\sigma_{\varepsilon\lambda} = \left[ \sum_{i=1}^n (\Delta\lambda_{\lambda,i} - \Delta\lambda_{\text{osa}}(\Delta\lambda_{\text{osa},i}))^2 / (n - 2) \right]^{1/2} \quad (\text{C.5})$$

NOTE Le nombre de points de donnée est  $n-2$  qui provient de deux paramètres, qui sont la pente et l'interception ajustée.

Les longueurs d'onde mesurées par l'OSA peuvent être corrigées en soustrayant  $\Delta\lambda(\lambda_{\text{OSA}})$  de  $\lambda_{\text{OSA}}$ .

$$\lambda_c = \lambda_{\text{OSA}} - \Delta\lambda(\lambda_{\text{OSA}}) \quad (\text{C.6})$$

L'incertitude dans l'erreur/ la correction de la longueur d'onde calculée,  $\sigma_{\Delta\lambda}$  est donnée par

$$\sigma_{\Delta\lambda} = [\sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}^2 + \sigma_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + \sigma_{\varepsilon\lambda}^2]^{1/2} \quad (\text{C.7})$$

où  $\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}$  est l'incertitude dans les longueurs d'onde utilisées dans l'étalonnage. Comme plusieurs longueurs d'onde sont utilisées,  $\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}^2$  peut être pris comme la moyenne des  $(\sigma_{\lambda_{\text{REF},i}})^2$  utilisés dans l'étalonnage. Si des raies d'émission laser/de gaz sont utilisées pour l'étalonnage, alors ce terme sera négligé.

### C.3 Corrections multiplicatrices

#### C.3.1 Paramètres

Dans ce paragraphe, tous les exemples ou symboles seront liés à l'étalonnage de l'échelle de longueur d'onde affichée d'un OSA comme une fonction de longueur d'onde.

#### C.3.2 Mesures proche de la longueur d'onde de référence d'étalonnage

Si l'OSA est utilisé pour mesurer une puissance proche d'une des longueurs d'onde de référence utilisée dans l'étalonnage de la puissance, alors la puissance mesurée peut être corrigée pour donner une approximation de la vraie puissance  $P_c$ . L'équation (10) peut être réorganisée pour donner:

$$P_c = P_{\text{OSA}} / (1 + \Delta P_{\text{diff}}) \quad (\text{C.8})$$

L'incertitude dans la puissance corrigée,  $\sigma_{P_c}$ , est déterminée en combinant les incertitudes dans la puissance mesurée et l'étalonnage de la puissance affichée.

NOTE Les incertitudes de la puissance mesurée et corrigée sont additives, alors que l'incertitude dans la puissance affichée est multiplicative.

$$\sigma_{P_c} = P_c (\sigma_{\Delta P_{\text{diff}}}^2 + \sigma_{P_{\text{osa}}}^2 / P_{\text{OSA}}^2)^{1/2} \quad (\text{C.9})$$

#### C.3.3 Mesures à d'autres longueurs d'onde

En général, seuls quelques étalonnages de l'affichage peuvent être utilisés répartis sur une large plage de longueur d'onde. En ce cas, il peut être approprié de décrire l'erreur d'étalonnage par une fonction:

$$\Delta P_{\text{diff}}(\lambda_{\text{osa}}) = \Delta S_P \cdot \lambda_{\text{osa}} + \Delta P_o \quad (\text{C.10})$$

The RMS error due to the imperfect fit  $\sigma_{\varepsilon\lambda}$  can be calculated from the residual errors at the reference values:

$$\sigma_{\varepsilon\lambda} = \left[ \sum_{i=1}^n (\Delta\lambda_{\lambda,i} - \Delta\lambda_{\text{osa}}(\Delta\lambda_{\text{osa},i}))^2 / (n - 2) \right]^{1/2} \quad (\text{C.5})$$

NOTE Number of data points is  $n - 2$  which arises from two parameters, i.e. the slope and intercept being fitted.

The wavelengths measured by the OSA can be corrected by subtracting  $\Delta\lambda(\lambda_{\text{OSA}})$  from  $\lambda_{\text{OSA}}$ .

$$\lambda_c = \lambda_{\text{OSA}} - \Delta\lambda(\lambda_{\text{OSA}}) \quad (\text{C.6})$$

The uncertainty in the calculated wavelength error/correction,  $\sigma_{\Delta\lambda}$  is given by

$$\sigma_{\Delta\lambda} = [\sigma_{\lambda_{\text{OSA}}}^2 + \sigma_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + \sigma_{\varepsilon\lambda}^2]^{1/2} \quad (\text{C.7})$$

where  $\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}$  is the uncertainty in the reference wavelengths used in the calibration. As several wavelengths are used,  $\sigma_{\lambda_{\text{REF}}}^2$  may be taken as the average of the  $(\sigma_{\lambda_{\text{REF},i}})^2$  used in the calibration. If laser/gas emission lines are used for the calibration then this term will be negligible.

### C.3 Multiplicative corrections

#### C.3.1 Parameters

In this subclause all examples and symbols will relate to the calibration of the displayed power scale of an OSA as a function of wavelength.

#### C.3.2 Measurements close to a calibration reference wavelength

If the OSA is used to measure a power close to one of the reference wavelengths used in the power calibration, then the measured power can be corrected to give an approximation of the true power  $P_c$ . Equation (10) can be rearranged to give:

$$P_c = P_{\text{OSA}} / (1 + \Delta P_{\text{diff}}) \quad (\text{C.8})$$

The uncertainty in the corrected power,  $\sigma_{P_c}$ , is determined by combining the uncertainties in the measured power and the displayed power calibration.

NOTE The measured and corrected power uncertainties are additive, whereas the uncertainty in the displayed power is multiplicative.

$$\sigma_{P_c} = P_c (\sigma_{\Delta P_{\text{diff}}}^2 + \sigma_{P_{\text{osa}}}^2 / P_{\text{OSA}}^2)^{1/2} \quad (\text{C.9})$$

#### C.3.3 Measurements at other wavelengths

In general, only a few display calibrations may have been used spread over a wide wavelength range. In this case it may be appropriate to describe the calibration error by a function:

$$\Delta P_{\text{diff}}(\lambda_{\text{osa}}) = \Delta S_P \cdot \lambda_{\text{osa}} + \Delta P_0 \quad (\text{C.10})$$

où  $\Delta S_p$  est un facteur d'échelle qui devrait être idéalement nul et  $\Delta P_o$  est un décalage qui devrait être idéalement à zéro. La relation entre la puissance mesurée et la vraie puissance est donnée par:

$$P_{\text{true}}(\lambda_{\text{osa}}) = P_{\text{OSA}} / (1 + \Delta P_{\text{diff}}(\lambda_{\text{osa}}) + \varepsilon_P(\lambda_{\text{osa}})) \quad (\text{C.11})$$

Le terme  $\varepsilon(\lambda_{\text{osa}})$  représente une erreur additionnelle. La forme de celui-ci peut dépendre de l'instrument particulier. Par exemple, dans un instrument utilisant un photodétecteur refroidi, celui-ci pourrait présenter la dérivée de la réponse du détecteur. Ce terme inclut également les contributions de l'incertitude de type A (aléatoire).

Ajuster les résultats d'étalonnage à l'équation (C.10) en utilisant une procédure des moindres carrés qui donnera  $\Delta S_\lambda$  et  $\Delta \lambda_o$ . L'erreur de la valeur efficace,  $\sigma_{\varepsilon\lambda}$ , due à l'ajustement imparfait peut être calculée à partir des erreurs résiduelles aux valeurs de référence:

$$\sigma_{\varepsilon p} = \left[ \sum_{i=1}^n (\Delta P_{\text{diff}, \lambda_i} - \Delta P_{\text{diff}}(\Delta \lambda_i))^2 / (n - 2) \right]^{1/2} \quad (\text{C.12})$$

NOTE Le nombre de points de donnée est  $n-2$  qui provient de deux paramètres, qui sont la pente et l'interception ajustée.

La puissance mesurée par l'OSA peut être corrigée comme suit:

$$P_c(\lambda_{\text{OSA}}) = P_{\text{OSA}} / (1 + \Delta P_{\text{diff}}(P_{\text{OSA}})) \quad (\text{C.13})$$

L'incertitude dans la correction de la puissance calculée est similaire à l'équation C.9 avec un terme additionnel pour l'erreur d'ajustement  $\sigma_{\varepsilon p}$ :

$$\sigma_{P_c}(\lambda_{\text{OSA}}) = P_c(\lambda_{\text{OSA}}) [\sigma_{\Delta P_{\text{diff}}}^2 + \sigma_{\varepsilon p}^2 + \sigma_{P_{\text{osa}}}^2 / P_{\text{OSA}}(\lambda_{\text{OSA}})^2]^{1/2} \quad (\text{C.14})$$

#### C.4 Résultats de l'étalonnage de l'OSA (correction additive)

Dans l'exemple suivant, la procédure indiquée en B.2 est utilisée pour étalonner l'échelle de longueur d'onde d'un OSA. Les longueurs d'onde de référence sont des lignes d'émission de gaz de krypton (voir Annexe C).

**Tableau C.1 – Résultats de l'étalonnage de l'OSA**

$\lambda_{\text{REF}}$ (nm)	$\lambda_{\text{OSA}}$ (nm)	$\lambda_{\text{OSA}} - \lambda_{\text{REF}}$ (pm)	$\lambda_{\text{C}} - \lambda_{\text{REF}}$ (pm)	$\sigma_{\Delta \lambda_{\text{C}}}$ (pm)
1 182,261	1 181,721	-540	-0,8	±15
1 318,102	1 317,532	-570	-7,0	±15
1 363,795	1 363,231	-564	7,0	±15
1 443,074	1 442,495	-579	5,9	±15
1 473,846	1 473,251	-595	-4,7	±15
1 524,378	1 523,786	-592	7,1	±15
1 533,915	1 533,308	-607	-6,2	±15
1 678,971	1 678,343	-628	-1,8	±15
		<-584,4> 88 crête-crête	<-0,8> 14,2 crête-crête	

where  $\Delta S_P$  is a scale factor which ideally should be zero and  $\Delta P_O$  is an offset which again ideally should be zero. The relationship between the measured power and the true power is given by:

$$P_{\text{true}}(\lambda_{\text{osa}}) = P_{\text{OSA}} / (1 + \Delta P_{\text{diff}}(\lambda_{\text{osa}}) + \varepsilon_P(\lambda_{\text{osa}})) \quad (\text{C.11})$$

The term  $\varepsilon_P(\lambda_{\text{osa}})$  represents an additional error the form of which may depend on the particular instrument. For example, in an instrument using a cooled photodetector this might represent the derivative of the detector response. This term also includes type A (random) uncertainty contributions.

Fitting the calibration results to Equation (C.10) using a least squares procedure will give  $\Delta S_P$ , and  $\Delta P_O$ . The RMS error due to the imperfect fit  $\sigma_{\varepsilon_P}$ , can be calculated from the residual errors at the reference values:

$$\sigma_{\varepsilon_P} = \left[ \sum_{i=1}^n (\Delta P_{\text{diff}, \lambda_i} - \Delta P_{\text{diff}}(\Delta \lambda_i))^2 / (n - 2) \right]^{1/2} \quad (\text{C.12})$$

NOTE Number of data points is  $n - 2$  which arises from two parameters, i.e. the slope and intercept being fitted.

The power measured by the OSA can be corrected as follows:

$$P_c(\lambda_{\text{OSA}}) = P_{\text{OSA}} / (1 + \Delta P_{\text{diff}}(P_{\text{OSA}})) \quad (\text{C.13})$$

The uncertainty in the calculated power correction is similar to Equation C.9 with an additional term for the fitting error  $\sigma_{\varepsilon_P}$ :

$$\sigma_{P_c}(\lambda_{\text{OSA}}) = P_c(\lambda_{\text{OSA}}) [\sigma_{\Delta P_{\text{diff}}}^2 + \sigma_{\varepsilon_P}^2 + \sigma_{P_{\text{OSA}}}^2 / P_{\text{OSA}}(\lambda_{\text{OSA}})^2]^{1/2} \quad (\text{C.14})$$

#### C.4 OSA calibration results (additive correction)

In the following example the procedure outlined in C.2 is used to calibrate the wavelength scale of an OSA. The reference wavelengths were krypton gas emission lines (see Annex D).

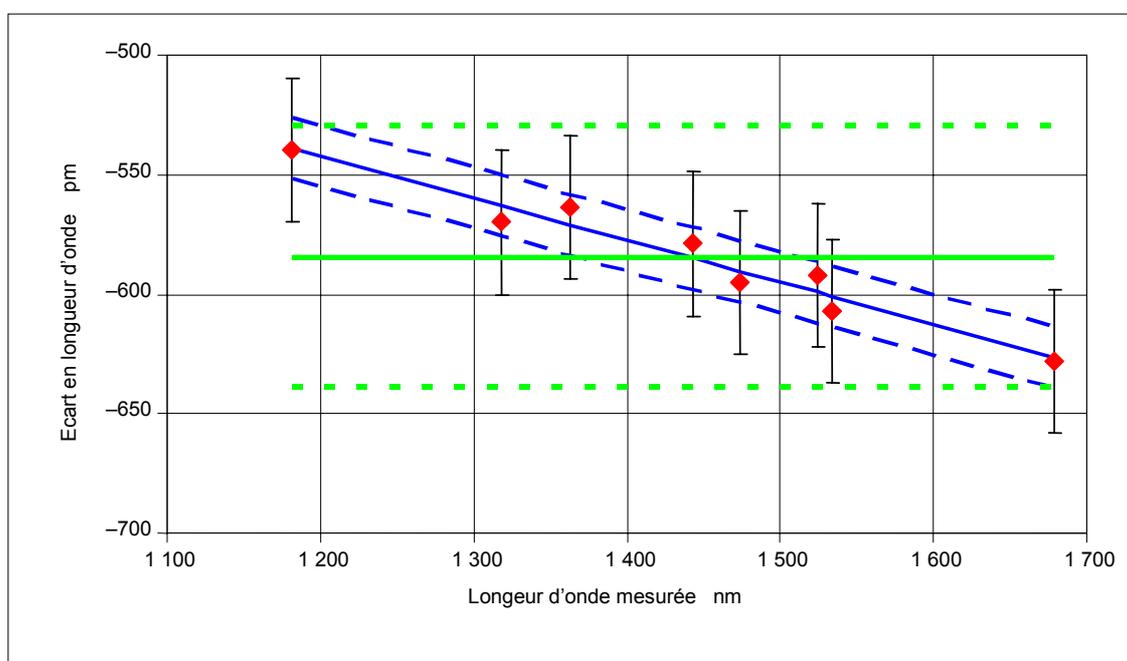
**Table C.1 – OSA calibration results**

$\lambda_{\text{REF}}$ (nm)	$\lambda_{\text{OSA}}$ (nm)	$\lambda_{\text{OSA}} - \lambda_{\text{REF}}$ (pm)	$\lambda_c - \lambda_{\text{REF}}$ (pm)	$\sigma_{\Delta \lambda_c}$ (pm)
1 182,261	1 181,721	–540	–0,8	±15
1 318,102	1 317,532	–570	–7,0	±15
1 363,795	1 363,231	–564	7,0	±15
1 443,074	1 442,495	–579	5,9	±15
1 473,846	1 473,251	–595	–4,7	±15
1 524,378	1 523,786	–592	7,1	±15
1 533,915	1 533,308	–607	–6,2	±15
1 678,971	1 678,343	–628	–1,8	±15
		<–584,4> 88 pk–pk	<–0,8> 14,2 pk–pk	

**Tableau C.2 – Résumé des paramètres d'étalonnage de l'OSA**

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Longueur d'onde minimale	$\lambda_{MIN}$	1 183	nm
Longueur d'onde maximale	$\lambda_{MAX}$	1 678	nm
Pente	$\Delta S$	$-1,753 \times 10^{-4}$	-
Interception	$\Delta\lambda_0$	-332	pm
Incertitude de la correction de la longueur d'onde	$\sigma_\epsilon$	$\pm 6,4$	pm
Décalage en longueur d'onde	$\Delta\lambda_\lambda$	-584,4	pm
incertitude de longueur d'onde	$\sigma_{\Delta\lambda\lambda}$	$\pm 27,3$	pm

NOTE La quatrième colonne du Tableau C.1 ,  $\lambda C - \lambda REF$  est dominé par la contribution de  $\sigma_\epsilon$ .



IEC 2601/05

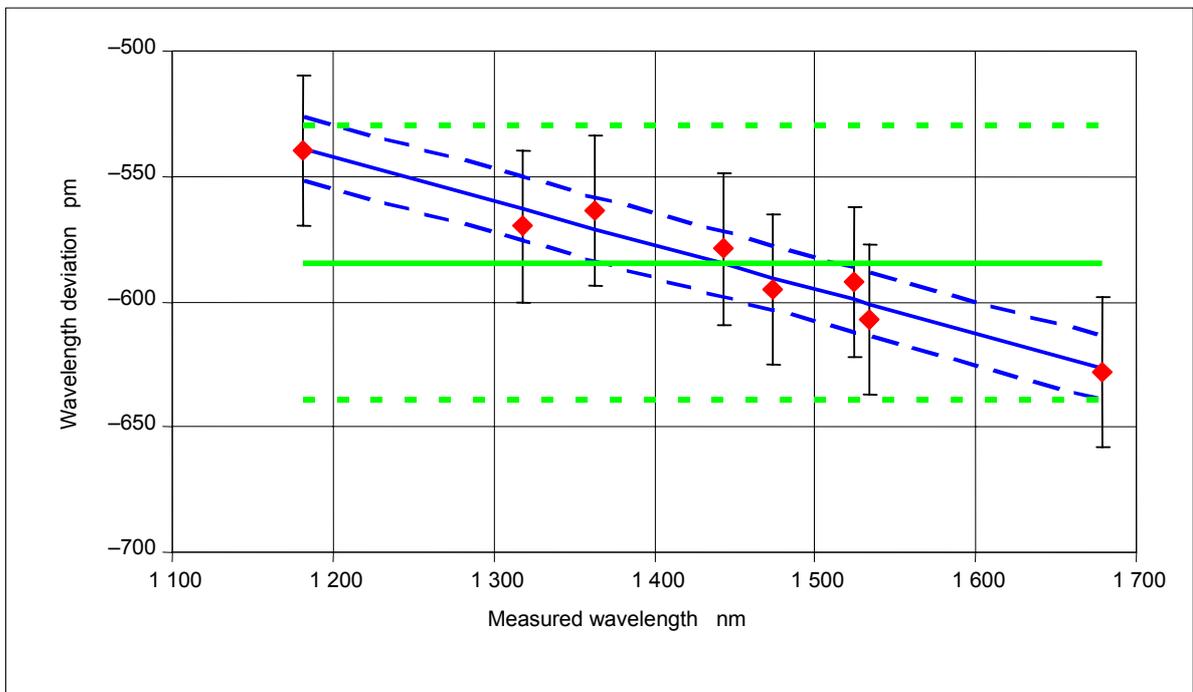
Intervalles de confiance de 95 % montrés.

**Figure C.1 – Etalonnage de l'échelle de la longueur d'onde de l'OSA utilisant des raies d'émission de krypton**

**Table C.2 – Summary of OSA calibration parameters**

Parameter	Symbol	Value	Unit
Minimum wavelength	$\lambda_{MIN}$	1 183	nm
Maximum wavelength	$\lambda_{MAX}$	1 678	nm
Slope	$\Delta S$	$-1,753 \times 10^{-4}$	-
Intercept	$\Delta \lambda_0$	-332	pm
Wavelength correction uncertainty	$\sigma_{\epsilon}$	$\pm 6,4$	pm
Wavelength offset	$\Delta \lambda_{\lambda}$	-584,4	pm
Wavelength uncertainty	$\sigma_{\Delta \lambda_{\lambda}}$	$\pm 27,3$	pm

NOTE The fourth column of Table C.1,  $\lambda_C - \lambda_{REF}$  is dominated by the contribution from  $\sigma_{\epsilon}$ .



IEC 2601/05

95 % confidence intervals shown.

**Figure C.1 – Calibration of OSA wavelength scale using krypton emission lines**

## Annexe D (informative)

### Références de longueur d'onde

Cette annexe fournit des listes des raies d'émission laser et de lampe, des transitions des dispositifs d'absorption et optogalvaniques qui sont connus pour posséder une précision suffisante pour fournir des points de référence de longueur pour l'étalonnage de l'OSA. Ces tableaux donnent uniquement les longueurs d'onde dans le vide des transitions fondamentales.

Des raies laser à gaz fournissent des sources de longueur d'onde (fréquence) intense (> 1mW) et bien définies. Des raies d'émission de lampe sont des dispositifs d'intensité faible, typiquement quelques nanowatts seulement peuvent être atteints à l'intérieur d'une fibre unimodale. A de faibles pressions de gaz, les transitions d'absorption et optogalvaniques sont des dispositifs étroits, typiquement plusieurs centaines de mégahertz de largeur. Ces passages sont normalement utilisés pour stabiliser la longueur d'onde d'un laser à semiconducteur et pour fournir une référence active. A des hautes pressions, les transitions d'absorption sont élargies et peuvent être visualisées directement par l'OSA en utilisant comme source une lampe ou une diode électroluminescente. A des pressions plus hautes, toutes ces raies de référence peuvent subir un léger décalage dû aux collisions. Ce "décalage de pression" n'a pas été caractérisé pour toutes les références indiquées dans l'annexe. Des mesures ont été effectuées à NIST pour la bande  $\nu_1+\nu_3$  de l'acétylène  $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$  et la bande  $2\nu_3$  de l'acide cyanhydrique  $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$  [1,2]. Ces mesures montrent que le décalage de la pression peut être aussi large que 2 pm pour le gaz acide cyanhydrique à une pression de 13 kPa (environ 100 Torr). Le décalage de la pression de l'acétylène est faible, mais peut dépasser 1 pm à des pressions plus hautes. Les centres de raie indiquées ci-dessous ont été mesurés dans le régime de faible pression. Bien que certains de ces centres de raie aient été mesurés à une précision plus haute, les tableaux indiquent les longueurs d'onde à une précision de 1 pm en raison des variations possibles des centres de raie à ce niveau.

#### D.1 Raies laser à gaz

**Tableau D.1 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) des raies laser à gaz sélectionnées**

laser Ar	488,122	laser He-Ne	632,991
	514,673		1 152,590
			1 523,488

#### D.2 Raies de référence de gaz rares

Les gaz rares He, Ne, Kr, Ar et Xe possèdent des raies de transitions qui sont bien connues et peuvent être utilisés comme points de référence en longueur d'onde. Le Tableau D2 présente un nombre de raies plus important [3,4]. Celles marquées avec un astérisque ont déjà été observées en utilisant l'effet optogalvanique [5-9]

**Tableau D.2 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) des raies de référence de gaz rares**

Kr	810,659	Ne	1 114,607	Kr	*1 298,884	Kr	*1 496,598
Kr	811,513	Ne	1 118,059	Ar	*1 301,182	Kr	*1 500,941
Kr	819,231	Ne	1 139,355	Kr	*1 318,102	Kr	*1 501,914
Kr	826,551	Ne	1 141,226	Ne	*1 321,761	Ar	*1 505,062
Kr	830,039	Ne	1 152,590	Ne	*1 322,286	Ar	*1 517,694
Kr	851,121	Ne	1 152,818	Ar	1 323,172	Kr	*1 521,368
Kr	877,916	Ne	1 153,950	Ar	1 327,627	Ne	*1 523,488

## Annex D (informative)

### Wavelength references

This annex provides lists of laser and lamp emission lines, absorption features and optogalvanic transitions that are known to have sufficient precision to provide wavelength reference points for OSA calibration. These tables give the vacuum wavelengths of the dominant transitions only.

Gas laser lines provide intense (>1 mW) and well-defined wavelength (frequency) sources. Lamp emission lines are low intensity features, typically a few nanowatts can be launched into single-mode fibre. At low gas pressures, absorption and optogalvanic transitions are narrow features, typically several hundred megahertz wide. These transitions are normally used to stabilize the wavelength of a semiconductor laser and provide an active reference. At high pressures, absorption transitions are broadened and can be viewed directly by the OSA using a lamp or light-emitting diode as a source. At higher pressures, all of these reference lines can shift slightly due to collisions. This “pressure shift” has not been characterized for all of the references listed in the annex. Measurements have been made at NIST for the  $\nu_1+\nu_3$  band of acetylene  $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$  and the  $2\nu_3$  band of hydrogen cyanide  $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$  [1,2]<sup>1)</sup>. These measurements show that the pressure shift can be as large as 2 pm for hydrogen cyanide gas at a pressure of 13 kPa (about 100 Torr). The acetylene pressure shift is less, but can exceed 1 pm at higher pressures. The line centres listed below were measured in the low pressure regime. Although some of these line centres have been measured to higher accuracy, the tables list the wavelengths to a precision of 1 pm due to possible variations of the line centres at this level.

#### D.1 Gas laser lines

**Table D.1 – Vacuum wavelengths (nm) of selected gas laser lines**

Ar laser	488,122	He-Ne laser	632,991
	514,673		1 152,590
			1 523,488

#### D.2 Noble gas reference lines

The noble gasses He, Ne, Kr, Ar and Xe have transition lines that are well known and can be used as wavelength reference points. Table D2 lists a number of the stronger lines [3,4]. Those marked with an asterisk have already been observed using the optogalvanic effect [5-9].

**Table D.2 – Vacuum wavelengths (nm) of noble gas reference lines**

Kr	810,659	Ne	1 114,607	Kr	*1 298,884	Kr	*1 496,598
Kr	811,513	Ne	1 118,059	Ar	*1 301,182	Kr	*1 500,941
Kr	819,231	Ne	1 139,355	Kr	*1 318,102	Kr	*1 501,914
Kr	826,551	Ne	1 141,226	Ne	*1 321,761	Ar	*1 505,062
Kr	830,039	Ne	1 152,590	Ne	*1 322,286	Ar	*1 517,694
Kr	851,121	Ne	1 152,818	Ar	1 323,172	Kr	*1 521,368
Kr	877,916	Ne	1 153,950	Ar	1 327,627	Ne	*1 523,488

<sup>1)</sup> Figures in brackets refer to the Reference documents in Clause D.4.

**Tableau 2 (suite)**

Kr	893,114	Ne	1 161,726	A <sub>r</sub>	1 331,685	Kr	*1 524,378
A <sub>r</sub>	912,547	Ne	1 177,001	A <sub>r</sub>	1 337,077	Kr	*1 533,067
A <sub>r</sub>	922,703	Ne	1 179,227	A <sub>r</sub>	1 350,788	A <sub>r</sub>	*1 533,353
A <sub>r</sub>	935,679	Kr	1 182,261	Kr	1 362,614	Kr	*1 533,915
A <sub>r</sub>	966,044	Ne	1 198,819	A <sub>r</sub>	1 362,638	Kr	*1 537,624
Ne	966,807	Ne	1 206,964	Kr	1 363,795	Xe	1 542,261
Kr	975,443	Ne	1 246,280	Xe	1 366,079	Kr	*1 543,795
A <sub>r</sub>	978,719	A <sub>r</sub>	*1 249,108	Kr	1 366,213	Kr	*1 547,825
Xe	980,239	Xe	1 262,684	A <sub>r</sub>	1 372,233	Kr	*1 563,978
Xe	992,591	Ne	1 269,267	Kr	1 374,261	Kr	*1 568,533
Kr	1 022,426	A <sub>r</sub>	*1 270,576	Kr	1 404,950	Kr	*1 577,614
Ne	1 029,824	A <sub>r</sub>	*1 273,690	Xe	1 414,631	Kr	*1 582,441
A <sub>r</sub>	1 047,292	A <sub>r</sub>	*1 274,972	Xe	1 424,485	Xe	1 605,767
Ne	1 056,530	A <sub>r</sub>	*1 280,624	Kr	1 443,074	Xe	1 673,272
Ne	1 080,103	Kr	*1 286,541	Xe	1 473,680	Kr	1 678,971
He	1 083,322	Ne	*1 291,555	Kr	*1 473,846	Kr	1 685,809
He	1 083,331	A <sub>r</sub>	*1 293,673	Kr	*1 476,671	Kr	1 690,137
Ne	1 084,745	A <sub>r</sub>	*1 296,020	Kr	*1 476,951	Kr	1 694,043
						Xe	1 733,050

### D.3 Raies d'absorptions moléculaires

Les Tableaux D.3, D.4 et D.5 présentent une sélection de raies d'absorptions moléculaires dans la région 1 510 nm – 1 565 nm pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans cette fenêtre des télécommunications [10].

**Tableau D.3 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) pour les raies d'absorption de la bande  $\nu_1+\nu_3$  de l'acétylène  $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$  [11]**

R27	1 512,452	R13	1 518,213	P1	1 525,760	P <sub>15</sub>	1 534,099
R26	1 512,823	R12	1 518,672	P2	1 526,314	P16	1 534,742
R25	1 513,200	R11	1 519,137	P3	1 526,874	P17	1 535,393
R24	1 513,583	R10	1 519,608	P4	1 527,441	P18	1 536,049
R23	1 513,972	R9	1 520,086	P5	1 528,014	P19	1 536,713
R22	1 514,368	R8	1 520,570	P6	1 528,594	P20	1 537,382
R21	1 514,770	R7	1 521,060	P <sub>7</sub>	1 529,180	P21	1 538,058
R20	1 515,178	R6	1 521,557	P8	1 529,772	P22	1 538,741
R19	1 515,593	R5	1 522,060	P9	1 530,371	P23	1 539,430
R18	1 516,014	R4	1 522,570	P10	1 530,976	P24	1 540,125
R17	1 516,441	R3	1 523,085	P11	1 531,588	P25	1 540,827
R16	1 516,875	R2	1 523,608	P12	1 532,206	P26	1 541,536
R15	1 517,314	R1	1 524,136	P13	1 532,830	P27	1 542,251
R14	1 517,760	R0	1 524,671	P14	1 533,461		

NOTE Les raies avec des numéros pairs sont les raies les plus importantes.

Table 2 (continued)

Kr	893,114	Ne	1 161,726	Ar	1 331,685	Kr	*1 524,378
Ar	912,547	Ne	1 177,001	Ar	1 337,077	Kr	*1 533,067
Ar	922,703	Ne	1 179,227	Ar	1 350,788	Ar	*1 533,353
Ar	935,679	Kr	1 182,261	Kr	1 362,614	Kr	*1 533,915
Ar	966,044	Ne	1 198,819	Ar	1 362,638	Kr	*1 537,624
Ne	966,807	Ne	1 206,964	Kr	1 363,795	Xe	1 542,261
Kr	975,443	Ne	1 246,280	Xe	1 366,079	Kr	*1 543,795
Ar	978,719	Ar	*1 249,108	Kr	1 366,213	Kr	*1 547,825
Xe	980,239	Xe	1 262,684	Ar	1 372,233	Kr	*1 563,978
Xe	992,591	Ne	1 269,267	Kr	1 374,261	Kr	*1 568,533
Kr	1 022,426	Ar	*1 270,576	Kr	1 404,950	Kr	*1 577,614
Ne	1 029,824	Ar	*1 273,690	Xe	1 414,631	Kr	*1 582,441
Ar	1 047,292	Ar	*1 274,972	Xe	1 424,485	Xe	1 605,767
Ne	1 056,530	Ar	*1 280,624	Kr	1 443,074	Xe	1 673,272
Ne	1 080,103	Kr	*1 286,541	Xe	1 473,680	Kr	1 678,971
He	1 083,322	Ne	*1 291,555	Kr	*1 473,846	Kr	1 685,809
He	1 083,331	Ar	*1 293,673	Kr	*1 476,671	Kr	1 690,137
Ne	1 084,745	Ar	*1 296,020	Kr	*1 476,951	Kr	1 694,043
						Xe	1 733,050

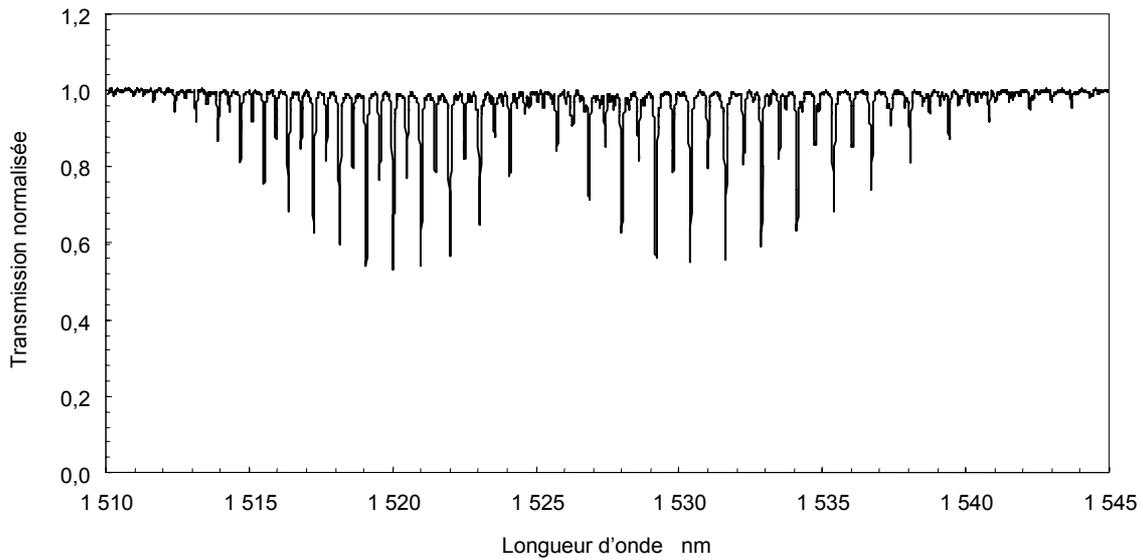
### D.3 Molecular absorption lines

Tables D.3, D.4 and D.5 list a selection of molecular absorption lines in the 1 510 nm – 1 565 nm region for wavelength calibration in this telecommunications window [10]

**Table D.3 – Vacuum wavelengths (nm) for the  $\nu_1+\nu_3$  band of acetylene  $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$  absorption lines [11]**

R27	1 512,452	R13	1 518,213	P1	1 525,760	P15	1 534,099
R26	1 512,823	R12	1 518,672	P2	1 526,314	P16	1 534,742
R25	1 513,200	R11	1 519,137	P3	1 526,874	P17	1 535,393
R24	1 513,583	R10	1 519,608	P4	1 527,441	P18	1 536,049
R23	1 513,972	R9	1 520,086	P5	1 528,014	P19	1 536,713
R22	1 514,368	R8	1 520,570	P6	1 528,594	P20	1 537,382
R21	1 514,770	R7	1 521,060	P7	1 529,180	P21	1 538,058
R20	1 515,178	R6	1 521,557	P8	1 529,772	P22	1 538,741
R19	1 515,593	R5	1 522,060	P9	1 530,371	P23	1 539,430
R18	1 516,014	R4	1 522,570	P10	1 530,976	P24	1 540,125
R17	1 516,441	R3	1 523,085	P11	1 531,588	P25	1 540,827
R16	1 516,875	R2	1 523,608	P12	1 532,206	P26	1 541,536
R15	1 517,314	R1	1 524,136	P13	1 532,830	P27	1 542,251
R14	1 517,760	R0	1 524,671	P14	1 533,461		

NOTE The lines with odd numbers are the stronger lines.



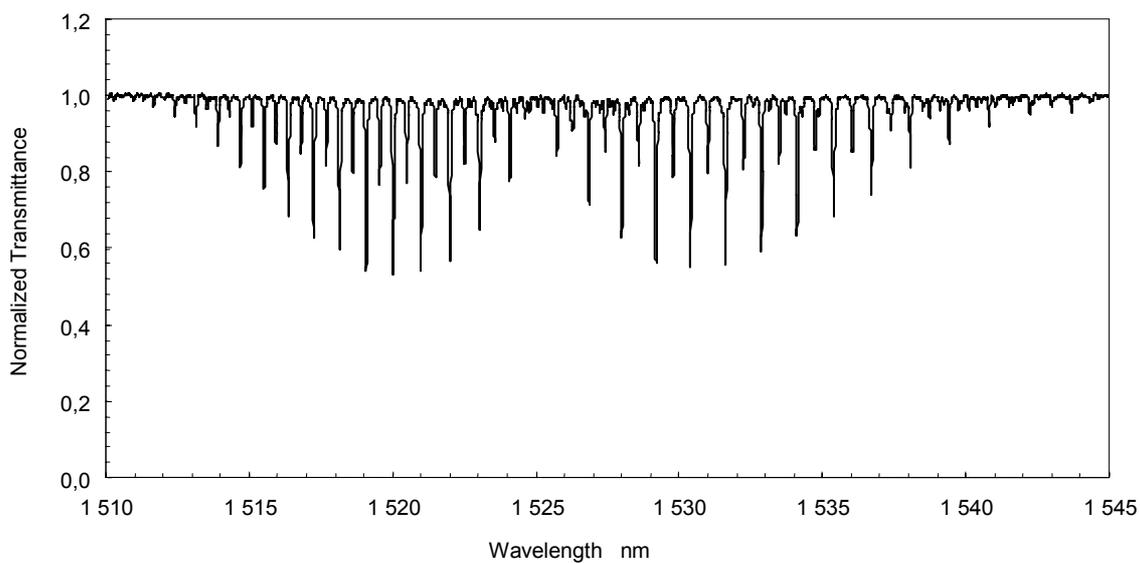
IEC 2602/05

**Figure D.1 – Absorption de la lumière d’une DEL par l’acétylène ( $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ )**

**Tableau D.4 – Longueurs d’onde dans le vide (nm) pour les raies d’absorption de la bande  $\nu_1+\nu_3$  de l’acétylène  $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$  [11]**

R23	1 522,332	R9	1 528,326	P1	1 533,818	P <sub>15</sub>	1 541,772
R22	1 522,723	R8	1 528,797	P2	1 534,350	P16	1 542,384
R21	1 523,119	R7	1 529,274	P3	1 534,887	P17	1 543,001
R20	1 523,521	R6	1 529,757	P4	1 535,430	P18	1 543,624
R19	1 523,929	R5	1 530,245	P5	1 535,978	P19	1 544,253
R18	1 524,343	R4	1 530,739	P6	1 536,532	P20	1 544,887
R17	1 524,763	R3	1 531,238	P <sub>7</sub>	1 537,091	P21	1 545,528
R16	1 525,188	R2	1 531,744	P8	1 537,656	P22	1 546,174
R15	1 525,619	R1	1 532,254	P9	1 538,227	P23	1 546,827
R14	1 526,056	R0	1 532,770	P <sub>10</sub>	1 538,803	P24	1 547,485
R13	1 526,498			P11	1 539,385	P25	1 548,149
R12	1 526,947			P12	1 539,974	P26	1 548,819
R11	1 527,401			P13	1 540,567	P27	1 549,495
R10	1 527,860			P14	1 541,167	P28	1 550,178

NOTE Les raies avec des numéros pairs sont les raies les plus importantes.



IEC 2602/05

**Figure D.1 – Absorption of LED light by acetylene ( $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ )**

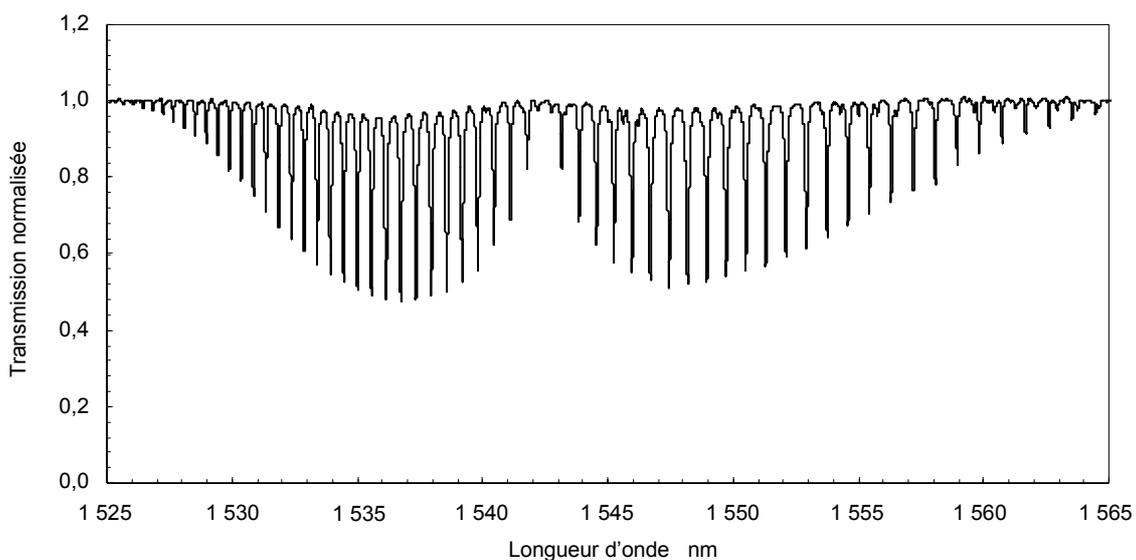
**Table D.4 – Vacuum wavelengths (nm) for the  $\nu_1+\nu_3$  band of acetylene  $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$  absorption lines [11]**

R23	1 522,332	R9	1 528,326	P1	1 533,818	P15	1 541,772
R22	1 522,723	R8	1 528,797	P2	1 534,350	P16	1 542,384
R21	1 523,119	R7	1 529,274	P3	1 534,887	P17	1 543,001
R20	1 523,521	R6	1 529,757	P4	1 535,430	P18	1 543,624
R19	1 523,929	R5	1 530,245	P5	1 535,978	P19	1 544,253
R18	1 524,343	R4	1 530,739	P6	1 536,532	P20	1 544,887
R17	1 524,763	R3	1 531,238	P7	1 537,091	P21	1 545,528
R16	1 525,188	R2	1 531,744	P8	1 537,656	P22	1 546,174
R15	1 525,619	R1	1 532,254	P9	1 538,227	P23	1 546,827
R14	1 526,056	R0	1 532,770	P10	1 538,803	P24	1 547,485
R13	1 526,498			P11	1 539,385	P25	1 548,149
R12	1 526,947			P12	1 539,974	P26	1 548,819
R11	1 527,401			P13	1 540,567	P27	1 549,495
R10	1 527,860			P14	1 541,167	P28	1 550,178

NOTE The lines with even numbers are the stronger lines.

**Table D.5 – Longueurs d’onde dans le vide (nm) pour les raies d’absorption de l’acide cyanhydrique (H<sup>13</sup>C<sup>14</sup>N) sélectionnée [12]**

R25	1 528,054	R12	1 534,415	P1	1 543,114	P14	1 552,931
R24	1 528,485	R11	1 534,972	P2	1 543,809	P <sub>15</sub>	1 553,756
R23	1 528,926	R10	1 535,540	P3	1 544,515	P16	1 554,591
R22	1 529,376	R9	1 536,117	P4	1 545,230	P17	1 555,436
R21	1 529,836	R8	1 536,704	P5	1 545,955	P18	1 556,292
R20	1 530,306	R7	1 537,300	P6	1 546,690	P19	1 557,157
R19	1 530,786	R6	1 537,907	P <sub>7</sub>	1 547,435	P20	1 558,033
R18	1 531,275	R5	1 538,523	P8	1 548,190	P21	1 558,919
R17	1 531,774	R4	1 539,149	P9	1 548,955	P22	1 559,814
R16	1 532,283	R3	1 539,786	P <sub>10</sub>	1 549,731	P23	1 560,720
R15	1 532,801	R2	1 540,431	P11	1 550,516	P24	1 561,636
R14	1 533,329	R1	1 541,087	P12	1 551,311	P25	1 562,563
R13	1 533,867	R0	1 541,753	P13	1 552,116	P26	1 563,499



IEC 2603/05

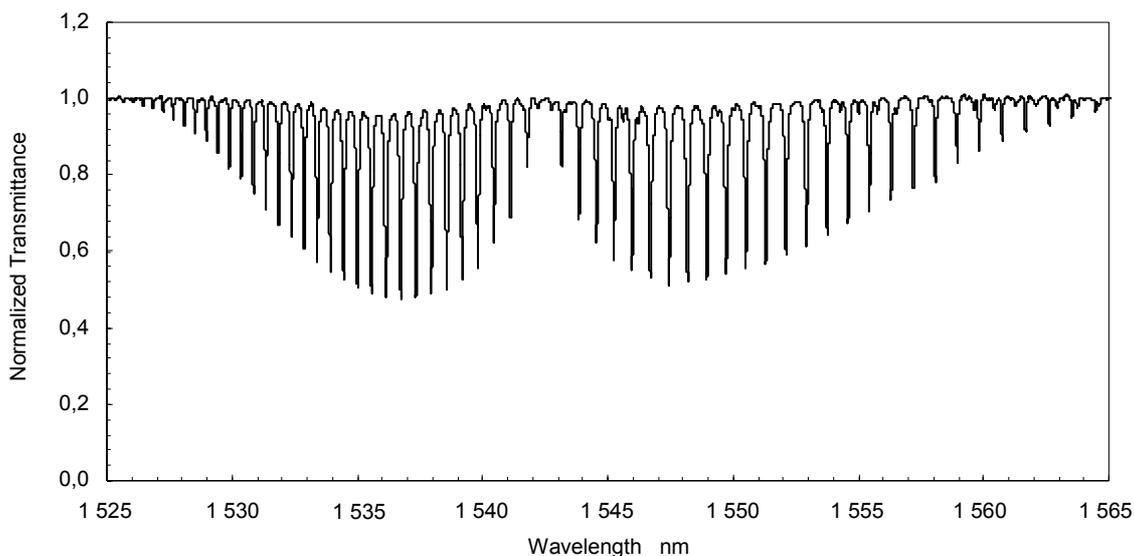
**Figure D.2 – Absorption de la lumière d’une DEL par l’acide cyanhydrique (H<sup>13</sup>C<sup>14</sup>N)**

#### D.4 Documents de référence

- 1) GILBERT, SL. and SWANN, WC. *Matériaux de référence standard: Acetylene <sup>12</sup>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> Absorption Reference for 1510-1540 nm Wavelength Calibration – SRM 2517*. NIST Spec. Publ. 260-133 (1998);
- 2) GILBERT, SL., SWANN, WC and WANG, CM. *Standard Reference Materials: Hydrogen Cyanide H<sup>13</sup>C<sup>14</sup>N Absorption Reference for 1530–1560 nm Wavelength Calibration – SRM 251*. NIST Spec. Publ. 260-137, 1998.

**Table D.5 – Vacuum wavelengths (nm) of selected hydrogen cyanide ( $H^{13}C^{14}N$ ) absorption lines [12]**

R25	1 528,054	R12	1 534,415	P1	1 543,114	P14	1 552,931
R24	1 528,485	R11	1 534,972	P2	1 543,809	P15	1 553,756
R23	1 528,926	R10	1 535,540	P3	1 544,515	P16	1 554,591
R22	1 529,376	R9	1 536,117	P4	1 545,230	P17	1 555,436
R21	1 529,836	R8	1 536,704	P5	1 545,955	P18	1 556,292
R20	1 530,306	R7	1 537,300	P6	1 546,690	P19	1 557,157
R19	1 530,786	R6	1 537,907	P7	1 547,435	P20	1 558,033
R18	1 531,275	R5	1 538,523	P8	1 548,190	P21	1 558,919
R17	1 531,774	R4	1 539,149	P9	1 548,955	P22	1 559,814
R16	1 532,283	R3	1 539,786	P10	1 549,731	P23	1 560,720
R15	1 532,801	R2	1 540,431	P11	1 550,516	P24	1 561,636
R14	1 533,329	R1	1 541,087	P12	1 551,311	P25	1 562,563
R13	1 533,867	R0	1 541,753	P13	1 552,116	P26	1 563,499



IEC 2603/05

**Figure D.2 – Absorption of LED light by hydrogen cyanide ( $H^{13}C^{14}N$ )**

#### D.4 Reference documents

- 1) GILBERT, SL. and SWANN, WC. *Standard Reference Materials: Acetylene  $^{12}C_2H_2$  Absorption Reference for 1510-1540 nm Wavelength Calibration – SRM 2517*. NIST Spec. Publ. 260-133 (1998);
- 2) GILBERT, SL., SWANN, WC. and WANG, CM. *Standard Reference Materials: Hydrogen Cyanide  $H^{13}C^{14}N$  Absorption Reference for 1530–1560 nm Wavelength Calibration – SRM 251*. NIST Spec. Publ. 260-137, 1998.

- 3) HUMPHREYS, DA. Accurate wavelength calibration for optical spectrum analyzers, in *Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 905, 1996, p. 97-100.
- 4) KAUFMAN, V. and EDLEN, B. Reference wavelengths from atomic spectra in the range 15 Å to 25000 Å. *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 1974, vol. 3, no. 4, p. 825-895
- 5) LUCERO, AJ., Chung, YC. and TKACH, RW. Survey of optical transitions for absolute frequency locking for lightwave systems. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1991, vol. 3, No 5, p. 484-486.
- 6) FISCHER, UP. and VON HELMOLT, C. Absorption spectra of excited Kr 84 states between 1,5 and 1,58  $\mu\text{m}$  and their use for absolute frequency locking. *J. Lightwave Technol.*, 1996, vol. 14, No 2, p. 139-142.
- 7) CHUNG, YC. Frequency-locked 1,3- and 1,5-  $\mu\text{m}$  semiconductor lasers for lightwave systems applications. *J. Lightwave Technol.*, June, 1990, vol. 8, no. 6, p. 869.
- 8) HUMPHREYS, DA. and CAMPBELL, C. Preliminary results of L-band excited-state optical frequency reference survey, in *Conference Digest – 6th Optical Fibre Measurement Conference*. NPL, UK, 2001, p. 179-182.
- 9) HUMPHREYS, DA., CAMPBELL, C., BERNARD, F., and PATEL, P. Recent developments of excited-state optical frequency standards for telecommunications', in *Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 988, 2002, p. 79-82.
- 10) GILBERT, SL., DRAPELA, TJ. and FRANZEN, DL. Moderate-Accuracy Wavelength Standards for Optical Communications, in *Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 839, 1992, p. 191-194.
- 11) NAKAGAWA, K., DE LABACHELERIE, M., AWAJI, Y. and KOUROGI, M. Accurate optical frequency atlas of the 1,5  $\mu\text{m}$  bands of acetylene. *Journal of the Optical Society of America B (JOSA B)*, December 1996, vol. 13, no. 12, p. 2708-2714.
- 12) SASADA, H. and YAMADA, K. Calibration lines of HCN in the 1,5 –  $\mu\text{m}$  region. *Appl. Opt.*, 1990, vol. 29, p. 3535-3547.

- 3) HUMPHREYS, DA. Accurate wavelength calibration for optical spectrum analyzers, in *Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 905, 1996, p. 97-100.
- 4) KAUFMAN, V. and EDLEN, B. Reference wavelengths from atomic spectra in the range 15 Å to 25000 Å. *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 1974, vol. 3, no. 4, p. 825-895
- 5) LUCERO, AJ., Chung, YC. and TKACH, RW. Survey of optical transitions for absolute frequency locking for lightwave systems. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1991, vol. 3, No 5, p. 484-486.
- 6) FISCHER, UP. and VON HELMOLT, C. Absorption spectra of excited Kr 84 states between 1,5 and 1,58  $\mu\text{m}$  and their use for absolute frequency locking. *J. Lightwave Technol.*, 1996, vol. 14, No 2, p. 139-142.
- 7) CHUNG, YC. Frequency-locked 1,3- and 1,5- $\mu\text{m}$  semiconductor lasers for lightwave systems applications. *J. Lightwave Technol.*, June, 1990, vol. 8, no. 6, p. 869.
- 8) HUMPHREYS, DA. and CAMPBELL, C. Preliminary results of L-band excited-state optical frequency reference survey, in *Conference Digest – 6th Optical Fibre Measurement Conference*. NPL, UK, 2001, p. 179-182.
- 9) HUMPHREYS, DA., CAMPBELL, C., BERNARD, F., and PATEL, P. Recent developments of excited-state optical frequency standards for telecommunications', in *Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 988, 2002, p. 79-82.
- 10) GILBERT, SL., DRAPELA, TJ. and FRANZEN, DL. Moderate-Accuracy Wavelength Standards for Optical Communications, in *Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 839, 1992, p. 191-194.
- 11) NAKAGAWA, K., DE LABACHELERIE, M., AWAJI, Y. and KOUROGI, M. Accurate optical frequency atlas of the 1,5  $\mu\text{m}$  bands of acetylene. *Journal of the Optical Society of America B (JOSA B)*, December 1996, vol. 13, no. 12, p. 2708-2714.
- 12) SASADA, H. and YAMADA, K. Calibration lines of HCN in the 1,5- $\mu\text{m}$  region. *Appl. Opt.*, 1990, vol. 29, p. 3535-3547.

**Annexe E**  
(informative)

**Lecture et références supplémentaires pour l'étalonnage  
de l'échelle de longueur d'onde**

L'exploitation d'un OSA en haute altitude peut affecter la précision de l'échelle de longueur d'onde. De tels effets peuvent être négligés dans certaines bandes des OSAs, mais elles peuvent être significatives dans d'autres. Ceci est dû au fait que l'indice de réfraction de l'air dépend aussi bien de la pression et de l'humidité que de la température. De bonnes références sur ce sujet sont:

- 1) EDLEN, B. The refractive index of air. *Metrologia*, 1966, Vol. 2, No. 2.
- 2) PECK, ER. and REEDER, K. Dispersion of Air. *JOSA*, 1972, Vol. 62, No. 8

---

## **Annex E** (informative)

### **Further reading and references for calibration of wavelength scale**

Operation of an OSA at high altitude may effect the accuracy of the wavelength scale. Such effects may be negligible in some brands of OSAs, but they may be significant in others. This is because the index of refraction of air depends on pressure and humidity as well as temperature. Good references on this subject are:

- 1) EDLEN, B. The refractive index of air. *Metrologia*, 1966, Vol. 2, No. 2.
- 2) PECK, ER. and REEDER, K. Dispersion of Air. *JOSA*, 1972, Vol. 62, No. 8.

---

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.



**Standards Survey**

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

**International Electrotechnical Commission**

3, rue de Varembé  
1211 Genève 20  
Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Customer Service Centre (CSC)  
**International Electrotechnical Commission**  
3, rue de Varembé  
1211 GENEVA 20  
Switzerland



**Q1** Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

**Q2** Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent
- librarian
- researcher
- design engineer
- safety engineer
- testing engineer
- marketing specialist
- other.....

**Q3** I work for/in/as a: (tick all that apply)

- manufacturing
- consultant
- government
- test/certification facility
- public utility
- education
- military
- other.....

**Q4** This standard will be used for: (tick all that apply)

- general reference
- product research
- product design/development
- specifications
- tenders
- quality assessment
- certification
- technical documentation
- thesis
- manufacturing
- other.....

**Q5** This standard meets my needs: (tick one)

- not at all
- nearly
- fairly well
- exactly

**Q6** If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date
- standard is incomplete
- standard is too academic
- standard is too superficial
- title is misleading
- I made the wrong choice
- other .....

**Q7** Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
- (2) below average,
- (3) average,
- (4) above average,
- (5) exceptional,
- (6) not applicable

- timeliness.....
- quality of writing.....
- technical contents.....
- logic of arrangement of contents .....
- tables, charts, graphs, figures.....
- other .....

**Q8** I read/use the: (tick one)

- French text only
- English text only
- both English and French texts

**Q9** Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

**Commission Electrotechnique Internationale**

3, rue de Varembé  
1211 Genève 20  
Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Centre du Service Clientèle (CSC)  
**Commission Electrotechnique Internationale**  
3, rue de Varembé  
1211 GENÈVE 20  
Suisse



**Q1** Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact:  
(ex. 60601-1-1)  
.....

**Q2** En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?  
(cochez tout ce qui convient)  
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat
- bibliothécaire
- chercheur
- ingénieur concepteur
- ingénieur sécurité
- ingénieur d'essais
- spécialiste en marketing
- autre(s).....

**Q3** Je travaille:  
(cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie
- comme consultant
- pour un gouvernement
- pour un organisme d'essais/  
certification
- dans un service public
- dans l'enseignement
- comme militaire
- autre(s).....

**Q4** Cette norme sera utilisée pour/comme  
(cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence
- une recherche de produit
- une étude/développement de produit
- des spécifications
- des soumissions
- une évaluation de la qualité
- une certification
- une documentation technique
- une thèse
- la fabrication
- autre(s).....

**Q5** Cette norme répond-elle à vos besoins:  
(une seule réponse)

- pas du tout
- à peu près
- assez bien
- parfaitement

**Q6** Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:  
(cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée
- la norme est incomplète
- la norme est trop théorique
- la norme est trop superficielle
- le titre est équivoque
- je n'ai pas fait le bon choix
- autre(s) .....

**Q7** Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres  
(1) inacceptable,  
(2) au-dessous de la moyenne,  
(3) moyen,  
(4) au-dessus de la moyenne,  
(5) exceptionnel,  
(6) sans objet

- publication en temps opportun .....
- qualité de la rédaction.....
- contenu technique .....
- disposition logique du contenu .....
- tableaux, diagrammes, graphiques,  
figures .....
- autre(s) .....

**Q8** Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français
- uniquement le texte anglais
- les textes anglais et français

**Q9** Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ISBN 2-8318-8409-8



9 782831 884097

---

ICS 33.180.30

---