

**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 vieillissement)	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 Vieillessement	82
4.2.1.2 Dépendance à la température	82

Clause	Page
3.2.1.4	Dependence on beam geometry (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to beam geometry) 65
3.2.1.5	Dependence on multiple reflections (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to multiple reflections) 65
3.2.1.6	Wavelength dependence (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to wavelength dependence) 65
3.2.1.7	Dependence on spectral bandwidth (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to dependence on spectral bandwidth) 67
3.2.1.8	Other dependences (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to other dependences) 67
3.2.1.9	Dependence on state of polarization 67
3.2.2	Transfer-related uncertainties caused by the test meter 67
3.2.2.1	Temperature dependence (transfer uncertainty of the test meter due to temperature dependence) 69
3.2.2.2	Dependence on beam geometry (transfer uncertainty of the test meter due to beam geometry) 69
3.2.2.3	Dependence on multiple reflections (transfer uncertainty of the test meter due to multiple reflections) 69
3.2.2.4	Wavelength dependence (transfer uncertainty of the test meter due to wavelength dependence) 71
3.2.2.5	Dependence on spectral bandwidth (transfer uncertainty of the test meter due to spectral bandwidth) 71
3.2.2.6	Dependence on state of polarization (transfer uncertainty of the test meter due to dependence on the state of polarization) 71
3.2.2.7	Other dependences (transfer uncertainties of the test meter due to other dependences) 71
3.2.3	Corrections and systematic uncertainties due to extension 71
3.2.4	Other corrections and systematic uncertainties 73
3.2.5	Random uncertainty of comparison 73
3.2.6	Other random uncertainties 75
3.3	Documentation 75
3.3.1	Specifications 75
3.3.2	Traceability information 77
SECTION 4: CALIBRATION FOR OPERATING CONDITIONS	
4.1	Determining the total uncertainty 77
4.2	Determining the operational uncertainty 79
4.2.1	Operational dependences and uncertainties 81
4.2.1.1	Ageing 83
4.2.1.2	Temperature dependence 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 Formulaire qui suivent l'étalonnage aux conditions de référence de la section 3	96
9 Formulaire suivant l'étalonnage aux conditions de fonctionnement de la section 4	96
 Annexes	
A Formulaire 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):

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

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

$P_o = \sum P_i$ = 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 éclairage 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.

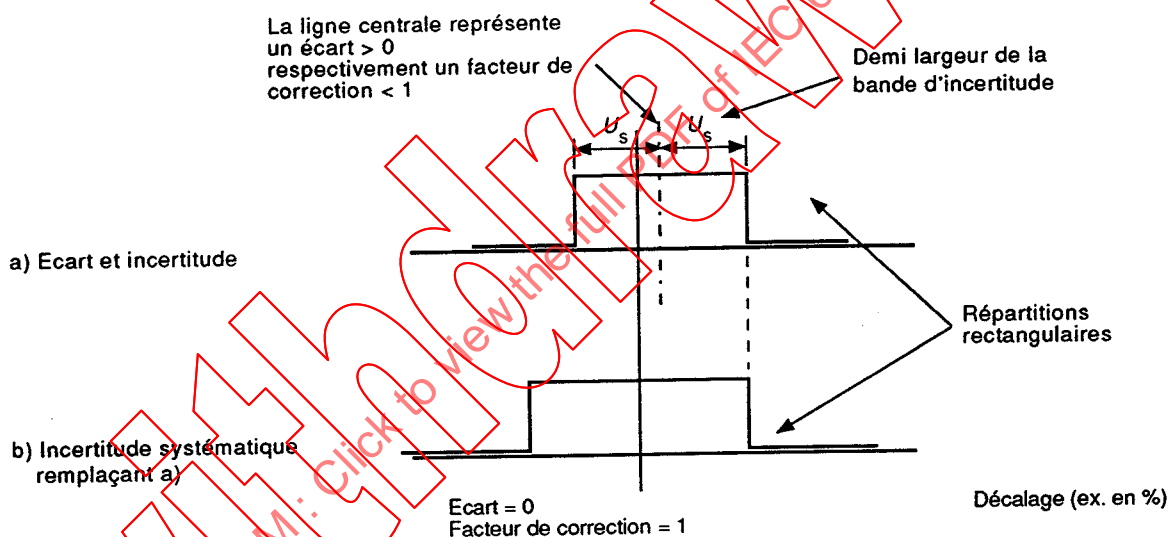


Figure 1 - Incertitude systématique, écart et facteur de correction, et comment remplacer ce dernier par une incertitude convenablement plus large

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.

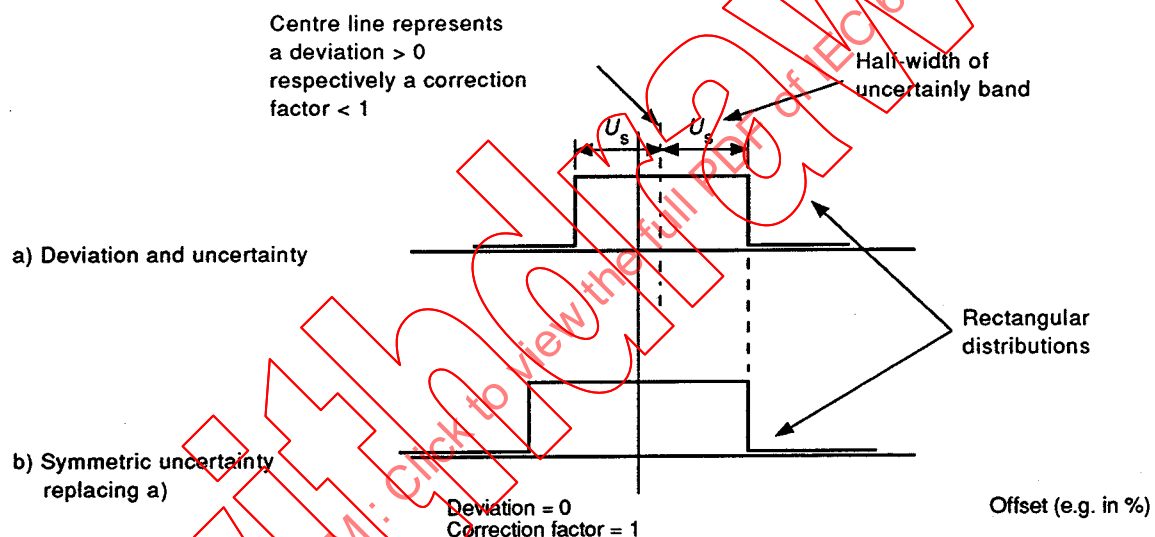


Figure 1 – Systematic uncertainty, deviation and correction factor, and how to replace the latter by an appropriately larger uncertainty

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:

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

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)

2.2.4 Accumulation of uncertainties

The "cumulative uncertainty" is used to collect a number of individual uncertainties into a single number. The cumulative uncertainty is based on statistical independence of the individual uncertainties; this leads to a root sum square of their standard deviations. In compliance with annex B, [2], the following formulae shall determine the correction factor and the uncertainty:

Cumulative correction factor:

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

Cumulative uncertainty:

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

where

i is the current number of individual contribution

CF is the individual correction factor, one of n (formula (2))

$\sigma_{s,i}$ is the "calculated" standard deviation quantifying an individual systematic uncertainty (see formula (5))

$\sigma_{r,i}$ is the standard deviation quantifying an individual random uncertainty (see formula (7))

n is the number of individual systematic uncertainties, respectively number of individual correction factors

m is the number of individual random uncertainties

Note that the first part of equation (9) collects all systematic uncertainties, and that the second part collects all random uncertainties. It is acceptable to neglect uncertainty contributions to this equation which are smaller than 1/10 of the largest contribution, because squaring them will change their significance to 1/100 of the largest contribution.

For further processing, the cumulative correction factor CF^* , and the cumulative standard deviation, σ_s^* , can be re-inserted into the formulae (8) and (9). Despite its partially random origin, σ_s^* should be considered as describing a systematic uncertainty.

2.2.5 Reporting

In calibration reports and technical data sheets, cumulative uncertainties shall be reported in the form of uncertainty ranges with the applicable confidence level, either 95 % or 99,7 %. A correction factor or a deviation (see 2.2.1) shall be specified if necessary.

$$\text{Correction factor:} \quad CF = CF^* \quad (10)$$

$$\text{Deviation:} \quad \Delta r = 1 - CF^* \quad (11)$$

$$\text{Uncertainty range:} \quad UR = \pm CM \cdot \sigma_s^* \quad (12)$$

where

CM is the confidence multiplier

= 2 for an estimated confidence level of 95 % (default)

= 3 for an estimated confidence level of 99,7 % (if specifically stated)

2.3 Conseils d'ordre général pour des mesures et des étalonnages précis

2.3.1 Organisation

Il convient de réaliser les étalonnages avec un équipement séparé des autres fonctions de l'organisation. Il est recommandé que cette séparation comprenne le local du laboratoire et l'équipement de mesure.

Il convient que les conditions d'environnement et les performances de l'appareillage de mesure soient proportionnées à l'incertitude requise pour l'étalonnage.

Tous les étalons utilisés dans l'étalonnage doivent être étalonnés conformément à un programme détaillé montrant leur traçabilité avec les laboratoires primaires nationaux ou des laboratoires agréés. Une procédure d'appel est recommandée pour tous les étalons de travail et les autres appareils de mesure nécessitant un ré-étalonnage régulier. Il est conseillé de conserver plus d'un étalon à chaque niveau de la hiérarchie, de telle sorte que les qualités de fonctionnement de l'étalon puissent être vérifiées par comparaison au même niveau.

Il doit exister une procédure de mesure détaillée pour chaque type d'étalonnage effectué, donnant des instructions de fonctionnement étape par étape et l'appareillage à utiliser. Il est recommandé de joindre des feuilles de résultats pro forma, des bilans d'incertitudes et des certificats d'étalonnage.

Il convient que le laboratoire d'étalonnage mette en service un système de qualité approprié à la gamme des mesures qu'il effectue (série ISO 9000). Il est recommandé de procéder à un examen des mesures, des calculs intermédiaires et des certificats de préparation et d'étalonnage intermédiaires.

2.3.2 Méthodes d'étalonnage et procédure

Les radiomètres pour sources fibrées sont en général étalonnés par comparaison avec un étalon de plus grande précision (l'appareil père). Pour ce faire, les deux appareils sont exposés à une source d'éclairement qui émet la ou les longueurs d'ondes de référence (voir 3.1). La largeur spectrale admissible dépend de la réponse spectrale du radiomètre; plus forte est sa dépendance spectrale, plus étroite est la largeur spectrale admissible. Les largeurs habituelles sont < 20 nm, ce qui exclut la possibilité d'étalonner avec des DEL de plus grande largeur spectrale. Par conséquent, on utilise soit des diodes laser soit des combinaisons de sources «blanches» et de filtres de largeur spectrale étroite (par exemple monochromateurs) pour l'étalonnage des radiomètres optiques.

2.3 General advice for accurate measurements and calibrations

2.3.1 Organization

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

The environmental conditions and the performance of the measuring equipment should be commensurate with the uncertainty that is required for calibration.

All standards used in the calibration process shall be calibrated according to a documented programme with traceability to national standards laboratories or to accredited laboratories. There should be a call-up procedure for all working standards and other measurement equipment requiring regular recalibration. It is advisable to maintain more than one standard on each hierarchical level, so that the performance of standard can be verified by comparisons on the same level.

There shall be a documented measurement procedure for each type of calibration performed, giving step-by-step operating instructions and equipment to be used. There should be pro-forma result sheets, uncertainty budgets, and calibration certificates.

The calibration laboratory should operate a quality system appropriate to the range of measurements it performs (ISO 9000 series). There should be an independent scrutiny of measurement results, intermediary calculations and preparation of calibration certificates.

2.3.2 Calibration methods and procedure

Fibre optic power meters are usually calibrated by comparing them with a higher precision standard (the parent meter). To do this, both meters are exposed to a radiation source which emits the reference wavelength(s) (see 3.1). The allowable spectral bandwidth depends on the spectral responsivity of the test meter; the stronger its wavelength dependence, the narrower the spectral bandwidth. Usual bandwidths are < 20 nm, which excludes the possibility of calibrating with wider bandwidth LEDs. Therefore, either laser diodes or combinations of "white" sources and narrow bandwidth filters (for example monochromators) are used typically in optical power meter calibrations.

On distingue, selon le type de source et de géométrie de faisceau d'excitation, quatre méthodes fréquentes d'étalonnage:

Tableau 1 – Méthodes d'étalonnage typiques et niveaux de flux énergétique correspondants

Source de radiation	Etalonnage à faisceau en espace libre	Etalonnage à faisceau issu d'une fibre
«Blanche» avec filtre	$P \approx 10 \mu\text{W}$	$P \approx 10 \text{ nW}$ (MM), 2 nW (SM)
Diode laser	$P \approx 10 \mu\text{W}$ à 1 mW	$P \approx 10 \mu\text{W}$ à 1 mW (SM et MM)
MM: fibre multimode (typiquement fibre à gradient d'indice) SM: fibre unimodale		

Les faisceaux se propageant en espace libre sont le plus souvent utilisés pour étalonner des détecteurs à grande surface, alors que les faisceaux fibrés sont en général utilisés pour étalonner des détecteurs de petite surface avec des interfaces connectées.

De plus, on peut distinguer la méthode de mesure **séquentielle** et la méthode **parallèle**. Lorsque l'appareil père et l'appareil en essai sont exposés séquentiellement à la source, il est recommandé que le flux énergétique soit maintenu aussi constant que possible, par exemple par une stabilisation appropriée. Dans le cas de l'étalonnage de type parallèle, on utilise un répartiteur de faisceau pour générer deux faisceaux qui excitent simultanément l'appareil père et l'appareil en essai. Dans ce cas, il convient que le coefficient de répartition du répartiteur soit déterminé de la manière la plus précise possible et sa stabilité étudiée.

A titre d'exemple, la figure 2 présente un montage pour un étalonnage séquentiel «utilisant le faisceau issu d'une fibre». Un dispositif d'injection, pour suppression des modes de gaines et création d'une excitation modale appropriée est compris dans le montage (voir article 3.1.1).

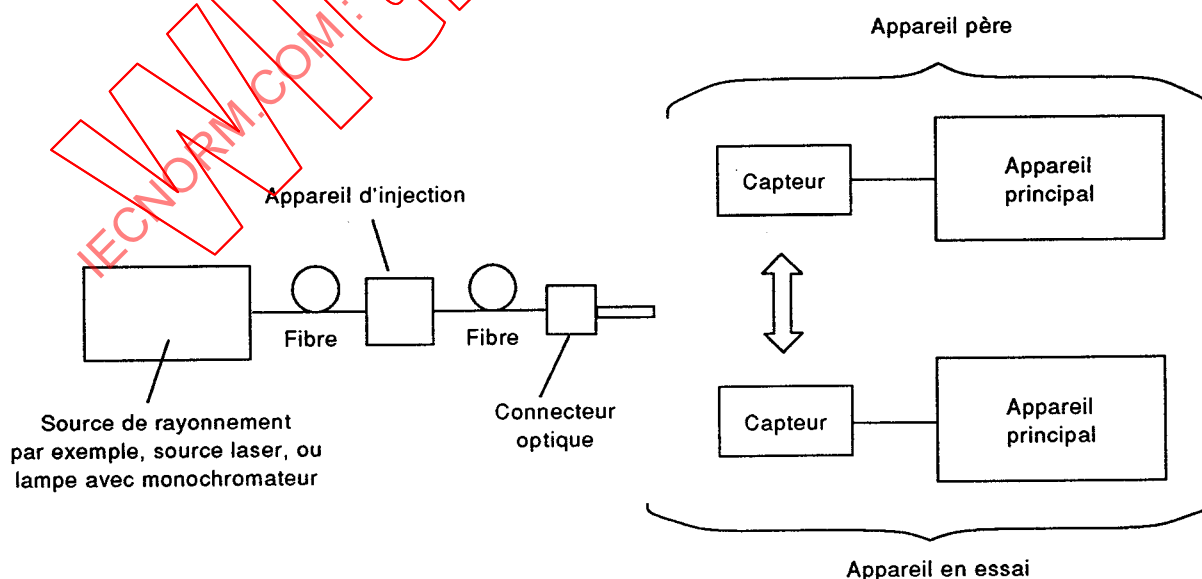


Figure 2 – Montage pour un étalonnage séquentiel, source fibrée

Depending on the type of source and the exciting beam geometry, four most frequent calibration methods can be distinguished:

Table 1 – Typical calibration methods and correspondent power levels

Radiation source	Open beam calibration	Fibre beam calibration
"White" with filter	$P \approx 10 \mu\text{W}$	$P \approx 10 \text{ nW}$ (MM), 2 nW (SM)
Laser diode	$P \approx 10 \mu\text{W}$ to 1 mW	$P \approx 10 \mu\text{W}$ to 1 mW (SM and MM)
MM: multimode fibre (usually graded-index fibre) SM: single-mode fibre		

Open beams are most often used for calibrating large area detectors, whereas fibre beams are more often used to calibrate small area detectors with connectorized interfaces.

In addition, the **sequential** and the **parallel** measurement method can be distinguished. When the parent meter and the test meter are sequentially exposed to the source, then the radiated power should be kept as constant as possible, for example by appropriate stabilization. For the parallel type calibration, a beam splitter is used to generate two beams which excite both the parent meter and the test meter simultaneously. In that case, the beam splitter splitting ratio should be determined as accurately as possible, and its stability should be investigated.

As an example, a measurement setup for sequential, fibre based calibration is illustrated in figure 2. A launching device, for removal of the cladding modes and creation of an appropriate modal excitation, is included in the setup (see 3.1.1).

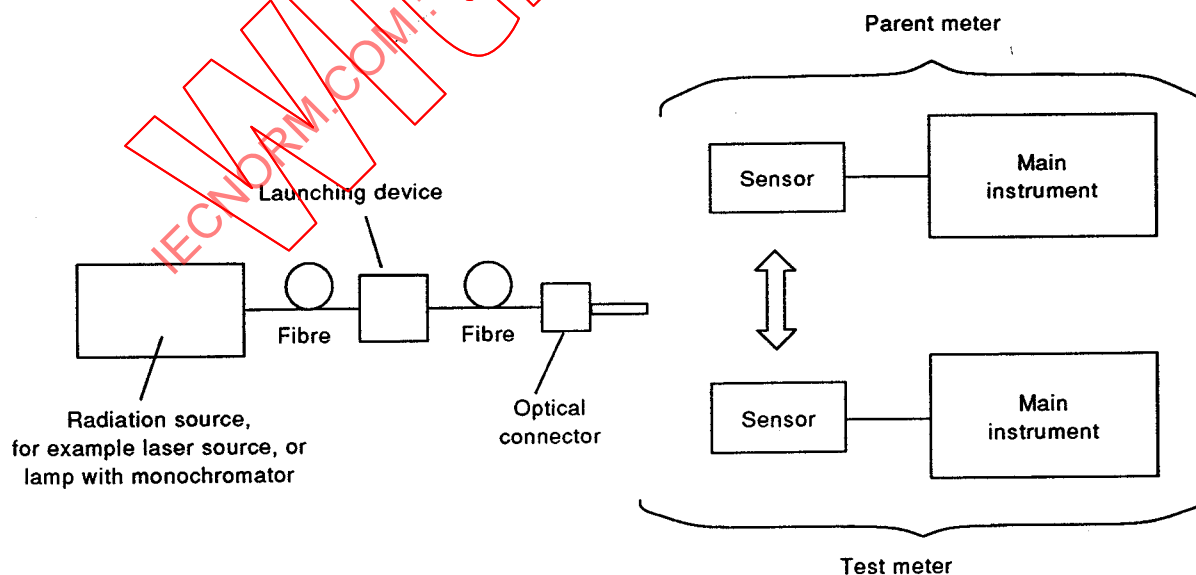


Figure 2 – Measurement setup for sequential, fibre based calibration

En résumé, il est recommandé d'effectuer l'étalonnage de la manière suivante:

- 1) établir les conditions de référence appropriées (voir 3.1.1);
- 2) transfert de l'appareil père à l'appareil en essai (voir 3.1.2);
- 3) calculer l'incertitude de l'appareil père aux conditions de référence (voir 3.1.3), après évaluation de l'incertitude de transfert (accumulée) (voir 3.2);
- 4) calculer, si nécessaire, l'incertitude totale de l'appareil en essai (voir 4.1).

2.3.3 *Conseils pour les mesures et les étalonnages*

Le présent paragraphe donne des conseils d'ordre général pour tous les étalonnages et mesures des radiomètres optiques et pour sources fibrées. Les étapes individuelles de l'étalonnage aux conditions de référence et de l'étalonnage aux conditions de fonctionnement sont décrites aux sections 3 et 4 de cette norme.

La température doit être celle définie dans les conditions de référence. Il est conseillé d'effectuer un contrôle de température. Le contrôle de l'humidité peut être nécessaire si on utilise des capteurs optiques sensibles à l'humidité, ou s'il y a possibilité de condensation sur les composants. Un changement de l'humidité du laboratoire peut modifier l'absorption de l'air et par conséquent modifier le niveau de puissance rayonnante. Cet effet est particulièrement fort dans le cas d'étalonnages à faisceau en espace libre, de type séquentiel, à des longueurs d'onde autour de 1360 nm.

Dans le cas d'étalonnages de type parallèle, quand les chemins optiques menant vers les deux radiomètres sont approximativement identiques, les résultats de mesure de l'appareil père et de l'appareil en essai changeront à peu près au même moment, avec un effet négligeable sur le résultat de l'étalonnage.

Il convient de maintenir le laboratoire propre. Il est recommandé que les connecteurs et les ports d'entrée soient toujours nettoyés avant la mesure. Il convient de fixer toutes les fibres au banc d'essai et de les bouger aussi peu que possible pendant les mesures. Il est recommandé de déplacer les capteurs vers la fibre plutôt que la fibre vers le capteur.

Il est recommandé que la source optique utilisée pour l'excitation du radiomètre soit caractérisée pour la longueur d'onde centrale et la largeur spectrale. Il convient que la largeur spectrale soit aussi étroite que possible afin d'éviter l'intégration sur une gamme étendue de longueurs d'onde. Il est conseillé de mettre en oeuvre des moyens pour assurer la stabilité de la source, par exemple un contrôle de puissance rayonnante indépendant.

Les diodes laser sont sensibles aux réflexions de retour. Pour améliorer la stabilité, il est conseillé d'utiliser un atténuateur optique ou un isolateur optique entre la diode laser et l'appareil en essai. En raison de leurs largeurs spectrales réduites, la combinaison de diodes laser et de fibres multimodes peut aussi générer des «speckles» sur le plan de référence optique, ce qui a pour résultat une augmentation de l'incertitude de la mesure.

Les connecteurs de fibre et les adaptateurs peuvent produire des erreurs dans le résultat de mesure, en raison des réflexions multiples entre le port d'entrée optique (ou le détecteur) et la combinaison connecteur – adaptateur (comme partie de la source). Par conséquent, les connecteurs et les adaptateurs à faible réflectivité sont recommandés pour l'étalonnage. Autrement, il faut prendre en compte un écart et une incertitude plus importante.

In summary, a calibration should be carried out in the following way:

- 1) establish the appropriate reference conditions (see 3.1.1);
- 2) transfer from the parent meter to the test meter (see 3.1.2);
- 3) calculate the test meter uncertainty at reference conditions (see 3.1.3), after evaluating the (cumulative) transfer uncertainty (see 3.2);
- 4) if necessary, calculate the test meter total uncertainty (see 4.1).

2.3.3 *Advice for measurements and calibrations*

This subclause gives general advice for all measurements and calibrations of optical and fibre optic power meters. The individual steps for the calibration at reference conditions and of the calibration for operating conditions are described in sections 3 and 4 of this standard.

The temperature should be the one stated in the reference conditions. Temperature monitoring is suggested. Humidity control may be necessary if humidity sensitive optical sensors are used, or there is the possibility of condensation on the components. A change of humidity in the laboratory may change the absorption of air and thereby change the power level. This effect is particularly strong in sequential type, open beam calibrations at wavelengths around 1 360 nm.

In parallel type calibrations with approximately the same path lengths, the measurement results of both the parent meter and the test meter will change at approximately the same time, with negligible effect on the calibration result.

The laboratory should be kept clean. Connectors and optical input ports should always be cleaned before measurement. All fibres should be fixed to the work bench and moved as little as possible during the measurements. Sensors should be moved to the fibre rather than the fibre to the sensor.

The optical source which is used for the excitation of the power meter should be characterized for centre wavelength and spectral bandwidth. The spectral bandwidth should be narrow enough to avoid averaging over a wide range of wavelengths. Means to ensure the stability of the source, for example with the help of independent power monitoring, may be advisable.

Laser diodes are sensitive to back reflections. To improve the stability, it is advisable to use an optical attenuator or an optical isolator between the laser diode and the test meter. Because of their narrow spectral widths, the combination of laser diode and multimode fibre is also capable of producing speckle patterns on the optical reference plane, resulting in an increased measurement uncertainty.

Fibre connectors and connector adapters are likely to produce errors in the measurement result, because of multiple reflections between the optical input port (or detector) and the connector-adapter combination (as part of the source). Therefore, connectors and adapters with low reflectivity are recommended for the calibration. Otherwise, a deviation and an increased uncertainty may have to be taken into account.

Il est conseillé d'utiliser des appareils pères avec des diamètres de détecteur ≥ 3 mm, car ils peuvent être éclairés avec un faisceau collimaté et sont moins sujets à la contamination (poussière ou impuretés). Les réflexions engendrées par la surface de l'appareil père doivent être aussi réduites que possible. Si la source émet un faisceau divergent, alors il est conseillé d'utiliser un appareil père à sphère d'Ulbricht. Il est aussi possible d'utiliser des appareils à détecteurs «plats» et une correction mathématique, basée sur la multiplication de la répartition du champ lointain par la dépendance angulaire du détecteur de l'appareil père et l'intégration sur la gamme des angles de champ lointain.

Il est recommandé d'envisager un contrôle de température des détecteurs pour les étalonnages extrêmement précis car certains détecteurs présentent d'importantes dépendances aux longueurs d'onde.

Les conditions de référence seront normalement définies par le fabricant du radiomètre ou par le client. Dans ce dernier cas, il est recommandé que le client les sélectionne de telle sorte qu'elle soient proches des conditions de fonctionnement spécifiques.

Avant d'effectuer l'étalonnage, on aura connecté tous les appareils depuis un temps suffisant à leur stabilisation et l'appareil sera réglé conformément au manuel, par exemple mise à zéro, correction de longueur d'onde et réglage de la gamme de flux énergétiques.

Pour obtenir de plus amples informations sur les techniques de mesure dans l'étalonnage des radiomètres, se reporter à 3.1.1.

2.3.4 *Recommandations aux clients*

Il est recommandé que le client (l'utilisateur du radiomètre) conserve au moins un radiomètre de référence, qui lui permette de comparer son radiomètre. Ces comparaisons sont particulièrement importantes avant et après que l'appareil est envoyé en ré-étalonnage, car elles permettront à l'utilisateur de déterminer si son échelle a changé ou non, par exemple en raison du transport, lorsque l'appareil revient. Les changements d'échelle dus à l'ajustage seront reportés sur le certificat d'étalonnage.

Une comparaison régulière des facteurs de correction ou des écarts, permettra à l'utilisateur de faire ressortir l'usure excessive et peut-être d'ajuster les intervalles d'étalonnage.

Section 3: Etalonnage aux conditions de référence

3.1 Etalonnage aux conditions de référence

On effectue en général l'étalonnage d'un radiomètre en exposant à la fois l'appareil en essai et un radiomètre étalonné dont l'incertitude est connue (appareil père) à un rayonnement optique et en transférant le résultat de mesure de l'appareil père à l'appareil en essai. Dans cette norme l'étalonnage aux conditions de référence comprend:

- a) le processus de transfert;
- b) l'évaluation de l'incertitude de transfert (cumulée), et
- c) le calcul de l'incertitude aux conditions de référence de l'appareil en essai.

It is advisable to use the parent meters with detector diameters of $3 \geq \text{mm}$, because they can easily be irradiated with a collimated beam, and they are less susceptible to contamination (dirt and dust). The parent meter surface reflections should be as small as possible. If the source emits a divergent beam, then a parent meter with an integrating sphere may be advisable. It is also acceptable to use meters with "flat" detectors and mathematical correction, based on multiplying the emitted far field distribution with the measured angle dependence of the detector of the parent meter, and integrating over the range of far field angles.

Temperature control of the detectors should be considered for highly accurate calibrations, because some detectors exhibit strong wavelength dependences.

The reference conditions will be normally specified by the manufacturer of the power meter or by the customer. In the latter case, the customer should select them so that they closely reflect the specific operating conditions.

Before the calibration is carried out, all instrumentation should have been switched on for enough time to have stabilized, and the instrument state of the meter should be set up according to the instruction manual, for example by zeroing, wavelength correction and setting the power range.

Further advice on the measurement techniques in power meter calibration is given in 3.1.1.

2.3.4 *Recommendations to customers*

It is recommended that the customer (user of the power meter) maintains at least one reference power meter, which allows him to compare his meters for confidence. These comparisons are particularly important before and after the meter is sent for recalibration, because they will allow the user to determine whether or not his scale has changed – for example due to transport – after the meter returns. Scale changes due to adjustment will be reported on the calibration certificate.

A regular comparison of the correction factors, or of the deviations, will allow the user to screen out excessive ageing, and to possibly adjust the recalibration intervals.

Section 3: Calibration at reference conditions

3.1 Calibration at reference conditions

The calibration of a power meter is usually achieved by exposing both the meter under test and a calibrated power meter with known uncertainty (the parent meter) to optical radiation, and by transferring the parent meter measurement result to the test meter. In this standard, the calibration at reference conditions includes:

- a) the process of transfer;
- b) the evaluation of the (cumulative) transfer uncertainty, and
- c) the calculation of the uncertainty at reference conditions of the test meter.

Afin d'établir la traçabilité par rapport à l'étalon national de travail, une chaîne d'étalonnage (voir figure 3) doit être mise en place. Elle commence à l'étalon national de travail ou à l'étalon de travail accrédité. L'étalonnage de chaque radiomètre dans la chaîne d'étalonnage doit être effectué selon les instructions de la présente norme. Le but est de générer le décalage le plus faible possible entre le résultat de mesure de l'appareil en essai et le résultat de mesure de l'étalon national de travail.

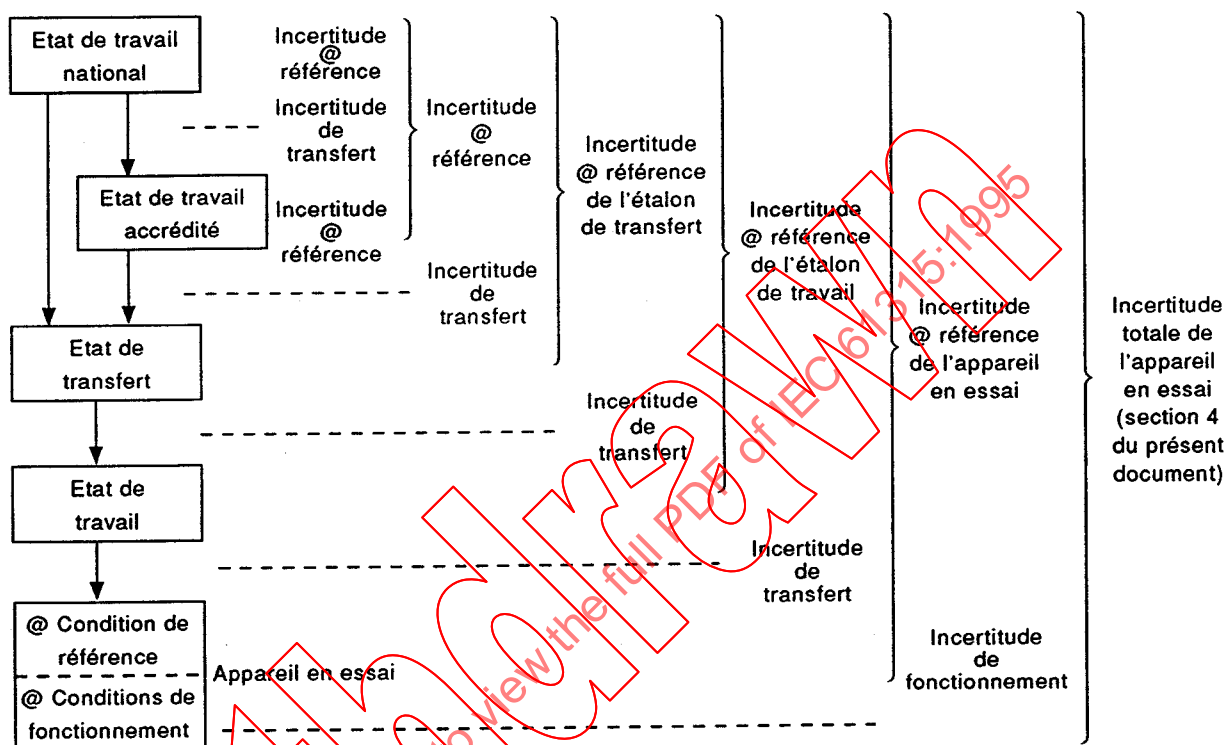


Figure 3 - Exemple de chaîne d'étalonnage et de cumul des incertitudes

Chaque étalonnage fait partie d'un processus récursif, qui débute par l'étalon national de travail ou l'étalon de travail accrédité qui est l'appareil père et l'appareil suivant dans la chaîne étant l'appareil en essai. Il convient que l'incertitude aux conditions de référence de ce dernier soit indiqué dans un document du laboratoire primaire national ou du centre d'étalonnage agréé.

Dans l'étape suivante du processus, l'appareil en essai sert de nouvel appareil père et l'appareil suivant dans la chaîne est le nouvel appareil en essai. Ce processus est répété jusqu'à ce que l'incertitude aux conditions de référence de l'appareil en essai soit déterminée (voir figure 3).

Sur cette base, l'incertitude aux conditions de référence de chaque radiomètre dans la chaîne est calculée en prenant en compte :

- a) l'incertitude aux conditions de référence de son appareil père, et
- b) l'incertitude de transfert (cumulée) qui suit. Ce point est abordé en 3.1.3.

Dans l'article suivant, il n'est question que d'une étape de ce processus, c'est-à-dire l'étalonnage aux conditions de référence d'un radiomètre **individuel** dans la chaîne.

In order to establish traceability to the national working standard, a calibration chain (see figure 3) shall be established, which starts at the national working standard or the accredited working standard. The calibration of each power meter in the calibration chain shall be made following the instructions of this standard. The intention is to generate the smallest possible offset between the measurement result of the test meter and the measurement result of the national working standard.

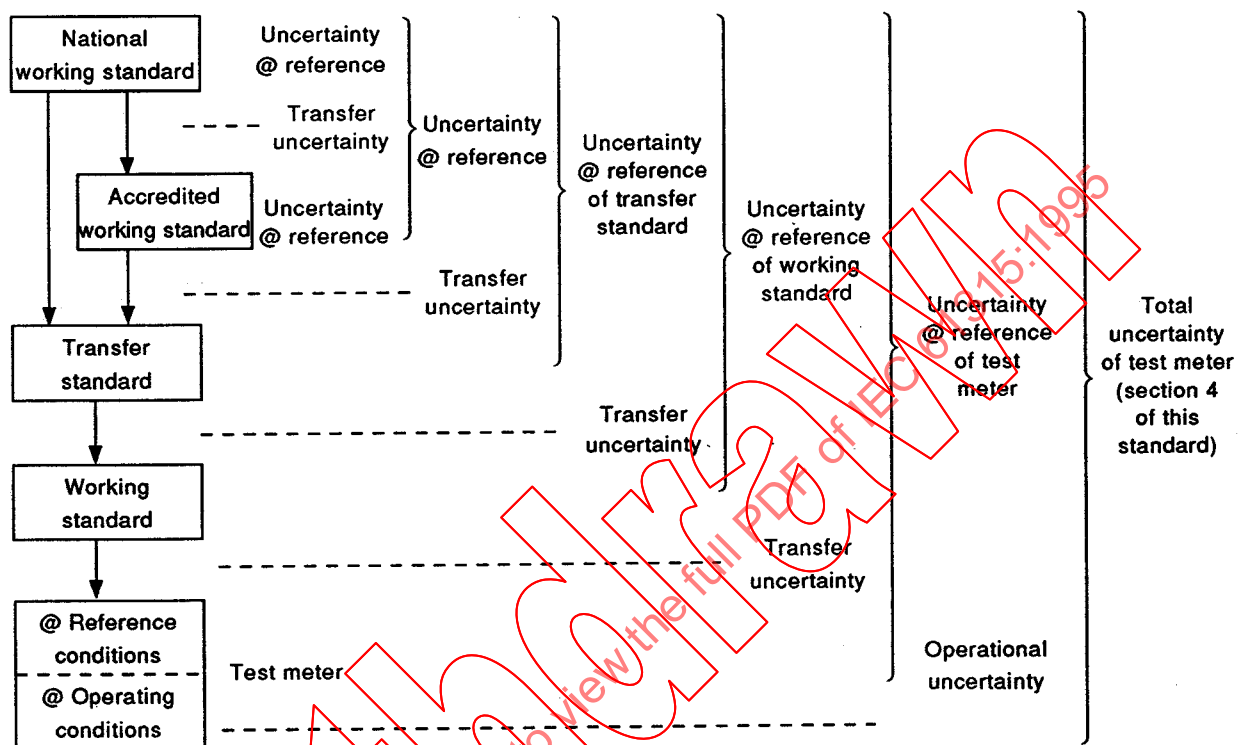


Figure 3 – Example of a calibration chain and of the accumulation of uncertainties

Each calibration is part of a recursive process, which starts with the national working standard or the accredited working standard being the parent meter, and the next meter in the chain being the test meter. The uncertainty at reference conditions of the latter should be stated in a document at either the national standards laboratory, or the accredited calibration laboratory.

In the following process step, the test meter is used as the new parent meter and the next meter in the chain is the new test meter. This process is repeated until the uncertainty at reference conditions of the test meter is determined (see figure 3).

On this basis, the uncertainty at reference conditions of each power meter in the chain is calculated by taking into account:

- a) the uncertainty at reference conditions of its parent meter, and
- b) the successive (cumulative) transfer uncertainty. This is discussed in 3.1.3.

In the following, only one step of the process is discussed, that is the calibration at reference conditions of an **individual** power meter in the chain.

3.1.1 *Etablissement des conditions de référence*

L'établissement et le maintien des conditions de référence est une partie importante de l'étalonnage car toute modification de ces conditions peut entraîner des résultats de mesure erronés. Il est recommandé que ces conditions de référence soient une approximation fidèle des conditions de fonctionnement voulues. Ceci assure que l'incertitude (supplémentaire) dans un environnement de fonctionnement est aussi faible que possible. Il est recommandé que les conditions de référence soient définies sous la forme de valeurs nominales et, si nécessaire, de bandes de tolérance. Chaque bande de tolérance doit comprendre à la fois l'incertitude possible de la condition et l'incertitude dans la mesure de la condition. Afin de répondre aux exigences de la présente norme, chaque ensemble de conditions de référence doit être constitué au minimum de:

- 1) la date de référence: la date d'étalonnage;
- 2) la température de référence: une température ambiante par exemple $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$;
- 3) le niveau de puissance de référence: le niveau de flux énergétique sur le plan de référence optique;
- 4) la géométrie de faisceau de référence:
 - a) un faisceau en espace libre (par exemple collimaté), décrit par le diamètre du spot sur le plan de référence optique, l'ouverture numérique du faisceau et la répartition de l'éclairement dans le faisceau (par exemple uniforme ou gaussienne), ou
 - b) une fibre (de référence) et, si applicable, son degré d'excitation (par exemple excitation totale),
- 5) la combinaison connecteur-adaptateur: le connecteur et l'adaptateur comme partie de la source d'excitation (si applicable);
- 6) la longueur d'onde de référence: la longueur d'onde de la source d'excitation;
- 7) la largeur spectrale de référence: la largeur spectrale de la source d'excitation.

Par défaut, les conditions de référence comprennent tous les états possibles de polarisation. On suppose aussi une humidité en deçà du point de condensation. Il est à noter que les conditions précitées ne sont pas exhaustives. Il convient de définir tous les autres paramètres pouvant avoir une influence significative sur l'incertitude définie aux conditions de référence.

Dans le cas d'un étalonnage avec un **faisceau en espace libre**, il est recommandé d'éclairer le plan de référence optique du radiomètre au centre avec un diamètre de faisceau inférieur à la surface active du plan de référence.

Dans le cas d'un étalonnage avec une **fibre**, on peut utiliser une fibre unimodale ou multimodale. Une fibre unimodale peut être avantageuse en raison de ses caractéristiques de faisceau reproductibles, mais peut ne pas être disponible pour toutes les longueurs d'onde de référence. Si l'on utilise une fibre multimodale, on préférera alors l'excitation totale car elle peut être plus facilement reproduite. Un appareil d'injection peut être nécessaire pour créer l'excitation appropriée. Il faut noter que les fibres multimodales émettront des faisceaux aux répartitions irrégulières «speckles» si elles sont pilotées par une diode laser: ceci aura pour résultat une augmentation de l'incertitude de mesure. Il est recommandé de retirer, si nécessaire, la puissance optique de la gaine (modes de gaine) à l'aide d'un extracteur de mode de gaine ou d'un appareil d'injection.

3.1.1 *Establishing the reference conditions*

Establishing and maintaining reference conditions is an important part of the calibration, because any change of these conditions is capable of producing erroneous measurement results. The reference conditions should be a close approximation to the intended operating conditions. This ensures that the (additional) uncertainty in the operating environment is as small as possible. The reference conditions should be specified in the form of nominal values and, if necessary, tolerance bands. Each tolerance band should include both the possible uncertainty of the condition and the uncertainty in measuring the condition. In order to meet the requirements of this standard, each set of reference conditions shall consist of at least:

- 1) the reference date: the date of calibration;
- 2) the reference temperature: an ambient temperature of for example $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 3) the reference power level: the radiant power level on the optical reference plane;
- 4) the reference beam geometry:
 - a) an open (for example collimated) beam, described by the spot diameter on the optical reference plane, the beam numerical aperture and the irradiance distribution in the beam (for example uniform or Gaussian); or
 - b) a (reference) fibre and, if applicable, its degree of excitation (for example fully excited);
- 5) the reference connector-adapter combination: the connector and adapter as part of the exciting source (if applicable);
- 6) the reference wavelength: the wavelength of the exciting source;
- 7) the reference spectral bandwidth: the spectral bandwidth of the exciting source.

By default, the reference conditions include all possible states of polarization. A relative humidity below the condensation point is also assumed. Note that the above conditions may not be exhaustive. There may be other parameters which have a significant influence on the specified uncertainty at reference conditions and therefore should be specified, too.

In the calibration with an **open beam**, the optical reference plane of the power meter should be centrally irradiated with a beam diameter smaller than the active area of the reference plane.

In the calibration with a **fibre**, a single-mode fibre or a multimode fibre may be used. A single-mode fibre may be advantageous because of its reproducible beam characteristics, but may not be available for all of the reference wavelengths. If a multimode fibre is used, then full excitation is preferred because this excitation can be more easily reproduced. A launching device may be necessary to create the appropriate excitation. Note that multimode fibres will emit irregular beam patterns (speckle patterns) when driven by a laser diode; this will result in an increased measurement uncertainty. Optical power in the cladding (cladding modes) should be removed with an appropriate mode stripper or launching device, if necessary.

Il est recommandé d'utiliser une **combinaison connecteur-adaptateur** uniquement si le radiomètre doit être étalonné avec une fibre, et non pas avec un faisceau en espace libre. Il est recommandé d'utiliser une combinaison de connecteur et d'adaptateur de référence ayant des réflexions suffisamment faibles vers le radiomètre.

Bien qu'il soit souhaitable de créer un ensemble de conditions de référence normalisées, tel n'est pas l'objet de cette norme. La raison à cela est que les différents types de radiomètres, différentes applications et différents types d'équipement d'étalonnage ne permettent actuellement pas l'établissement d'une telle norme. Au contraire, il est souvent préférable d'avoir des ensembles **supplémentaires** de conditions de référence pour le même appareil en essai, afin d'approcher les conditions de fonctionnement spécifiques aussi près que possible. Une possibilité consiste à **étendre** les conditions de référence. Le processus d'extension et les incertitudes qui s'y rattachent sont traités en 3.2.3.

Le **mode d'appareil**, des radiomètres, par exemple le domaine de puissance et le réglage de la longueur d'onde, doit être enregistré en plus des conditions de référence, comme condition préalable à des mesures reproductibles.

3.1.2 Transfert et facteur de correction

Le présent paragraphe traite du transfert du résultat de la mesure de l'appareil père à l'appareil en essai, comme partie de l'étalonnage aux conditions de référence. Pour ce faire, l'appareil père et l'appareil en essai sont soumis à des conditions bien définies appelées «conditions de référence» et les résultats de mesure des deux appareils sont enregistrés. Avant de commencer ces mesures se référer à 2.3.

Pour chaque transfert dans la chaîne d'étalonnage, la procédure suivante doit être suivie.

- Etablir les conditions de référence appropriées (voir article 3.1.1).
- Définir la correction de longueur d'onde interne de l'appareil père et de l'appareil en essai par rapport à la longueur d'onde de référence si nécessaire. Sélectionner les gammes de puissance appropriées. Enregistrer les «modes d'appareil» des deux radiomètres. Remettre à zéro les deux appareils si nécessaire.
- Mesurer le flux énergétique avec l'appareil père. Appliquer les corrections nécessaires comme le suggèrent les instructions de fonctionnement. Enregistrer le résultat de mesure, $P_{\text{père}, 1}$.
- Mesurer le flux énergétique avec l'appareil en essai. Appliquer les corrections nécessaires comme le suggèrent les instructions de fonctionnement. Enregistrer le résultat de mesure, $P_{\text{essai}, 1}$.
- Calculer le premier d'une série de facteurs de correction, $CF_{\text{comparaison}, 1}$:

$$CF_{\text{comparaison}, 1} = P_{\text{père}, 1} / P_{\text{essai}, 1} \quad (13)$$

- Répéter les étapes c) à e) plusieurs fois dans le but d'obtenir plusieurs facteurs de correction, $CF_{\text{comparaison}, 1}$ à $CF_{\text{comparaison}, n}$.
- Calculer et enregistrer un facteur de correction moyen, $CF_{\text{comparaison}}$ à partir des facteurs de correction individuels.

A reference **connector-adapter combination** should only be specified if the power meter is to be calibrated with a fibre, that is not with an open beam. It is recommended that a combination of reference connector and adapter be used with sufficiently low reflections back to the power meter.

Although it would be desirable to create one standardized set of reference conditions, this standard does not make an attempt to do so. The reason is that different types of power meters, different applications, and different types of calibrating equipment presently do not allow such a standard. On the contrary, it is often desired to have **additional** sets of reference conditions for the same test meter, in order to approximate specific operating conditions as closely as possible. One possibility is **extending** the reference conditions. The process of extension and the related uncertainties are discussed in 3.2.3.

The **Instrument state** of the power meters, for example power range and wavelength setting, shall be recorded in addition to the reference conditions, as a precondition for reproducible measurements.

3.1.2 Transfer and correction factor

This subclause discusses the transfer of the parent meter measurement result to the test meter, as part of the calibration at reference conditions. To do this, both the parent meter and the test meter are exposed to well defined conditions termed "reference conditions", and both measurement results are recorded. Before starting these measurements, refer to 2.3.

For each transfer in the calibration chain, the following procedure shall be performed.

- a) Establish the appropriate reference conditions (see 3.1.1).
- b) Set the internal wavelength correction of the parent meter and the test meter to the reference wavelength where applicable. Select appropriate power ranges. Record the instrument states of both meters. Zero both meters, if applicable.
- c) Measure the optical power with the parent meter. Apply necessary corrections as suggested by the operating instructions. Record the measurement result, $P_{\text{parent},1}$.
- d) Measure the optical power with the test meter. Apply necessary corrections as suggested by the operating instructions. Record the measurement result, $P_{\text{test meter},1}$.

- e) Calculate the first of a series of correction factors, $CF_{\text{comparison},1}$:

$$CF_{\text{comparison},1} = P_{\text{parent},1} / P_{\text{test meter},1} \quad (13)$$

- f) Repeat steps c) to e) several times, with the result of obtaining several correction factors, $CF_{\text{comparison},1}$ to $CF_{\text{comparison},n}$.

- g) Calculate and record an average correction factor, $CF_{\text{comparison}}$ from the individual correction factors.

h) Calculer le facteur de correction de l'appareil en essai, CF_{essai} :

$$CF_{\text{essai}} = CF_{\text{comparaison}} \times CF_{\text{père}} \times CF_{\text{extension}} \times CF_{\text{autre syst}} \quad (14)$$

où

$CF_{\text{père}}$ est le facteur de correction lié à l'appareil père, voir 3.2.1.

$CF_{\text{extension}}$ est le facteur de correction lié à l'extension, voir 3.2.3 si aucune extension n'a été exécutée, $CF_{\text{extension}}$ est 1.

$CF_{\text{autre syst}}$ est le facteur de correction quantifiant d'autres facteurs connus, voir 3.2.4.

Il est recommandé d'utiliser le formulaire B pour effectuer les calculs ci-dessus. Dans une utilisation ultérieure de l'appareil en essai, les résultats de mesure doivent être multipliés avec CF_{essai} . Autrement, l'appareil en essai peut être ajusté de telle sorte que le facteur de correction soit modifié en 1. Dans ce cas, il convient de répéter la comparaison pour vérification. Noter que l'incertitude est abordée à l'article 3.1.3.

3.1.3 Incertitude aux conditions de référence

Dans les paragraphes suivants, le report et le cumul des incertitudes est basé sur les recommandations de 2.2.

L'incertitude aux conditions de référence d'un appareil en essai, après étalonnage, doit être déterminée en prenant en compte:

- a) l'incertitude aux conditions de référence de l'appareil père;
- b) l'incertitude de transfert (cumulée) du transfert suivant.

Plus précisément, l'incertitude aux conditions de référence de l'appareil en essai doit être calculée selon les instructions suivantes:

- a) Obtenir l'incertitude aux conditions de référence de l'appareil père à partir de son rapport d'étalonnage ou de sa feuille de données. L'exprimer sous la forme d'un écart-type, $\sigma_{\text{père@ref}}$, donné par exemple par l'inversion de la formule (12) de la section 2:

$$\sigma_{\text{père@ref}} = \frac{\text{demi-largeur de la gamme d'incertitudes}}{\text{multiplicateur de confiance}} \quad (15)$$

- b) Obtenir l'incertitude de transfert (cumulée) à l'aide de 3.2, sous la forme d'un écart type, $\sigma_{\text{transfert}}$

- c) Calculer l'incertitude aux conditions de référence de l'appareil en essai, $\sigma_{\text{essai@ref}}$, en cumulant les contributions d'incertitude a) et b); voir formulaire C et figure 4. Il peut être nécessaire de répéter ce calcul pour chaque ensemble des conditions de référence définies, par exemple en raison de caractéristiques différentes du radiomètre à des longueurs d'onde différentes.

$$\sigma_{\text{essai@ref}} = [\sigma_{\text{père@ref}}^2 + \sigma_{\text{transfert}}^2]^{1/2} \quad (16)$$

Noter que l'incertitude aux conditions de référence n'est applicable qu'après multiplication du résultat de mesure avec le facteur de correction approprié, CF_{essai} . Voir 3.1.2.

h) Calculate the correction factor of the test meter, $CF_{\text{test meter}}$:

$$CF_{\text{test meter}} = CF_{\text{comparison}} \times CF_{\text{parent}} \times CF_{\text{extension}} \times CF_{\text{other syst}} \quad (14)$$

where

CF_{parent} is the parent-related correction factor, see 3.2.1.

$CF_{\text{extension}}$ is the extension-related correction factor; see 3.2.3 if no extension was carried out, then $CF_{\text{extension}}$ is 1.

$CF_{\text{other syst}}$ is the connection factor for other known factors, see 3.2.4.

A form such as form B is recommended for carrying out the above calculations. In later use of the test meter, the measurement results shall be multiplied with $CF_{\text{test meter}}$. Alternatively, the test meter may be adjusted so that the correction factor is changed to 1. In that case, the comparison should be repeated for verification. Note that the uncertainty is discussed in clause 3.1.3.

3.1.3 Uncertainty at reference conditions

In the following, reporting and accumulation of uncertainties is based on the recommendations of 2.2.

The uncertainty at reference conditions of a test meter, after calibration, shall be determined by taking into account:

- a) the uncertainty at reference conditions of the parent meter;
- b) the (cumulative) transfer uncertainty of the successive transfer.

More precisely, the test meter uncertainty at reference conditions shall be calculated by the following instructions.

- a) Obtain the uncertainty at reference conditions of the parent meter from its calibration report or data sheet. Express it in the form of a standard deviation, $\sigma_{\text{parent@ref}}$, for example by inverting formula (12) of section 2:

$$\sigma_{\text{parent@ref}} = \text{half width of uncertainty range/confidence multiplier} \quad (15)$$

- b) Obtain the (cumulative) transfer uncertainty with the help of 3.2, in the form of a standard deviation, σ_{transfer} .

- c) Calculate the test meter uncertainty at reference conditions, $\sigma_{\text{test meter@ref}}$, by accumulating the two uncertainty contributions a) and b); see form C and figure 4. It may be necessary to repeat this calculation at each set of specified reference conditions, for example due to different power meter characteristics at different wavelengths.

$$\sigma_{\text{test meter@ref}} = [\sigma_{\text{parent@ref}}^2 + \sigma_{\text{transfer}}^2]^{1/2} \quad (16)$$

Note that the uncertainty at reference conditions is only applicable after multiplying the measurement result with the appropriate correction factor, $CF_{\text{test meter}}$. See 3.1.2.

La figure 4 montre un détail de la chaîne d'étalonnage, pour expliquer:

- 1) comment les différentes excitations (conditions de référence) de l'appareil père provoquent l'incertitude de transfert de l'appareil père;
- 2) dans quelle mesure des conditions de référence incertaines dans le transfert vers l'appareil à tester provoquent l'incertitude de transfert de l'appareil en essai;
- 3) comment l'incertitude aux conditions de référence de l'appareil père et l'incertitude de transfert (cumulée) sont cumulées à l'incertitude aux conditions de référence de l'appareil en essai.

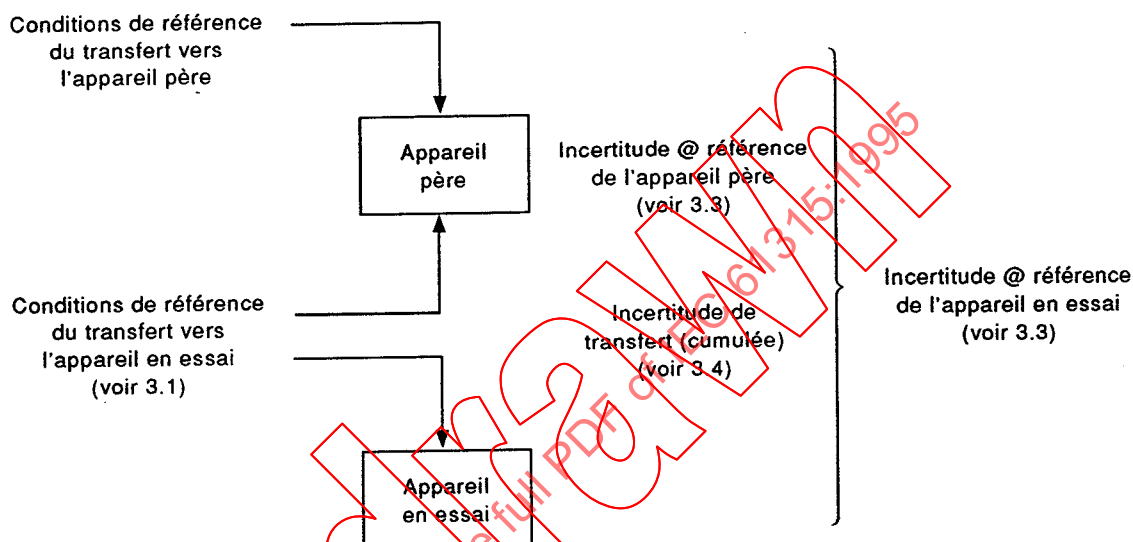


Figure 4 – Calcul de l'incertitude de l'appareil en essai aux conditions de référence

On doit étalonner une série de radiomètres de même type par des transferts individuels, pendant que chaque appareil peut être défini avec la même incertitude. Ceci est basé sur la caractérisation d'un nombre suffisamment important d'appareils à tester (voir les articles suivants).

3.2 Corrections liées au transfert et incertitude

L'incertitude de transfert (cumulée) caractérise les incertitudes dans le processus de transfert. L'incertitude de transfert est proportionnelle aux sensibilités des appareils père et en essai aux modifications des conditions de référence. Elle peut être évaluée sur la base de mesures ou d'estimations ou un mélange des deux. La section 4 donne des conseils spécifiques sur la mesure de ces dépendances. Il est recommandé de baser les estimations sur des lois physiques connues ou sur un nombre suffisamment important de mesures caractérisant les deux types de radiomètres impliqués dans le transfert.

Comme le précise le formulaire C, l'incertitude de transfert (cumulée), $\sigma_{\text{transfert}}$, doit être cumulée à partir des contributions de type systématique suivantes:

- a) l'incertitude de transfert due à l'appareil père, $\sigma_{\text{transfert, père}}$ (3.2.1 et formulaire D2);
- b) l'incertitude de transfert due à l'appareil en essai, $\sigma_{\text{transfert, essai}}$ (3.2.2 et formulaire E1);
- c) l'incertitude (systématique) due à l'extension, $\sigma_{\text{extension}}$ (3.2.3 et formulaire E3);
- d) autre incertitude (systématique), $\sigma_{\text{autre syst}}$ (3.2.4);

Figure 4 shows a detail of the calibration chain, to explain:

- 1) how the different excitations (reference conditions) of the parent meter cause the transfer uncertainty of the parent meter;
- 2) how uncertain reference conditions in the to test meter transfer cause the transfer uncertainty of the test meter;
- 3) how the uncertainty at reference conditions of the parent meter and the (cumulative) transfer uncertainty are accumulated to the uncertainty at reference conditions of the test meter.

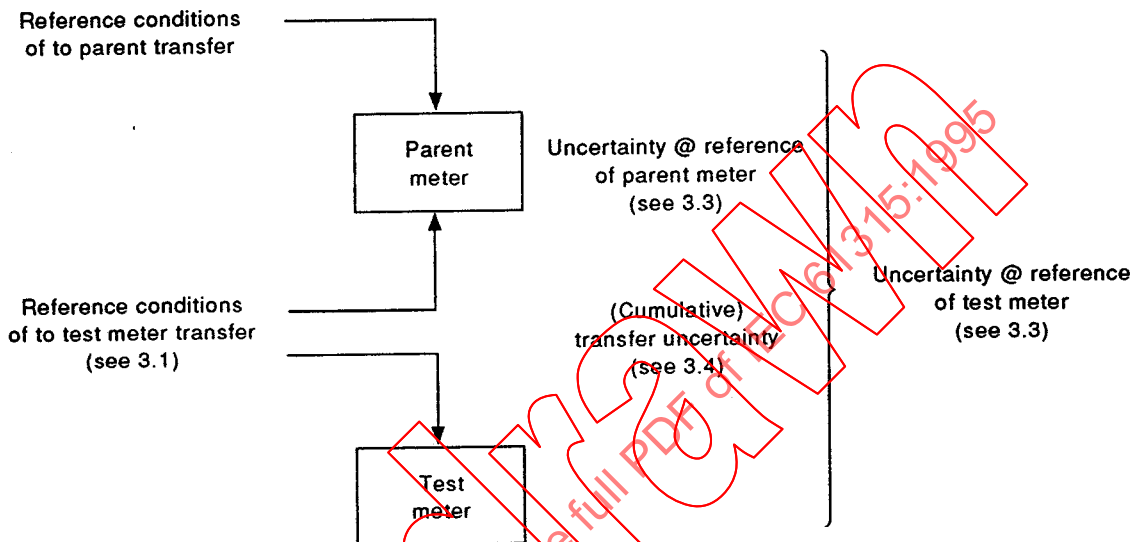


Figure 4 – Calculation of the test meter uncertainty at reference conditions

A series of the same type of power meter may be calibrated by individual transfers, while each meter may be specified with the same uncertainty. This is based on characterizing a sufficiently large number of the test meters (see the following clauses).

3.2 Transfer-related corrections and uncertainty

The (cumulative) transfer uncertainty characterizes the uncertainties in the transfer process. The transfer uncertainty is proportional to the sensitivities of both the parent and the test meter to changes of the reference conditions. It can be evaluated on the basis of measurements or estimations, or a mixture of both. Specific advice on the measurement of these dependences is in section 4. Estimations should be based either on known physical laws, or on a sufficiently large number of characterizing measurements of the two types of power meters involved in the transfer.

As outlined in form C, the (cumulative) transfer uncertainty, σ_{transfer} , shall be accumulated from the following systematic type contributions:

- a) the transfer uncertainty of parent meter, $\sigma_{\text{transfer, parent}}$ (3.2.1 and form D2);
- b) the transfer uncertainty of test meter, $\sigma_{\text{transfer, test meter}}$ (3.2.2 and form E1);
- c) the (systematic) uncertainty of extension, $\sigma_{\text{extension}}$ (3.2.3 and form E3);
- d) other (systematic) uncertainty, $\sigma_{\text{other syst}}$ (3.2.4);

et à partir des contributions de type aléatoire suivantes:

- e) l'incertitude aléatoire de la comparaison, $\sigma_{\text{comparaison, alea}}$ (3.2.5 et formulaire F1);
- f) autre incertitude aléatoire, $\sigma_{\text{autre alea}}$ (3.2.6).

Au total, l'écart type quantifiant l'incertitude de transfert (cumulée) est:

$$\sigma_{\text{transfert}} = [\sigma_{\text{transfert, père}}^2 + \sigma_{\text{transfert, essai}}^2 + \sigma_{\text{extension}}^2 + \sigma_{\text{autre syst}}^2 + \sigma_{\text{comparaison, alea}}^2 + \sigma_{\text{autre alea}}^2]^{1/2} \quad (17)$$

Les écarts connus et les facteurs de correction sont traités en 3.1.2, 3.2.1 et 3.2.3.

Dans le cas où le radiomètre doit être défini pour différents ensembles de conditions de référence (par exemple différentes longueurs d'onde), il peut être nécessaire d'évaluer séparément l'incertitude de transfert (cumulée) pour chacun de ces ensembles. Pour l'évaluation de l'incertitude de transfert pour une série de radiomètres, il est recommandé de déterminer les incertitudes fixées de telle sorte que leurs limites incluent toute la série.

3.2.1 Facteurs de correction liés au transfert et incertitudes provoqués par l'appareil père

Dans le processus de transfert, l'appareil père peut provoquer des écarts connus et des incertitudes (systématiques), car il a été étalonné sous les conditions de référence du (précédent) transfert au père. Des exemples de différences entre les deux ensembles de conditions de référence sont: faisceau parallèle contre faisceau divergent, spectres de sources différents, dispositif non réfléchissant contre dispositif à réflexions multiples ou une longue durée entre les deux dates de référence engendrant un vieillissement de l'étalon.

Comme le montre la figure 5, chaque modification comprend la modification nominale de la condition et la modification de la bande de tolérance.

and from the following random-type contributions:

- e) the random uncertainty of comparison, $\sigma_{\text{comparison, rand}}$ (3.2.5 and forms F1);
- f) other random uncertainty, $\sigma_{\text{other rand}}$ (3.2.6).

Altogether, the standard deviation quantifying the (cumulative) transfer uncertainty is:

$$\sigma_{\text{transfer}} = [\sigma_{\text{transfer, parent}}^2 + \sigma_{\text{transfer, test meter}}^2 + \sigma_{\text{extension}}^2 + \sigma_{\text{other syst}}^2 + \sigma_{\text{comparison, rand}}^2 + \sigma_{\text{other rand}}^2]^{1/2} \quad (17)$$

Known deviations, respectively correction factors, are discussed in 3.1.2, 3.2.1 and 3.2.3.

In the case that the power meter is to be specified at different sets of reference conditions (for example different wavelengths), it may be necessary to evaluate the (cumulative) transfer uncertainty separately for each of these sets. For the evaluation of the transfer uncertainty for a series of power meters, the stated uncertainties should be determined so that their limits embrace the entire series.

3.2.1 *Transfer-related correction factors and uncertainties caused by the parent meter*

In the transfer process, the parent meter may cause known deviations and (systematic) uncertainties, because it was calibrated under the reference conditions of the (previous) to parent transfer, whereas it may exhibit a different response under the reference conditions of the (current) to test meter transfer. Examples for differences between the two sets of reference conditions are: parallel beam vs. divergent beam, different source spectra, a non-reflecting setup vs. a setup with multiple reflections, or a large time span between the two reference dates resulting in ageing of the standard.

As indicated in figure 5, each change comprises the nominal change of condition and the change of tolerance band.

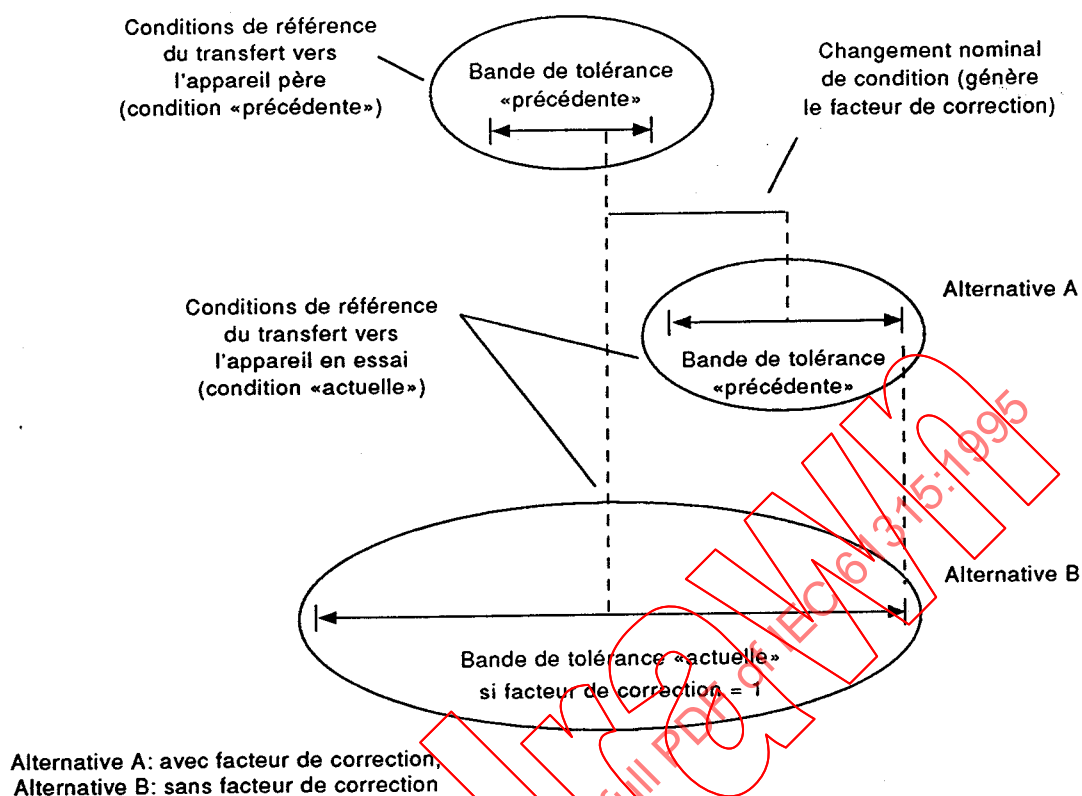


Figure 5 – Modification de condition et de bande de tolérance provoquée par un écart lié au transfert et incertitude de l'appareil père

Un facteur de correction de 1 est obtenu lorsque les conditions «actuelle» et «précédente» sont identiques nominalement. Une incertitude systématique de 0 est obtenue si la bande de tolérance «actuelle» n'est pas plus large que la bande de tolérance «précédente». Ceci est basé sur l'hypothèse que l'incertitude de l'appareil père aux conditions de référence «précédentes» comprend déjà l'incertitude due à la bande de tolérance de la condition. Ceci est assuré dans l'étalonnage de l'appareil père, à l'aide de l'article 3.2.2.

Il est recommandé pour chacune des contributions d'erreur potentielle de 3.2.1.1, 3.2.1.8, de décider s'il est sage de calculer un facteur de correction ou non. L'**alternative A** comprend le calcul d'un facteur de correction avec le résultat d'une incertitude relativement faible. L'**alternative B** signifie l'abandon des facteurs de correction et la prise en compte d'incertitudes plus grandes, car dans ce cas il convient de supposer qu'une bande de tolérance symétrique «actuelle» inclut les conditions du cas le plus grave.

Etape 1: Calcul du facteur de correction

Noter que cette étape n'est nécessaire que si l'alternative a été choisie. Calculer le facteur de correction lié au transfert de l'appareil père (cumulé) en cumulant les facteurs de corrections partielles, $CF_{\text{père}, i}$, dont il est question de 3.2.1.1 à 3.2.1.8:

$$\begin{aligned} CF_{\text{père}, i} &= 1 - \Delta r_{\text{père}, i} \quad [\text{sans dimension}] \\ &= 1 - (NC_i \times S_{\text{père}, i}) \end{aligned} \quad (18)$$

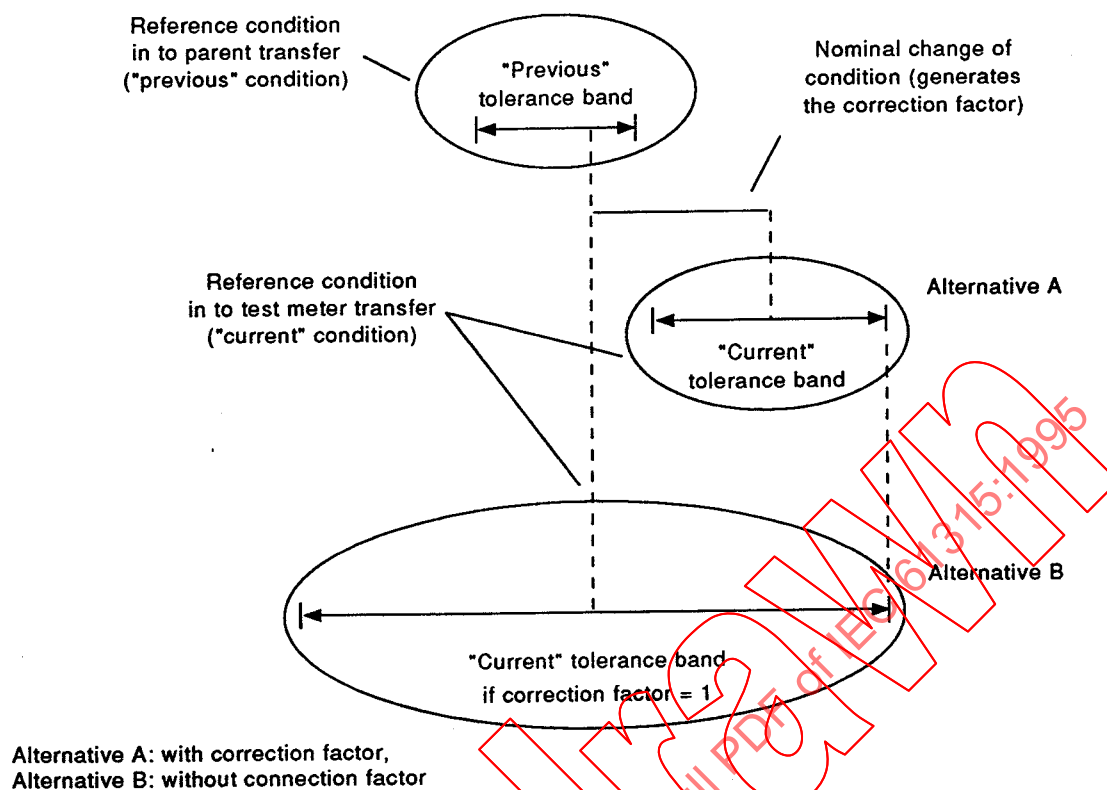


Figure 5 – Change of condition and tolerance band as cause of transfer-related deviation and uncertainty of the parent meter

A correction factor of 1 is obtained when the "current" and the "previous" conditions are nominally identical. A systematic uncertainty of 0 is obtained if the "current" tolerance band is not wider than the "previous" tolerance band. The latter is based on the assumption that the parent meter uncertainty at "previous" reference conditions already includes the uncertainty due to the "previous" condition tolerance band. This is ensured in the parent meter calibration, with the help of 3.2.2.

For each of the potential error contributions of the 3.2.1.1 to 3.2.1.8, it should be decided if it is sensible to calculate a correction factor or not. **Alternative A** includes the calculation of a correction factor with the result of a relatively small uncertainty. **Alternative B** means waiving the correction factors and taking larger uncertainties into account, because then a symmetrical "current" tolerance band, as in figure 5, should be assumed, which embraces the worst case conditions.

Step 1: Calculating the correction factor

Note that this step is only necessary if Alternative A was chosen. Calculate the (cumulative) parent meter transfer-related correction factor by accumulating the partial correction factors, $CF_{\text{parent}, i}$, outlined in 3.2.1.1 to 3.2.1.8:

$$\begin{aligned} CF_{\text{parent}, i} &= 1 - \Delta r_{\text{parent}, i} \quad [\text{dimensionless}] \\ &= 1 - (NC_i \times S_{\text{parent}, i}) \end{aligned} \quad (18)$$

autrement $CF_{\text{père}, i} = r_{\text{précédent}, i} / r_{\text{courant}, i}$

où

i est l'indice de la condition d'influence;

$\Delta r_{\text{père}, i}$ est la modification de réponse de l'appareil père due à la modification nominale de la condition;

NC_i est la modification nominale de la condition, (entre «précédent» et «actuel»);

$S_{\text{père}, i}$ est la dépendance nominale d'influence de l'appareil père;

$r_{\text{précédent}, i}$ est la réponse avec excitation correspondant aux conditions de référence «précédentes» (originales);

$r_{\text{courant}, i}$ est la réponse avec excitation correspondant aux conditions de référence «actuelles».

Il est recommandé que chaque $\Delta r_{\text{père}, i}$ soit calculé en multipliant la modification nominale de la condition avec la dépendance nominale de l'appareil père à cette condition, par exemple x °C avec y % par °C. La mesure des dépendances est traitée dans la section 4. Dans les mesures (ou estimations), il convient que seul un paramètre d'influence soit modifié, alors qu'il est recommandé que tous les autres soient maintenus aux conditions de référence.

Finalement, calculer le facteur de correction cumulé de l'appareil père à partir des contributions ci-dessus à l'aide de la formule (18):

$$\text{Facteur de correction: } CF_{\text{père}} = \prod_{i=1}^n CF_{\text{père}, i} \quad (\Pi = \text{produit}) \quad (19)$$

Ce facteur de correction correspond à une modification de la réponse connue de l'appareil père provoquée par deux ensembles de conditions de référence différents. Il s'agit d'une contribution au facteur de correction de l'appareil en essai (article 3.1.2).

Etape 2: Calcul de l'incertitude

Calculer l'incertitude de transfert liée à l'appareil père (cumulée) en accumulant les incertitudes partielles dont il est question de 3.2.1.1 à 3.2.1.8. Pour chacune de ces incertitudes, commencer par le calcul d'une bande de tolérance «efficace», dont la largeur est donnée par les équations ci-après. La soustraction des carrés reflète le fait que la largeur de la bande d'incertitude «précédente» est déjà comprise dans l'incertitude annoncée de l'appareil père et que toutes les incertitudes sont ajoutées au carré.

$$\begin{aligned} T_{\text{eff}, i} &= (T_{\text{courant}, i} - T_{\text{précédent}, i})^{1/2} & \text{si } T_{\text{courant}} > T_{\text{précédent}, i} \\ T_{\text{eff}, i} &= 0 & \text{si } T_{\text{courant}} \leq T_{\text{précédent}, i} \end{aligned} \quad (20)$$

où

$T_{\text{eff}, i}$ est la demi-largeur de la bande de tolérance «efficace» de la condition;

$T_{\text{courant}, i}$ est la demi-largeur de la bande de tolérance «actuelle» de la condition (voir figure 5);

$T_{\text{précédent}, i}$ est la demi-largeur de la bande de tolérance «précédente» de la condition.

Puis, multiplier $T_{\text{eff}, i}$ par la valeur la plus défavorable de la dépendance de l'appareil père (à la condition d'influence) pour obtenir la demi-largeur de la bande d'incertitude partielle, U_i .

alternatively $CF_{\text{parent}, i} = r_{\text{previous}, i} / r_{\text{current}, i}$

where

- i is the current number of influencing condition;
- $\Delta r_{\text{parent}, i}$ is the relative change of response of the parent due to the nominal change of condition;
- NC_i is the nominal change of condition, current-to-previous;
- $S_{\text{parent}, i}$ is the nominal dependence of the parent meter on the condition;
- $r_{\text{previous}, i}$ is the response with excitation at the "previous" (original) reference conditions
- $r_{\text{current}, i}$ is the response with excitation at "current" reference conditions.

Each $\Delta r_{\text{parent}, i}$ should be calculated by multiplying the nominal change of condition with the **nominal** dependence of the parent meter on this condition, for example x °C with y % per °C. The measurement of the dependences is discussed in section 4. In the measurement (or estimations), only one influencing parameter should be varied, whereas all others should be kept at reference conditions.

Finally, calculate the parent meter cumulative correction factor from the above contributions with the help of formula (18):

$$\text{Correction factor: } CF_{\text{parent}} = \prod_{i=1}^n CF_{\text{parent}, i} \quad (\Pi = \text{product}) \quad (19)$$

This correction factor corresponds to a **known** change of response of the parent meter caused by the two different sets of reference conditions. It is one contribution to the correction factor of the test meter (see 3.1.2).

Step 2: Calculating the uncertainty

Calculate the **parent meter (cumulative) transfer uncertainty** by accumulating the partial uncertainties outlined in 3.2.1.1 to 3.2.1.8. For each of the uncertainties, start with the calculation of an "effective" tolerance band, the width of which is given by the equations below. The quadratic subtraction reflects the fact that the width of the "previous" uncertainty band is already included in the stated uncertainty of the parent meter, and that all uncertainties are added quadratically.

$$T_{\text{eff}, i} = (T_{\text{current}, i} - T_{\text{previous}, i})^{1/2} \quad \text{if } T_{\text{current}, i} > T_{\text{previous}, i} \quad (20)$$

$$T_{\text{eff}, i} = 0 \quad \text{if } T_{\text{current}, i} \leq T_{\text{previous}, i}$$

where

- $T_{\text{eff}, i}$ is the half-width of the "effective" tolerance band of the condition;
- $T_{\text{current}, i}$ is the half-width of "current" tolerance band of the condition (see figure 5);
- $T_{\text{previous}, i}$ is the half-width of "previous" tolerance band of the condition.

Then, multiply $T_{\text{eff}, i}$ with the parent meter worst case dependence (on the condition), to obtain the half-width of the partial uncertainty band, U_i .

Enfin, calculer l'**incertitude de transfert liée à l'appareil père** en cumulant toutes les incertitudes partielles. Ceci peut être effectué suivant 2.2.2, en ajoutant les incertitudes individuelles, σ_i selon la méthode de la valeur efficace quadratique moyenne, ou autrement en ajoutant par la valeur efficace quadratique moyenne les bandes d'incertitudes partielles (demi-largeurs) et divisant le résultat par $3^{1/2}$:

$$\text{Incertainitude de transfert: } \sigma_{\text{transfert, père}} = \left\{ \sum_{i=1}^n U_i^2 / 3 \right\}^{1/2} \quad (21)$$

où

n est le nombre total d'incertitudes systématiques

U_i est la demi-largeur de la bande d'incertitude partielle

σ_i est l'incertitude partielle sous la forme d'un écart type: $\sigma_i = U_i / 3^{1/2}$

Il est recommandé d'utiliser des formulaires de calcul tels que les formulaires D1 et D2 pour enregistrer et cumuler les contributions individuelles au facteur de correction de l'appareil père et à l'incertitude de transfert.

3.2.1.1 *Vieillessement (facteur de correction lié au transfert et incertitude de l'appareil père dus au vieillissement)*

Il est recommandé de calculer le facteur de correction à l'aide:

- du temps écoulé entre l'étalonnage de l'appareil père et son utilisation dans l'étalonnage de l'appareil en essai; et
- du coefficient nominal de vieillissement de l'appareil père.

Il est recommandé de calculer l'incertitude systématique en multipliant la tolérance «efficace» du temps écoulé par la valeur la plus défavorable du coefficient de vieillissement de l'appareil père.

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)*

Il est recommandé de calculer le facteur de correction à l'aide:

- du changement nominal entre les températures «précédente» et «actuelle»; et
- la dépendance nominale à la température de l'appareil père.

Il est recommandé de calculer l'incertitude systématique en multipliant la tolérance «efficace» de température par la valeur la plus défavorable de la dépendance à la température de l'appareil père.

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)*

Il est recommandé de calculer le facteur de correction à l'aide du changement de réponse nominal (absence de linéarité) de l'appareil père dû à la différence entre le flux énergétique «précédent» et l'«actuel».

L'incertitude est la valeur la plus grande d'absence de linéarité de l'appareil père dans la bande de flux énergétique «efficace».

Finally, calculate the **parent meter transfer uncertainty** by accumulating all partial uncertainties. Following 2.2.2 or the "Mathematical basis", this can be done by root-sum-square adding the individual uncertainties, σ_i , or alternatively by root-sum-square adding the (half-widths) partial uncertainty bands and dividing the result by $3^{1/2}$:

$$\text{Transfer uncertainty: } \sigma_{\text{transfer, parent}} = \left\{ \sum_{i=1}^n U_i^2 / 3 \right\}^{1/2} \quad (21)$$

where

n is the total number of systematic uncertainties

U_i is the half-width of partial uncertainty band

σ_i is the partial uncertainty in the form of a standard deviation: $\sigma_i = U_i / 3^{1/2}$

It is recommended to use computation forms such as forms D1 and D2 to record and accumulate the individual contributions to the parent meter correction factor and transfer uncertainty.

3.2.1.1 *Ageing (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to ageing)*

The correction factor should be calculated with the help of:

- a) the elapsed time between the calibration of the parent meter and its usage in the calibration of the test meter; and
- b) the parent meter nominal ageing coefficient.

The systematic uncertainty should be calculated by multiplying the "effective" tolerance of the elapsed time with the parent meter worst case ageing coefficient.

3.2.1.2 *Temperature dependence (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to temperature dependence)*

The correction factor should be calculated with the help of:

- a) the nominal change between the "previous" and the "current" temperature; and
- b) the nominal temperature dependence of the parent meter.

The systematic uncertainty should be calculated by multiplying the "effective" temperature tolerance with the parent meter worst case temperature dependence.

3.2.1.3 *Nonlinearity (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to nonlinearity)*

The correction factor should be calculated with the help of the nominal change of response (nonlinearity) of the parent meter due to the difference between the "previous" and the "current" power level.

The uncertainty is the parent meter worst case nonlinearity within the "effective" power level band.

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)*

On considère que la réponse de l'appareil père dépend de la géométrie du faisceau de lumière. Pour les besoins de la présente norme, la géométrie doit être définie par le diamètre du spot, l'ouverture numérique de la radiation incidente sur le plan de référence optique et par la répartition de l'éclairement dans le faisceau. Les répartitions d'éclairement typiques sont: uniforme, gaussienne ou irrégulière (tachée).

Il est recommandé de calculer le facteur de correction à l'aide du changement de réponse nominal de la géométrie du faisceau et de la dépendance nominale à ce changement de l'appareil père.

Il est recommandé de calculer l'incertitude en multipliant la tolérance «efficace» de la géométrie du faisceau par la valeur la plus défavorable de la dépendance à la géométrie du faisceau. Il est judicieux d'inclure les inexactitudes de la description du faisceau dans l'analyse de l'incertitude.

3.2.1.5 *Dépendance aux réflexions multiples (facteur de correction lié au transfert et incertitude de l'appareil père dus aux réflexions multiples)*

Il convient de considérer que le port d'entrée optique de l'appareil père est réfléchissant. Cette réflexion revient vers la source de rayonnement, est réfléchi à nouveau et augmente finalement le flux énergétique optique affiché. Cet effet entraîne un facteur de correction (habituellement < 1) et une incertitude plus importante.

Il est recommandé de calculer le facteur de correction à l'aide:

- a) du changement nominal du pouvoir de réflexion de la source provoqué par la connexion de la source «précédente» et la source «actuelle»; et
- b) de la dépendance nominale de l'appareil père au pouvoir de réflexion de la source (la réflexion de la source peut être captée seulement partiellement par le port d'entrée optique de l'appareil).

Il est recommandé de calculer l'incertitude en multipliant la tolérance «efficace» du pouvoir de réflexion de la source par la valeur la plus défavorable de la dépendance à ce paramètre de l'appareil père.

Si, par exemple, la source utilisée dans le transfert à l'appareil père est non réfléchissante et la source utilisée dans le transfert à l'appareil en essai est réfléchissante (provoquée par un connecteur optique), alors la puissance totale indiquée par l'appareil père est erronée par la réflexion secondaire. Si l'on considère que la réflexion secondaire contribue à 5 % supplémentaires de la puissance totale, le facteur de correction individuel est 0,95, comme contribution à la formule (18). Ce type d'erreur peut être diminué si l'on utilise des sources avec des compartiments très absorbants, ou des sources avec des combinaisons connecteur-adaptateur à faible pouvoir de réflexion.

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)*

Il est recommandé de calculer le facteur de correction à l'aide du changement nominal de longueur d'onde et de la dépendance nominale à la longueur d'onde de l'appareil père.

Il est recommandé de calculer l'incertitude en multipliant la tolérance à la longueur d'onde «efficace» par la valeur la plus défavorable de la dépendance à la longueur d'onde de l'appareil père.

3.2.1.4 *Dependence on beam geometry (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to beam geometry)*

It is assumed that the response of the parent meter depends on the geometry of the light beam. For the purpose of this standard, the geometry shall be defined by the spot diameter, the numerical aperture of the radiation incident on the optical reference plane, and by the irradiance distribution in the beam. Typical irradiance distributions are: uniform, gaussian or irregular (speckled).

The correction factor should be calculated with the help of the nominal change of beam geometry and the nominal dependence on the change of the parent meter.

The uncertainty should be calculated by multiplying the "effective" tolerance of the beam geometry with the parent meter worst case dependence on the beam geometry. It is advisable to include inaccuracies in the description of the beam into the uncertainty analysis.

3.2.1.5 *Dependence on multiple reflections (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to multiple reflections)*

The parent meter optical input port should be assumed generally to be reflective. Such a reflection will travel back to the radiation source, be reflected again, and finally increase the displayed optical power level. This effect will give rise to a correction factor (usually < 1) and an increased uncertainty.

The correction factor should be calculated with the help of:

- a) the nominal change of the source reflectivity caused by switching from the "previous" source and the "current" source; and
- b) the parent meter nominal dependence on the source reflectivity (the source reflection may only partially be captured by the meter optical input port).

The uncertainty should be calculated by multiplying the "effective" tolerance of the source reflectivity with the parent meter worst case dependence on that parameter.

If, for example, the source used in the to parent transfer is non-reflective and the source in the to test meter transfer is reflective (caused by an optical connector), then the total power indicated by the parent meter is erroneous by the secondary reflection. If it is assumed that the secondary reflection contributes an additional 5 % of the total power, then the individual correction factor is 0,95, as one contribution to formula (18). This type of error can be reduced by using sources with highly absorptive enclosures, respectively sources with low reflectivity connector-adaptor combinations.

3.2.1.6 *Wavelength dependence (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to wavelength dependence)*

The correction factor should be calculated with the help of the nominal change of wavelength and the parent meter nominal wavelength dependence.

The uncertainty should be calculated by multiplying the "effective" wavelength tolerance with the parent meter worst case wavelength dependence.

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)*

Il est recommandé de calculer le facteur de correction à l'aide du changement nominal de largeur spectrale et de la dépendance nominale à la largeur spectrale de l'appareil père. Noter que le facteur de correction reste 1 aussi longtemps que la dépendance à la longueur d'onde (non corrigée) est **linéaire** dans la largeur spectrale de la source. Dans le cas où la dépendance à la longueur d'onde est courbe, le facteur de correction peut être calculé à l'aide de la dépendance à la longueur d'onde de l'appareil père et des spectres des deux sources dans le transfert à l'appareil père et le transfert à l'appareil en essai.

Il est recommandé de calculer l'incertitude en multipliant la tolérance «efficace» de la largeur spectrale par la valeur la plus défavorable de la dépendance à la bande passante spectrale de l'appareil père.

3.2.1.8 *Autres dépendances (facteur de correction lié au transfert et incertitude de l'appareil père dus à d'autres dépendances)*

Selon le type d'appareil père, il peut y avoir d'autres facteurs de correction liés au transfert et des incertitudes (systématiques) de l'appareil père. Il est recommandé de les mesurer ou de les estimer de la manière décrite plus haut.

3.2.1.9 *Dépendance à l'état de polarisation*

Cette norme considère (par défaut) que l'incertitude de l'appareil père due au changement de l'état de **polarisation** est déjà comprise dans l'incertitude aux conditions de référence. Voir article 3.2.2.6. Par conséquent, le facteur de correction correspondant est 1 et l'incertitude est zéro.

3.2.2 *Incertitudes liées au transfert provoquées par l'appareil en essai*

Le présent paragraphe traite les incertitudes **systématiques** liées au transfert provoquées par l'appareil en essai. L'incertitude de transfert liée à l'appareil en essai qualifie l'incertitude de la réponse de l'appareil en essai due aux bandes de tolérance des conditions de référence «actuelles». Noter que chaque bande de tolérance comprend à la fois l'incertitude dans la mesure de la condition et l'incertitude dans la mesure de la condition et l'incertitude dans la **connaissance** de la condition (par exemple la «vraie» longueur d'onde).

On considère que les bandes de tolérance sont symétriques par rapport aux conditions de référence correspondantes. Par conséquent, les écarts et les facteurs de corrections n'existent pas.

L'incertitude de transfert liée à l'appareil en essai doit être cumulée à partir des incertitudes de transfert (systématiques) liées à l'appareil en essai abordées de 3.2.2.1 à 3.2.2.7. Pour chacune de ces incertitudes individuelles, suivre les étapes suivantes.

Déterminer la bande de tolérance de la condition «actuelle» (par exemple la bande de tolérance de la longueur d'onde). Multiplier la bande de tolérance avec le pire cas de dépendance de l'appareil en essai à cette condition, pour obtenir la bande d'incertitude (partielle) de la réponse de l'appareil en essai. La mesure de ces dépendances est traitée à la section 4. Dans ces mesures (ou estimations), il convient que seul un paramètre d'influence soit modifié, alors qu'il est recommandé que tous les autres soient maintenus aux conditions de référence. Il est recommandé d'exclure les incertitudes de mesure aléatoires par moyennage d'un nombre suffisamment important de mesures.

3.2.1.7 *Dependence on spectral bandwidth (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to dependence on spectral bandwidth)*

The correction factor should be calculated with the help of the nominal change of spectral bandwidth and the parent meter nominal dependence on the spectral bandwidth. Note that the correction factor remains 1 as long as the (uncorrected) wavelength dependence is linear within the spectral bandwidth of the source. In the case that the wavelength dependence is curved, the correction factor can be computed with the help of the wavelength dependence of the parent meter and the spectra of the two sources in the to parent transfer and the to test meter transfer.

The uncertainty should be calculated by multiplying the "effective" tolerance of the spectral bandwidth with the parent meter worst case dependence on the spectral bandwidth.

3.2.1.8 *Other dependences (transfer-related correction factor and uncertainty of the parent meter due to other dependences)*

Depending on the type of the parent meter, there may be other transfer-related correction factors and (systematic) uncertainties of the parent meter. These should also be measured or estimated as outlined above.

3.2.1.9 *Dependence on state of polarization*

This standard assumes (by default) that the uncertainty of the parent meter due to changing the state of polarization is already included in its uncertainty at reference conditions. See clause 3.2.2.6. Therefore, the corresponding correction factor is 1 and the uncertainty is zero.

3.2.2 *Transfer-related uncertainties caused by the test meter*

This subclause discusses transfer-related **systematic** uncertainties caused by the test meter. The transfer uncertainty of the test meter quantifies the uncertainty of the response of the test meter due to the tolerance bands of the "current" reference conditions. Note that each tolerance band includes both the uncertainty in measuring the condition and the uncertainty in **knowing** the condition (for example the "true" wavelength).

It is assumed that the tolerance bands are symmetrical to the correspondent reference conditions. Therefore, deviations and correction factors do not exist.

The transfer uncertainty of the test meter shall be accumulated from the (systematic) transfer uncertainties of the test meter outlined in clauses 3.2.2.1 to 3.2.2.7. For each of these individual uncertainties, follow these steps.

Determine the tolerance band of the "current" condition (for example the wavelength tolerance band). Multiply the tolerance band with the test meter worst case dependence on this condition, to obtain the (partial) uncertainty band of the test meter response. The measurement of these dependences is discussed in section 4. In the measurements (or estimations), only one influencing parameter should be varied, whereas all others should be kept at reference conditions. Random measurement uncertainties should be excluded by averaging a sufficiently large numbers of measurements.

Calculer l'incertitude (partielle), si, en exprimant la bande d'incertitude sous la forme d'un écart type relatif, à l'aide de 2.2.2.

Enfin, calculer l'**incertitude de transfert liée à l'appareil en essai** en cumulant toutes les incertitudes partielles. De même qu'à l'article 3.2.1, on peut utiliser la méthode de la valeur efficace quadratique moyenne en ajoutant toutes les bandes d'incertitudes (demi-largeur) et en divisant le résultat par $3^{1/2}$.

$$\text{Incertainde de transfert: } \sigma_{\text{transfert, essai}} = \left\{ \sum_{i=1}^n U_i^2 / 3 \right\}^{1/2} \quad (22)$$

où

i est l'indice de la condition d'influence

n est le nombre total d'indices des incertitudes individuelles

Il est recommandé d'utiliser un formulaire tel que le formulaire E1 pour enregistrer et cumuler les contributions individuelles à l'incertitude de transfert liée à l'appareil en essai.

3.2.2.1 *Dépendance à la température (incertitude de transfert de l'appareil en essai due à la dépendance à la température)*

Il est recommandé de calculer cette incertitude en multipliant la tolérance de température «actuelle» par la valeur la plus défavorable de la dépendance aux changements de température ambiante de l'appareil en essai.

3.2.2.2 *Dépendance à la géométrie du faisceau (incertitude de transfert de l'appareil en essai due à la géométrie du faisceau)*

Pour les besoins du présent document, la géométrie du faisceau doit être définie par le diamètre du spot, l'ouverture numérique de la radiation incidente sur le plan de référence optique et par la répartition de l'éclairement dans le faisceau. Les répartitions d'éclairement typiques sont: uniforme, gaussienne ou irrégulière (tachée).

Il est recommandé de calculer l'incertitude due à la géométrie du faisceau en multipliant la tolérance «actuelle» par la valeur la plus défavorable de non uniformité et de dépendance d'angle du port d'entrée optique de l'appareil en essai.

3.2.2.3 *Dépendance aux réflexions multiples (incertitude de transfert de l'appareil en essai due à des réflexions multiples)*

S'il existe de multiples réflexions entre le port d'entrée optique et la source de radiation (par exemple une combinaison connecteur-adaptateur), alors la puissance rayonnante mesurée peut changer et l'on peut observer une incertitude supplémentaire.

Il est recommandé de calculer l'incertitude aux réflexions multiples en multipliant la tolérance «actuelle» du pouvoir de réflexion de la source, par exemple provoqué par différents artifices du même type que la combinaison connecteur-adaptateur par la valeur la plus défavorable de la dépendance au pouvoir de réflexion de l'appareil en essai.

Calculate the (partial) uncertainty, σ_i , by expressing the uncertainty band in the form of a relative standard deviation, using 2.2.2.

Finally, calculate the **test meter transfer uncertainty** by accumulating all partial uncertainties. As in clause 3.2.1, this can be done by root-sum-square adding all (half-width) uncertainty bands and dividing the result by $3^{1/2}$:

$$\text{Transfer uncertainty: } \sigma_{\text{transfer, test meter}} = \left\{ \sum_{i=1}^n U_i^2 / 3 \right\}^{1/2} \quad (22)$$

where

i is the current number of influencing condition

n is the total number of number of individual uncertainties

The use of a form such as form E1 is recommended to record and accumulate the individual contributions to the test meter transfer uncertainty.

3.2.2.1 *Temperature dependence (transfer uncertainty of the test meter due to temperature dependence)*

This uncertainty should be calculated by multiplying the "current" temperature tolerance with the test meter worst case dependence on changes of the ambient temperature.

3.2.2.2 *Dependence on beam geometry (transfer uncertainty of the test meter due to beam geometry)*

For the purpose of this standard, the beam geometry shall be defined by the spot diameter, the numerical aperture of the radiation incident on the optical reference plane, and by the irradiance distribution in the beam; typical irradiance distributions are: uniform, gaussian or even irregular (speckled).

The beam geometry uncertainty should be calculated by multiplying the "current" tolerance of the beam geometry with the worst case non-uniformity and angle-dependence of the test meter optical input port.

3.2.2.3 *Dependence on multiple reflections (transfer uncertainty of the test meter due to multiple reflections)*

If multiple reflections exist between the optical input port and the radiation source (for example a connector-adapter combination) then the measured power may change and an additional uncertainty may be observed.

The multiple reflection uncertainty should be calculated by multiplying a) the "current" tolerance of the source reflectivity, for example as caused by different artifacts of the same type of connector-adapter combination with b) the test meter worst case dependence on the source reflectivity.

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)*

Il est recommandé de calculer cette incertitude en multipliant la tolérance «actuelle» de la longueur d'onde de référence par la valeur la plus défavorable, non corrigée, de la dépendance à la longueur d'onde de l'appareil en essai.

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)*

Il est recommandé de calculer cette incertitude en multipliant la bande de tolérance «actuelle» de la largeur spectrale par la valeur la plus défavorable de la dépendance à la largeur spectrale de l'appareil en essai. Cette incertitude augmente avec la courbure de la dépendance à la longueur d'onde du détecteur.

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)*

Le présent document considère, par défaut, tous les états de polarisation comme partie des conditions de référence, par exemple états polarisés dans un plan dans toutes les orientations.

Il est recommandé de calculer l'incertitude due à la polarisation avec une bande de tolérance de polarisation qui comprend tous les états de polarisation possibles et la bande passante spectrale dépendance de l'appareil en essai à l'état de polarisation.

Une méthode de mesure possible consiste à faire tourner le port d'entrée optique par rapport à une radiation polarisée linéairement à partir, par exemple, d'un séparateur de faisceau polarisant ou d'une fibre unimodale à maintien de polarisation. Un rapport d'extinction (c'est-à-dire le rapport des niveaux de puissances optiques orientés dans deux axes) de 15 dB suffira. Il est recommandé que l'axe du faisceau coïncide avec l'axe du plan de référence optique. Noter que la rotation peut modifier l'emplacement du spot lumineux ayant pour résultat une incertitude de mesure plus importante.

Suivant les suggestions de la documentation sur l'incertitude, en 2.2.3 de la section 2, la largeur de la bande d'incertitude est la différence relative entre la réponse minimum et la réponse maximum.

3.2.2.7 *Autres dépendances (incertitudes de transfert de l'appareil en essai dues à d'autres dépendances)*

Selon le type d'appareil en essai et le processus de transfert, il peut exister d'autres condition provoquant des incertitudes de transfert (systématiques) liées à l'appareil en essai. Il est recommandé de calculer ces incertitudes sur la base de la bande de tolérance du paramètre adéquat et sur le pire cas de sensibilité de l'appareil en essai.

3.2.3 *Corrections et incertitudes systématiques dues à l'extension*

Il peut être souhaitable d'étalonner le radiomètre à des conditions qui sont différentes des conditions de référence.

3.2.2.4 Wavelength dependence (transfer uncertainty of the test meter due to wavelength dependence)

This uncertainty should be calculated by multiplying the "current" tolerance of the reference wavelength with the test meter worst case, uncorrected wavelength dependence.

3.2.2.5 Dependence on spectral bandwidth (transfer uncertainty of the test meter due to spectral bandwidth)

This uncertainty should be calculated by multiplying the "current" tolerance band of the spectral bandwidth with the test meter worst case dependence on the spectral bandwidth. This uncertainty increases with the curvature of the detector wavelength dependence.

3.2.2.6 Dependence on state of polarization (transfer uncertainty of the test meter due to dependence on the state of polarization)

This standard assumes, by default, all possible states of polarization as part of the reference conditions, for example plane polarized states at all orientations.

The polarization uncertainty should be calculated with a polarization tolerance band which includes all possible states of polarization and the test meter dependence on the state of polarization.

A possible measurement method is rotating the optical input port with respect to linearly polarized radiation from, for example a polarizing beam splitter or a polarization maintaining single-mode fibre. An extinction ratio (that is the ratio of the optical power levels oriented in the two axes) of 15 dB will be sufficient. The beam axis should coincide with the axis of the optical reference plane. Note that rotating may change the location of the light spot, with the result of an increased measurement uncertainty.

Following the suggestions of uncertainty documentation in section 2, 2.2.3, the width of the uncertainty band is the relative difference between the maximum response and the minimum response.

3.2.2.7 Other dependences (transfer uncertainties of the test meter due to other dependences)

Depending on the type of the test meter and on the transfer process, there may be other conditions causing (systematic) transfer uncertainties of the test meter. These uncertainties should also be calculated on the basis of the tolerance band of the relevant parameter and the worst case sensitivity of the test meter.

3.2.3 Corrections and systematic uncertainties due to extension

It may be desirable to calibrate the test meter at conditions which are different from the actual reference conditions.

Exemple: la diode laser utilisée pour l'étalonnage réel ne génère pas la longueur d'onde désirée. Dans ce cas, une réponse étalonnée à la longueur d'onde (**étendue**) désirée peut être obtenue à partir de la dépendance à la longueur d'onde connue du radiomètre. Il est recommandé d'évaluer la dépendance à la longueur d'onde à l'aide de 4.2.1.6 de la section 4. Noter que cette mesure est souvent effectuée à un flux énergétique qui est considérablement différent du flux énergétique de référence et qu'une erreur de non-linéarité peut aussi exister. On utilise λ_0 pour la longueur d'onde réelle et λ_1 pour la longueur d'onde étendue. Alors, on peut calculer un **facteur de correction lié à l'extension**, $CF_{\text{extension}}$:

$$\text{Facteur de correction: } CF_{\text{extension}} = r(\lambda_0) / r(\lambda_1) \quad (23)$$

où

$r(\lambda_0)$ est la réponse nominale avec excitation à la longueur d'onde (réelle) λ_0 ;

$r(\lambda_1)$ est la réponse nominale avec excitation à la longueur d'onde (étendue) λ_1 .

Il est recommandé que tous les résultats de mesure obtenus par excitation à la longueur d'onde λ_1 soient alors **multipliés** avec le facteur de correction ci-dessus. Noter que cela est basé sur un état de l'appareil inchangé. Au total, $CF_{\text{extension}}$ est un **multiplicateur** du facteur de correction CF_{essai} , article 3.1.2 h).

Un autre exemple où l'extension peut être souhaitable est l'étalonnage d'un appareil en essai à des niveaux de flux énergétique. En général, le concept de conditions de référence étendues peut être utilisé lorsque les conditions de référence réelles ne coïncident pas avec les conditions de référence désirées (nominales) et/ou lorsque l'appareil en essai doit être étalonné à **plus d'un ensemble de conditions de référence**.

Le calcul des facteurs de correction et des incertitudes systématiques liés à l'extension est semblable aux calculs de 3.1.2 excepté que 3.2.1 traite des incertitudes de l'**appareil père**. Par conséquent, les formulaires D4 et D5 sont semblables aux formulaires D1 et D2. Noter que les incertitudes aléatoires sont traitées en 3.2.6.

Le facteur de correction est un multiplicateur du facteur de correction (cumulé) de l'appareil en essai; voir article 3.1.2. L'incertitude est une contribution supplémentaire à l'incertitude définie aux conditions de référence; voir article 3.1.3. Les deux peuvent être omis si aucune extension n'a été effectuée.

Il est recommandé d'utiliser des formulaires de calcul tels que les formulaires D4 et D5.

3.2.4 Autres corrections et incertitudes systématiques

D'autres corrections et incertitudes systématiques de l'appareillage de mesure utilisé dans l'étalonnage et contribuant à l'incertitude de l'appareil en essai peuvent être caractérisées et enregistrés de la manière décrite aux paragraphes précédents.

3.2.5 Incertitude aléatoire de la comparaison

L'incertitude aléatoire de la comparaison doit quantifier le caractère aléatoire des résultats de mesure de la comparaison entre l'appareil père et l'appareil en essai. L'essai est semblable à celui présenté à l'article 3.1.2, dans lequel on obtient plusieurs facteurs de correction, $CF_{\text{comparaison},1}$ à $CF_{\text{comparaison},n}$. A la différence de l'article 3.1.2, il est recommandé de mesurer un nombre important de facteurs de correction, par exemple 30, afin de caractériser le processus par un écart type expérimental «précis». Le transfert réel

Example: the laser diode used for the actual calibration does not generate the desired wavelength. In that case, a calibrated response at the desired (**extended**) wavelength can be obtained based on the known wavelength dependence of the power meter. The wavelength dependence should be evaluated with the help of 4.2.1.6 of section 4. Note that this measurement is often carried out at a power level which is substantially different from the reference power level, and that a nonlinearity error might also exist. Let us use λ_0 for actual wavelength, and λ_1 for the extended wavelength. Then an **extension-related correction factor**, $CF_{\text{extension}}$, can be calculated:

$$\text{Correction factor: } CF_{\text{extension}} = r(\lambda_0) / r(\lambda_1) \quad (23)$$

where

$r(\lambda_0)$ is the nominal response with excitation at (actual) wavelength λ_0 ;

$r(\lambda_1)$ is the nominal response with excitation at (extended) wavelength λ_1 .

Any measurement results obtained by excitation at the wavelength λ_1 should then be **multiplied** with the above correction factor. Note that this is based on an unchanged instrument state. Altogether, $CF_{\text{extension}}$ is a **multiplier** to the correction factor $CF_{\text{test meter}}$, 3.1.2 h).

Another example where extension may be advisable is calibration of a test meter at power levels which are different from the reference level, in order to cover a broader range of power levels. Generally, the concept of extended reference conditions can be used whenever the actual reference conditions do not coincide with the desired (nominal) reference conditions, and/or when the test meter is to be calibrated at **more than one set** of reference conditions.

The calculation of extension related correction factors and systematic uncertainties is similar to the calculations in 3.1.1, except that 3.2.1 discusses uncertainties of the **parent meter**. Therefore, forms D4 and D5 are similar to forms D1 and D2. Note that random uncertainties are discussed in 3.2.6.

The correction factor is a multiplier to the (cumulative) correction factor of the test meter; see 3.1.2. The uncertainty is an additional contribution to the specified uncertainty at reference conditions; see 3.1.3. Both can be omitted if no extension was carried out.

It is recommended to use computation forms such as forms D4 and D5.

3.2.4 Other corrections and systematic uncertainties

Other corrections and systematic uncertainties of the measurement equipment used in the calibration and contributing to the uncertainty of the test meter shall be characterized and recorded as outlined in the preceding subclauses.

3.2.5 Random uncertainty of comparison

The random uncertainty of comparison shall quantify the randomness of the measurement results in the comparison between the parent meter and the test meter. The test is similar to the one outlined in 3.1.2, in which several correction factors, $CF_{\text{comparison},1}$ to $CF_{\text{comparison},n}$ are obtained. Different from clause 3.1.2, a large number of correction factors, for example 30, should be measured in order to characterize the process by an "accurate" experimental standard deviation. The actual transfer (see 3.1.2) may be carried out on the

(article 3.1.2) peut être effectué sur la base d'un nombre de comparaisons plus petit, n_r . La méthode est aussi présentée dans le formulaire F1. Le résultat est l'**incertitude aléatoire de la comparaison** (un écart type représentatif):

$$\text{Incertaince aléatoire: } \sigma_{r, \text{ comparaison}} = s_{r, \text{ comparaison}} / n_r^{1/2} \quad (24)$$

où

$s_{r, \text{ comparaison}}$ est l'écart type expérimental (relatif) des facteurs de correction

n_r est le nombre de cycles de mesure réels au cours du processus de transfert

Noter que la détermination de $\sigma_{r, \text{ comparaison}}$ peut être omise si l'on organise le processus de transfert de manière adaptée (voir 3.1.2) c'est-à-dire en rendant le nombre de mesures caractéristiques égal au nombre de mesures de transfert ($m = n$). Cette méthode est plus adaptée si l'on doit étalonner un seul radiomètre (et non une série).

3.2.6 Autres incertitudes aléatoires

Selon la méthode de transfert, il peut exister d'autres paramètres influents contenant des contributions aléatoires à l'incertitude de transfert. Un exemple peut être une incertitude aléatoire observée dans le processus d'extension (voir 3.2.3). Un autre exemple peut être l'incertitude aléatoire caractéristique d'autres parties de l'appareillage d'essai, par exemple l'incertitude aléatoire dans la mesure du rapport de séparation d'un séparateur de faisceau utilisé dans des étalonnages de type «parallèle».

Il est recommandé que ces incertitudes soient enregistrées comme des incertitudes relatives, sous la forme d'écarts types relatifs, $\sigma_{r, \text{ autre}}$. Une procédure appropriée est décrite dans l'article précédent.

3.3 Documentation

Tous les radiomètres se rapportant à la présente norme doivent être définis de la manière présentée ci-après. Tous les énoncés d'incertitude doivent être faits selon 2.2, section 2.

3.3.1 Spécifications

Il est recommandé de spécifier les incertitudes d'un radiomètre seul dans un certificat d'étalonnage. Il est recommandé que les incertitudes d'une série de radiomètre soient définies dans des feuilles de calcul appropriées par le fabricant du radiomètre. Les spécifications déclarées être en accord avec la présente norme doivent comprendre:

- Toutes les conditions de référence (voir 3.1.1), et/ou les conditions de référence étendues (voir 3.2.3) du processus «actuel» d'étalonnage.
- Le(s) facteur(s) de correction de l'appareil en essai ou les écarts, si l'appareil en essai n'a pas été ajusté. Voir les articles 3.1.2, 3.2.1 et 3.2.4.
- Les facteurs de correction ou écarts à réception et les facteurs de correction ou écarts après ajustage si un ajustage est effectué.
- L'incertitude de l'appareil en essai aux conditions de référence et/ou étendues, sous la forme d'une gamme d'incertitudes (voir article 3.1.3).

basis of a smaller number of comparisons, n_r . The method is also outlined in form F1. The result is the **random uncertainty of comparison** (a representative standard deviation):

$$\text{Random uncertainty: } \sigma_{r, \text{comparison}} = s_{r, \text{comparison}} / n_r^{1/2} \quad (24)$$

where

$s_{r, \text{comparison}}$ is the (relative) experimental standard deviation of the correction factors

n_r is the number of actual measurements cycles during the transfer process

Note that determining $\sigma_{r, \text{comparison}}$ can be omitted by properly arranging the transfer process (see 3.1.2), that is by making the number of characterizing measurements equal to the number of transfer measurements ($m = n$). This method is more advisable if a single power meter (not a series) is to be calibrated.

3.2.6 Other random uncertainties

Depending on the method of transfer, there may be other influencing parameters which contain random contributions to the transfer uncertainty. One example may be a random uncertainty observed in the process of extension (see 3.2.3). Another example may be the random uncertainty in characterizing other parts of the test equipment, for example the random uncertainty in measuring the splitting ratio of a beam splitter used for "parallel" type calibrations.

These uncertainties should also be recorded as relative uncertainties, in the form of representative standard deviations, $\sigma_{r, \text{other}}$. An appropriate procedure is described in the preceding subclause.

3.3 Documentation

All power meters referring to this standard shall be specified as outlined below. All uncertainty statements shall be made on 2.2, section 2.

3.3.1 Specifications

The uncertainties of a single power meter should be documented in a calibration certificate. The uncertainties of a series of power meters should be specified in appropriate data sheets by the manufacturer of the power meter. Specifications claimed to be in compliance with this standard shall include:

- All reference conditions (see 3.1.1), and/or extended reference conditions (see 3.2.3) of the "current" calibration process.
- The test meter correction factor(s) or deviation(s), if the test meter was not adjusted. See 3.1.2, 3.2.1, and 3.2.4.
- On receipt correction factors or deviations and after adjustment correction factors or deviations in the case that an adjustment was carried out.
- The test meter uncertainty at the reference conditions and/or extended reference conditions, in the form of an uncertainty range (see 3.1.3).

e) Le mode d'appareil du radiomètre au cours de l'étalonnage (longueur d'onde, gamme de puissances, mode dBm ou watt, sortie de l'appareil à partir de laquelle les données de mesure ont été obtenues, etc.)

f) L'énoncé suivant:

«Informations sur la traçabilité du radiomètre disponibles sur demande».

En plus, les gammes de conditions pour lesquelles l'incertitude spécifiée à des conditions de référence est applicable peuvent être indiquées, une fois qu'elles sont évaluées suivant les articles 3.2.2 et 4.2.1.

La période recommandée de ré-étalonnage, ainsi que le délai recommandé d'achèvement du ré-étalonnage peuvent aussi être indiqués.

Pour ce qui concerne le certificat d'étalonnage lui-même, il est recommandé d'utiliser un formulaire tel que le formulaire A1 (annexe A).

3.3.2 Informations de traçabilité

La figure 3 présente un exemple de chaîne d'étalonnage. La chaîne doit contenir tous les radiomètres, de l'étalon national de travail ou de l'étalon de travail agréé à l'appareil en essai. Une information de traçabilité correspondante, comme le précise l'article 3.3.1 f), doit être mise à disposition sur demande et doit contenir:

- Le nom de l'étalon national de travail et, si possible, du centre d'étalonnage agréé.
- Une description de tous les radiomètres et des appareils qui y sont liés (dates d'étalonnage, types de détecteurs, surfaces actives, périodes de ré-étalonnage etc.) dans la chaîne d'étalonnage.
- Tous les ensembles de conditions de référence (réelles et étendues) – uniquement les valeurs nominales – dans la chaîne d'étalonnage.
- Les incertitudes aux conditions de référence (voir 3.1.3) de tous les radiomètres dans la chaîne d'étalonnage, sous la forme de gammes d'incertitudes.
- Les incertitudes de transfert (cumulées) (voir 3.2) de tous les processus de transfert dans la chaîne d'étalonnage, sous la forme de gammes d'incertitudes.

Il est recommandé d'utiliser des formulaires tels que le formulaire A2.

Section 4: Etalonnage pour conditions de fonctionnement

4.1 Détermination de l'incertitude totale

La section 4 traite de:

- la mesure des dépendances du radiomètre aux conditions de fonctionnement et leur conversion en incertitudes de fonctionnement; et
- l'incertitude totale, c'est-à-dire l'incertitude du radiomètre lorsqu'il fonctionne dans une gamme de conditions de fonctionnement. Comme pour les conditions de référence, il est recommandé que chaque condition de fonctionnement soit décrite par la largeur d'une plage de fonctionnement. Ces plages seront en général plus larges que les bandes de tolérances relativement étroites des conditions de référence. Noter que l'incertitude totale définie dépend des largeurs des plages de fonctionnement.

e) The instrument state of the power meter during the calibration (wavelength, power range, dBm or watt mode, instrument output from which the measurement data were obtained, etc.).

f) The following statement:

"Information on the power meter traceability is available upon request".

In addition, ranges of conditions for which the specified uncertainty at reference conditions is applicable may be reported, evaluated on the basis of 3.2.2 and 4.2.1.

A recommended recalibration period, respectively a recommended recalibration due date may also be stated.

In the preparation of the calibration certificate, it is recommended to use a form such as form A1 (annex A).

3.3.2 Traceability information

An example of a calibration chain is illustrated in figure 3. The chain shall contain all power meters from the national working standard or the accredited working standard to the test meter. A corresponding traceability information, as indicated in 3.3.1f), is to be made available upon request and shall contain:

- a) The name of the national standards laboratory and, if applicable, of the accredited calibration laboratory.
- b) A description of all power meters and related instruments (calibration dates, detector types, active areas, recalibration periods, etc.) in the calibration chain.
- c) All (actual or extended) sets of reference conditions – the nominal values only – in the calibration chain.
- d) The uncertainties at reference conditions (see 3.1.3) of all power meters in the calibration chain, in the form of uncertainty ranges.
- e) The (cumulative) transfer uncertainties (see 3.2) of all transfer processes in the calibration chain, in the form of uncertainty ranges.

It is recommended to use a form such as form A2.

Section 4: Calibration for operating conditions

4.1 Determining the total uncertainty

Section 4 discusses:

- a) the measurement of the power meter dependences on the operating conditions and their conversion to operational uncertainties; and
- b) the total uncertainty, that is the power meter uncertainty when operated within a range of operating conditions. Similarly to the reference conditions, each operating condition should be described by the width of an operating span. These spans will usually be wider than the relatively narrow tolerance bands of the reference conditions. Note that the specified total uncertainty depends on the widths of the operating spans.

La spécification d'une incertitude totale n'est pas obligatoire. Si elle est définie, elle doit être calculée à l'aide de la formule (12) de la section 2, 2.2.5, en cumulant deux incertitudes:

- 1) l'incertitude aux conditions de référence de l'appareil en essai, $\sigma_{\text{essai@ref}}$, déterminée à partir de la formule de la section 3, (16); et
- 2) l'incertitude aux conditions de fonctionnement (cumulée), $\sigma_{\text{fonctionnement}}$, déterminée à partir de la formule (2.6).

$$\sigma_{\text{total}} = [\sigma_{\text{essai@ref}}^2 + \sigma_{\text{fonctionnement}}^2]^{1/2} \quad (25)$$

Un formulaire de calcul, tel que le formulaire H, sera utile pour le détail des calculs. Il est recommandé que le résultat soit exprimé sous la forme d'une gamme d'incertitudes, par exemple formule (12) de la section 2.

Si les incertitudes de fonctionnement individuelles sont connues, on peut alors calculer pour le cas individuel une incertitude réelle réduite. Ceci s'effectue en insérant dans les formules uniquement les incertitudes individuelles provoquées par des conditions de mesure qui dévient des conditions de référence.

4.2 Détermination de l'incertitude de fonctionnement

L'incertitude de **fonctionnement** du radiomètre, est l'incertitude supplémentaire (supplémentaire à l'incertitude aux conditions de référence) provoquée par le fait que les gammes de fonctionnement sont en général beaucoup plus larges que les bandes de tolérance des conditions de référence. Afin de répondre aux besoins du présent document, l'ensemble des **conditions de fonctionnement** doit être au moins défini par:

- 1) la plage temporelle maximum entre les ré-étalonnages;
- 2) la gamme des températures ambiantes;
- 3) la gamme des flux énergétiques (gamme de mesures);
- 4) la gamme des géométries de faisceau ou des types de fibres applicables;
- 5) les combinaisons connecteur-adaptateur applicables, s'il en existe;
- 6) la gamme des longueurs d'onde de la source;
- 7) la bande passante spectrale maximum de la source.

On considère par défaut qu'il y a une humidité relative en dessous du point de condensation. Les conditions ci-dessus peuvent être définies soit par le fabricant du radiomètre, soit par le centre d'étalonnage en charge de l'étalonnage pour les conditions de fonctionnement.

Pour calculer l'incertitude de fonctionnement (cumulée), utiliser la section 2, 2.2, et cumuler toutes les incertitudes de fonctionnement de l'article 4.2.1. Le résultat est un écart type cumulé, $\sigma_{\text{fonctionnement}}$:

$$\sigma_{\text{fonctionnement}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{U_{s,i}^2}{3}} \quad (26)$$

où

$U_{s,i}$ est la demi-largeur de la bande d'incertitude de fonctionnement (partielle) de la réponse de l'appareil, un de n

n est le nombre total d'incertitudes (aux conditions) de fonctionnement

The specification of a total uncertainty is not mandatory. If specified, then it shall be calculated with the help of formula (12) of section 2, 2.2.5, by accumulating two uncertainties:

- 1) the uncertainty at reference conditions of the test meter, $\sigma_{\text{test meter@ref}}$, as determined from section 3 formula (16); and
- 2) the (cumulative) operational uncertainty, $\sigma_{\text{operational}}$, as determined from formula (26).

$$\sigma_{\text{total}} = [\sigma_{\text{test meter@ref}}^2 + \sigma_{\text{operational}}^2]^{1/2} \quad (25)$$

A computation form, such as form H, will be helpful in documenting the calculations. The result should be expressed in the form of a uncertainty range, for example formula (12) of section 2.

If the individual operational uncertainties are known, then a reduced actual uncertainty for the individual case may be calculated, instead of the specified total uncertainty. This is done by inserting into the formulae only those individual uncertainties which are caused by measurement conditions deviating from the reference conditions.

4.2 Determining the operational uncertainty

The power meter **operational** uncertainty is the additional uncertainty (additional to the uncertainty at reference conditions) caused by the fact that the operating ranges are usually much wider than the tolerance bands of the reference conditions. In order to meet the requirements of this standard, the set of **operating conditions** shall be specified by at least:

- 1) the maximum time span between recalibrations;
- 2) the range of ambient temperatures;
- 3) the range of power levels (measuring range);
- 4) the range of beam geometries, or the applicable fibre types;
- 5) the applicable connector-adaptor combinations, if any;
- 6) the range of wavelengths of the source;
- 7) the maximum spectral bandwidth of the source.

A relative humidity below the condensation point is assumed by default. The above conditions may be defined either by the power meter manufacturer, or by the calibration laboratory in charge of the calibration for operating conditions.

To calculate the (cumulative) operational uncertainty, use section 2, 2.2, and accumulate all operational uncertainties of 4.2.1. The result is a cumulative standard deviation, $\sigma_{\text{operational}}$:

$$\sigma_{\text{operational}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{U_{s,i}^2}{3}} \quad (26)$$

where

$U_{s,i}$ is the half-width of (partial) operational uncertainty band of the meter response, one of n

n is the total number of operational uncertainties

4.2.1 Dépendances de fonctionnement et incertitudes

Le présent paragraphe définit les méthodes et les conditions d'essai pour les dépendances du radiomètre aux conditions de fonctionnement et le calcul des incertitudes de fonctionnement individuelles.

Il est recommandé que chaque dépendance individuelle soit enregistrée comme modification relative de la réponse de l'appareil en essai, provoqué par la modification de la condition de fonctionnement dans la gamme de fonctionnement. Au cours de l'essai, il est recommandé que toutes les autres conditions soient maintenues aux conditions de référence. Le point zéro est défini par la réponse aux conditions de référence. De cette manière, chaque dépendance peut être définie par une bande qui est définie par le maximum des variations positives et négatives de la réponse. Une bande asymétrique proche du point zéro est le résultat habituel. Cette norme suggère de rendre les limites asymétriques, en élargissant la plage comme le montre la figure 6.

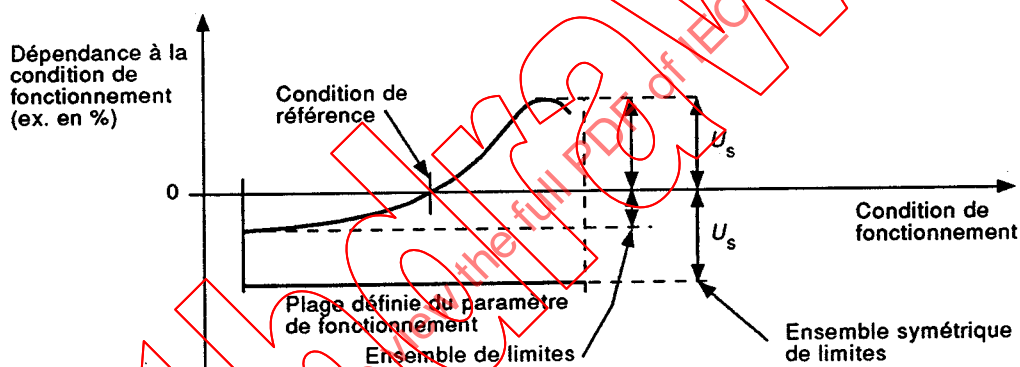


Figure 6 – Détermination et enregistrement d'une incertitude de fonctionnement

Afin d'obtenir une bonne précision de mesure, il est recommandé de suivre les lignes directrices de la section 2, 2.3. Il est recommandé que les incertitudes aléatoires et systématiques des mesures soient aussi petites que possible, car les résultats de mesure doivent comprendre ces incertitudes. Il est possible d'utiliser des estimations au lieu des mesures, si ces estimations sont basées sur des relations physiques connues ou sur un nombre de mesures caractéristiques suffisamment important du même type d'appareil en essai.

Pour le cumul des incertitudes de fonctionnement de l'appareil en essai, les bandes qui quantifient les **dépendances** individuelles doivent être traitées comme des bandes d'incertitude de type systématique. Il est recommandé d'enregistrer les demi-largeurs des **bandes d'incertitudes** de la réponse, $U_{s,i}$, à l'aide d'un formulaire de calcul tel que le formulaire H.

On peut considérer qu'une incertitude de fonctionnement est égale à zéro si la bande de fonctionnement coïncide avec la bande de tolérance de la condition de référence applicable. En général, l'incertitude de fonctionnement augmentera avec la largeur de la gamme de fonctionnement.

4.2.1 Operational dependences and uncertainties

This subclause specifies test methods and conditions for the power meter dependences on the operating conditions and the calculation of the individual operational uncertainties.

Each individual dependence should be recorded as relative change of the test meter response, caused by changing the relevant operating condition within its specified operating range. During the test, all other conditions should be kept at the reference conditions. The zero point is defined by the response at reference conditions. That way, each dependence can be specified by band, which is defined by the maximum positive and negative changes of the response. An asymmetric band about the zero point is the usual result. This standard suggests making asymmetric limits symmetric, by widening the span as shown in figure 6.

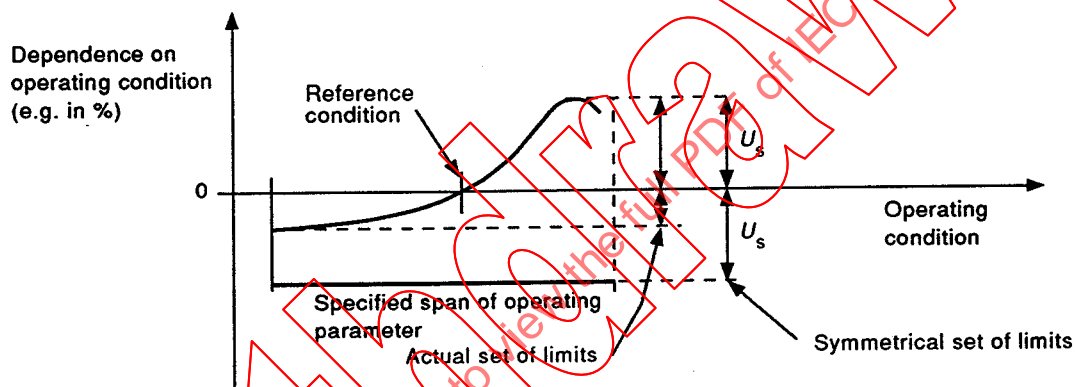


Figure 6 – Determining and recording an operational uncertainty

In order to obtain good measurement accuracy, the guidelines in section 2, 2.3, should be observed. Random and systematic uncertainties in the measurements should be as small as possible, because the measurement results shall include these uncertainties. It is acceptable to use estimations, instead of measurements, if these estimations are based on known physical relations or on a sufficiently large number of characteristic measurements of the same type of test meter.

For the accumulation of the operational uncertainties of the test meter, the bands quantifying the individual **dependences** shall be treated as systematic type **uncertainty bands**. It is recommended to record the half-widths of the response uncertainty bands, $U_{s,i}$, with the help of a computation form such as form H.

An operational uncertainty may be assumed to be zero if the operating band coincides with the tolerance band of the applicable reference condition. Generally, the operational uncertainty will increase with the width of the operating range.

On considère en général que les incertitudes de fonctionnement individuelles sont indépendantes. Toutefois, dans certains cas, une incertitude de fonctionnement peut être fortement indépendante de plus d'une condition de fonctionnement. Les articles 4.2.1.3, 4.2.1.5, et 4.2.1.6, en donnent des exemples. Si l'incertitude de fonctionnement augmente après modification d'autres conditions de fonctionnement (avec leurs bandes de fonctionnement définies), cette incertitude doit alors être enregistrée. Le calcul de l'incertitude totale doit alors être basé sur ces incertitudes plus importantes.

Pour l'évaluation de l'incertitude totale d'une série de radiomètres, il est recommandé d'estimer chaque incertitude individuelle afin que ses limites englobent la série entière.

4.2.1.1 *Vieillessement*

Le changement de réponse relatif au cours de la période de ré-étalonnage doit être déterminé dans l'hypothèse d'une utilisation soignée de l'appareil. Il est recommandé d'exposer l'appareil en essai à ses conditions d'environnement typiques, par exemple température ambiante $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ pour un appareil de type laboratoire, port d'entrée optique non éclairé, cycles répétitifs continus de 12 h de marche, 12 h d'arrêt, avec un temps d'essai total égal à la période de ré-étalonnage. Il est recommandé de mesurer le changement de réponse par comparaison avec un étalon de travail. Un ré-étalonnage régulier et traçable de l'étalon de travail sera nécessaire, afin d'éliminer le vieillissement de l'étalon de travail. Comme toujours, l'incertitude de mesure, dans ce cas principalement l'incertitude de l'étalon de travail, doit être prise en compte par une bande d'incertitude appropriée plus large.

Suivant les lignes directrices précédentes, il est recommandé de décrire l'incertitude de vieillissement par une répartition rectangulaire. Si, par exemple, on sait qu'un détecteur augmente la réponse d'un maximum de 1 % par an (période de ré-étalonnage) à une certaine longueur d'onde, l'incertitude de vieillissement est caractérisée par un rectangle qui s'étend de 0 % (à l'instant 0) à +1 % (à l'instant 1 an).

4.2.1.2 *Dépendance à la température*

Il est recommandé de mesurer le changement de réponse relatif à la réponse à la température de référence en modifiant la température dans la gamme de températures de fonctionnement définie. La répartition rectangulaire de l'incertitude est alors définie par le changement de réponse le plus négatif et le plus positif. Noter que seuls sont significatifs les extrêmes de la réponse en tant que fonction de la température, pas les réponses aux extrêmes de température (voir figure 6).

4.2.1.3 *Absence de linéarité*

Il est recommandé de mesurer le changement de réponse relatif par rapport à la réponse au niveau de puissance de référence. Ceci peut être effectué avec une source dont le niveau de puissance peut être sélectionné, par exemple une source à diode laser (stabilisée) et un atténuateur variable. Il est recommandé que les niveaux de puissance générés couvrent la gamme de mesures définie. Au cours de l'essai, il est recommandé que l'éclairement maximum admissible du port d'entrée soit défini par la puissance optique à l'extrémité supérieure de la gamme de mesures et par l'excitation d'une fibre unimodale.

The individual operating uncertainties are usually assumed to be independent. However, in some instances, an operating uncertainty may be strongly dependent on more than one operating condition. Examples are outlined in 4.2.1.3, 4.2.1.5 and 4.2.1.6. If the operating uncertainty is substantially increased by changing the other operating conditions (within their specified operating bands), then this larger uncertainty shall be recorded. The calculation of the total uncertainty shall then be based on these larger uncertainties.

For the evaluation of the total uncertainty of a series of power meters, each individual uncertainty should be estimated so that its limits embrace the entire series.

4.2.1.1 *Ageing*

The relative change of response during the specified recalibration period shall be determined by the assumption of careful use of the instrument. It is recommended to expose the test meter to its typical environmental conditions, for example ambient temperature $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ for a laboratory type instrument, optical input port non-irradiated, continuously repetitive cycles of power on 12 h, power off 12 h, with a total test time equal to the recalibration period. The change of response should be measured by comparison with a working standard. Regular and traceable recalibration of the working standard will be necessary, in order to exclude ageing of the working standard. As always, the measurement uncertainty, in this case mostly the uncertainty of the working standard, shall be taken into account by an appropriately wider uncertainty band.

Following the above guidelines, it is recommended to describe the ageing uncertainty by a rectangular distribution. If, for example, a detector is known to increase its response by a maximum of 1 % per year (recalibration period) at a certain wavelength, then the ageing uncertainty is characterized by a rectangle which extends from 0 % (at time 0) to + 1 % (at time 1 year).

4.2.1.2 *Temperature dependence*

The relative change of response against the response at the reference temperature should be measured by changing the temperature within the specified operating temperature range. The rectangular uncertainty distribution is then defined by the most negative and the most positive relative changes of the response. Note that only the extremes of the response as function of the temperature are relevant, not the responses at the extremes of the temperature (see figure 6).

4.2.1.3 *Nonlinearity*

The relative change of response against the response at the reference power level should be measured. This can be done using a source with selectable power level, for example a (stabilized) laser diode source and a variable attenuator. The generated power levels should cover the specified measuring range. During the test, the maximum permissible irradiance of the input port should be defined by the optical power at the upper end of the measuring range and by single-mode fibre excitation.

Une méthode de mesure possible est la comparaison directe de l'appareil en essai avec un étalon de travail en utilisant une technique de substitution. Il est recommandé que les caractéristiques de l'étalon de travail aient été définies de manière appropriée par un laboratoire national primaire, ou via une chaîne de mesure traçable jusqu'au laboratoire national primaire. Dans ce cas, il convient que l'atténuateur soit capable de régler l'atténuation de manière reproductible. L'étalon de travail sert à déterminer la puissance utile. L'étalon de travail est ensuite remplacé par l'appareil en essai. Les résultats de mesure des deux appareils sont enregistrés.

Il est souhaitable de répéter les mesures avec l'étalon de travail pour vérifier s'il y a des dérives dans les mesures. Afin d'étendre les mesures à des bas niveaux de puissance, il est recommandé que l'étalon de travail incorpore un détecteur de bas niveau du bruit.

Au lieu de la substitution, une excitation simultanée de l'étalon et de l'appareil en essai, à l'aide d'un séparateur de faisceau, est aussi possible. Un séparateur de faisceau avec un rapport de rupture asymétrique, par exemple 10:1, permettra une extension de la gamme dynamique de la mesure dans les deux directions.

La première étape est la mesure du flux énergétique avec les deux appareils, afin d'évaluer la réponse de l'appareil au niveau de puissance de référence:

$$r_{\text{essai}}(P_o) = Y_{\text{essai}}(P_o) / Y_{\text{père}}(P_o) \approx Y_{\text{essai}}(P_o) / P_o \quad (27)$$

où

- $r_{\text{essai}}(P_o)$ est la réponse (approximative) de l'appareil en essai au niveau de puissance de référence, P_o
- $Y_{\text{essai}}(P_o)$ est le résultat de mesure de l'appareil en essai au niveau de puissance de référence
- $Y_{\text{père}}(P_o)$ est le résultat de mesure de l'étalon de travail au niveau de puissance de référence

L'étape suivante consiste à modifier le niveau de puissance dans la gamme définie et à évaluer les changements de la réponse de l'appareil en essai. Les réponses les plus élevées et les moins élevées définissent l'incertitude systématique. Voir figure 6 et 2.2. Noter que, par définition, la non-linéarité est 0 au niveau de puissance de référence.

Une autre méthode de mesure de la non-linéarité est basée sur la variation du niveau de puissance avec un atténuateur étalonné, c'est-à-dire un atténuateur dont les caractéristiques ont été définies par un laboratoire national primaire ou via une chaîne de mesure traçable jusqu'au laboratoire national primaire. Cette méthode ne nécessite pas un second radiomètre: par contre, les niveaux de puissance peuvent être calculés avec l'atténuation connue de l'atténuateur. Il faudra tenir compte de la dépendance aux longueurs d'onde et de la répétabilité des atténuations.

Il est possible de réaliser des étalonnages en linéarité extrêmement précis, avec la méthode de la double ouverture (méthode des ouvertures multiples) [voir annexe B, [3]]. Dans cette méthode, l'image de deux ouvertures de même dimension est formée sur le détecteur. Celui-ci reçoit séquentiellement le flux délimité par l'ouverture 1, le flux délimité par l'ouverture 2, puis le flux délimité par les deux ouvertures simultanément, ce dernier étant le double des deux précédents. Un traitement mathématique approprié des valeurs mesurées par le radiomètre déterminera sa linéarité pour une gamme de flux énergétiques d'ordre de grandeur double de la valeur de référence. On peut étendre cette gamme en changeant le flux énergétique émis par la source.

One possible measurement method is direct comparison of the test meter with a working standard by using the substitution technique. The working standard should have been appropriately characterized by a national standards laboratory, or via a chain of measurements traceable to the national standards laboratory. In that case, the attenuator should be capable of setting the attenuation reproducibly. The working standard is used to determine the output power. Then the working standard is replaced by the test meter. The measurement results of both meters are recorded.

It is advisable to repeat the measurements with the working standard to check for drifts in the measurement. In order to extend the measurements to low power levels, it is recommended that the working standard incorporates a low noise detector.

Instead of the substitution, simultaneous excitation of both the standard and the test meter, with the help of an appropriate beam splitter, is also possible. A beam splitter with an asymmetric splitting ratio, for example 10:1, will allow an extension of the dynamic range of the measurement in both directions.

The first step is measuring the radiant power with both meters, in order to evaluate the test meter response at the reference power level:

$$r_{\text{test meter}}(P_o) = Y_{\text{test meter}}(P_o) / Y_{\text{parent}}(P_o) \approx Y_{\text{test meter}}(P_o) / P_o \quad (27)$$

where

$r_{\text{test meter}}(P_o)$ is the (approximate) response of test meter at reference power level, P_o

$Y_{\text{test meter}}(P_o)$ is the measurement result of the test meter at reference power level

$Y_{\text{parent}}(P_o)$ is the measurement result of working standard at reference power level

The next step is changing the power level within the specified range and evaluating the changes of the test meter response. The highest and lowest responses define the systematic uncertainty. See figure 6 and 2.2. Note that, by definition, the nonlinearity is 0 at the reference power level.

Another method of nonlinearity measurement is based on varying the power level with a **calibrated** attenuator, that is an attenuator characterized by a national standards laboratory, or via a chain of measurements traceable to the national standards laboratory. This method does not require a second power meter; instead, the reference power levels can then be calculated with the known attenuation of the attenuator. Be aware of the attenuator repeatability and wavelength dependence.

Highly accurate linearity calibrations are possible with the double aperture method (respectively multiple aperture method) [see annex B, [3]]. In this method, radiation from a source is imaged onto a detector after passing through two circular apertures of the same size. The apertures are applied in the following sequence: aperture 1, aperture 2, apertures 1 and 2; the latter resulting in an excitation of twice that obtained before. Appropriate mathematic treatment of the measurement results will then determine the meter linearity for a power step of 2. More steps can be added on the basis of changing the source power level.

Noter que les températures ambiantes extrêmes peuvent accroître la non-linéarité. En suivant l'énoncé sur la «dépendance à plus d'une condition de fonctionnement» de 4.2.1, il peut être nécessaire de mesurer à nouveau la non-linéarité aux extrêmes de la gamme de températures de fonctionnement et d'enregistrer une incertitude de fonctionnement plus importante.

4.2.1.4 Dépendance au type de fibre ou à la géométrie du faisceau

Les radiomètres pour sources fibrées peuvent être conçus pour accepter des fibres ou des faisceaux ouverts. Dans le cas de fibres, il est recommandé de définir une gamme de types de fibres comme partie des conditions de fonctionnement, d'évaluer les incertitudes dues aux changements de type de fibres – décrites par leur diamètre de spot et leur ouverture numérique – et d'évaluer les incertitudes dues aux modifications des géométries de faisceaux.

Il est recommandé de mesurer le changement relatif de réponse avec un étalon de travail qui présente:

- a) une dépendance aux angles d'incidence négligeable;
- b) des réflexions de surface négligeables; et
- c) une surface active suffisamment importante pour capter les faisceaux issues de fibres et les faisceaux en espace libre.

Un bon choix d'étalon de travail peut être un radiomètre aux caractéristiques bien définies avec une sphère d'Ulbricht.

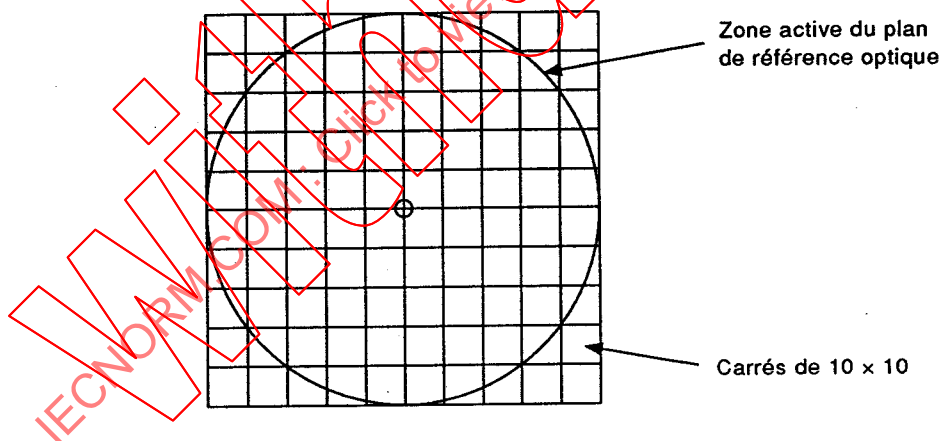


Figure 7 – Subdivision possible d'un plan de référence optique en carrés de 10 x 10, pour la mesure de la réponse spatiale

Une autre possibilité consiste à évaluer les incertitudes par une analyse mathématique, basée sur l'hypothèse que toutes les incertitudes sont provoquées par des réponses spatiales non uniformes du plan de référence optique de la zone active en un tableau de carrés, par exemple des carrés de 10 x 10 comme sur la figure 7.

Note that extreme ambient temperatures may increase the nonlinearity. Referring to the statement on "dependence on more than one operating condition" in 4.2.1, it may be necessary additionally to measure the nonlinearity at the extremes of the operating temperature range, and to record an increased operational uncertainty.

4.2.1.4 *Dependence on the type of fibre or on the beam geometry*

Fibre optic power meters may be designed to accept fibres or open beams. In the case of fibre, a range of fibre types should be specified as part of the operating conditions, and the uncertainties due to changing the fibre type should be evaluated. In the case of an open beam, a range of beam geometries should be specified – described by their spot diameter and numerical aperture – and the uncertainties due to changing the beam geometries should be evaluated.

The relative change of response should be measured with a working standard which exhibits:

- a) negligible angle dependence;
- b) negligible surface reflections; and
- c) a sufficiently large active area to capture the fibre beams or the open beams.

A good choice of working standard may be a power meter of well defined characteristics with an integrating sphere.

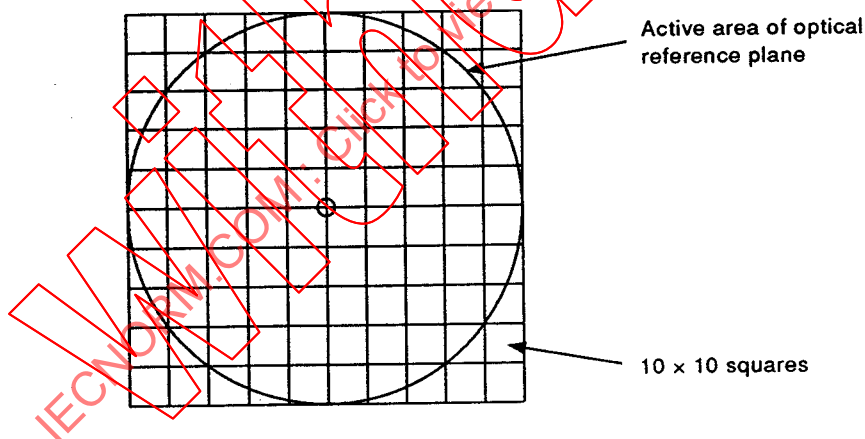


Figure 7 – Possible subdivision of the optical reference plane into 10 × 10 squares, for the measurement of the spatial response

Another possibility is evaluating the uncertainties with a mathematical analysis, based on the assumption that all uncertainties are caused by non-uniform spatial responses of the test meter reference plane. In preparation for this, the active area of the optical reference plane should be subdivided into an array of squares, for example 10 × 10 squares, as in figure 7.

Il est ensuite recommandé d'effectuer deux types de mesures:

- a) les mesures de la densité de puissance spatiale, ainsi que les angles d'incidence, sur le plan de référence optique tel qu'il est généré par les géométries de faisceau applicables;
- b) les mesures de la réponse spatiale de l'appareil en essai, pondérées par des multiplicateurs appropriés qui caractérisent la dépendance de l'appareil à l'incidence oblique (dépendance d'angle) sur le plan de référence optique de l'appareil en essai. Il est recommandé de mesurer la réponse spatiale avec un diamètre de faisceau égal au côté du carré.

Le changement de réponse suite à la modifications des paramètres de faisceau peut être alors évalué sur la base du **modelage** des résultats de mesure nécessaires, en multipliant les niveaux de puissance (spatiale) par les réponses spatiales et en ajoutant tous les produits. Noter que les réponses spatiales sont en général dépendantes de la longueur d'onde.

4.2.1.4.1 *Mesure de la dépendance au type de fibre*

Dans l'évaluation des incertitudes liées aux fibres, il est recommandé que les fibres en essai soient soumises à une excitation totale, à la fois en termes de diamètre du coeur et d'ouverture numérique. Une longueur approximative de 2 m est recommandée. Il est recommandé de retirer la puissance optique de la gaine (modes de gaine) avec les extracteurs de modes de gaine appropriés si nécessaire. Il est recommandé que les fibres soient terminées par la combinaison connecteur-adaptateur définie aux conditions de référence. Il est recommandé que le connecteur et l'adaptateur présentent une faible réflectivité de sorte que des réflexions multiples entre la combinaison connecteur-adaptateur et le détecteur n'influencent pas les résultats de mesure. Il est recommandé que la largeur spectrale soit assez étroite pour éviter l'intégration sur une large gamme de longueurs d'onde.

Etape 1: la sortie de la fibre de référence est mesurée avec l'étalon de travail et l'appareil en essai et la différence est (mathématiquement) ajustée à zéro.

Etape 2: la procédure ci avant est appliquée à:

- a) une fibre unimodale standard définie par [CEI 793-2]; et
- b) la fibre (définie) avec le diamètre de coeur le plus important et/ou la fibre ayant l'ouverture numérique la plus importante.

L'objet de l'essai est de mesurer la dépendance de l'appareil en essai au type de fibre et au volume de mode, même si l'appareil en essai n'est défini que pour un type de fibre. Il est recommandé d'utiliser les écarts relatifs les plus importants par rapport à l'étape 1 (positif et négatif) pour déterminer l'incertitude liée à la fibre. L'incertitude de l'étalon de travail doit aussi comprendre l'incertitude systématique de la mesure des sorties de fibre avec l'étalon de travail, provoquées par exemple par les effets de non-uniformité, de divergence de faisceau et de réflexions multiples sur l'étalon de travail.

Dans ces mesures, les «speckles» peuvent provoquer une incertitude aléatoire significative en conjonction avec la non-uniformité du port d'entrée optique. Les «speckles» sont des répartitions irrégulières de l'éclairement, provoquées par des interférences entre différents modes dans une fibre multimodale.

Then two types of measurements should be carried out:

- a) measurements of the spatial power density, together with the angles of incidence, on the optical reference plane as generated by the applicable beam geometries;
- b) measurements of the test meter spatial response, weighted with appropriate multipliers which characterize the meter dependence oblique incidence (angle dependence), on the test meter reference plane. The spatial response should be measured with a beam diameter equal to the length of the square.

The change of response upon changing the beam parameters can then be evaluated on the basis of **modelling** the necessary measurement results, by multiplying the (spatial) power levels with the spatial responses and adding all products. Note that the spatial responses are usually wavelength dependent.

4.2.1.4.1 *Measurement of the fibre dependence*

In the test of fibre related uncertainties, the fibres under test should be fully excited, both in terms of the core diameter and of the numerical aperture. An approximate fibre length of 2 m is recommended. Optical power in the cladding (cladding modes) should be removed with appropriate mode strippers if necessary. The fibres should be terminated by the connector-adapter combination defined by the reference conditions. Both the connector and the adapter should exhibit a low reflectivity, so that multiple reflections between the connector-adapter combination and the detector do not influence the measurement results. The spectral bandwidth of the source should be narrow enough to avoid averaging over a wide range of wavelengths.

- Step 1: the output of the reference fibre is measured with both the working standard and the test meter, and the difference is (mathematically) adjusted to zero.
- Step 2: the above procedure is applied to:
- a) a standard single-mode fibre as defined by [IEC 793-2]; and
 - b) the (specified) fibre with the largest core diameter and/or the fibre with the largest numerical aperture.

The intention of the test is to measure the dependence of the test meter on the type of fibre and on the mode volume, even if the test meter is specified for one fibre type only. The largest relative deviations against step 1 (positive and negative) should be used to determine the fibre related uncertainty. The uncertainty of the working standard shall also include the systematic uncertainty in measuring the fibre outputs with the working standard, caused for example by the effects of non-uniformity, beam divergence and multiple reflections on the working standard.

In these measurements, a significant random uncertainty may be caused by "speckles", in conjunction with the non-uniformity of the optical input port. Speckles are irregular irradiance distributions which are caused by interference between different modes in a multimode fibre.

Cet effet est particulièrement prononcé lorsque la fibre est excitée par le rayonnement d'une diode laser (hautement cohérente). Cette incertitude peut être réduite par moyennage d'une série de résultats de mesure, dans lesquels chaque échantillon est pris après un léger mouvement de la fibre. Le mouvement de la fibre modifiera la répartition des «speckles». Noter que cela peut être accompagné d'un changement de la puissance totale rayonnée, à cause d'un changement de la puissance réfléchie et de la sensibilité de la diode laser à la puissance réfléchie.

Les «speckles» n'existent pas avec les fibres unimodales lorsque la longueur d'onde d'excitation est suffisamment plus longue que la longueur d'onde de coupure de la fibre. Une autre possibilité pour éliminer les «speckles» consiste à utiliser une source moins cohérente, telle qu'une DEL ou une source de rayonnement «blanche» (filtrée).

4.2.1.4.2 *Mesure de la dépendance aux caractéristiques d'un faisceau en espace libre*

Comme pour la mesure de la dépendance au type de fibre, il est possible d'évaluer la dépendance au diamètre du spot et à l'ouverture numérique par comparaison avec l'étalon de travail qui présente un détecteur de grande taille, uniforme et une dépendance aux angles d'incidence négligeable.

Pour aborder le problème de la dépendance combinée au diamètre du spot et à l'ouverture numérique, il peut suffire d'évaluer:

- a) le changement relatif de la réponse (par rapport aux conditions de référence) dû à l'excitation avec le spot le plus petit défini – la plus petite ouverture numérique; et
- b) le changement relatif de la réponse dû à l'excitation avec le spot le plus important défini – l'ouverture numérique la plus importante.

4.2.1.5 *Dépendance à la combinaison connecteur-adaptateur*

Le présent paragraphe traite de la dépendance de l'appareil en essai à des réflexions multiples entre le port d'entrée optique et la source de rayonnement (par exemple un connecteur optique et d'autres parties mécaniques dans le chemin du faisceau entre la source et le port d'entrée optique). Noter que les réflexions peuvent être régulières ou diffuses.

Il est recommandé de mesurer le changement relatif de réponse à l'aide d'un étalon de travail qui présente une dépendance aux angles d'incidence négligeable et une surface de faible réflectivité. Il est recommandé que la fibre soit l'une des conditions de référence. Il est souhaitable de maintenir en place l'extrémité de la fibre au cours de la mesure afin d'éviter des modifications du niveau de puissance induits par sa flexion.

Etape 1: le faisceau à la géométrie de référence (ou la fibre de référence), avec la combinaison connecteur-adaptateur de référence, est mesurée avec à la fois l'étalon de travail et l'appareil en essai et la différence est (mathématiquement) ajustée à zéro.

Etape 2: la procédure précédente est appliquée à toutes les combinaisons connecteur-adaptateur spécifiées, en répétant chaque connexion plusieurs fois pour réduire les incertitudes aléatoires. Il est recommandé d'utiliser les écarts relatifs les plus importants par rapport à l'étape 1 (positifs et négatifs) pour déterminer l'incertitude. L'incertitude doit aussi comprendre l'incertitude systématique dans la mesure des diverses combinaisons avec l'étalon de travail, provoquée par exemple par des réflexions multiples sur l'étalon de travail.

This effect occurs particularly when the fibre is excited by the (highly coherent) radiation from a laser diode. This uncertainty can be reduced by averaging a series of measurement results, in which each sample is taken after a slight movement of the fibre. Fibre movement will change the speckle pattern. Note this may be accompanied by a change of the total radiated power, because of a change of the reflected power and the laser diode sensitivity to reflected power.

Speckles do not exist in single-mode fibres when the exciting wavelength is sufficiently longer than the fibre cutoff wavelength. Another possibility of eliminating the speckle pattern is using a less coherent source, such as a LED, or (filtered) "white" radiation source.

4.2.1.4.2 *Measurement of open beam dependence*

Similarly to measuring the fibre dependence, the dependence on the spot diameter and the numerical aperture of an open beam can be evaluated by comparison with a working standard which exhibits a uniform large area detector and negligible angle dependence.

To address the problem of combined dependence on spot diameter and numerical aperture, it may be sufficient to evaluate:

- a) the relative change of response (against the response at reference conditions) due to excitation with the specified smallest spot – smallest numerical aperture; and
- b) the relative change of response due to excitation with the specified largest spot – largest numerical aperture.

4.2.1.5 *Dependence on the connector-adapter combination*

This subclause discusses the test meter dependence on multiple reflections between the optical input port and the radiation source (for example an optical connector or other mechanical parts in the beam path between the source and the optical input port). Note that the reflections may be specular or diffuse.

The relative change of response should be measured with the help of a working standard which exhibits negligible angle dependence and surface reflections. The fibre should be one of the reference conditions. It is advisable to hold the fibre end in place during the measurement, in order to avoid any bending inducing changes of the power level.

- Step 1: the reference beam geometry (respectively the reference fibre), together with the reference connector-adapter combination, is measured with both the working standard and the test meter, and the difference is (mathematically) adjusted to zero.
- Step 2: the above procedure is applied to all specified connector-adapter combinations, by repeating each connection several times to reduce random uncertainties. The largest relative deviations against step 1 (positive and negative) should be used to determine the uncertainty. The uncertainty shall also include the systematic uncertainty in measuring the various combinations with the working standard, caused for example by multiple reflections on the working standard.

Suivant les notes sur «la dépendance à plus d'une condition de fonctionnement» à l'article 4.2.1, il peut être nécessaire de mesurer en plus la dépendance avec la fibre d'ouverture numérique la plus évoluée, comme l'indique l'article 4.2.1.4.1. Une telle fibre crée une image plus grande sur le plan de référence optique, ce qui augmente la précision de positionnement requise des connecteurs. Dans ce cas, il est recommandé d'enregistrer une dépendance plus importante.

4.2.1.6 *Dépendance à la longueur d'onde*

Il est recommandé de mesurer le changement relatif spectral par rapport à la réponse à la longueur d'onde de référence. Ces mesures seront normalement effectuées à l'aide d'une source «blanche» combinée à un sélecteur spectral, par exemple un monochromateur ou un ensemble de filtres à un sélecteur spectral. Il est recommandé d'évaluer la lumière parasite, c'est-à-dire la lumière qui n'est pas à la longueur d'onde sélectionnée, afin d'assurer des résultats de mesure précis. Il est aussi recommandé de mesurer la (les) longueur(s) d'onde centrale(s) et la (les) largeur(s) spectrale(s). Il convient que la bande soit étroite car un spectre en conjonction avec une forte non-linéarité de la dépendance à la longueur d'onde de l'appareil en essai est capable de produire des résultats de mesure erronés. Noter qu'une largeur spectrale extrêmement étroite peut provoquer des problèmes d'interférences optiques lorsque le chemin du faisceau contient un ou plusieurs résonateurs optiques.

Il est recommandé que la géométrie du faisceau soit l'une des conditions de référence. Il peut être possible de simuler un faisceau issu d'une fibre à l'aide d'une combinaison de lentilles et d'ouvertures. Dans ce cas, il est recommandé de faire en sorte que le spot éclairé et la position du plan de référence optique correspondent avec ceux obtenus avec une fibre en entrée. Il est aussi recommandé de s'assurer que les réflexions de retour du port d'entrée optique n'ajoutent pas d'incertitudes systématiques aux résultats de mesure.

Il est recommandé d'effectuer la mesure par comparaison directe avec un étalon de travail à l'aide d'une technique de substitution. Il est recommandé que l'étalon de travail ait été étalonné en sensibilité spectrale relative dans un laboratoire national primaire ou via une chaîne d'étalonnage traçable jusqu'à un laboratoire national primaire.

En raison des niveaux de puissance relativement bas dans les mesures, la mise à zéro des deux radiomètres est essentielle. Si l'appareil comprend des moyens de correction, par exemple une courbe ou une table d'étalonnage stockée dans une mémoire, l'écart relatif à la réponse corrigée doit être mesuré.

Le changement de température peut influencer fortement la dépendance à la longueur d'onde. Par exemple, la dépendance à la longueur d'onde d'une photodiode au germanium à 1 550 nm est beaucoup plus importante à 0 °C qu'à température ambiante. En général, l'incertitude due à la longueur d'onde doit être calculée sur la base de la dépendance à la longueur d'onde la plus importante, dans ce cas celle à 0 °C.

4.2.1.7 *Dépendance à la largeur spectrale*

Le changement relatif de réponse en fonction de la largeur spectrale de la source doit être mis en essai dans la gamme de largeurs définies. On peut utiliser un monochromateur pour générer une largeur spectrale variable; il est recommandé de mesurer le niveau de puissance réel avec un étalon de travail dont la dépendance à la longueur d'onde est négligeable. La dépendance à la largeur spectrale peut aussi être évaluée par analyse mathématique, basée sur la réponse spectrale connue de l'appareil en essai et des caractéristiques spectrales connues de la source.

Referring to the notes on "dependence on more than one operating condition" in 4.2.1, it may be necessary to additionally measure the dependence with the highest order fibre, as listed in clause 4.2.1.4.1. A high order fibre will create a larger image on the optical reference plane, and therefore make limitations in the positioning accuracy more obvious. In that case, an increased dependence should be recorded.

4.2.1.6 *Wavelength dependence*

The relative change of spectral response against the response at the reference wavelength should be measured. These measurements normally will be carried out using a spectrally continuous source imaged through a spectrally discriminating instrument, for example a monochromator or a number of spectral filters. The stray light, that is light not at the selected wavelength, should be evaluated, in order to ensure accurate measurement results. The centre wavelength(s) and the spectral bandwidth(s) should also be measured. The bandwidth should be narrow, because a wide bandwidth in conjunction with a strong curvature of the test meter wavelength dependence is capable of producing erroneous measurement results. Note that extremely narrow spectral bandwidth may cause optical interference problems, that is comb-like wavelength dependence, when the beam path contains one or more optical resonators.

The beam geometry should be one of the reference conditions. It may be possible to substitute a fibre beam using a combination of lenses and apertures. In that case, care should be taken to match the irradiated spot size and position on the optical reference plane with those obtained using a fibre input. Care should also be taken to ensure that back reflections from the optical input port do not add systematic uncertainties to the measurement results.

The measurement should be carried out by direct comparison with a working standard by using the substitution technique. The working standard should have been calibrated for relative spectral response at a national standards laboratory, or via a calibration chain traceable to a national standards laboratory.

Because of the relatively low power levels in these measurements, zeroing of both power meters is essential. If the instrument comprises means of correction, for example a calibration curve or a table stored in a memory, the relative deviation from the **corrected** response must be measured.

Changing the temperature may strongly influence the wavelength dependence. For example, the wavelength dependence of a germanium photodiode at 1 550 nm is much stronger at 0 °C than at room temperature. In general, the wavelength uncertainty shall be calculated on the basis of the **largest** wavelength dependence, in this case, the one at 0 °C.

4.2.1.7 *Dependence on the spectral bandwidth*

The relative change of response as a function of the spectral bandwidth of the source has to be tested within the specified range of spectral bandwidths. A monochromator can be used to generate a variable spectral bandwidth; the actual power level should be measured with a working standard with negligible wavelength dependence. The spectral bandwidth dependence can also be evaluated by mathematical analysis, based on the known spectral response of the test meter, and on the known spectral characteristics of the source.

4.2.1.8 *Autres dépendances*

Selon le type d'appareil en essai, il peut exister d'autres dépendances à d'autres paramètres. Il est recommandé que ceux-ci soient caractérisés comme des changements relatifs de la réponse par rapport à la réponse aux conditions de référence.

Un exemple peut consister à inclure des signaux optiques à **intensité modulée** dans les conditions de fonctionnement, en spécifiant une gamme de fréquences de modulation et de cycles de service et en évaluant l'incertitude systématique due à la modulation. Il est important de savoir que des cycles de service extrêmes sont capables de saturer le détecteur et/ou l'électronique.

4.3 Spécifications

L'étalonnage aux conditions de fonctionnement n'est **pas** obligatoire. S'il est effectué, alors les remarques suivantes s'appliquent à tous les radiomètres définis en référence à la présente norme. Il est suggéré que les caractéristiques d'un radiomètre pris individuellement (par exemple un appareil principal et une tête de mesure) soient rapportées dans un certificat d'étalonnage. Il est recommandé que les caractéristiques d'une série de radiomètres (voir article 4.2.1) soient définies dans des feuilles de données appropriées par le fabricant du radiomètre. Dans les deux cas, l'incertitude totale doit être calculée selon les instructions de 4.1. Les spécifications déclarées en accord avec le présent document doivent comprendre:

- a) toutes les données requises par la section 3 du présent document;
- b) les gammes de fonctionnement (voir 4.2);
- c) l'incertitude totale: exprimer la formule (25) sous la forme d'une gamme d'incertitude, comme dans la formule (12) de la section 2. De plus, une erreur maximum sur le zéro en watts peut être spécifiée;
- d) la puissance d'entrée maximum admissible pour les conditions de fonctionnement précitées les plus sévères pour empêcher une modification permanente des caractéristiques du détecteur.

Utiliser le formulaire G comme ligne directrice pour créer le certificat d'étalonnage (spécification).

Une spécification supplémentaire des incertitudes individuelles de fonctionnement est souhaitable, car elle permet le calcul d'une incertitude totale **réduite** pour les cas où certaines des conditions de fonctionnement sont égales aux conditions de référence. Voir 4.1.

Si l'incertitude spécifiée ne peut être maintenue que sous certaines conditions (par exemple nettoyage, ré-étalonnage), les instructions d'entretien appropriées doivent être fournies.

4.2.1.8 *Other dependences*

Depending on the type of the test meter, there may be dependences on other parameters. These should also be characterized as relative changes of response against the response at the reference conditions.

One example may be the including of **intensity modulated** optical signals into the operating conditions, specifying a range of modulation frequencies and duty cycles, and evaluating the systematic uncertainty due to the modulation. Be aware that extreme duty cycles are capable of saturating the detector and/or the electronics.

4.3 Specifications

The calibration at operating conditions is not mandatory. If performed, then the following applies to all power meters specified with reference to this standard. It is suggested that the characteristics of a single power meter (for example one main instrument and one sensor head) are documented in a calibration certificate. The characteristics of a series of power meters (see 9.1) should be specified in appropriate data sheets by the manufacturer of the power meter. In these cases, the total uncertainty shall be calculated by the instructions of 4.1. Specifications claimed to be in compliance with this standard shall include:

- a) all data required by section 3 of this document;
- b) operating ranges (see 4.2);
- c) total uncertainty: express formula (25) in the form of an uncertainty range, as in formula (12) of section 2. Additionally, a maximum zero error in watt units may be specified;
- d) maximum allowable input power for the most critical combination of the above operating conditions to prevent permanent change of the detector characteristics.

Use form G as a guideline to create the calibration certificate (specification).

An additional specification of the individual operational uncertainties is desirable, because it allows the calculation of a **reduced** total uncertainty for those cases where some of the operating conditions are equal to the reference conditions. See 4.1.

If the specified uncertainty can only be held under certain conditions (for example cleaning, recalibration) the appropriate maintenance instructions shall be supplied.

Annexe A (normative)

Formulaires et feuilles de calcul

Les formulaires de la présente annexe ont pour objet de servir de guide au cours du processus d'étalonnage des radiomètres pour source fibrées. Leur contenu reflète le texte de la présente norme. Certaines informations des formulaires sont obligatoires pour répondre à la présente norme. Toutefois, la présentation spécifique de ces formulaires n'est pas obligatoire. En cas de doute, le texte de la présente norme doit être considéré comme la référence.

La figure 8 donne une vue d'ensemble des formulaires qui suivent le processus d'étalonnage aux conditions de référence de la section 3.

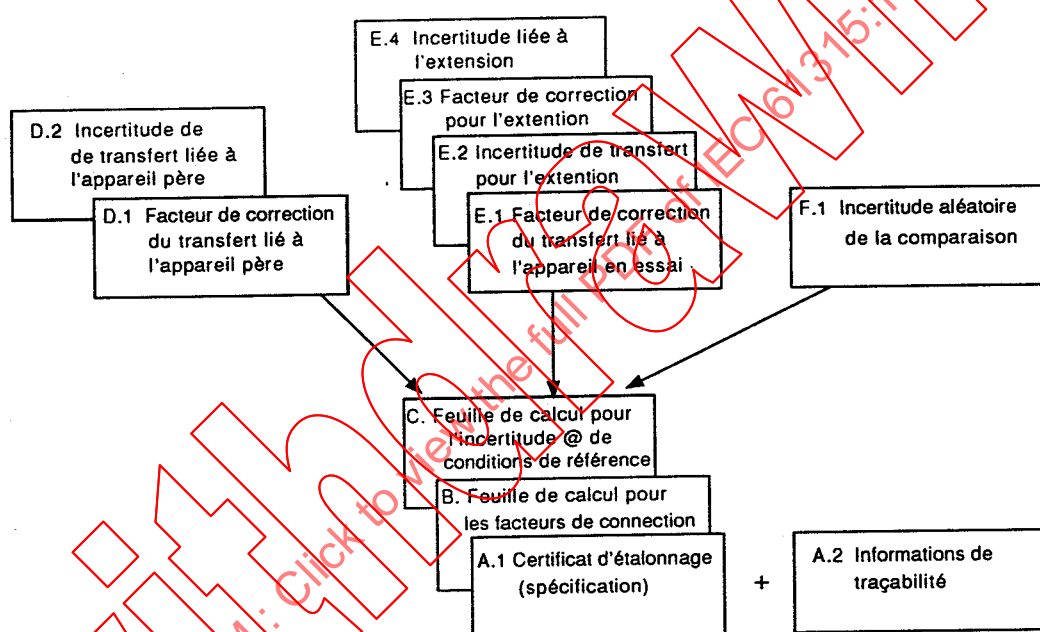


Figure 8 – Formulaires pour l'étalonnage aux conditions de référence de la section 3

La figure 9 donne une vue d'ensemble des formulaires qui suivent l'étalonnage aux conditions de fonctionnement de la section 4.

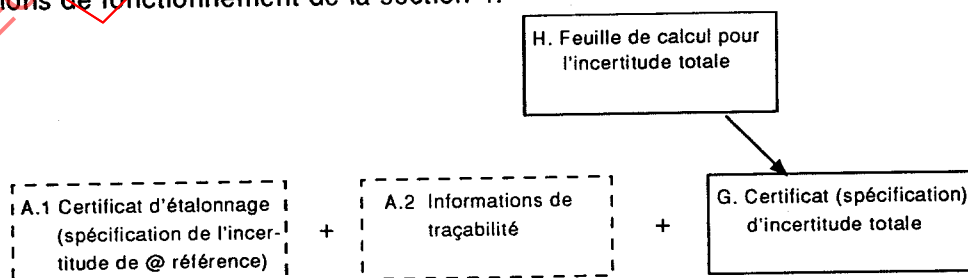


Figure 9 – Formulaires pour l'étalonnage aux conditions de fonctionnement de la section 4

Annex A (normative)

Forms and worksheets

The forms in this annex are intended to be a guide through the process of calibrating fibre optic power meters. Their contents reflect the text of this standard. Some of the data in the forms are mandatory for compliance with this standard. However, the specific layout of these forms is not mandatory. In doubt, the text of this standard is to be considered as the reference.

Figure 8 gives an overview of the forms that guide through the calibration at reference conditions of section 3.

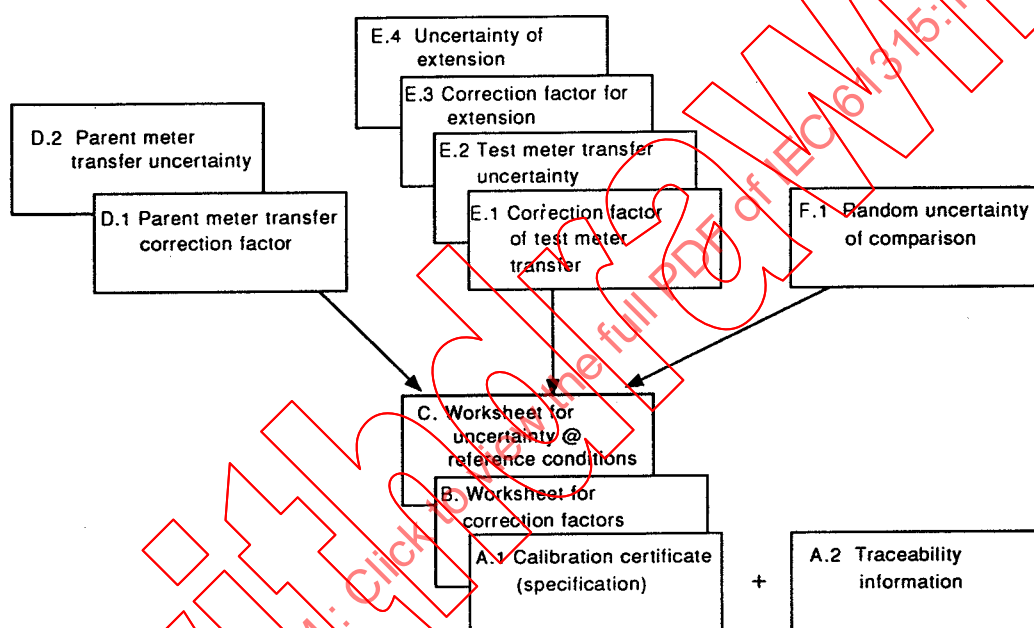


Figure 8 – Forms that guide through the calibration at reference conditions of section 3

Figure 9 gives an overview of the forms that guide through the calibration for operating conditions of section 4.

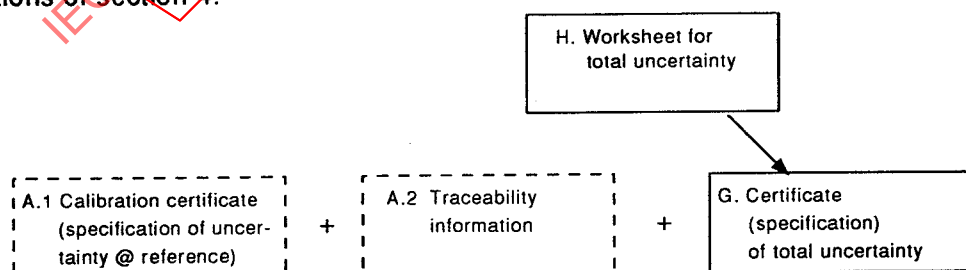


Figure 9 – Forms that guide through the calibration for operating conditions of section 4

Formulaire A.1 – Certificat d'étalonnage (spécification)

Voir 3.1 et 3.3 de cette norme pour texte concerné.

Date d'étalonnage:	Appareil en essai:	N° série:
	Tête optique:	N° série:

A. Incertitude et facteur de correction de l'appareil en essai:	C. Mode d'appareil Etat de l'instrument en cours d'étalonnage:
Facteur de correction à la réception (CF_{essai}):	1. Sortie de l'instrument:
Facteur de correction après ajustage (CF_{essai}):	2. Réglage longueur d'onde:
Incertitude aux conditions de référence: $\pm$ %	3. Gamme de puissance:
Incertitude aux conditions de référence étendues: $\pm$ %	4. Autre:
Niveau de confiance (estimé):	

B. Conditions de référence	Conditions étendues*	Etendues des conditions pour lesquelles l'incertitude spécifiée est valable**
1) Date d'étalonnage: .....	.....	.....
2) Température: $\pm$ °C	 $\pm$ °C	 °C
3) Flux énergétique: $\pm$ W	 $\pm$ W	 W
4) Diamètre de faisceau: $\pm$ mm	 $\pm$ mm	 mm
Ouverture numérique: $\pm$ .....	..... $\pm$ .....	.....
Répartition de la puissance (ex. gaussienne, uniforme)	.....	.....
ou: Type of fibre .....	.....	.....
Degré d'excitation .....	.....	.....
5) Combinaison connecteur-adaptateur .....	.....	.....
6) Longueur d'onde: $\pm$ nm	 $\pm$ nm	 $\pm$ nm
7) Largeur de bande spectrale: $\pm$ nm	 $\pm$ nm	 $\pm$ nm
8) Autres: .....	.....	.....

* Seules les conditions réelles sont nécessaires si l'on n'a pas effectué d'extension. Sinon: conditions étendues.

** Facultatif.

Période de ré-étalonnage recommandée, à la date du:

Toute Information concernant la traçabilité du radiomètre est disponible sur demande.