

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1315**

Première édition
First edition
1995-04

**Etalonnage des radiomètres pour
sources fibrées –**

Calibration of fibre optic power meters –



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1315: 1995

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications 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.

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1315**

Première édition
First edition
1995-04

**Etalonnage des radiomètres pour
sources fibrées –**

Calibration of fibre optic power meters –

© CEI 1995 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XB**

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	8
Articles	
SECTION 1: GÉNÉRALITÉS	
1.1 Introduction	10
1.2 Domaine d'application	12
1.3 Références normatives	14
SECTION 2: BASE POUR LES ÉTALONNAGES	
2.1 Définitions	14
2.2 Base mathématique	30
2.2.1 Ecart et facteurs de corrections	30
2.2.2 Incertitudes systématiques	32
2.2.3 Incertitudes aléatoires	34
2.2.4 Cumul d'incertitudes	36
2.2.5 Rapport	36
2.3 Conseils d'ordre général pour des mesures et des étalonnages précis	38
2.3.1 Organisation	38
2.3.2 Méthodes d'étalonnage et procédure	38
2.3.3 Conseils pour les mesures et les étalonnages	42
2.3.4 Recommandations aux clients	44
SECTION 3: ÉTALONNAGE AUX CONDITIONS DE RÉFÉRENCE	
3.1 Etalonnage aux conditions de référence	44
3.1.1 Etablissement des conditions de référence	48
3.1.2 Transfert et facteur de correction	50
3.1.3 Incertitude aux conditions de référence	52
3.2 Corrections liées au transfert et incertitude	54
3.2.1 Facteurs de correction liés au transfert et incertitudes provoqués par l'appareil père	56
3.2.1.1 Vieillessement (facteur de correction lié au transfert et incertitude de l'appareil père dus au vieillessement)	62
3.2.1.2 Dépendance à la température (facteur de correction lié au transfert et incertitude de l'appareil père dus à la dépendance à la température)	62
3.2.1.3 Absence de linéarité (facteur de correction lié au transfert et incertitude de l'appareil père dus à l'absence de linéarité)	62

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
Clause	
SECTION 1: GENERAL	
1.1 Introduction	11
1.2 Scope	13
1.3 Normative references	15
SECTION 2: BASIS OF CALIBRATIONS	
2.1 Definitions	15
2.2 Mathematical basis	31
2.2.1 Deviations and correction factors	31
2.2.2 Systematic uncertainties	33
2.2.3 Random uncertainties	35
2.2.4 Accumulation of uncertainties	37
2.2.5 Reporting	37
2.3 General advice for accurate measurements and calibrations	39
2.3.1 Organization	39
2.3.2 Calibration methods and procedure	39
2.3.3 Advice for measurements and calibrations	43
2.3.4 Recommendations to customers	45
SECTION 3: CALIBRATION AT REFERENCE CONDITIONS	
3.1 Calibration at reference conditions	45
3.1.1 Establishing the reference conditions	49
3.1.2 Transfer and correction factor	51
3.1.3 Uncertainty at reference conditions	53
3.2 Transfer-related corrections and uncertainty	55
3.2.1 Transfer-related correction factors and uncertainties caused by the parent meter	57
3.2.1.1 Ageing (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to ageing)	63
3.2.1.2 Temperature dependence (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to temperature dependence)	63
3.2.1.3 Nonlinearity (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to nonlinearity)	63

Articles	Pages
3.2.1.4 Dépendance à la géométrie du faisceau (facteur de correction lié au transfert et incertitude de l'appareil père dus à la géométrie du faisceau)	64
3.2.1.5 Dépendance aux réflexions multiples (facteur de correction lié au transfert et incertitude de l'appareil père dus aux réflexions multiples)	64
3.2.1.6 Dépendance à la longueur d'onde (facteur de correction lié au transfert et incertitude de l'appareil père dus à la dépendance à la longueur d'onde)	64
3.2.1.7 Dépendance à la largeur spectrale (facteur de correction lié au transfert et incertitude de l'appareil père dus à la dépendance à la largeur spectrale)	66
3.2.1.8 Autres dépendances (facteur de correction lié au transfert et incertitude de l'appareil père dus à d'autres dépendances)	66
3.2.1.9 Dépendance à l'état de polarisation	66
3.2.2 Incertitudes liées au transfert provoquées par l'appareil en essai	66
3.2.2.1 Dépendance à la température (incertitude de transfert de l'appareil en essai due à la dépendance à la température)	68
3.2.2.2 Dépendance à la géométrie du faisceau (incertitude de transfert de l'appareil en essai due à la géométrie du faisceau)	68
3.2.2.3 Dépendance aux réflexions multiples (incertitude de transfert de l'appareil en essai due à des réflexions multiples)	68
3.2.2.4 Dépendance à la longueur d'onde (incertitude de transfert de l'appareil en essai due à la dépendance à la longueur d'onde) ...	70
3.2.2.5 Dépendance à la largeur spectrale (incertitude de transfert de l'appareil en essai due à la dépendance à la largeur spectrale) .	70
3.2.2.6 Dépendance à l'état de polarisation (incertitude de transfert de l'appareil en essai due à la dépendance à l'état de polarisation)	70
3.2.2.7 Autres dépendances (incertitudes de transfert de l'appareil en essai dues à d'autres dépendances)	70
3.2.3 Corrections et incertitudes systématiques dues à l'extension	70
3.2.4 Autres corrections et incertitudes systématiques	72
3.2.5 Incertitude aléatoire de la comparaison	72
3.2.6 Autres incertitudes aléatoires	74
3.3 Documentation	74
3.3.1 Spécifications	74
3.3.2 Informations de traçabilité	76

SECTION 4: ÉTALONNAGE POUR CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

4.1 Détermination de l'incertitude totale	76
4.2 Détermination de l'incertitude de fonctionnement	78
4.2.1 Dépendances de fonctionnement et incertitudes	80
4.2.1.1 Vieillissement	82
4.2.1.2 Dépendance à la température	82

Clause	Page
3.2.1.4	65
3.2.1.5	65
3.2.1.6	65
3.2.1.7	67
3.2.1.8	67
3.2.1.9	67
3.2.2	67
3.2.2.1	69
3.2.2.2	69
3.2.2.3	69
3.2.2.4	71
3.2.2.5	71
3.2.2.6	71
3.2.2.7	71
3.2.3	71
3.2.4	73
3.2.5	73
3.2.6	75
3.3	75
3.3.1	75
3.3.2	77
SECTION 4: CALIBRATION FOR OPERATING CONDITIONS	
4.1	77
4.2	79
4.2.1	81
4.2.1.1	83
4.2.1.2	83

Articles	Pages
4.2.1.3 Absence de linéarité	82
4.2.1.4 Dépendance au type de fibre ou à la géométrie du faisceau	86
4.2.1.4.1 Mesure de la dépendance au type de fibre	88
4.2.1.4.2 Mesure de la dépendance aux caractéristiques d'un faisceau en espace libre	90
4.2.1.5 Dépendance à la combinaison connecteur-adaptateur	90
4.2.1.6 Dépendance à la longueur d'onde	92
4.2.1.7 Dépendance à la largeur spectrale	92
4.2.1.8 Autres dépendances	94
4.3 Spécifications	94
Figures	
1 Incertitude systématique, écart et facteur de correction, et comment remplacer ce dernier par une incertitude convenablement plus large	32
2 Montage pour un étalonnage séquentiel, source fibrée	40
3 Exemple de chaîne d'étalonnage et du cumul des incertitudes	46
4 Calcul de l'incertitude de l'appareil en essai aux conditions de référence	54
5 Modification de condition et de bande de tolérance provoquée par un écart lié au transfert et incertitude de l'appareil père	58
6 Détermination et enregistrement d'une incertitude de fonctionnement	80
7 Subdivision possible d'un plan de référence optique en carrés de 10 × 10 pour la mesure de la réponse spatiale	86
8 Formulaires qui suivent l'étalonnage aux conditions de référence de la section 3	96
9 Formulaires suivant l'étalonnage aux conditions de fonctionnement de la section 4	96
Annexes	
A Formulaires et feuilles de calcul	96
B Références bibliographiques	122

Clause	Page
4.2.1.3 Nonlinearity	83
4.2.1.4 Dependence on the type of fibre or on the beam geometry	87
4.2.1.4.1 Measurement of the fibre dependence	89
4.2.1.4.2 Measurement of open beam dependence	91
4.2.1.5 Dependence on the connector-adapter combination	91
4.2.1.6 Wavelength dependence	93
4.2.1.7 Dependence on the spectral bandwidth	93
4.2.1.8 Other dependences	95
4.3 Specifications	95
 Figures	
1 Systematic uncertainty, deviation and correction factor, and how to replace the latter by an appropriately larger uncertainty	33
2 Measurement setup for sequential, fibre based calibration	41
3 Example of a calibration chain and of the accumulation of uncertainties	47
4 Calculation of the test meter uncertainty at reference conditions	55
5 Change of condition and tolerance band as cause of transfer-related deviation and uncertainty of the parent meter	59
6 Determining and recording an operational uncertainty	81
7 Possible subdivision of the optical reference plane into 10×10 squares, for the measurement of the spatial response	87
8 Forms that guide through the calibration at reference conditions of section 3	97
9 Forms that guide through the calibration for operating conditions of section 4	97
 Annexes	
A Forms and worksheets	97
B Bibliographic references	122

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉTALONNAGE DES RADIOMÈTRES POUR SOURCES FIBRÉES -

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 1315 a été établie par le comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
86(BC)12	86(BC)14

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

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

L'annexe B est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CALIBRATION OF FIBRE OPTIC POWER METERS –

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 1315 has been prepared by technical committee 86: Fibre optics.

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

DIS	Report on voting
86(CO)12	86(CO)14

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

Annex A forms an integral part of this standard.

Annex B is for information only.

ÉTALONNAGE DES RADIOMÈTRES POUR SOURCES FIBRÉES –

Section 1: Généralités

1.1 Introduction

Les radiomètres pour sources fibrées sont conçus pour mesurer la puissance rayonnante de sources fibrées de manière aussi précise que possible. Cette capacité dépend surtout du processus d'étalonnage. Par opposition à d'autres types d'appareillages de mesure, les résultats des mesure des radiomètres pour sources fibrées dépendent généralement de nombreux paramètres. Une description précise de ces paramètres doit par conséquent faire partie intégrante de l'étalonnage, car l'incertitude spécifiée ne peut être valable que pour ces conditions de «référence».

La présente Norme internationale a pour objet la standardisation de toutes les étapes du processus d'étalonnage: établissement des conditions de référence, réalisation de l'étalonnage, calcul de l'incertitude et rapport de l'incertitude, des conditions de référence et de la traçabilité.

Un autre but important est de créer un type standardisé de spécifications des radiomètres, qui faciliteront la comparaison entre les radiomètres des différents vendeurs.

Le document est divisé en quatre sections et deux annexes:

Section 1: Généralités

Cette section contient l'introduction, le domaine d'application et les références.

Section 2: Base pour les étalonnages

Cette section contient les définitions, la base mathématique et les conseils d'ordre général.

Section 3: Etalonnage aux conditions de référence

Cette section décrit comment déterminer la différence entre le résultat de la mesure du radiomètre et le flux énergétique d'entrée «réelle» et expose le calcul de l'incertitude du radiomètre aux conditions de référence. L'analyse de l'incertitude débute par «l'incertitude aux conditions de référence» de l'étalon national. «L'incertitude aux conditions de référence» de l'appareil de niveau suivant est cumulée par la méthode de la valeur efficace quadratique moyenne, à partir de:

- 1) «l'incertitude aux conditions de référence» de l'appareil père (c'est-à-dire de l'étalon utilisé au cours de l'étape spécifique d'étalonnage; au début de la chaîne, l'étalon national est l'appareil père);
- 2) l'incertitude de transfert de l'appareil père, accumulée à partir d'incertitudes individuelles de type **systématique** du processus de transfert qui peuvent être attribuées à l'appareil père (par exemple le vieillissement de l'appareil père entre le moment de son premier étalonnage et celui de l'étalonnage actuel, ou de l'incertitude causée par une modification de la géométrie du faisceau);

CALIBRATION OF FIBRE OPTIC POWER METERS -

Section 1: General

1.1 Introduction

Fibre optic power meters are designed to measure optical power from fibre optic sources as accurately as possible. This capability depends largely on the quality of the calibration process. In contrast to other types of measuring equipment, the measurement results of fibre optic power meters usually depend on many parameters. A precise description of these parameters must therefore be an integral part of the calibration, because the specified uncertainty can only be valid for these "reference" conditions.

This International Standard standardizes all of the steps involved in the calibration process: establishing the reference conditions, carrying out the calibration, calculating the uncertainty, and reporting the uncertainty, the reference conditions, and the traceability.

Another important goal is to create a standardized type of power meter specification, which will make it easier to compare power meters from different vendors.

The document is divided into four sections and two annexes.

Section 1: General

This contains the introduction, the scope, and the normative references.

Section 2: Basis for calibrations

This contains the definitions, the mathematical basis and general advice.

Section 3: Calibration at reference conditions

This describes how to determine the difference between the power meter measurement result and the "true" input power, and it outlines the calculation of the power meter uncertainty at reference conditions. The uncertainty analysis starts with the "uncertainty at reference conditions" of the national working standard. The "uncertainty at reference conditions" of the next lower level instrument is accumulated, by the root-sum-square method, from:

- 1) the "uncertainty at reference conditions" of the parent meter (that is of the standard used in the specific step of the calibration; at the beginning of the chain, the national working standard is the parent meter);
- 2) the transfer uncertainty of the parent meter, accumulated from individual **systematic**-type uncertainties of the transfer process which can be attributed to the parent meter (for example the ageing of the parent meter from the time of its original calibration to its usage in the present calibration, or the uncertainty caused by a change of beam geometry);

3) l'incertitude de transfert de l'appareil en essai (c'est-à-dire le radiomètre de second niveau), accumulée à nouveau à partir d'incertitudes individuelles de type **systématique** du processus de transfert qui peuvent être attribuées à l'appareil en essai (par exemple causées par l'incertitude d'étalonnage de la longueur d'onde);

4) l'incertitude **aléatoire**, calculée à partir de l'écart-type expérimental mesuré du processus d'étalonnage et du nombre de moyennes utilisées dans le calcul des résultats de la mesure.

Ce processus est répétitif. Il se termine avec «l'incertitude aux conditions de référence» de l'appareil en essai.

Les calculs font l'objet d'interprétations détaillées d'incertitudes individuelles. Il est important de savoir que:

- a) la plupart des incertitudes individuelles peuvent être considérées comme faisant partie d'une liste de contrôle, et possédant une valeur réelle qui peut être négligée;
- b) les estimations des incertitudes individuelles sont acceptables;
- c) une analyse détaillée de l'incertitude n'est nécessaire qu'une fois pour chaque type de radiomètre en essai et que tous les étalonnages peuvent être basés sur cette analyse précédente.

L'étalonnage selon la section 3 est obligatoire pour les radiomètres compatibles avec la présente norme.

Section 4: Etalonnage pour conditions de fonctionnement

Cette section décrit l'évaluation des variations des radiomètres en fonction des conditions de fonctionnement. L'une de ces variations, la non-linéarité, est souvent déterminée dans un étalonnage séparé. Les «variations des conditions de fonctionnement» sont nécessaires pour l'évaluation de l'incertitude aux conditions de référence dans la section 3 et pour l'évaluation de l'incertitude totale du radiomètre dans la section 4.

«L'incertitude totale» est calculée en ajoutant à «l'incertitude aux conditions de référence», selon la méthode de la valeur efficace quadratique moyenne, les résultats de variations les plus importantes du résultat de la mesure sur les conditions d'exploitation.

Il n'est **pas** obligatoire de déterminer l'incertitude totale pour les radiomètres compatibles avec le présent document.

Annexe A

Cette annexe contient tous les formulaires, c'est-à-dire les certificats d'étalonnage, les fiches d'étalonnage et les feuilles de calcul. Ces formulaires doivent être considérés comme des suggestions uniquement.

1.2 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux appareils qui mesurent le flux énergétique émis par des sources typiques pour l'industrie des communications par fibre optique. Ces sources comprennent les diodes laser, les DEL et les sources fibrées. Les radiations peuvent être divergentes ou collimatées. Cette norme a pour objet l'étalonnage des radiomètres (pris séparément) et la définition des spécifications des séries de radiomètres, qui doivent être effectuées par des laboratoires d'étalonnage ou par le constructeur de radiomètre.

3) the transfer uncertainty of the test meter (that is of the next level power meter), again accumulated from individual **systematic** type uncertainties of the transfer process which can be attributed to the test meter (for example as caused by the uncertainty of the calibration wavelength);

4) the **random** uncertainty, calculated from the measured experimental standard deviation of the calibration process and the number of averages used in the calculation of the measurement results.

This is a repetitive process. It ends with the "uncertainty at reference conditions" of the test meter.

The calculations go through detailed characterizations of individual uncertainties. It is important to know that:

- a) most of the individual uncertainties can simply be considered to be part of a checklist, with an actual value which can be neglected;
- b) estimations of the individual uncertainties are acceptable;
- c) a detailed uncertainty analysis is only necessary once for each power meter type under test, and that all subsequent calibrations can be based on this one-time analysis.

Calibration according to section 3 is mandatory for power meters compatible with this standard.

Section 4: Calibration for operating conditions

This describes the evaluation of the power meter dependences on the operating conditions. One of these dependences, the nonlinearity, is often determined in a separate calibration. The "operational dependences" are necessary for the evaluation of the uncertainty at reference conditions in section 3, and for the evaluation of the power meter total uncertainty in section 4.

The "total uncertainty" is calculated by adding, with the root-sum-square method, to the "uncertainty at reference conditions" all operational uncertainties, that is the worst case dependences of the measurement result on the operating conditions.

Determining the total uncertainty is **not** mandatory for power meters compatible with this document.

Annex A

This annex contains all of the forms, that is calibration certificates, traceability information, and calculation worksheets. These forms should be considered as suggestions only.

1.2 Scope

This International Standard is applicable to instruments measuring radiant power emitted from sources which are typical for the fibre optic communications industry. These sources include laser diodes, Light Emitting Diodes (LEDs) and fibre type sources. The radiation may be divergent or collimated. The standard serves the purposes of calibrating single power meters and of setting specifications of power meters, to be performed by calibration laboratories or by the manufacturer of the power meter.

1.3 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 359: 1987, *Expression des qualités de fonctionnement des équipements de mesure électriques et électroniques*

CEI 793-1: 1992, *Fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*

CEI 793-2: 1992, *Fibres optiques – Partie 2: Spécifications de produit*

CEI 1040: 1990, *Détecteurs, instruments et matériels de mesurage de puissance et d'énergie des rayonnements laser*

Section 2: Base pour les étalonnages

2.1 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

2.1.1 centre d'étalonnage agréé: Laboratoire d'étalonnage autorisé par l'organisation nationale compétente à publier des certificats d'étalonnage avec un minimum d'incertitude spécifiée, qui démontrent la traçabilité aux étalons nationaux.

2.1.2 étalon de travail agréé: Radiomètre optique du centre d'étalonnage agréé par un laboratoire primaire national et utilisé pour l'étalonnage des radiomètres de clients extérieurs au centre d'étalonnage agréé. Il est admis que l'étalon de travail agréé a été étalonné à partir de l'étalon national le long d'une chaîne de comparaisons interrompue.

2.1.3 ajustage: Modification de la machine ou du programme de l'appareil en essai avec l'intention de rendre le résultat de la mesure de l'appareil en essai égal au résultat de la mesure de l'appareil père.

2.1.4 étalonnage: Ensemble des opérations qui établissent, selon des conditions spécifiques, le rapport entre les valeurs indiquées par l'appareil de mesure et les valeurs correspondantes connues du mesurande [Annexe B, référence [1], 6.13].

NOTE – L'intention est d'accorder au mieux les caractéristiques d'exploitation avec l'échelle du laboratoire primaire national. Dans la présente Norme, le terme «étalonnage» est utilisé pour «étalonnage pour les conditions d'exploitation».

1.3 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 359: 1987, *Expression of the performance of electrical and electronic measuring equipment*

IEC 793-1: 1992, *Optical fibres – Part 1: General specification*

IEC 793-2: 1992, *Optical fibres – Part 2: Product specifications*

IEC 1040: 1990, *Power and energy measuring detectors, instruments and equipment for laser radiation*

Section 2: Basis of calibrations

2.1 Definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions apply.

2.1.1 accredited calibration laboratory: A calibration laboratory authorized by the appropriate national organization to issue calibration certificates with a minimum specified uncertainty, which demonstrate traceability to national standards.

2.1.2 accredited working standard: An optical power meter at the accredited calibration laboratory which is accredited by a national standards laboratory and is used for the calibration of power meters from customers outside the accredited calibration laboratory. It is assumed that the accredited working standard was calibrated from the national standard through an unbroken chain of comparisons.

2.1.3 adjustment: Modifying the hardware or the firmware of the test meter with the intention to make the measurement result of the test meter equal to the measurement result of the parent meter.

2.1.4 calibration: The set of operations which establish, under specified conditions, the relationship between the values indicated by the measuring instrument and the corresponding known values of a measurand [annex B, reference [1], 6.13].

NOTE – The intention is to bring operating characteristics into substantial agreement with the scale of the national standards laboratory. In this standard, the term "calibration" is used for both "calibration at reference conditions" and "calibration for operating conditions".

2.1.5 étalonnage aux conditions de référence: L'étalonnage aux conditions de référence comprend:

- a) le transfert (entre l'appareil père et l'appareil en essai);
- b) l'évaluation de l'incertitude de l'appareil en essai aux conditions de référence.

2.1.6 étalonnage pour les conditions de fonctionnement: L'étalonnage pour les conditions de fonctionnement d'un radiomètre comprend l'évaluation de l'incertitude de fonctionnement du radiomètre et le calcul de l'incertitude totale du radiomètre.

2.1.7 chaîne d'étalonnage: Chaîne ininterrompue de transferts allant de l'étalon national à l'appareil en essai.

2.1.8 longueur d'onde centrale: Pour un spectre donné d'une source optique, la longueur d'onde centrale λ_c est définie par l'intégrale suivante, où les limites de l'intégration incluent le spectre complet de la source:

$$\lambda_c = \frac{1}{P_o} \int p(\lambda) \lambda d\lambda \approx \frac{\sum P_i \lambda_i}{\sum P_i}$$

où

$p(\lambda)$ est la densité spectrale du flux énergétique, par exemple en watts/nm

P_o est le flux énergétique total, en watts

λ_i sont les points de longueur d'onde discrets, dans le cas où le spectre est numérisé

P_i sont les niveaux de flux énergétique à λ_i , en watts

2.1.9 degré de confiance (estimé): Probabilité selon laquelle la valeur réelle du mesurande se situe dans un intervalle donné (la gamme d'incertitudes).

NOTE – Dans un but de concision, le document utilise principalement «degré de confiance» au lieu de «degré de confiance estimé». Dans la présente norme, le degré de confiance est normalisé à 95 %. Il est possible d'utiliser un autre degré de confiance de 99,7 % si cela est clairement indiqué.

Se reporter à «gamme d'incertitudes» pour obtenir plus d'éclaircissements.

2.1.10 facteur de correction: Valeur numérique par laquelle le résultat de la mesure non corrigé est multiplié pour compenser une erreur individuelle présumée [modifié d'après CEI 793-1, 3.15].

NOTE – Selon leur origine, le document distingue plusieurs types de facteurs de correction. Ils sont cumulés pour aboutir à un facteur de correction pour l'appareil en essai, CF_{essai} , qui peut être enregistré ou ajusté à 1. Pour une utilisation ultérieure, il convient de multiplier le résultat de la mesure de l'appareil en essai par CF_{essai} . Il est à noter que le facteur de correction exprimé en décibels (dB) doit être ajouté au résultat de la mesure exprimé en dBm.

2.1.11 décibels (dB, dBm): Rapport linéaire, R_{lin} , de deux niveaux de flux énergétique, P_1 et P_2 ; peut aussi être exprimé sous forme de dB (décibels). De même, les incertitudes relatives, U_{lin} , ou écarts relatifs, peuvent être aussi exprimées sous forme de dB.

Rapport de flux énergétique: $R_{\text{dB}} = 10 \log (R_{\text{lin}}) = 10 \log (P_1/P_2)$

Incertitude: $U_{\text{dB}} = 10 \log (1 + U_{\text{lin}})$

2.1.5 calibration at reference conditions: The calibration at reference conditions includes:

- a) the transfer (between the parent meter and the test meter); and
- b) the evaluation of the test meter uncertainty at reference conditions.

2.1.6 calibration for operating conditions: The calibration for operating conditions of a power meter includes the evaluation of the power meter operational uncertainty and the calculation of the power meter total uncertainty.

2.1.7 calibration chain: An unbroken chain of transfers from the national working standard to the test meter.

2.1.8 centre wavelength: For a given spectrum of an optical source, the centre wavelength λ_c is defined by the following integral, where the integration limits enclose the entire spectrum of the source:

$$\lambda_c = \frac{1}{P_o} \int p(\lambda) \lambda d\lambda \approx \frac{\sum P_i \lambda_i}{\sum P_i}$$

where

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

P_o is the total power, in watt

λ_i are the discrete wavelength points, in the case that the spectrum is digitized

P_i are the power levels at λ_i , in watt

2.1.9 (estimated) confidence level: Probability that the true value of a measurand lies within a given interval (the uncertainty range).

NOTE – For the sake of brevity, this standard mainly uses "confidence level" instead of "estimated confidence level". In this standard, the confidence level is standardized to 95 %. An alternative confidence level of 99,7 % may be used, if specifically stated.

See "uncertainty range" for further clarification.

2.1.10 correction factor: The numerical value by which the uncorrected measurement result is multiplied to compensate for an assumed individual error [modified from IEC 793-1, 3.15].

NOTE – Depending on their origin, this standard distinguishes between several types of correction factors. These are accumulated to a correction factor for the test meter, $CF_{\text{test meter}}$, which can either be recorded or adjusted to 1. For later use, the measurement result of the test meter should be multiplied by $CF_{\text{test meter}}$. Note that a correction factor expressed in decibels (dB) must be added to a measurement result expressed in dBm.

2.1.11 decibels (dB, dBm): The linear ratio, R_{lin} , of two radiant power levels, P_1 and P_2 , can alternatively be expressed in dB (decibels) form. Similarly, relative uncertainties, U_{lin} , or relative deviations, can be alternatively expressed in dB form.

Power ratio: $R_{\text{dB}} = 10 \log (R_{\text{lin}}) = 10 \log (P_1/P_2)$

Uncertainty: $U_{\text{dB}} = 10 \log (1 + U_{\text{lin}})$

Les niveaux de flux énergétiques absolus en watts, P , peuvent aussi être exprimés sous forme de dBm (dBm = décibels se rapportant à 1 milliwatt):

Flux énergétique absolu: $P_{\text{dBm}} = 10 \log (P/1 \text{ mW})$

NOTE – Il est à noter qu'il convient d'exprimer le traitement mathématique de tous les résultats de mesure en watts et d'exprimer toutes les incertitudes sous forme linéaire. Ceci est recommandé car le cumul des incertitudes dans des unités logarithmiques est mathématiquement compliqué. L'énoncé final d'une incertitude peut être exprimé sous forme linéaire ou en dB.

2.1.12 détecteur: Élément du radiomètre qui convertit le flux énergétique optique en une quantité électrique mesurable. Dans le présent document, on considère que le détecteur est connecté au port d'entrée optique par un chemin optique.

2.1.13 écart: Dans le présent document, le terme écart est utilisé pour un décalage relatif connu, Δr , entre la réponse d'un radiomètre à un ensemble de conditions, r , et sa réponse à un autre ensemble de conditions, r_0 . Lorsque la réponse dépend de diverses quantités d'influence x_i ($i = 1, 2, 3, \dots$), son écart relatif, qui est causé uniquement par l'écart Δx_i , est donné approximativement par:

$$\Delta r_i = \frac{1}{r_0} \frac{\delta r}{\delta x_i} \Delta x_i \quad [\text{sans dimension}]$$

Le terme est aussi utilisé pour quantifier les écarts individuels accumulés.

2.1.14 excitation (de la fibre): Description de la répartition de la puissance rayonnante entre les modes dans la fibre. Dans le cas des fibres multimodales, l'excitation de la fibre est décrite par:

- le diamètre du spot à la surface de l'extrémité de la fibre,
- l'ouverture numérique de la radiation émise par la fibre.

L'excitation totale signifie la radiation caractérisée par un diamètre de spot qui est approximativement égal au diamètre du cœur de la fibre et par une ouverture numérique qui est approximativement égale à l'ouverture numérique de la fibre.

Les fibres unimodales sont en général considérées comme étant excitées par un mode uniquement (le mode fondamental).

2.1.15 conditions de référence étendues: Ensemble de conditions de référence dérivé d'un ensemble de conditions de référence originales, en modifiant un ou plusieurs paramètres des conditions de référence originales et en évaluant le facteur de correction de l'appareil en essai causé par la modification des paramètres.

NOTE – Avec ce concept, un radiomètre peut être défini par des caractéristiques d'incertitude à plus d'une condition de référence, sans répétition du processus complet d'étalonnage aux conditions de référence.

2.1.16 mode d'appareil: Description complète de l'état du radiomètre au cours de l'étalonnage aux conditions de référence.

NOTE – Les paramètres typiques du mode d'appareil sont la gamme de puissance de rayonnement, le réglage de longueur d'onde, le mode d'affichage (watt ou dBm) et la sortie où le résultat de la mesure est obtenu (par exemple affichage, bus d'interface, sortie analogique).

Absolute radiant power levels in watt units, P , can alternatively be expressed in dBm form (dBm = decibels relative to 1 milliwatt):

Absolute power: $P_{\text{dBm}} = 10 \log (P/1 \text{ mW})$

NOTE – Note that for mathematical treatment, all measurement results should be expressed in watt units and all uncertainties should be expressed in linear form. This is recommended because the accumulation of uncertainties in logarithmic units is mathematically difficult. The final statement of an uncertainty may be in the linear or the dB form.

2.1.12 detector: The element of the power meter that transduces the radiant optical power into a measurable, usually electrical quantity. In this standard, the detector is assumed to be connected with the optical input port by an optical path.

2.1.13 deviation: In this standard, the term deviation is used for a **known** relative offset, Δr , between a power meter response at a set of conditions, r , and its response at another set of conditions, r_o . When the response depends on various influence quantities x_i ($i = 1, 2, 3, \dots$), its relative deviation, which is caused only by the deviation Δx_i , is given approximately by:

$$\Delta r_i = \frac{1}{r_o} \frac{\delta r}{\delta x_i} \Delta x_i \quad [\text{dimensionless}]$$

The term is also used to quantify accumulated individual deviations.

2.1.14 excitation (fibre): A description of the distribution of optical power between the modes in the fibre. In the context of **multimode fibres**, the fibre excitation is described by:

- a) the spot diameter on the surface of the fibre end; and
- b) the numerical aperture of the radiation emitted from the fibre.

Full excitation means radiation characterized by a spot diameter which is approximately equal to the fibre core diameter, and by a numerical aperture which is approximately equal to the fibre numerical aperture.

Single-mode fibres are generally assumed to be excited by only one mode (the fundamental mode).

2.1.15 extended reference conditions: A set of reference conditions which is derived from an original set of reference conditions, by changing one or more parameters of the original reference conditions, and by evaluating the test meter correction factor as caused by the change of parameters.

NOTE – With this concept, a power meter can be specified by uncertainty statements at more than one reference condition, without repeating the entire process of the calibration at reference conditions.

2.1.16 instrument state: A complete description of the state of the power meter during the calibration at reference conditions.

NOTE – Typical parameters of the instrument state are the optical power range, the wavelength setting, the display mode (watt or dBm), and the output from which the measurement result is obtained (for example display, interface bus, analog output).

2.1.17 éclairage énergétique: Sur un point de la surface du plan de référence optique, le quotient du flux énergétique différentiel δP incident sur un élément δA de la surface par la surface différentielle de cet élément. Symbole: E

$$E = \frac{\delta P}{\delta A} \quad [\text{Wm}^{-2}]$$

2.1.18 résultat de la mesure: Sortie (affichée ou électrique) d'un radiomètre (ou étalon), après exécution de toutes les actions indiquées dans les instructions de fonctionnement, par exemple préchauffage, réglage du zéro et correction de la longueur d'onde, en watts. Symbole: y . Dans le cas de l'analyse de l'incertitude, il convient de convertir en watts les résultats de mesure exprimés dans d'autres unités, par exemple en volts. Il convient aussi de convertir les résultats de mesures exprimés en dBm (décibels se rapportant à 1 milliwatt) en watts, car le cumul de l'incertitude totale est basée sur les résultats de mesure en watts.

2.1.19 étendue de mesure (spécifiée): Ensemble des valeurs d'un mesurande pour lesquelles l'incertitude d'un appareil de mesure doit se trouver dans des limites spécifiées [annexe B, référence [1], 5.04].

NOTE - Dans le présent document, l'étendue de mesure (spécifiée) est l'étendue des niveaux de flux énergétique (partie du domaine de fonctionnement), pour laquelle l'incertitude totale est spécifiée. Dans le présent contexte, il convient d'éviter le terme «étendue dynamique».

2.1.20 étalon national: Etalon reconnu par une décision officielle nationale comme base servant à fixer la valeur, dans un pays, de tous les autres étalons de la grandeur concernée [annexe B, référence [1], 6.07].

2.1.21 étalon national de travail: Radiomètre pour sources fibrées détenu par le laboratoire primaire national qui est soit identique à l'étalon national soit étalonné à partir de l'étalon national le long d'une chaîne de comparaisons ininterrompue. L'étalon national de travail sert d'appareil père pour l'étalonnage des radiomètres de clients extérieurs au laboratoire primaire national.

2.1.22 laboratoire primaire national: Laboratoire qui conserve l'étalon national et l'étalon national de travail.

2.1.23 longueur d'onde nominale: Longueur d'onde prédéfinie servant à définir l'incertitude aux conditions de référence d'un radiomètre.

NOTE - Il est à noter que la longueur d'onde nominale (par exemple 1 300 nm ou 1 500 nm) et la longueur d'onde de référence sont souvent inégales: si une diode laser sert pour le transfert, alors la longueur d'onde de référence est donnée par la diode laser. L'erreur correspondante du radiomètre peut être corrigée avec le concept des conditions de référence étendues.

2.1.24 non linéarité: Ecart à la réponse linéaire, c'est-à-dire la différence entre la réponse à un niveau de puissance arbitraire et la réponse au niveau de puissance de référence, divisé par la réponse au niveau de puissance de référence.

2.1.25 ouverture numérique: Description de la divergence du faisceau d'une source optique. Dans la présente norme, l'ouverture numérique est le sinus (linéaire) du demi-angle auquel l'éclairage énergétique correspond à 5 % de l'éclairage énergétique maximum.

NOTE - Cette définition a été adoptée à partir de la définition de l'ouverture numérique pour les fibres multimodales à gradient d'indice adoptée dans la CEI 793-1. Dans la présente norme, la définition décrit la divergence de tous les faisceaux divergents.

2.1.17 irradiance: At a point of the surface of the optical reference plane, the quotient of the incremental radiant power δP incident on an element δA of the surface by the incremental area of that element. Symbol: E

$$E = \frac{\delta P}{\delta A} \quad [\text{Wm}^{-2}]$$

2.1.18 measurement result: The (displayed or electrical) output of a power meter (or standard), after completing all actions suggested by the operating instructions, for example warm up, zeroing and wavelength correction, in watt units. Symbol: y . For the purpose of uncertainty analysis, measurement results in other units, for example volts, should be converted to watt. Measurement results in dBm (decibels relative to 1 mW) should also be converted to watt, because the entire uncertainty accumulation is based on measurement results in watt units.

2.1.19 (specified) measuring range: The set of values of a measurand for which the uncertainty of a measuring instrument is intended to lie within specified limits [modified from annex B, reference [1], 5.04].

NOTE – In this standard, the (specified) measuring range is the range of radiant power levels (part of the operating range), for which the total uncertainty is specified. The term "dynamic range" should be avoided in this context.

2.1.20 national standard: A standard recognized by an official national decision as the basis for fixing the value, in a country, of all other standards of the quantity concerned [annex B, reference [1], 6.07].

2.1.21 national working standard: An optical power meter at the national standards laboratory which is either identical with the national standard or which was calibrated from the national standard through an unbroken chain of comparisons. The national working standard is used as the parent meter for the calibration of power meters from customers outside the national standards laboratory.

2.1.22 national standards laboratory: The laboratory which maintains the national standard and the national working standard.

2.1.23 nominal wavelength: A predefined wavelength used for specifying the uncertainty at reference conditions of a power meter.

NOTE – Note that the nominal wavelength (for example 1 300 nm or 1 500 nm) and the reference wavelength are often unequal: if a laser diode is used for the transfer, then the reference wavelength is given by the laser diode. The corresponding error of the power meter can be corrected with the concept of **extended reference conditions**.

2.1.24 non-linearity: Departure from linear response, that is the difference between the response at an arbitrary power level and the response at the reference power level, divided by the response at the reference power level.

2.1.25 numerical aperture: A description of the beam divergence of an optical source. In this standard, the numerical aperture is the sine of the (linear) half-angle at which the irradiance is 5 % of the maximum irradiance.

NOTE – This definition was adopted from the definition of the numerical aperture of multimode graded index fibres in IEC 793-1. In this standard, the definition is used to describe the divergence of **all** divergent beams.

2.1.26 conditions assignées de fonctionnement: Conditions d'utilisation donnant les étendues de la grandeur à mesurer et des grandeurs d'influence, et les autres exigences importantes pour lesquelles les caractéristiques métrologiques du radiomètre sont supposées maintenues entre des limites spécifiées [CEI 793-2, 5.05 modifié].

2.1.27 Incertitude de fonctionnement: Soit incertitude partielle, c'est-à-dire la modification relative de la réponse du radiomètre la plus importante lors de la modification de l'une des conditions de fonctionnement dans sa gamme de fonctionnement spécifiée, soit incertitude accumulée, par laquelle plusieurs des incertitudes partielles sont exprimées.

NOTE - Dans la présente norme, les incertitudes de fonctionnement doivent être traitées comme des incertitudes systématiques.

2.1.28 port d'entrée optique: Entrée physique du radiomètre (ou étalon) à laquelle le flux énergétique doit être appliqué ou à laquelle l'extrémité de la fibre optique doit être connectée. Un chemin optique (chemin de rayons avec ou sans éléments optiques tels que lentilles, diaphragmes, guides de lumière, etc.) est supposé connecter la porte d'entrée optique avec le détecteur du radiomètre.

2.1.29 plan de référence optique: Plan sur ou près du port d'entrée optique qui sert à définir le diamètre du spot du faisceau.

NOTE - On considère généralement que le plan de référence optique est perpendiculaire à la propagation du faisceau, et il convient de le décrire à l'aide de dimensions mécaniques appropriées se rapportant au port d'entrée optique du radiomètre.

2.1.30 appareil père: Etalon servant de référence pour l'étalonnage d'un appareil en essai.

2.1.31 radiomètre (sources fibrées): Dans la présente norme, un radiomètre est un appareil capable de mesurer le flux énergétique de sources typiques pour l'industrie des communications par fibres optiques. Ces sources comprennent les diodes laser, les DEL et les fibres. Le rayonnement peut être divergent ou collimaté. Le rayonnement est supposé être incident sur le plan de référence optique dans le cadre des conditions spécifiées. Un radiomètre peut comporter soit un appareil unique soit un appareil principal et une tête peut être étalonnée sans l'appareil principal.

NOTES

1 Un radiomètre pour sources fibrées est en général capable de mesurer la valeur moyenne temporelle d'une puissance rayonnante **modulée**. On peut observer une incertitude plus importante, qui dépend du cycle de service et du niveau de crête de la puissance rayonnante modulée.

2 Tous les étalons de cette norme sont des radiomètres. Le terme «radiomètre» est souvent employé au lieu d'«étalon».

2.1.32 flux énergétique, puissance rayonnante: Puissance émise, transférée ou reçue sous la forme de rayonnement optique. Symbole: P. Unité: watt W. Le flux énergétique peut aussi être exprimé sous forme de dBm (décibels se rapportant à 1 milliwatt).

2.1.33 incertitude aléatoire (incertitude de type A comme spécifié par le BIPM*): Composante de l'incertitude de la mesure qui, au cours d'un nombre de mesures de la même grandeur varie de manière imprévisible. Il est à noter qu'il n'est pas possible de corriger l'incertitude aléatoire [modifié d'après l'annexe B, [1], 3.12].

* Bureau International des Poids et Mesures.

2.1.26 operating range: All conditions of the measurand and of the influence quantities, and other important requirements, for which the total uncertainty of the power meter is intended to be met [modified from IEC 793-2, 5.05].

2.1.27 operational uncertainty: Either a partial uncertainty, that is the largest relative change of power meter response when changing one of the operating conditions within its specified operating range, or an accumulated uncertainty, by which several of the partial uncertainties are expressed.

NOTE – In this standard, operational uncertainties are to be treated as systematic uncertainties.

2.1.28 optical input port: Physical input of the power meter (or standard) to which the radiant power is to be applied, or to which the optical fibre end is to be connected. An optical path (path of rays with or without optical elements such as lenses, diaphragms, light guides, etc.) is assumed to connect the optical input port with the power meter detector.

2.1.29 optical reference plane: A plane on or near the optical input port which is used to define the beam spot diameter.

NOTE – The optical reference plane is usually assumed to be perpendicular to the beam propagation, and it should be described by appropriate mechanical dimensions relative to the power meter optical input port.

2.1.30 parent meter: The standard which is used as the reference for the calibration of a test meter.

2.1.31 power meter (fibre optic): In this standard, a power meter is an instrument capable of measuring radiant power from sources which are typical for the fibre optic communications industry. These sources include laser diodes, LEDs and fibres. The radiation may be divergent or collimated. The radiation is assumed to be incident on the optical reference plane within the specified conditions. A power meter may consist either of a single instrument, or a main instrument and a separate sensing head. In the case of a separate sensing head, the head may be calibrated without the main instrument.

NOTES

1 A fibre optic power meter is usually capable of measuring the time average of **modulated** optical power. An increased uncertainty may be observed, which depends on the duty cycle and the peak power level of modulated optical power.

2 All of the standards in this standard are power meters. Often, the term "power meter" is used instead of "standard".

2.1.32 radiant power: Power emitted, transferred, or received in the form of optical radiation. Symbol: P . Unit: watt, W. The radiant power may also be expressed in the form of dBm (decibels relative to 1 milliwatt).

2.1.33 random uncertainty (uncertainty type A as specified by BIPM*): A component of the uncertainty of measurement which, in the course of a number of measurements of the same measurand, varies in an unpredictable way. Note that it is not possible to correct for random uncertainty [modified from annex B, [1], 3.12].

* Bureau International des Poids et Mesures.

Dans la présente norme, les incertitudes aléatoires sont obtenues après une série de mesures. Il est bon de les considérer comme des incertitudes relatives de la réponse d'un radiomètre, c'est-à-dire des incertitudes de réponse relative à la réponse aux conditions de référence. Elles sont considérées comme étant normalement et symétriquement réparties autour de zéro.

Il convient d'exprimer les incertitudes aléatoires à l'aide d'un écart type (expérimental), s_r , et avec le nombre de mesures effectuées, n . (L'indice «r» signifie «aléatoire».)

2.1.34 conditions de référence: Ensemble approprié de paramètres influents, leurs valeurs nominales et leurs bandes de tolérance en fonction desquels l'incertitude aux conditions de référence est spécifiée [modifié d'après la CEI 359, 4.9]. Il est à noter que chaque bande de tolérance comprend à la fois l'incertitude possible de la condition et l'incertitude de mesure de la condition.

Dans la présente norme, les conditions du transfert vers l'appareil en essai sont appelées «conditions de référence». Typiquement, plusieurs transferts consécutifs sont nécessaires pour étalonner l'appareil en essai (chaîne d'étalonnage). Par conséquent, il y a plusieurs ensembles de conditions de référence, qui peuvent toutes être différentes.

Les conditions de référence comprennent normalement les paramètres suivants et, si nécessaire, leurs bandes de tolérance: date de référence, température de référence, niveau de flux énergétique de référence, géométrie du faisceau de référence ou fibre de référence, combinaison connecteur-adaptateur de référence, longueur d'onde de référence et largeur (spectrale) de référence. Tous les états de polarisation possibles sont inclus par défaut.

2.1.35 étalon de référence: Etalon, en général de la plus haute qualité métrologique disponible à un emplacement donné, dont les mesures effectuées à cet emplacement sont dérivées [annexe B, [1], 6.08].

2.1.36 réponse, réponse spectrale: Résultat de la mesure d'un radiomètre ou étalon, $y(\lambda)$, divisé par le flux énergétique sur le plan de référence optique du radiomètre, $P(\lambda)$, à une longueur d'onde, comme fonction de la longueur d'onde. Symbole: $r(\lambda)$

$$r(\lambda) = y(\lambda)/P(\lambda) \quad [\text{W/W, sans dimension}]$$

NOTE - Il est à noter que le radiomètre idéal indique une réponse spectrale de 1. Il faut aussi noter que l'adjectif «spectral» est souvent omis dans le texte, ainsi que le paramètre λ .

2.1.37 largeur (de bande) spectrale: Pour les besoins de cette norme, la largeur de (bande) spectrale est définie comme étant la largeur à mi-hauteur (L M H) du spectre. Symbole: B.

Si le spectre n'est pas continu, par exemple dans le cas d'une diode laser présentant un spectre de raies (modes longitudinaux), la largeur (de bande) spectrale est alors définie d'après la valeur efficace de la largeur spectrale, B_{RMS} :

In this standard, random uncertainties are obtained from a series of measurements. They should be considered as relative uncertainties of the response of a power meter, that is response uncertainties relative to the response at reference conditions. They are assumed to be normally and symmetrically distributed about zero.

Random uncertainties should be expressed with the help of an (experimental) standard deviation, s_r , and with the number of measurements performed, n . (The subscript "r" indicates "random".)

2.1.34 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 [modified from IEC 359, 4.9]. Note that each tolerance band includes both the possible uncertainty of the condition and the uncertainty in measuring the condition.

In this standard, the conditions of the transfer to the test meter are termed "reference conditions". Typically, several consecutive transfers are necessary to calibrate the test meter (calibration chain). Accordingly, there are several sets of reference conditions, all of which may be different.

The reference conditions normally include the following parameters and, if necessary, their tolerance bands: reference date, reference temperature, reference power level, reference beam geometry or reference fibre, reference connector-adaptor combination, reference wavelength and reference (spectral) bandwidth. All possible states of polarization are included by default.

2.1.35 reference standard: A standard, generally of the highest metrological quality available at a given location, from which measurements made at that location are derived [annex B, [1], 6.08].

2.1.36 response, spectral response: The measurement result of a power meter or standard, $y(\lambda)$, divided by the radiant power on the power meter optical reference plane, $P(\lambda)$, at a wavelength λ , as a function of the wavelength. Symbol: $r(\lambda)$

$$r(\lambda) = y(\lambda)/P(\lambda) \quad [\text{W/W, dimensionless}]$$

NOTE – Note that an ideal power meter exhibits a spectral response of 1. Also note that the adjective "spectral" is often omitted in the text, as well as the parameter λ .

2.1.37 spectral bandwidth: For the purpose of this standard, the spectral bandwidth is defined as the full-width-half-maximum (FWHM) spectral bandwidth. Symbol: B

If the spectrum is non-continuous, for example as in the case of a laser diode with a multilongitudinal line spectrum, then the spectral bandwidth is defined with the help of the r.m.s. spectral bandwidth, B_{RMS} :

$$B = M B_{\text{RMS}} = M \sqrt{\frac{\sum P_i \lambda_i^2}{P_o} - \lambda_c^2}$$

où

$M = 2,35^*$

λ_c est la longueur d'onde centrale

$P_o = \sum P_i$ = puissance totale

P_i est la puissance du ième mode

λ_i est la longueur d'onde du ième mode

NOTE - Si la source émet à une longueur d'onde uniquement (spectre à une raie) il peut suffire de définir une limite supérieure, par exemple largeur spectrale < 1 nm.

2.1.38 diamètre du spot: Dans la présente norme, le diamètre de la surface éclairée sur le plan de référence optique, défini par le cercle (meilleure approximation) auquel l'éclairement est tombé à 5 % de l'éclairement de crête.

NOTE - Cette définition a été adoptée pour des raisons de compatibilité d'après la définition de l'ouverture numérique.

2.1.39 étalon: Tous les radiomètres dans la chaîne d'étalonnage, à l'exception du dernier, sont appelés «étalons».

2.1.40 incertitude systématique (incertitude de type B comme défini par le BIPM): Composante de l'incertitude de la mesure qui, au cours des mesures de la même mesurande, reste constante ou varie d'une manière prévisible. Il est à noter que les incertitudes systématiques et leurs causes peuvent être connues ou inconnues [modifié d'après annexe B, [1], 3.13].

NOTE - Il convient d'évaluer les incertitudes systématiques sur la base de la dépendance connue d'un résultat de mesure en fonction d'un paramètre influent, ou basées sur l'expérience de l'appareil de mesure et l'appareil en essai. Dans cette norme, les incertitudes systématiques sont généralement considérées comme:

- 1) des incertitudes sur la réponse d'un radiomètre par rapport à la réponse aux conditions de référence;
- 2) indépendantes les unes des autres;
- 3) caractérisées par une répartition rectangulaire (uniforme);
- 4) définies sous la forme soit d'une bande d'incertitude soit d'un écart type équivalent. Voir figure 1.

2.1.41 appareil en essai: Dans le processus d'étalonnage aux conditions de référence, le radiomètre (ou étalon) à étalonner, en utilisant l'appareil père comme référence.

2.1.42 incertitude totale: Pour les conditions de fonctionnement définies pour l'appareil en essai, l'incertitude totale est une estimation du décalage relatif maximum entre le résultat de mesure (corrigé) du radiomètre et la valeur réelle du mesurande, pour un niveau de confiance donné.

NOTE - L'incertitude totale comprend à la fois l'incertitude aux conditions de référence et l'incertitude totale de fonctionnement. Cela exclut toutes les incertitudes aléatoires observées par l'utilisateur de l'appareil en essai. Cette dernière peut être évaluée par l'utilisateur de l'appareil en essai, en effectuant plusieurs mesures aux conditions de mesure définies.

Il convient d'éviter le terme «précision» dans ce contexte.

* M est fixé à 2,35 dans un but de normalisation. La valeur 2,35 a été calculée en utilisant un spectre avec une enveloppe gaussienne.

$$B = M B_{\text{RMS}} = M \sqrt{\frac{\sum P_i \lambda_i^2}{P_o} - \lambda_c^2}$$

where

$M = 2,35^*$

λ_c is the centre wavelength

$P_o = \sum P_i = \text{total power}$

P_i is the power of i^{th} line

λ_i is the wavelength of i^{th} line

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

2.1.38 spot diameter: In this standard, the diameter of the irradiated area on the optical reference plane, defined by the (best approximation) circle at which the irradiance has dropped to 5 % of the peak irradiance.

NOTE – This definition was adopted from the definition of the numerical aperture, for reasons of compatibility.

2.1.39 standard: All optical power meters in the calibration chain, except for the last one, are termed "standard".

2.1.40 systematic uncertainty (uncertainty type B as specified by BIPM): A component of the uncertainty of measurement which, in the course of a number of measurements of the same measurand remains constant, or varies in a predictable way. Note that systematic uncertainties and their causes may be known or unknown [modified from annex B, [1], 3.13].

NOTE – Systematic uncertainties should be evaluated on the basis of known dependence of a measurement result on an influencing parameter, or based on experience with the measurement apparatus and the test meter. In this standard, systematic uncertainties are usually assumed to be:

- 1) uncertainties of the response of a power meter relative to the response at reference conditions;
- 2) independent of each other;
- 3) characterized by a rectangular (uniform) distribution;
- 4) specified in the form of either an uncertainty band, or an equivalent standard deviation. See figure 1.

2.1.41 test meter: In the process of calibration at reference conditions, the power meter (or standard) to be calibrated, using a parent meter as the reference.

2.1.42 total uncertainty: For the specified operating conditions of the test meter, the total uncertainty is an estimate of the maximum relative offset between the "corrected" measurement result of the power meter and the true value of the measurand, at the given confidence level.

NOTE – The total uncertainty includes both the uncertainty at reference conditions and the total operational uncertainty. It excludes all random uncertainties observed by the user of the test meter. The latter may be assessed by the user of the power meter, by making multiple measurements at the specific measurement conditions.

The term "accuracy" should be avoided in this context.

* M is fixed at 2,35 for the purpose of standardization. The number 2,35 was calculated using a spectrum with a Gaussian envelope.

2.1.43 traçabilité: Propriété d'un résultat d'une mesure au moyen duquel il peut être raccordé aux étalons appropriés, en général des étalons nationaux ou internationaux, le long d'une chaîne ininterrompue de comparaisons [annexe B, [1], 6.12].

NOTE – Les radiomètres étalonnés et définis par les règles de cette norme sont traçables. Dans l'acception de cette norme, la traçabilité **directe** du résultat de mesure à un laboratoire primaire national ou à un centre d'étalonnage agréé doit être démontrée, ce qui implique des programmes de ré-étalonnage réguliers de **tous** les radiomètres de la chaîne d'étalonnage, des calculs détaillés de **toutes** les incertitudes aux conditions de référence et de **toutes** les incertitudes de transfert dans la chaîne d'étalonnage.

Si les conditions ci-dessus sont remplies, alors la traçabilité **indirecte** à d'autres laboratoires primaires nationaux est assurée par des inter-comparaisons entre les laboratoires nationaux.

2.1.44 transfert: Comparaison de la sortie d'un appareil père (en général un étalon) à la sortie d'un appareil en essai, en exposant les deux appareils à un ensemble de conditions de référence, et le transfert du résultat de mesure de l'appareil père à l'appareil en essai, comprenant les corrections nécessaires. Ces dernières peuvent être effectuées soit par un réglage de l'appareil en essai, soit par notification d'un facteur de correction dans un certificat d'étalonnage. Le transfert fait partie de l'étalonnage aux conditions de référence.

2.1.45 étalon de transfert: Etalon servant d'intermédiaire dans la comparaison des étalons ou des appareils de mesure [annexe B, [1], 6.10]

2.1.46 incertitude de transfert (accumulée): Estimation qui caractérise l'incertitude additionnelle d'un appareil en essai causée par des incertitudes dans le processus de transfert, à un niveau de confiance donné.

2.1.47 incertitude de transfert liée à l'appareil père: Incertitude (individuelle) de l'appareil père causée par la différence entre:

- a) un paramètre unique des conditions de référence auxquelles l'appareil père a été étalonné, et
- b) le même paramètre lorsque l'appareil père est utilisé en comparaison avec l'appareil en essai. Le terme est aussi utilisé pour l'incertitude accumulée à partir d'incertitudes de transfert individuelles de l'appareil père.

NOTE – Il est à noter que les incertitudes de transfert accumulées et les incertitudes individuelles de l'appareil en essai sont des incertitudes systématiques; il convient de les caractériser soit par une bande d'incertitude soit par un écart type équivalent.

2.1.48 incertitude de transfert liée à l'appareil en essai: Incertitude (individuelle) de la réponse d'un appareil en essai provoquée par la modification d'un paramètre des conditions de référence dans sa bande de tolérance. Le terme est aussi utilisé pour l'incertitude accumulée de plusieurs incertitudes de transfert individuelles de l'appareil en essai.

NOTE – Noter que les incertitudes, individuelle et de transfert accumulée, de l'appareil en essai sont des incertitudes systématiques; il est recommandé qu'elles soient caractérisées soit par une bande d'incertitude soit par un écart type équivalent.

2.1.49 incertitude aux conditions de référence: Estimation qui caractérise la gamme des décalages relatifs (gamme d'incertitudes) entre le résultat de mesure et la valeur réelle de la mesurande, à un niveau de confiance donné, lorsque le radiomètre est soumis aux conditions de référence. L'approximation la plus proche de la valeur réelle de la mesurande est définie par l'étalon national de travail, et l'incertitude aux conditions de référence **comprend** l'incertitude de l'étalon national de travail.

2.1.43 traceability: The property of a result of a measurement whereby it can be related to appropriate standards, generally international or national standards, through an unbroken chain of comparisons [annex B, [1], 6.12].

NOTE – Power meters calibrated and specified by the rules of this standard are traceable. In the sense of this standard, **direct** traceability of the measurement result, to either a national standards laboratory or to an accredited calibration laboratory, shall be demonstrated, which includes regular recalibration schedules of **all** power meters in the calibration chain, detailed calculations of **all** uncertainties at reference conditions and of **all** transfer uncertainties in the calibration chain.

If the above conditions are met, then **indirect** traceability to other national standards laboratories is provided by regular intercomparisons between the national laboratories.

2.1.44 transfer: Comparison of the output of a parent meter (usually a standard) to the output of a test meter, by exposing both meters to a set of reference conditions, and transfer of the parent meter measurement result to the test meter, including necessary corrections. The latter may be performed either by an adjustment of the test meter, or by documentation of a correction factor in a calibration certificate. The transfer is part of the calibration at reference conditions.

2.1.45 transfer standard: A standard used as an intermediary to compare standards or measuring instruments [annex B, [1], 6.10].

2.1.46 (cumulative) transfer uncertainty: An estimate characterizing the additional uncertainty of a test meter caused by uncertainties in the transfer process at the given confidence level.

2.1.47 transfer uncertainty of the parent meter: The (individual) uncertainty of the parent meter caused by the difference between:

- a) a single parameter of the reference conditions at which the parent meter was calibrated; and
- b) the same parameter when the parent meter is used in the comparison with the test meter. The term is also used for the uncertainty as accumulated from several of the individual transfer uncertainties of the parent meter.

NOTE – Note that both individual and accumulated transfer uncertainties of the parent meter are systematic uncertainties; they should be characterized either by an uncertainty band, or by an equivalent standard deviation. Also note that the change of condition additionally should be described by a correction factor which is included in the transfer uncertainty of the parent meter.

2.1.48 transfer uncertainty of the test meter: The (individual) uncertainty of response of a test meter caused by changing one parameter of the reference conditions within its tolerance band. The term is also used for the uncertainty as accumulated from several of the individual transfer uncertainties of the test meter.

NOTE – Note that both individual and accumulated transfer uncertainties of test meter are systematic uncertainties; they should be characterized either by an uncertainty band, or by an equivalent standard deviation.

2.1.49 uncertainty at reference conditions: An estimate characterizing the range of relative offsets (uncertainty range) between the measurement result and the true value of the measurand, at the given confidence level, when the power meter is exposed to the reference conditions. The closest approximation to the true value of the measurand is defined by the national working standard, and the uncertainty at reference conditions **includes** the uncertainty of the national working standard.

NOTE – L'incertitude aux conditions de référence comprend toutes les incertitudes dans la chaîne d'étalonnage (incertitudes des radiomètres dans la chaîne et les incertitudes de transfert accumulées), de l'étalon national de travail à l'appareil en essai.

C'est l'incertitude aux conditions de référence qui s'applique lorsque l'appareil en essai est utilisé aux conditions de référence. Elle exclut toutes les incertitudes aléatoires observées par l'utilisateur de l'appareil en essai. Il convient d'éviter le terme «précision» dans ce contexte.

2.1.50 gamme d'incertitudes: Gamme des incertitudes dans laquelle se trouve la valeur réelle du mesurande, à un niveau de confiance donné.

NOTE – Lorsque la répartition des échantillons de mesure est considérée comme étant gaussienne et le niveau de confiance est de 95 %, alors l'étendue de la gamme d'incertitudes est définie par $\pm 2 \times$ l'écart type pour un nombre important de mesures. Lorsque le niveau de confiance est de 99,7 %, alors l'étendue de la gamme d'incertitudes est définie par $\pm 3 \times$ l'écart type pour un nombre important de mesures. Il convient de définir l'incertitude aux conditions de référence et l'incertitude totale du radiomètre sous la forme de gammes d'incertitudes.

2.1.51 étalon de travail: Etalon qui, généralement étalonné par rapport à un étalon de référence, sert pour les étalonnages de routine ou à la vérification des appareils de mesure [annexe B, [1], 6.09].

2.1.52 erreur sur le zéro: Résultat de mesure d'un radiomètre sans éclaircissement du port d'entrée optique.

2.2 Base mathématique

Cette norme distingue trois types d'écarts entre le résultat d'un mesurage réel et la valeur «conventionnellement vraie» d'un mesurande: les écarts connus, qui peuvent être corrigés, les incertitudes systématiques et les incertitudes aléatoires. Chacun d'eux peut être provoqué par une grandeur d'influence ou être accumulé à partir de contributions provoquées par plusieurs grandeurs d'influence. Le présent article propose un moyen normalisé pour évaluer, accumuler et rapporter ces contributions.

2.2.1 Ecarts et facteurs de correction

Un écart, Δr , quantifie la différence relative entre la réponse réelle d'un radiomètre, $r_{\text{réelle}}$, et la réponse d'un radiomètre de référence, r_{ref} (voir figure 1). Si les deux réponses sont approximativement égales, alors l'écart peut aussi être exprimé par la différence relative des niveaux de flux énergétique:

$$\Delta r = \frac{r_{\text{réel}} - r_{\text{ref}}}{r_{\text{ref}}} \approx \frac{P_{\text{réel}} - P_{\text{ref}}}{P_{\text{ref}}} \quad [\text{unités relatives}] \quad (1)$$

Il est possible d'enregistrer à la place de l'écart un **facteur de correction**, par lequel le résultat de mesure du radiomètre doit être multiplié afin d'obtenir le résultat de mesure «vrai». Le facteur de correction peut être calculé à l'aide de la condition d'influence, par exemple la température, et la dépendance du radiomètre à une modification de cette condition:

$$CF = 1 - (\text{modification de la condition d'influence} \times \text{sensibilité du radiomètre}) \quad (2)$$

NOTE – The uncertainty at reference conditions includes all uncertainties in the calibration chain (uncertainties of the power meters in the chain and cumulative transfer uncertainties), from the national working standard to the test meter.

The uncertainty at reference conditions is the uncertainty applicable when the test meter is operated at the reference conditions. It excludes all random uncertainties observed by the user of the test meter. The term "accuracy" should be avoided in this context.

2.1.50 uncertainty range: The range of uncertainties within which the true value of the measurand lies at the given confidence level.

NOTE – When the distribution of measurement samples is assumed to be gaussian, and the confidence level is 95 %, then the width of the uncertainty range is defined by $\pm 2 \times$ the standard deviation for a large number of measurements. When the confidence level is 99,7 %, then the width of the uncertainty range is defined by $\pm 3 \times$ the standard deviation for a large number of measurements. The uncertainty at reference conditions and the total uncertainty of a power meter should be specified in the form of uncertainty ranges.

2.1.51 working standard: A standard which, usually calibrated against a reference standard, is used routinely to calibrate or check measuring instruments [annex B, [1], 6.09].

2.1.52 zero error: The measurement result of a power meter without irradiation of the optical input port.

2.2 Mathematical basis

This standard distinguishes three types of deviations between the actual measurement result and the "true" measurement quantity: known deviations, which can be corrected; systematic uncertainties; and random uncertainties. Each of these may be caused by an individual influencing quantity, or may be accumulated from contributions caused by a number of influencing quantities. This subclause suggests a standardized form of accessing, accumulating, and reporting these contributions.

2.2.1 Deviations and correction factors

A **deviation**, Δr , quantifies the relative difference between the actual response of a power meter, r_{actual} , and the response of a reference power meter, r_{ref} (see figure 1). If the two responses are approximately equal, then the deviation can also be expressed by the relative difference of power levels:

$$\Delta r = \frac{r_{\text{actual}} - r_{\text{ref}}}{r_{\text{ref}}} \approx \frac{P_{\text{actual}} - P_{\text{ref}}}{P_{\text{ref}}} \quad [\text{relative units}] \quad (1)$$

Instead of the deviation, alternatively a **correction factor** can be recorded, by which the power meter measurement result is to be multiplied in order to obtain the "true" measurement result. The correction factor can be calculated with the help of the influencing condition, for example the temperature, and the power meter dependence on a change of this condition:

$$CF = 1 - (\text{change of influencing condition} \times \text{power meter sensitivity}) \quad (2)$$

L'écart, Δr , et le facteur de correction, CF , ont les relations suivantes:

$$CF = \frac{1}{1 + \Delta r} \approx 1 - \Delta r \quad (3)$$

2.2.2 Incertitudes systématiques

Une incertitude systématique quantifie un décalage inconnu entre un résultat de mesure et la valeur «vraie» du mesurande. Il convient d'estimer et de décrire son amplitude par la largeur d'une bande d'incertitude, comme le montre la figure 1. On suppose que la répartition des résultats de mesure est uniforme (rectangulaire). Cette norme propose de définir la demi-largeur, U_s («s» pour systématique), de la bande d'incertitude relative de la réponse du radiomètre.

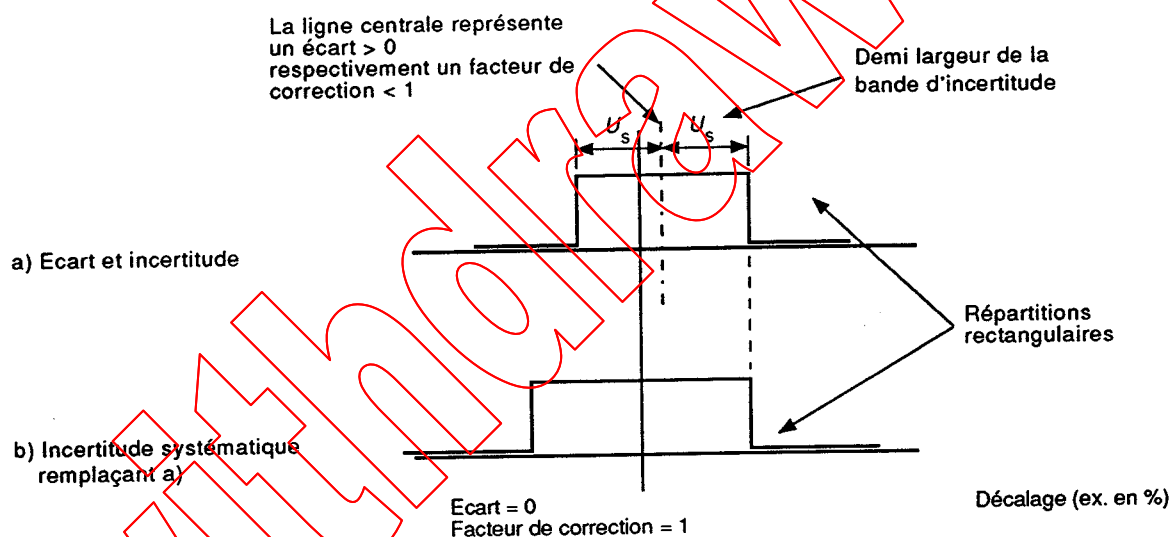


Figure 1 – Incertitude systématique, écart et facteur de correction, et comment remplacer ce dernier par une incertitude convenablement plus large

La bande d'incertitude de la réponse, $2 \times U_s$, peut être calculée en multipliant la bande de tolérance de la condition d'influence, par exemple de la température, par la dépendance du radiomètre à cette condition. Il convient de déterminer les dépendances du radiomètre à partir du pire cas des résultats de mesure. Les incertitudes aléatoires dans ces mesures doivent être maintenues aussi faibles que possible, par exemple par moyennage.

Comme le montre la figure 1, il est possible d'omettre l'écart, et le facteur de correction en spécifiant une bande d'incertitude plus large et symétrique.

La bande d'incertitude peut aussi être exprimée par un écart type équivalent, σ_s .

The deviation, Δr , and the correction factor, CF , are related by:

$$CF = \frac{1}{1 + \Delta r} \approx 1 - \Delta r \quad (3)$$

2.2.2 Systematic uncertainties

A systematic uncertainty quantifies an unknown offset between a measurement result and the "true" value of the measurand. Its magnitude should be estimated and described by the width of an uncertainty band, as illustrated in figure 1. A uniform (rectangular) distribution of measurement results is assumed. This standard suggests the specification of the half-width, U_s ("s" for systematic), of the band of relative uncertainties of the power meter response.

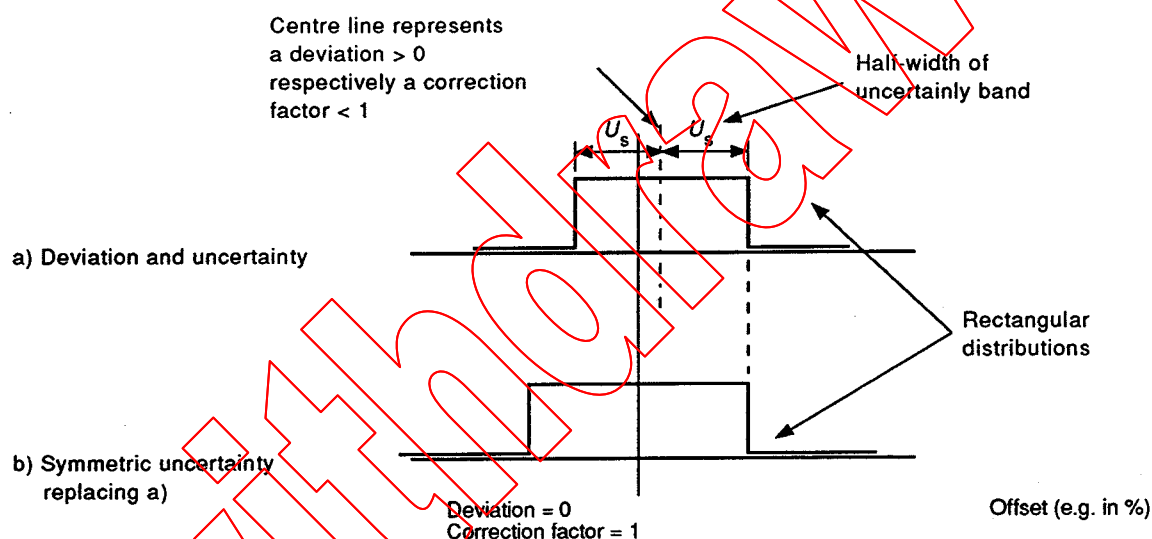


Figure 1 – Systematic uncertainty, deviation and correction factor, and how to replace the latter by an appropriately larger uncertainty

The response uncertainty band, $2 \times U_s$, can be calculated by multiplying the tolerance band of the influencing condition, for example of the temperature, with the power meter dependence on this condition. The power meter dependences should be determined from the worst case measurement results. Random uncertainties in these measurements are to be kept as small as possible, for example by averaging.

As indicated in figure 1, it is possible to omit the deviation, respectively the correction factor, by specifying a wider and symmetrical uncertainty band.

The uncertainty band can alternatively be expressed by an equivalent standard deviation σ_s .

Bande d'incertitude (demi-largeur, relative):

$$U_s = \text{demi-largeur de la bande de tolérance de la condition} \times \text{sensibilité relative de l'appareil} \quad (4)$$

Incertitude systématique (calculée, relative), d'après l'annexe B, [2]:

$$\sigma_s = U_s / 3^{1/2} \quad [\text{écart type}] \quad (5)$$

Une détermination des valeurs ci-dessus par **estimation** est aussi acceptable, si les résultats de mesure les moins bons correspondent à la bande d'incertitude. Dans ce cas, les estimations doivent être basées soit sur des relations physiques connues, soit sur un nombre suffisamment important de mesures caractéristiques du même type de radiomètre.

2.2.3 Incertitudes aléatoires

Il convient de caractériser les résultats de mesure changeant de manière aléatoire par l'incertitude aléatoire. Une répartition normale (gaussienne) des échantillons de mesure est supposée. Il est recommandé de maintenir ces incertitudes aussi faibles que possible en calculant la moyenne d'un échantillonnage de mesures. Pour des raisons économiques, il est conseillé d'évaluer chaque incertitude aléatoire en deux étapes.

Une première étape détermine l'écart type expérimental, s_r («r» pour aléatoire), d'une situation de mesure typique d'un nombre important de mesures, m . Il est à noter qu'il convient de rapporter toutes les incertitudes aléatoires comme des incertitudes **relatives** de la réponse du radiomètre. On considère que le centre de répartition est proche de zéro.

L'**écart type expérimental (relatif)**, qui caractérise une incertitude aléatoire de la réponse est approximativement:

$$S_r = \frac{1}{\bar{y}} \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2} \quad [\text{unités relatives}] \quad (6)$$

où

$\bar{y}$ est la valeur moyenne du flux énergétique

y_i est l'échantillon de mesure d'une série de mesures du flux énergétique

m est le nombre de mesures caractéristiques dans la détermination de l'écart type; on considère que m est important, par exemple > 30 .

Une seconde étape détermine l'incertitude réelle, σ_r , du cas individuel d'un nombre de mesures moins important, n . Le résultat peut être considéré comme un écart type représentatif.

$$\sigma_r = s_r / n^{1/2} \quad (7)$$

σ_r , exprime l'incertitude de la **moyenne**, qui suppose le moyennage des n échantillons de mesure, σ_r , peut être multiplié par un facteur de sécurité, si le nombre de mesures caractéristiques de la première étape est très inférieur à 30. Prière de se reporter aux manuels sur les statistiques pour de plus amples informations. Il faut noter que les deux étapes peuvent être rassemblées en une seule, en effectuant $m = n$.

Uncertainty band (half-width, relative):

$$U_s = \text{half-width of condition tolerance band} \times \text{meter relative sensitivity} \quad (4)$$

Systematic uncertainty (calculated, relative), from annex B, [2]:

$$\sigma_s = U_s / 3^{1/2} \quad [\text{standard deviation}] \quad (5)$$

Determining the above numbers by **estimation** is also acceptable, if worst case measurement results are known to comply with the reported numbers. In that case, the estimations shall be based either on known physical relations, or on a sufficiently large number of characterizing measurements of the same type of power meter.

2.2.3 Random uncertainties

Randomly changing measurement results should be characterized by random uncertainty. A normal (gaussian) distribution of measurement samples is assumed. It is recommended that these uncertainties be kept as small as possible by averaging a number of measurement samples. For economic reasons, it is suggested that each random uncertainty be evaluated in two steps.

As a first step, determine the experimental standard deviation, s_r ("r" for random), of a typical measurement situation from a large number of measurements, m . Note that all random uncertainties should be reported as **relative** uncertainties of the power meter response. The centre of the distribution is assumed to coincide with zero.

The **(relative) experimental standard deviation**, characterizing a random uncertainty of the response, is approximately:

$$S_r = \frac{1}{\bar{y}} \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2} \quad [\text{relative units}] \quad (6)$$

where

$\bar{y}$ is the mean value of the radiant power

y_i is the measurement sample of a series of measurements of the radiant power

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

As a second step, determine the **actual** uncertainty, σ_r , of the individual case from a smaller number of measurements, n . The result can be considered as a representative standard deviation.

$$\sigma_r = s_r / n^{1/2} \quad (7)$$

σ_r expresses the uncertainty of the **mean**, which assumes averaging of the n measurement samples. σ_r may have to be multiplied by a safety factor, if the number of characterizing measurements in the first step is substantially smaller than 30. Please refer to the textbooks on statistics for further details. Note that the two steps may be assembled as a single step, by making $m = n$.

2.2.4 Cumul d'incertitudes

«L'incertitude cumulée» permet de rassembler plusieurs incertitudes en un seul chiffre. L'incertitude cumulée est basée sur l'indépendance statistique des incertitudes individuelles; ceci donne une valeur efficace quadratique moyenne de leurs écarts-type. En accord avec la référence [2], les formules suivantes doivent déterminer le facteur de correction et l'incertitude:

Facteur de correction cumulé:

$$CF^* = \prod_{i=1}^n CF_i \quad (\Pi = \text{produit}) \quad (8)$$

Incertitude accumulée:

$$\sigma_s^* = \left[\sum_{i=1}^n \sigma_{s,i}^2 + \sum_{i=1}^m \sigma_{r,i}^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

où

i est l'indice d'une contribution individuelle

CF est le facteur de correction individuel, un de n (formule (2))

$\sigma_{s,i}$ est l'écart-type (calculé) qui quantifie une incertitude systématique individuelle (voir formule (5))

$\sigma_{r,i}$ est l'écart-type qui quantifie une incertitude aléatoire individuelle (voir formule (7))

n est le nombre d'incertitudes systématiques ou nombre de facteurs de correction individuels

m est le nombre d'incertitudes aléatoires individuelles

Il faut noter que la première partie de l'équation (9) rassemble toutes les incertitudes systématiques, et que la seconde partie rassemble toutes les incertitudes aléatoires. Il est acceptable de négliger les contributions d'incertitude à cette équation qui sont inférieures à 1/10 de la contribution la plus importante, car le fait de les élever au carré modifiera leur signification à 1/100 de la contribution la plus importante.

Dans le cas d'un traitement supplémentaire, le facteur de correction cumulé CF^* et l'écart type cumulé, σ_s^* peut être réintégré dans les formules (8) et (9). En dépit de son origine partiellement aléatoire, il est recommandé de considérer σ_s^* comme décrivant une incertitude systématique.

2.2.5 Rapport

Dans les rapports d'étalonnage et les feuilles de résultats, les incertitudes cumulées doivent être rapportées sous la forme de gammes d'incertitudes avec le niveau de confiance applicable, soit 95 % ou 99,7 %. Un facteur de correction ou un écart (voir 2.2.1) doit être défini si nécessaire.

Facteur de correction: $CF = CF^*$ (10)

Ecart: $\Delta r = 1 - CF^*$ (11)

Gamme d'incertitudes: $UR = \pm CM \cdot \sigma_s^*$ (12)

où

CM est le multiplicateur de confiance

= 2 pour un niveau de confiance estimé de 95 % (défaut)

= 3 pour un niveau de confiance estimé de 99,7 % (si précisé de manière spécifique)