

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

End-face image analysis procedure for the calibration of optical fibre geometry test sets

Procédure d'analyse d'image d'extrémité pour l'étalonnage de dispositifs d'essais de géométrie des fibres optiques



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 1998 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

End-face image analysis procedure for the calibration of optical fibre geometry test sets

Procédure d'analyse d'image d'extrémité pour l'étalonnage de dispositifs d'essais de géométrie des fibres optiques

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 33.180.01

ISBN 2-8318-5649-3

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Généralités	6
1.1 Domaine d'application et objet	6
1.2 Définitions	6
1.3 Paramètres géométriques des fibres optiques	12
1.4 Description du dispositif d'essai de géométrie	12
1.5 Prescriptions relatives aux étalons pour étalonnage	14
2 Etalonnage	14
2.1 Remarque préliminaire	14
2.2 Justification de l'étalonnage des dispositifs d'essais de géométrie	14
2.3 Procédure d'étalonnage	16
2.4 Procédure de vérification d'étalonnage	22
2.5 Linéarité spatiale	22
2.6 Etalonnage de la mesure d'erreur de concentricité cœur/gaine	22
2.7 Etalonnage de la mesure de non-circularité	22
3 Evaluation des incertitudes	24
3.1 Remarque préliminaire	24
3.2 Evaluation de l'incertitude dans l'étalonnage de dispositifs d'essais	24
3.3 Evaluation de l'incertitude dans la mesure d'une fibre	28
3.4 Evaluation de l'incertitude dans la mesure d'un masque en chrome	30
3.5 Résumé	32
4 Documentation	32
4.1 Enregistrements	32
4.2 Certificat d'étalonnage	32
4.3 Exemple de certificat d'étalonnage	36
Annexe A (informative) Calcul des facteurs d'étalonnage	40
Annexe B (informative) Exemples pratiques pour la détermination de facteurs d'étalonnage	46
Annexe C (normative) Calcul des incertitudes	48
Annexe D (informative) Exemples pratiques pour la détermination d'incertitudes	54
Annexe E (informative) Création d'étalons de travail	58
Annexe F (informative) Estimation de l'incertitude dans la mesure de l'erreur de concentricité cœur/gaine	60
Annexe G (informative) Estimation de l'incertitude dans la mesure de la non-circularité	66
Figure 1 – Exemple d'une chaîne d'étalonnage et accumulation des incertitudes	38
Figure A.1 – Représentation d'un masque d'étalonnage en forme de grille	42
Figure A.2 – Représentation d'un masque d'étalonnage en forme d'anneau	44
Figure A.3 – Calcul du décalage correctif	44

CONTENTS

	Page
FOREWORD.....	5
Clause	
1 General	7
1.1 Scope and object.....	7
1.2 Definitions	7
1.3 Geometrical parameters of optical fibres	13
1.4 Description of geometry test sets	13
1.5 Calibration standard requirements	15
2 Calibration	15
2.1 Introductory remark	15
2.2 Rationale for calibration of geometry test sets	15
2.3 Calibration procedure	17
2.4 Check calibration procedure	23
2.5 Spatial linearity	23
2.6 Calibration of core/cladding concentricity error measurement	23
2.7 Calibration of non-circularity measurement	23
3 Evaluation of uncertainties	25
3.1 Introductory remark	25
3.2 Evaluation of uncertainty in test set calibration	25
3.3 Evaluation of uncertainty in fibre measurement	29
3.4 Evaluation of uncertainty in chromium mask measurement	31
3.5 Summary	33
4 Documentation	33
4.1 Records	33
4.2 Certificate of calibration	33
4.3 Sample calibration certificate	37
Annex A (informative) Derivation of calibration factors	41
Annex B (informative) Worked examples for the determination of calibration factors	47
Annex C (normative) Calculation of uncertainties	49
Annex D (informative) Worked examples for the determination of uncertainties	55
Annex E (informative) Generation of working standards	59
Annex F (informative) Estimation of uncertainty in the measurement of core/cladding concentricity error	61
Annex G (informative) Estimation of uncertainty in the measurement of non-circularity	67
Figure 1 – Example of a calibration chain and the accumulation of uncertainties	39
Figure A.1 – Representation of a grid calibration mask	43
Figure A.2 – Representation of an annulus calibration mask	45
Figure A.3 – Derivation of correction offset	45

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROCÉDURE D'ANALYSE D'IMAGE D'EXTRÉMITÉ POUR L'ÉTALONNAGE DE DISPOSITIFS D'ESSAIS DE GÉOMÉTRIE DES FIBRES OPTIQUES

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique 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 concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels 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.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61745 a été établie par le comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

La présente version bilingue, publiée en 2001-03, correspond à la version anglaise.

Le texte anglais de cette norme est basé sur les documents 86/125/FDIS et 86/134/RVD. Le rapport de vote 86/134/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

L'annexe C fait partie intégrante de la présente norme.

Les annexes A, B, D, E, F et G ne sont fournies qu'à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2005. A cette date, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**END-FACE IMAGE ANALYSIS PROCEDURE FOR THE CALIBRATION
OF OPTICAL FIBRE GEOMETRY TEST SETS**

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 co-operation 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 express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, 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.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61745 has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics.

This bilingual version, published in 2001-03, corresponds to the English version.

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

FDIS	Report on voting
86/125/FDIS	86/134/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annex C forms an integral part of this standard.

Annexes A, B, D, E, F and G are for information only.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005. At this date, the publication will be

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

PROCÉDURE D'ANALYSE D'IMAGE D'EXTRÉMITÉ POUR L'ÉTALONNAGE DE DISPOSITIFS D'ESSAIS DE GÉOMÉTRIE DES FIBRES OPTIQUES

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

Dans les environnements de la recherche et de la production, il existe une gamme de méthodes d'essais pour caractériser la géométrie des fibres optiques. En outre, chaque méthode d'essai peut déterminer un ou plusieurs paramètres permettant une caractérisation complète de la géométrie. La présente Norme internationale décrit l'étalonnage de dispositifs d'essais qui effectuent une analyse d'image d'extrémité, également appelée «analyse de champ proche» ou «analyse d'échelle de gris». Les principes peuvent toutefois être appliqués à des dispositifs d'essais d'un type différent.

La présente norme traite de l'étalonnage des mesures effectuées uniquement sur des fibres optiques unimodales; cependant, ce type de dispositif d'essai peut être également utilisé pour mesurer les paramètres géométriques de cœurs de fibres multimodales, mais l'évaluation des incertitudes associées à ces mesures ne s'inscrit pas dans le domaine d'application de la présente norme.

Les procédures indiquées sont à utiliser par des laboratoires d'étalonnage et par les fabricants ou utilisateurs de dispositifs d'essais de géométrie, à des fins d'étalonnage de dispositifs d'essais de géométrie et à des fins d'évaluation des incertitudes des mesures effectuées sur des dispositifs d'essais étalonnés. La présente norme ne couvre pas l'étalonnage de dispositifs d'essais pour le revêtement primaire de la fibre ou pour la mesure du câble.

La présente norme a pour objet de définir une procédure normale pour l'étalonnage de dispositifs d'essais afin de mesurer la géométrie du verre des fibres optiques.

1.2 Définitions

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

1.2.1

laboratoire d'étalonnage agréé

laboratoire d'étalonnage autorisé par le laboratoire national de normalisation approprié à émettre des certificats d'étalonnage avec une incertitude spécifiée qui démontrent la traçabilité à des étalons nationaux

1.2.2

artefact

tout objet mesuré sur un dispositif d'essai de géométrie ou utilisé pour étalonner un dispositif d'essai de géométrie. Il peut s'agir, par exemple, d'une fibre optique ou d'un motif en chrome sur verre

1.2.3

étalonnage

procédé établissant la relation existant entre les valeurs indiquées par le dispositif d'essai de géométrie en cours d'étalonnage et les valeurs connues de l'étalon pour étalonnage. L'étalonnage a pour objet d'inscrire tous les dispositifs d'essais de géométrie dans un accord substantiel avec un laboratoire national de normalisation. Ce résultat peut être obtenu par le réglage du dispositif d'essai de géométrie ou par la documentation du ou des facteurs d'étalonnage dans un certificat d'étalonnage. L'environnement et les conditions des instruments au moment de l'étalonnage sont habituellement enregistrés. L'étalonnage comprend l'estimation de toutes les incertitudes

END-FACE IMAGE ANALYSIS PROCEDURE FOR THE CALIBRATION OF OPTICAL FIBRE GEOMETRY TEST SETS

1 General

1.1 Scope and object

In the research and production environments there exists a range of test methods for characterizing the geometry of optical fibres. Furthermore, each test method may determine one or more of the many parameters required for complete geometrical characterization. This International Standard describes the calibration of test sets which perform end-face image analysis, also known as near-field or grey-scale analysis. The principles, however, may be applied to test sets of a different type.

This standard addresses the calibration of measurements made on single-mode fibres only; however, this type of test set may also be used to measure the geometrical parameters of the cores of multimode fibres, but the evaluation of uncertainties associated with these measurements is beyond the scope of this standard.

The procedures outlined are to be performed by calibration laboratories and by the manufacturers or users of geometry test sets, for the purpose of calibrating geometry test sets and for evaluating the uncertainties in measurements made on calibrated test sets. The calibration of fibre coating or cable measurement test sets is not covered by this standard.

The object of this standard is to define a standard procedure for the calibration of test sets for measuring the glass geometry of optical fibres.

1.2 Definitions

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

1.2.1

accredited calibration laboratory

calibration laboratory authorised by the appropriate National Standards laboratory to issue calibration certificates with a specified uncertainty, which demonstrate traceability to national standards

1.2.2

artefact

any object that is measured on or used to calibrate a geometry test set. An artefact may be, for example, an optical fibre or a chromium-on-glass pattern

1.2.3

calibration

process by which the relationship between the values indicated by the geometry test set under calibration and the known values of the calibration standard is established. The purpose of calibration is to bring all geometry test sets into substantial agreement with a national standards laboratory. This may be performed either by adjustment of the geometry test set or by documentation of a calibration factor(s) in a calibration certificate. The pertaining environment and instrument conditions at the time of calibration are usually recorded. Calibration includes estimation of all uncertainties.

1.2.4

chaîne d'étalonnage

chaîne de transferts, d'un étalon national au dispositif d'essai de géométrie, réalisés par des étalons intermédiaires ou des étalons de travail (se reporter à la figure 1)

1.2.5

vérification d'étalonnage

détermination qu'un dispositif d'essai de géométrie précédemment étalonné mais ayant atteint sa date limite d'étalonnage demeure dans les limites d'incertitude spécifiées. Si le dispositif d'essai de géométrie a dérivé hors de ces limites, un réétalonnage est nécessaire. Autrement, la période de revérification peut être prolongée d'une période déclarée. Le dispositif d'essai peut être contrôlé à l'aide d'un étalon de travail

1.2.6

étalon pour étalonnage

artefact étalonné par rapport à un étalon de référence et utilisé pour étalonner des dispositifs d'essais. Il peut s'agir d'une fibre optique ou d'un motif en chrome sur verre. L'usage correct d'un étalon pour étalonnage garantit la traçabilité. Le terme comprend l'étalon de référence, l'étalon de transfert et l'étalon ou les étalons de travail, dans l'ordre décroissant de l'incertitude métrologique

1.2.7

incertitude type combinée

combinaison de plusieurs incertitudes types individuelles.

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

Dans les rapports d'étalonnage et les fiches techniques, l'incertitude type combinée dans la mesure des dispositifs d'essais de géométrie est rapportée comme une incertitude étendue globale, avec le niveau de confiance applicable, par exemple 95,5 % ou 99,7 %

1.2.8

niveau de confiance

estimation de la probabilité que la valeur vraie d'un paramètre mesuré s'inscrit dans les limites d'une plage donnée (incertitude étendue)

1.2.9

décalage correctif

nombre ajouté ou soustrait au résultat de la mesure d'un dispositif d'essai afin de corriger un effet physique connu

1.2.10

facteur de couverture, k

facteur utilisé pour calculer l'incertitude étendue U à partir de l'incertitude type

1.2.11

incertitude étendue, U

étendue de valeurs à l'intérieur de laquelle la valeur vraie du paramètre mesuré, au niveau de confiance déclaré, est supposée se trouver. Elle est également appelée «intervalle de confiance» et est égale au produit du facteur de couverture k par l'incertitude type u :

$$U = k \cdot u$$

Il convient de spécifier sous la forme d'incertitude étendue l'incertitude de mesure d'un dispositif d'essai de géométrie.

NOTE Lorsque la distribution des incertitudes est supposée normale et qu'on effectue un grand nombre de mesures, les niveaux de confiance à 68,3 %, 95,5 % et 99,7 % correspondent respectivement à des valeurs pour k de 1, 2, et 3 (voir l'article C.3).

1.2.4**calibration chain**

chain of transfers from a national standard to the geometry test set through intermediate or working standards (see figure 1)

1.2.5**calibration checking**

establishing that a geometry test set that has been previously calibrated but has reached its calibration due date remains within specified uncertainty limits. If the geometry test set has drifted outside these limits, then re-calibration is required. Otherwise, the re-checking period can be extended for a stated period. The test set may be checked using a working standard

1.2.6**calibration standard**

artefact that is calibrated against a reference standard and is used to calibrate test sets. The artefact may be a fibre or a chromium-on-glass pattern. Proper use of a calibration standard ensures traceability. The term includes the reference standard, the transfer standard and the working standard(s), in descending order of metrological uncertainty

1.2.7**combined standard uncertainty**

combination of a number of individual standard uncertainties.

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

In calibration reports and technical data sheets, the combined standard uncertainty in the geometry test set measurement is reported as an overall expanded uncertainty with the applicable confidence level, for example 95,5% or 99,7%.

1.2.8**confidence level**

estimation of the probability that the true value of a measured parameter lies within a given range (expanded uncertainty)

1.2.9**correction offset**

number that is added to or subtracted from the measurement result of a test set to correct for a known physical effect

1.2.10**coverage factor, k**

factor used to calculate the expanded uncertainty U from the standard uncertainty

1.2.11**expanded uncertainty, U**

range of values within which the true value of the measured parameter, at the stated confidence level, can be expected to lie. It is also called the confidence interval and is equal to the coverage factor k times the standard uncertainty u :

$$U = k \cdot u$$

The measurement uncertainty of a geometry test set should be specified in the form of expanded uncertainty.

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

1.2.12

dispositif d'essai de géométrie

instrument utilisé pour mesurer les paramètres géométriques d'une fibre optique. Les paramètres mesurés dépendent du type de dispositif d'essai de géométrie

1.2.13

fibre-fille

fibre dont la géométrie doit être mesurée sur un dispositif d'essai de géométrie

1.2.14

état d'instrument

description des conditions de mesure du dispositif d'essai de géométrie pendant l'étalonnage et la mesure, par exemple des lissages de formes utilisés, schémas de filtrage des données employés et autres informations importantes concernant le dispositif d'essai, telles que le temps de mise en route et la date d'étalonnage

1.2.15

étalon national

étalon dont la mesure est traçable à des grandeurs fondamentales, telles que la longueur d'onde de la lumière, et qui est utilisé pour servir de base, dans un pays, à la fixation des valeurs de tous les autres étalons de la grandeur donnée

1.2.16

laboratoire national de normalisation

organisme ou laboratoire qui conserve et applique l'étalon national

1.2.17

plage de fonctionnement

plage des conditions dans lesquelles le dispositif d'essai de géométrie est conçu pour fonctionner dans la limite de l'incertitude étendue déclarée, par exemple le diamètre de la fibre en cours de mesure et les conditions environnementales telles que la température

1.2.18

étalon de référence

artefact mesuré au laboratoire d'étalonnage, la mesure étant traçable à des étalons nationaux

1.2.19

facteur d'échelle

rapport des valeurs étalons connues pour un étalon pour étalonnage aux valeurs indiquées par le dispositif d'essai de géométrie lorsqu'aucun décalage correctif n'est appliqué

1.2.20

incertitude type

l'incertitude type peut être évaluée par des méthodes statistiques appelées évaluation de type A, ou par d'autres moyens appelés évaluation de type B (se reporter à l'annexe C pour une description plus détaillée).

Une évaluation de type A de l'incertitude consiste en une analyse statistique d'une série de mesures, telle que par exemple l'évaluation de certains effets de mesure aléatoires.

Une évaluation de type B de l'incertitude est utilisée lorsqu'une analyse statistique n'est pas appropriée. Elle consiste en une estimation des sources probables d'incertitude, telle que par exemple l'évaluation de certains effets de mesure systématiques.

NOTE Afin de combiner des incertitudes types provenant de plusieurs sources, il est important qu'elles soient toutes fixées au même niveau de confiance. Cela peut être réalisé en utilisant le facteur de couverture k , qui est déterminé par rapport à la loi t de Student pour chaque composante d'incertitude individuelle.

1.2.12**geometry test set**

instrument used to measure the geometrical parameters of an optical fibre. The parameters measured will depend on the type of geometry test set

1.2.13**infant fibre**

fibre whose geometry is to be measured on a calibrated geometry test set

1.2.14**instrument state**

description of the measurement conditions of the geometry test set during calibration and measurement, for instance form-fits used, data filtering schemes employed and other important information concerning the test set such as warm-up time and date of calibration

1.2.15**national standard**

standard whose measurement is traceable to fundamental quantities, such as the wavelength of light, and which is used as the basis for fixing the value, in a country, of all other standards of the quantity concerned

1.2.16**national standards laboratory**

body or laboratory that maintains and operates the national standard

1.2.17**operating range**

range of conditions under which the geometry test set is designed to perform within the stated expanded uncertainty; for example diameter of the fibre being measured and environmental conditions, such as temperature

1.2.18**reference standard**

artefact measured at a calibration laboratory, with the measurement traceable to national standards

1.2.19**scaling factor**

ratio of the known standard values for a calibration standard to the values indicated by the geometry test set when no correction offsets are applied

1.2.20**standard uncertainty**

standard uncertainty may be evaluated either by statistical methods, termed type A evaluation, or by other means, termed type B evaluation (see annex C for a more detailed description).

A type A evaluation of uncertainty consists of a statistical analysis of a series of measurements, such as when evaluating certain random effects of measurement.

A type B evaluation of uncertainty is used when a statistical analysis is not appropriate. It consists of an estimation of the probable sources of uncertainty, such as when evaluating certain systematic effects of measurement.

NOTE In order to combine standard uncertainties from different sources it is important that they all be stated at the same confidence level. This may be achieved by use of the coverage factor k , which is determined with reference to Student's t distribution for each individual uncertainty component.

1.2.21

traçabilité

aptitude à démontrer une chaîne d'étalonnage ayant pour origine un étalon national, dans le cas d'un résultat de mesure ou d'un dispositif d'essai de géométrie

Les dispositifs d'essais de géométrie étalonnés par les procédures présentées dans la présente norme sont traçables. La traçabilité directe du résultat de mesure à un laboratoire national de normalisation ou à un laboratoire d'étalonnage agréé doit être démontrée. Cette traçabilité comprend les programmes d'étalonnage de tous les artefacts dans la chaîne d'étalonnage et les calculs détaillés de toutes les incertitudes de transfert (cumulatives) dans la chaîne d'étalonnage. L'utilisation d'un étalon de travail seul pour comparer ou surveiller l'étalonnage des dispositifs d'essais de géométrie ne peut pas établir ou rétablir la traçabilité mais ne peut que prolonger la durée de la certification de traçabilité si aucune modification n'est observée.

1.2.22

étalon de transfert

étalon étalonné par rapport à un étalon de référence et utilisé pour étalonner des dispositifs d'essais de géométrie

1.2.23

incertitude de transfert

estimation caractérisant l'incertitude d'une mesure provoquée par des incertitudes dans le processus de transfert, à un niveau de confiance donné (comme des modifications dans les conditions environnementales). Ces incertitudes peuvent provenir tant des étalons pour étalonnage utilisés que du dispositif d'essai de géométrie

1.2.24

étalon de travail

étalon habituellement étalonné par rapport à un étalon de transfert ou à un étalon de référence et utilisé couramment pour vérifier les dispositifs d'essais de géométrie

1.3 Paramètres géométriques des fibres optiques

Il est nécessaire de caractériser les propriétés géométriques des fibres optiques afin de garantir des caractéristiques de fonctionnement mécaniques et optiques satisfaisantes. Les paramètres géométriques mesurés par les types de dispositifs d'essais comprennent les points suivants:

- a) diamètre de gaine (surface de référence);
- b) non-circularité de gaine;
- c) erreur de concentricité cœur/gaine.

NOTE Les mesures géométriques sur une fibre optique unimodale sont généralement effectuées à une longueur d'onde autre que celle qui correspond au fonctionnement unimodal de la fibre. Cependant, il est généralement admis que la valeur de l'erreur de concentricité de champ de mode d'une fibre optique unimodale est la même que celle de l'erreur de concentricité cœur/gaine, mais ce sujet ne s'inscrit pas dans le domaine d'application de la présente norme.

1.4 Description du dispositif d'essai de géométrie

Les dispositifs d'essais à image d'extrémité ou à échelle de gris comprennent habituellement un microscope optique, une source lumineuse, un dispositif électronique d'enregistrement d'images tel qu'un appareil photographique, et un moyen de mémorisation des données images pour traitement par ordinateur numérique. Une seconde source lumineuse est habituellement utilisée pour illuminer l'autre extrémité de la fibre. Cela permet également de mesurer la position du cœur de la fibre. Une séquence de mesure type est la suivante: une extrémité de fibre clivée est placée dans l'orifice de mesure de l'instrument et une image de l'extrémité de la fibre est formée sur l'appareil photographique. L'image de la fibre est focalisée, généralement sous le contrôle automatique d'un ordinateur, numérisée puis transférée à un autre ordinateur qui détermine les paramètres géométriques de la fibre.

1.2.21**traceability**

ability to demonstrate, for a measurement result or a geometry test set, a calibration chain originating from a national standard

Geometry test sets calibrated by the procedures in this standard are traceable. Direct traceability of the measurement result to either a national standards laboratory or to an accredited calibration laboratory needs to be demonstrated. Such traceability includes the calibration schedules of all artefacts in the calibration chain and detailed calculations of all (cumulative) transfer uncertainties in the calibration chain. The use of a working standard alone to compare or monitor geometry test set calibration cannot establish or re-establish traceability, but can only extend the duration of the traceability certification if no change is found.

1.2.22**transfer standard**

standard that is calibrated against a reference standard and is used for calibrating geometry test sets

1.2.23**transfer uncertainty**

estimate characterizing the uncertainty of a measurement caused by uncertainties in the transfer process, at the given confidence level (such as changes in environmental conditions). These uncertainties may arise from the calibration standards used as well as from the geometry test set

1.2.24**working standard**

standard that is usually calibrated against a transfer standard or a reference standard and is used on a routine basis to check geometry test sets

1.3 Geometrical parameters of optical fibres

It is necessary to characterize the geometrical properties of optical fibres in order to ensure satisfactory mechanical and optical performance. The geometrical parameters measured by the types of test sets consist of the following:

- a) cladding (reference surface) diameter;
- b) cladding non-circularity;
- c) core/cladding concentricity error.

NOTE Geometry measurements on a single-mode fibre are usually performed at a wavelength other than that corresponding to single-mode operation of the fibre. It is, however, generally assumed that the value of mode-field concentricity error of a single-mode fibre is the same as that of core/cladding concentricity error, but this is beyond the scope of this standard.

1.4 Description of geometry test sets

End face image, or grey-scale, test sets usually comprise an optical microscope, an illumination source, an electronic image recording device, such as a camera, and a means of storing image data for processing by digital computer. A second illumination source is usually employed to launch light into the other end of the fibre. This enables the position of the fibre core also to be measured. A typical measurement sequence is as follows: a cleaved fibre end is positioned in the measurement port of the instrument and an image of the fibre end is formed on the camera. The image of the fibre is focused, usually under automatic computer control, digitized, and then transferred to a computer which determines the geometrical parameters of the fibre.

La qualité de l'extrémité de la fibre est critique dans cette méthode et la présence de dommages dus au clivage, tels que des copeaux ou une rugosité des bords, peut affecter gravement la mesure. Il est donc habituel d'employer des méthodes de filtrage de données afin de diminuer la sensibilité du résultat mesuré à la présence de dommages dus au clivage.

1.5 Prescriptions relatives aux étalons pour étalonnage

La procédure d'étalonnage détaillée dans la présente norme requiert l'utilisation d'artefacts d'étalonnage traçables. Ces artefacts consistent en une extrémité de fibre étalonnée et en un masque en chrome sur verre. Leurs dimensions nominales sont traitées en 2.3.3 et 2.5.

2 Etalonnage

2.1 Remarque préliminaire

La procédure d'étalonnage comprend les deux opérations suivantes.

- a) Le grossissement, ou facteur d'échelle, du système d'image est étalonné. Il s'agit d'un procédé similaire aux méthodes classiques d'étalonnage pour microscopes optiques, excepté qu'un étalonnage en deux dimensions est nécessaire dans le cas présent.
- b) Un décalage correctif est déterminé. Ce décalage est nécessaire pour corriger les effets systématiques tels que la diffraction au bord de la fibre, les différences entre la façon dont l'artefact d'étalonnage a été étalonné et la méthode de mesure dans le dispositif d'essai, ainsi que la distorsion de l'image du bord de la fibre par l'échantillonnage par caméra.

L'annexe B fournit des exemples pratiques de détermination des facteurs d'étalonnage.

NOTE 1 L'étalonnage est valide lorsqu'il est appliqué aux mesures de la manière suivante:

- les facteurs d'échelle sont appliqués de façon multiplicative aux données brutes provenant de la caméra, avant d'appliquer des lissages de formes et de calculer le diamètre de la gaine de la fibre soumise aux essais;
- le décalage correctif est appliqué de façon additive à la valeur calculée du diamètre de la gaine de la fibre soumise aux essais.

NOTE 2 Le choix d'un critère de réglage de bord définissant la position du bord de gaine est important et l'étalonnage ne s'applique qu'aux mesures utilisant le même critère que celui utilisé au moment de l'étalonnage.

NOTE 3 Dans certaines circonstances, il est suffisant de n'étalonner que le facteur d'échelle, à l'aide d'un étalon en fibre ou en chrome sur verre. Cette approche est toutefois susceptible de donner lieu à des incertitudes accrues lorsque l'on mesure des fibres dont les diamètres sont significativement différents de celui de l'étalon pour étalonnage utilisé.

2.2 Justification de l'étalonnage des dispositifs d'essais de géométrie

La mesure de diamètre de gaine est commune à la plupart des types de dispositifs d'essais de géométrie, si bien que l'étalonnage de ce paramètre est très important pour comparer des dispositifs d'essais de types différents. Toutefois, la présente norme ne détaille que l'étalonnage des dispositifs d'essais qui réalisent l'analyse d'image d'extrémité.

Fondamentalement, l'étalonnage est réalisé en soumettant le dispositif d'essai à des étalons pour étalonnage géométrique indépendants. Ce sont ces étalons qui forment la chaîne d'étalonnage et qui contribuent donc à l'incertitude de transfert.

La procédure est décrite en 2.3. La chaîne d'étalonnage complète est illustrée à la figure 1.

L'étalonnage de la mesure de l'erreur de concentricité cœur/gaine et de la non-circularité n'est pas décrit car il n'existe pas de matériaux de référence étalons disponibles au moment de la rédaction de la présente norme. Toutefois, des procédures permettant d'estimer les incertitudes dans la mesure de ces paramètres sont indiquées respectivement en 2.6 et 2.7.

The quality of the fibre end is critical in this method, and the presence of cleave damage, such as chips or edge roughness, can seriously affect the measurement. It is thus usual to employ data-filtering methods to reduce the sensitivity of the measured result to the presence of cleave damage.

1.5 Calibration standard requirements

The calibration procedure detailed in this standard requires the use of traceable calibration artefacts. These artefacts consist of a calibrated fibre end and a chromium-on-glass mask. Their nominal dimensions are discussed in 2.3.3 and 2.5.

2 Calibration

2.1 Introductory remark

The calibration procedure comprises the following two operations.

- a) The magnification, or scaling factor, of the imaging system is calibrated. This is a similar process to conventional calibration methods for optical microscopes, except that, in this case, a two-dimensional calibration is required.
- b) A correction offset is determined. This offset is required to correct for systematic effects such as diffraction at the fibre edge, differences between the way the calibration artefact is calibrated and the method of measurement in the test set, and distortion of the image of the fibre edge by camera sampling.

Worked examples for the determination of calibration factors are given in annex B.

NOTE 1 The calibration will be valid when applied to measurements in the following way:

- the scaling factors are applied multiplicatively to the raw data from the camera, before applying form-fits and computing the cladding diameter of the fibre under test;
- the correction offset is applied additively to the computed cladding diameter of the fibre under test.

NOTE 2 The choice of an edge-setting criterion defining the position of the cladding edge is important and calibration applies only to measurements using the same criterion as that used at the time of calibration.

NOTE 3 In certain circumstances it has been found sufficient to calibrate only the scaling factor, using a fibre or chromium-on-glass standard. This approach, however, may lead to increased uncertainties when measuring fibres which are of significantly different diameter from the calibration standard used.

2.2 Rationale for calibration of geometry test sets

The measurement of cladding diameter is common to most types of geometry test sets, so calibration of this parameter is very important in comparing test sets of different types. This standard, however, details only the calibration of test sets which perform end-face image analysis.

Basically, calibration is achieved by exposing the test set to independent geometrical calibration standards. It is these standards that form the calibration chain and, therefore, contribute to the transfer uncertainty.

The procedure is detailed in 2.3. The complete calibration chain is illustrated in figure 1.

Calibration of the core/cladding concentricity error and non-circularity measurement is not described as there are no suitable standard reference materials available at the time of writing. However, procedures enabling estimation of the uncertainties obtained in the measurement of these parameters are given in 2.6 and 2.7 respectively.

2.2.1 Vérification de l'état d'étalonnage

Pour une vérification de routine, telle qu'il peut en être fréquemment mené sur les dispositifs d'essais de géométrie utilisés, il suffit de vérifier (et non de réinitialiser) l'état de l'étalonnage des dispositifs d'essais de géométrie à l'aide d'un étalon de travail qui peut être une fibre ou un masque en chrome sur verre.

L'annexe E spécifie une procédure de création d'un étalon de travail.

Il faut clairement différencier la vérification de l'état d'étalonnage et l'étalonnage lui-même. Bien qu'il soit suffisant d'établir la stabilité du dispositif d'essai de géométrie en utilisant l'étalon de travail, cela ne constitue pas un substitut à l'étalonnage complet.

L'utilisation d'un étalon de travail permet de revendiquer la traçabilité continue à des étalons nationaux, si l'on peut établir de façon satisfaisante que l'état actuel de l'instrument, les facteurs de correction etc. sont suffisants pour produire des résultats de géométrie dans la limite d'une incertitude spécifiée et sans altération. Cela signifie simplement que le dispositif d'essai de géométrie est resté stable depuis le dernier étalonnage.

Il est possible de revendiquer une traçabilité continue sur un dispositif d'essai étalonné, à condition que les valeurs mesurées pour l'étalon de travail concordent avec ses valeurs étalonnées dans la limite des incertitudes.

L'étalonnage est essentiel pour la mise en service des dispositifs d'essais de géométrie alors qu'un étalon de travail est utilisé pour la vérification courante de l'étalonnage.

La procédure de vérification d'étalonnage est décrite en 2.4.

2.3 Procédure d'étalonnage

2.3.1 Conseil d'ordre général et organisation

S'assurer que les conditions environnementales correspondent à l'environnement de travail spécifié par le constructeur. Appliquer à tout moment de bonnes pratiques métrologiques.

S'assurer que tous les étalons pour étalonnage utilisés ont été étalonnés conformément à un programme documenté ayant une traçabilité à des laboratoires de normalisation nationaux ou agréés. Dans la mesure du possible, conserver plusieurs étalons à chaque niveau hiérarchique de la chaîne d'étalonnage, de manière à ce que les caractéristiques de fonctionnement des étalons puissent être vérifiées par des comparaisons au même niveau.

Elaborer une procédure documentée de mesurage pour chaque type d'étalonnage réalisé, qui fournit des instructions opératoires pas à pas et indique le matériel à utiliser. Utiliser des fiches de résultats pro-forma, des budgets d'incertitude et des certificats d'étalonnage (se reporter à l'article 4).

Appliquer un système de qualité approprié à l'étendue des mesures. S'assurer qu'il existe un examen minutieux indépendant pour les résultats de mesure, les calculs intermédiaires et que des certificats d'étalonnage sont élaborés.

2.3.2 Prescriptions concernant les essais

- a) Réaliser tous les essais à une température et à une humidité relative qui s'inscrivent dans la limite de la spécification du constructeur pour le dispositif d'essai.
- b) Accorder suffisamment de temps pour que le dispositif d'essai de géométrie et le matériel d'essais atteignent l'équilibre thermique avec l'environnement conformément aux recommandations du constructeur pour le dispositif d'essai et les étalons pour étalonnage utilisés, avant de commencer la procédure d'étalonnage.

2.2.1 Verification of calibration state

For routine verification, such as may frequently be carried out on geometry test sets in use, it is sufficient to check (but not to reset) the state of calibration of the geometry test sets using a working standard. The working standard may be a fibre or a chrome-on-glass mask.

A procedure for generation of a working standard is given in annex E.

The distinction between checking the state of calibration and the calibration itself must be clearly made. While it is sufficient to establish stability of the geometry test set using the working standard, this is not a substitute for full calibration.

The use of a working standard allows continued traceability to national standards to be claimed, if it can be satisfactorily established that the existing instrument state, correction factors, and so on, are sufficient to provide geometry results within a specified uncertainty and without alteration. This simply means that the geometry test set has remained stable since the last calibration.

Continued traceability can be claimed on a calibrated test set provided that the measured values for the working standard agree with its calibrated values within the uncertainties.

Calibration is essential in the commissioning of geometry test sets, whereas a working standard is used for routine calibration checking.

The procedure for calibration checking is described in 2.4.

2.3 Calibration procedure

2.3.1 General advice and organization

Ensure that the environmental conditions are commensurate with the working environment as specified by the manufacturer. Employ good metrological practices at all times.

Ensure that all calibration standards used in the calibration are calibrated according to a documented programme with traceability to national standards laboratories or to accredited standards laboratories. If possible maintain more than one standard on each hierarchical level of the calibration chain, so that the performance of standards can be verified by comparisons on the same level.

Develop a documented measurement procedure for each type of calibration performed, giving step-by-step operating instructions and equipment to be used. Use pro-forma result sheets, uncertainty budgets and calibration certificates (see clause 4).

Operate a quality system appropriate to the range of measurements. Ensure that there is independent scrutiny of measurement results, intermediate calculations and calibration certificates are prepared.

2.3.2 Test requirements

- a) Perform all tests at a temperature and relative humidity that are within the manufacturer's specification for the test set.
- b) Allow sufficient time for the geometry test set and test equipment to reach thermal equilibrium with the environment in accordance with the manufacturer's recommendations for the test set and the calibration standards used, before commencing the calibration procedure.

- c) Mettre en place le dispositif d'essai de géométrie selon les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage, tel que recommandé par le constructeur.
- d) S'assurer, dans la mesure du possible, que toutes les surfaces optiques accessibles et tous les étalons pour étalonnage sont propres avant le mesurage.

2.3.3 Prescriptions relatives aux étalons pour étalonnage

L'utilisation d'étalons pour étalonnage traçables à des laboratoires nationaux de normalisation est obligatoire. La procédure d'étalonnage exige l'utilisation des éléments suivants:

- a) une extrémité de fibre ayant un diamètre de gaine étalonné. Il convient que la fibre soit constituée du même matériau ayant un diamètre de gaine égal à 5,0 µm près au diamètre de gaine nominal des fibres devant être mesurées par le dispositif d'essai et ayant une non-circularité inférieure à 0,5 %.
- NOTE 1 L'extrémité de fibre étalonnée ne doit pas être reclinée car il existe des variations de diamètre sur la longueur de la fibre.
- NOTE 2 Si l'extrémité de la fibre est endommagée ou ne peut être suffisamment nettoyée, il convient de ne pas l'utiliser aux fins d'étalonnage.
- b) une échelle de mesure étalonnée. Il s'agit d'un masque en chrome sur verre comportant un motif composé généralement de points, de lignes, de cercles ou d'anneaux.

Pour la vérification de l'étalonnage (se reporter à 2.4), l'étalon peut être une fibre ou un motif en chrome sur verre ayant des valeurs géométriques traçables.

2.3.4 Détermination des facteurs d'étalonnage

L'annexe A fournit un calcul des facteurs d'étalonnage.

2.3.4.1 Facteur d'échelle

Utiliser un masque en chrome sur verre pour étalonner le facteur d'échelle. Il peut s'agir d'un réseau de points ou de lignes ou d'une structure annulaire. Le principe de l'étalonnage est de mesurer la distance entre les graduations.

NOTE L'uniformité du facteur d'échelle sur l'angle de champ du système d'imagerie (appelée «linéarité spatiale») a un effet sur l'incertitude qui peut être transférée aux mesures portant sur les fibres et également aux mesures d'erreur de concentricité cœur/gaine. Une méthode pour estimer la linéarité spatiale est décrite en 2.5.

Les facteurs d'échelle pour les axes x et y de la caméra sont donnés par:

$$S_x = \frac{Dx_c}{Dx_m} \quad (1)$$

$$S_y = \frac{Dy_c}{Dy_m} \quad (2)$$

où

Dx_m est l'espacement mesuré des graduations sur l'axe x;

Dy_m est l'espacement mesuré des graduations sur l'axe y;

Dx_c est l'espacement étalonné des graduations sur l'axe x;

Dy_c est l'espacement étalonné des graduations sur l'axe y.

- c) Set up the geometry test set to the appropriate settings for calibration procedures, as recommended by the manufacturer.
- d) Ensure, where possible, that all accessible optical surfaces and calibration standards are clean before measurement.

2.3.3 Calibration standard requirements

The use of calibration standards which are traceable to national standards laboratories is mandatory. The calibration procedure requires the use of the following:

- a) A fibre end with calibrated cladding diameter. The fibre should be of similar material to and within 5,0 µm of the nominal cladding diameter of the fibres to be measured by the test set and have a non-circularity of less than 0,5 %.

NOTE 1 The calibrated fibre end must not be re-cleaved. This is due to variations of diameter along the length of the fibre.

NOTE 2 If the fibre end becomes damaged or cannot be cleaned sufficiently, it should not be used for the purpose of calibration.

- b) A calibrated measurement scale. This is a chromium-on-glass mask with a pattern, typically, of dots, lines, circles or annuli.

For calibration checking (see 2.4), the standard may be either a fibre or a chromium-on-glass pattern with traceable geometry values.

2.3.4 Determination of calibration factors

A derivation of the calibration factors used is given in annex A.

2.3.4.1 Scaling factor

To calibrate the scaling factor use a chromium-on-glass mask. This may comprise an array of dots or lines, or an annular structure. The principle of calibration is to measure the distance between graduations.

NOTE The uniformity of the scaling factor over the field of view of the imaging system (known as spatial linearity) will affect the uncertainty that can be transferred to measurements on fibres and also to measurements of core/cladding concentricity error. A method for estimating spatial linearity is described in 2.5.

The scaling factors for the x and y axes of the camera are given by:

$$S_x = \frac{Dx_c}{Dx_m} \quad (1)$$

$$S_y = \frac{Dy_c}{Dy_m} \quad (2)$$

where

Dx_m is the measured spacing of graduations along the x-axis;

Dy_m is the measured spacing of graduations along the y-axis;

Dx_c is the calibrated spacing of graduations along the x-axis;

Dy_c is the calibrated spacing of graduations along the y-axis.

La procédure pour mesurer la distance entre les graduations dépend du type de masque de chrome utilisé, de la manière suivante:

a) Réseau régulier de points ou de lignes

Former une image du réseau qui soit compatible avec le fonctionnement normal du dispositif d'essai. Mesurer les distances entre les graduations dans deux directions orthogonales, parallèles aux axes de balayage de la caméra.

NOTE 1 Il convient que la distance sur laquelle l'étalonnage est effectué soit dans la limite de 5 µm du diamètre nominal des fibres devant être mesurées par le dispositif d'essai.

NOTE 2 Il est souhaitable d'aligner les axes du réseau pour qu'ils soient parallèles aux axes de balayage de la caméra. Toutefois, s'ils ne peuvent être alignés, il est nécessaire d'appliquer une compensation du défaut d'alignement angulaire.

b) Anneau

Former une image de l'anneau qui soit compatible avec le fonctionnement normal du dispositif d'essai. Appliquer des lissages de formes elliptiques aux bords intérieurs et extérieurs de l'anneau. Déterminer les diamètres mesurés Dx_m et Dy_m sur les axes x et y de la manière suivante:

$$Dx_m = \frac{Dx_{\text{intérieur}} + Dx_{\text{extérieur}}}{2} \quad (3)$$

et

$$Dy_m = \frac{Dy_{\text{intérieur}} + Dy_{\text{extérieur}}}{2} \quad (4)$$

où

$Dx_{\text{intérieur}}$ est le diamètre mesuré de l'anneau intérieur sur l'axe x;

$Dy_{\text{intérieur}}$ est le diamètre mesuré de l'anneau intérieur sur l'axe y;

$Dx_{\text{extérieur}}$ est le diamètre mesuré de l'anneau extérieur sur l'axe x;

$Dy_{\text{extérieur}}$ est le diamètre mesuré de l'anneau extérieur sur l'axe y.

NOTE 1 Il convient que le diamètre de l'anneau soit égal à 5 µm près au diamètre nominal des fibres devant être mesurées par le dispositif d'essai.

NOTE 2 Si, pour la commodité d'utilisation, on admet que Dx_m est égal à Dy_m , toute non-circularité dans l'anneau affecte la détermination de l'incertitude dans les mesures ultérieures de non-circularité de fibre; se reporter à 2.7.

Calculer l'incertitude dans la détermination des facteurs d'échelle en utilisant l'article 3.

2.3.4.2 Décalage correctif

Pour étalonner le décalage correctif, une fibre étalonée est requise. Former une image de l'extrémité de fibre qui soit compatible avec le fonctionnement normal du dispositif d'essai et appliquer un algorithme de lissage de formes au bord de la fibre. Déterminer le décalage correctif O de la manière suivante:

$$O = D_{P,F} - D'_{P,F} \cdot S \quad (5)$$

où

$D_{P,F}$ est le diamètre étaloné de la fibre;

$D'_{P,F}$ est le diamètre mesuré de la fibre (le facteur d'échelle n'étant pas appliqué);

P signifie «parent», F «fibre» et $S = \frac{S_x + S_y}{2}$ (facteur d'échelle moyen).

Donc $D'_{P,F} \cdot S$ est égal au diamètre mesuré de la fibre, exprimé en micromètres.

Calculer l'incertitude dans la détermination du décalage correctif en utilisant l'article 3.

The procedure to measure the distance between graduations will depend on the type of chrome mask used, as follows:

a) Regular array of dots or lines

Form an image of the array in a manner consistent with normal operation of the test set. Measure the distances between graduations in two orthogonal directions, these being parallel to the scan axes of the camera.

NOTE 1 The distance over which calibration is effected should be within 5 µm of the nominal diameter of the fibres to be measured by the test set.

NOTE 2 It is desirable to align the axes of the array to be parallel to the scan axes of the camera. However, if they are not so aligned, compensation for the angular misalignment needs to be applied.

b) Annulus

Form an image of the annulus in a manner consistent with normal operation of the test set. Apply elliptical form fits to the inner and outer edges of the annulus. Determine the measured diameters D_{x_m} and D_{y_m} along the x and y axes as follows:

$$D_{x_m} = \frac{D_{x_{inner}} + D_{x_{outer}}}{2} \quad (3)$$

and

$$D_{y_m} = \frac{D_{y_{inner}} + D_{y_{outer}}}{2} \quad (4)$$

where

$D_{x_{inner}}$ is the measured diameter of the inner annulus along the x-axis;

$D_{y_{inner}}$ is the measured diameter of the inner annulus along the y-axis;

$D_{x_{outer}}$ is the measured diameter of the outer annulus along the x-axis;

$D_{y_{outer}}$ is the measured diameter of the outer annulus along the y-axis.

NOTE 1 The diameter of the annulus should be within 5 µm of the nominal diameter of the fibres to be measured by the test set.

NOTE 2 If, for convenience of use, it is assumed that D_{x_m} equals D_{y_m} , any non-circularity in the annulus will affect the determination of the uncertainty in subsequent fibre non-circularity measurements, see 2.7.

Calculate the uncertainty in the determination of the scaling factors using clause 3.

2.3.4.2 Correction offset

To calibrate the correction offset a calibrated fibre is required. Form an image of the fibre end in a manner consistent with normal operation of the test set and apply a form-fitting algorithm to the fibre edge. Determine the correction offset O as follows:

$$O = D_{P,F} - D'_{P,F} \cdot S \quad (5)$$

where

$D_{P,F}$ is the calibrated diameter of the fibre;

$D'_{P,F}$ is the measured diameter of the fibre (scaling factor not applied);

P stands for parent, F stands for fibre and $S = \frac{S_x + S_y}{2}$ (mean scaling factor).

Thus $D'_{P,F} \cdot S$ is equal to the measured diameter of the fibre, in micrometres.

Calculate the uncertainty in the determination of the correction offset using clause 3.

2.4 Procédure de vérification d'étalonnage

Cette procédure est utilisée pour vérifier l'étalonnage du dispositif d'essai de géométrie. Elle n'est pas utilisée pour déterminer des facteurs d'étalonnage mais elle peut l'être pour vérifier la stabilité du dispositif d'essai depuis le dernier étalonnage.

Tant que le dispositif d'essai de géométrie a déjà été étalonné et que la mesure d'un étalon de travail ne révèle pas une incertitude géométrique supérieure à l'incertitude totale permise, la revendication de la traçabilité peut être étendue.

- a) S'assurer que les prescriptions relatives aux essais fournies en 2.3.2 ont été satisfaites.
- b) Comparer l'étalon de travail avec le dispositif d'essai de géométrie considéré.
- c) Dans le cas où l'étalon de travail est
 - une fibre: mesurer le diamètre de gaine moyen;
 - un masque en chrome sur verre: mesurer la distance entre les graduations.

Comparer les valeurs mesurées aux valeurs de référence et enregistrer les différences éventuelles. Il est nécessaire de répéter plusieurs fois la mesure afin de réduire statistiquement l'incertitude de la valeur moyenne mesurée.

2.5 Linéarité spatiale

L'incertitude dans la mesure de fibres dont le diamètre diffère de plus de 5 μm de celui de la fibre utilisée pour l'étalonnage peut être estimée d'une des deux manières suivantes.

- a) Mesurer un artefact en chrome sur verre en différents endroits dans l'angle de champ.
- b) Mesurer l'espacement entre graduations d'un réseau de lignes ou de points, sur tout l'angle de champ.

NOTE Dans un cas comme dans l'autre, il faut que la dimension linéaire de l'artefact ou l'intervalle soit inférieur(e) au quart du diamètre de la fibre d'étalonnage utilisée. Si la méthode a) est utilisée, seul un étalonnage nominal de l'artefact est nécessaire. Si la méthode b) est utilisée, il est nécessaire d'utiliser un artefact dont chaque intervalle est étalonné.

Une variation de facteur d'échelle sur l'angle de champ indique la présence d'une source d'incertitude dans l'étalonnage du facteur d'échelle du dispositif d'essai. L'importance de cette incertitude dépend de la plage des diamètres de fibre devant être mesurés sur le dispositif d'essai étalonné. Estimer l'importance de l'incertitude et l'ajouter à l'incertitude totale du facteur d'échelle, u_s , obtenue en 3.2.1.

2.6 Etalonnage de la mesure d'erreur de concentricité cœur/gaine

L'erreur de concentricité cœur/gaine est définie comme la distance entre les centres du cœur et de la gaine d'une fibre optique.

Au moment de la rédaction de la présente norme, il n'existe pas de matériaux de référence certifié (MRC) provenant de laboratoires de normalisation, pour un étalonnage direct de ce paramètre. L'annexe F fournit une procédure qui décrit la façon d'estimer l'incertitude obtenue dans la mesure de l'erreur de concentricité.

2.7 Etalonnage de la mesure de non-circularité

La non-circularité est définie comme la différence de distance radiale entre des points du bord qui sont respectivement le plus éloigné et le plus proche du centre ajusté, divisée par le rayon ajusté. Dans le cas d'un lissage de forme elliptique, la non-circularité est la différence entre le grand et le petit axe, divisée par leur moyenne.

Au moment de la rédaction de la présente norme, il n'existe pas de matériaux de référence certifié (MRC) provenant de laboratoires de normalisation, pour un étalonnage direct de ce paramètre. L'annexe G fournit une procédure qui décrit la façon d'estimer l'incertitude obtenue dans la mesure de la non-circularité.

2.4 Check calibration procedure

This procedure is used for checking the calibration of a geometry test set. The procedure is not used for determining calibration factors but may be used to check for test set stability since the last calibration was performed.

As long as the geometry test set has already been calibrated and measurement of a working standard does not reveal a geometry uncertainty greater than the permitted total uncertainty, the claim of traceability may be extended.

- a) Ensure that the test requirements given in 2.3.2 have been met.
- b) Present the working standard to the geometry test set under consideration.
- c) In the case where the working standard is
 - a fibre: measure the mean cladding diameter;
 - a chromium-on-glass mask: measure the distance between graduations.

Compare the measured values with the reference values and record any differences. It is necessary to repeat the measurement several times to statistically reduce uncertainty in the mean measured value.

2.5 Spatial linearity

The uncertainty in the measurement of fibres the diameter of which differs by more than 5 μm from that of the fibre used for calibration may be estimated in one of two ways.

- a) Measure a chromium-on-glass artefact at different positions within the field of view.
- b) Measure the spacing between graduations of an array of lines or dots over the whole field of view.

NOTE In either case, the linear dimension of the artefact or the interval must be less than one-quarter of the diameter of the calibration fibre used. If method a) is used, only a nominal calibration of the artefact is necessary. If method b) is used, it is necessary to use an artefact that has each interval calibrated.

A variation in the scaling factor over the field of view indicates a source of uncertainty in the calibration of the test set scaling factor. The importance of this uncertainty will depend on the range of fibre diameters to be measured on the calibrated test set. Estimate the magnitude of the uncertainty and add it to the total scaling factor uncertainty u_S , derived in 3.2.1.

2.6 Calibration of core/cladding concentricity error measurement

Core/cladding concentricity error is defined as the distance between the centres of the core and cladding of a fibre.

At the time of writing there are no standard reference materials (SRM) available from standards laboratories for direct calibration of this parameter. A procedure is given in annex F describing how to estimate the uncertainty obtained in a concentricity error measurement.

2.7 Calibration of non-circularity measurement

Non-circularity is defined as the difference in radial distance of edge points that are respectively furthest from and closest to the fitted centre, divided by the fitted radius. In the case of an ellipse form-fit, non-circularity is the difference between the major and minor axes, divided by their mean.

At the time of writing there are no standard reference materials (SRM) available from standards laboratories for direct calibration of this parameter. A procedure is given in annex G describing how to estimate the uncertainty obtained in a non-circularity measurement.

3 Evaluation des incertitudes

3.1 Remarque préliminaire

Le présent article traite de la manière de rapporter les incertitudes d'étalonnage d'un dispositif d'essai et également celles des mesures ultérieures. L'analyse s'appuie sur les mathématiques statistiques indiquées à l'annexe C. Il est important de choisir un niveau de confiance auquel les incertitudes sont calculées et d'utiliser les valeurs appropriées du facteur de couverture pour chaque calcul (se reporter à la définition 1.2.11 et à l'article C.3).

L'incertitude d'étalonnage du dispositif d'essai est exposée en 3.2. L'incertitude de mesure d'une fibre optique est exposée en 3.3. L'incertitude de mesure d'un masque chrome sur verre est exposée en 3.4.

Des exemples pratiques pour la détermination des incertitudes sont fournis dans l'annexe D.

3.2 Evaluation de l'incertitude dans l'étalonnage de dispositifs d'essais

La procédure d'étalonnage (se reporter à 2.3.4) comprend deux opérations. En premier lieu, il s'agit de déterminer un facteur d'échelle, puis un décalage correctif. Il est nécessaire d'évaluer les sources d'incertitudes dans ces deux paramètres afin d'estimer l'incertitude d'étalonnage du dispositif d'essai.

3.2.1 Incertitude dans le facteur d'échelle

Les termes suivants sont utilisés:

- S = facteur d'échelle
- $D_{P,C}$ = espacement étalonné des graduations d'un étalon-parent en chrome
- $u_{P,C}$ = incertitude dans l'étalonnage d'un étalon-parent en chrome
- $D'_{P,C}$ = espacement mesuré des graduations d'un étalon-parent en chrome (données brutes)
- $u'_{P,C}$ = incertitude statistique dans la mesure d'un étalon-parent en chrome (données brutes)
- $u_{Tr,P,C}$ = incertitude de transfert d'un étalon-parent en chrome
- n_C = nombre de mesures

où P signifie «parent» et C «chrome».

La détermination du facteur d'échelle est décrite en 2.3.4.1 et elle est donnée en termes de deux facteurs d'échelle, un pour chacun des deux axes de caméra. Aux fins d'estimation de l'incertitude dans le facteur d'échelle, les deux facteurs d'échelle peuvent être combinés pour donner l'expression suivante:

$$S = \frac{D_{P,C}}{D'_{P,C}} \quad (6)$$

L'incertitude u_S dans le facteur d'échelle est constituée de l'incertitude d'étalonnage $u_{P,C}$ de l'étalon-parent en chrome, des modifications éventuelles $u_{Tr,P,C}$ qui ont pu se produire dans l'étalon-parent en chrome depuis son étalonnage et de l'incertitude statistique $u'_{P,C}$ dans la mesure de l'étalon-parent en chrome effectuée sur le dispositif d'essai.

3 Evaluation of uncertainties

3.1 Introductory remark

In this clause, the reporting of uncertainties in the calibration of a test set and also in subsequent measurements is discussed. The analysis is based on the statistical mathematics given in annex C. It is important to choose a confidence level at which to calculate uncertainties and use the appropriate values for the coverage factor in each calculation (see definition 1.2.11 and clause C.3).

The uncertainty of calibration of the test set is discussed in 3.2. The uncertainty in the measurement of a fibre is discussed in 3.3. The uncertainty in the measurement of a chromium-on-glass mask is discussed in 3.4.

Worked examples for the determination of uncertainties are given in annex D.

3.2 Evaluation of uncertainty in test set calibration

The calibration procedure (see 2.3.4) comprises two operations. First a scaling factor is determined and then a correction offset factor is determined. Sources of uncertainty in both of these parameters must be evaluated to estimate the calibration uncertainty of the test set.

3.2.1 Uncertainty in scaling factor

The following terms are used:

- S = scaling factor
- $D_{P,C}$ = calibrated spacing of graduations of parent chromium standard
- $u_{P,C}$ = uncertainty in calibration of parent chromium standard
- $D'_{P,C}$ = measured spacing of graduations of parent chromium standard (raw data)
- $u'_{P,C}$ = statistical uncertainty in measurement of parent chromium standard (raw data)
- $u_{Tr,P,C}$ = transfer uncertainty of parent chromium standard
- n_C = number of measurements

where P stands for parent and C for chromium.

The determination of the scaling factor is described in 2.3.4.1 and is given in terms of two scaling factors, one for each of the two camera axes. For the purpose of estimating the uncertainty in the scaling factor, the two scaling factors may be combined to give the following expression:

$$S = \frac{D_{P,C}}{D'_{P,C}} \quad (6)$$

The uncertainty u_S in the scaling factor consists of the calibration uncertainty $u_{P,C}$ of the parent chromium standard, any changes $u_{Tr,P,C}$ that may have occurred in the parent chromium standard since its calibration, and the statistical uncertainty $u'_{P,C}$ in the measurement of the parent chromium standard on the test set.

L'incertitude relative u_S dans le facteur d'échelle est donnée par:

$$u_S = \sqrt{\frac{u_{Tr,P,C}^2 + u_{P,C}^2 + \left(\frac{u'_{P,C} \cdot S}{\sqrt{n_C}}\right)^2}{D_{P,C}^2}} \quad (7)$$

3.2.1.1 Détermination de $u_{P,C}$

L'incertitude $u_{P,C}$ dans l'étalonnage de l'étalon-parent peut être déterminée à partir du certificat d'étalonnage ou de la fiche de données concernant le parent. En utilisant l'incertitude étendue $U_{P,C}$ du parent, calculer $u_{P,C}$ de la manière suivante:

$$u_{P,C} = \frac{U_{P,C}}{k} \quad (8)$$

où k est le facteur de couverture.

Déterminer k à partir du certificat d'étalonnage du parent.

3.2.1.2 Détermination de $u_{Tr,P,C}$

L'incertitude de transfert peut être due à des facteurs affectant l'étalonnage de l'étalon-parent en chrome, par exemple le vieillissement, des modifications dues à la température et la propreté. Estimer l'incertitude de transfert à l'aide de l'équation (C.2).

3.2.1.3 Détermination de $u'_{P,C}$

Déterminer l'incertitude statistique dans la mesure de l'étalon-parent en chrome à l'aide de l'équation (C.1).

3.2.2 Incertitude dans le facteur de correction de décalage

Les termes suivants sont utilisés:

- S = facteur d'échelle
- $D_{P,F}$ = diamètre étalonné de l'étalon-parent en fibre
- $u_{P,F}$ = incertitude d'étalonnage de l'étalon-parent en fibre
- $u'_{P,F}$ = incertitude statistique dans la mesure de l'étalon-parent en fibre (données brutes)
- $u_{Tr,P,F}$ = incertitude de transfert de l'étalon-parent en fibre
- n_F = nombre de mesures

où P signifie «parent» et F «fibre».

La détermination du facteur de correction de décalage est décrite en 2.3.4.2. Le décalage O est donné par:

$$O = D_{P,F} - D'_{P,F} \cdot S \quad (9)$$

L'incertitude u_O dans le facteur de décalage est constituée de l'incertitude d'étalonnage $u_{P,F}$ de l'étalon-parent en fibre, des modifications éventuelles $u_{Tr,P,F}$ qui ont pu se produire dans l'étalon en fibre depuis son étalonnage et de l'incertitude statistique $u'_{P,F}$ dans la mesure de l'étalon-parent en fibre effectuée sur le dispositif d'essai.

The relative uncertainty u_S in the scaling factor is given by:

$$u_S = \sqrt{\frac{u_{Tr,P,C}^2 + u_{P,C}^2 + \left(\frac{u'_{P,C} \cdot S}{\sqrt{n_C}}\right)^2}{D_{P,C}^2}} \quad (7)$$

3.2.1.1 Determination of $u_{P,C}$

The uncertainty $u_{P,C}$ in the calibration of the parent standard may be determined from the parent's calibration certificate or data sheet. Using the expanded uncertainty $U_{P,C}$ of the parent, calculate $u_{P,C}$ as follows:

$$u_{P,C} = \frac{U_{P,C}}{k} \quad (8)$$

where k is the coverage factor.

Determine k from the parent's calibration certificate.

3.2.1.2 Determination of $u_{Tr,P,C}$

The transfer uncertainty may be due to factors affecting the calibration of the parent chromium standard, for example ageing, temperature-induced changes and cleanliness. Estimate the transfer uncertainty using equation (C.2).

3.2.1.3 Determination of $u'_{P,C}$

Determine the statistical uncertainty in measurement of the parent chromium standard using equation (C.1).

3.2.2 Uncertainty in offset correction factor

The following terms are used:

- S = scaling factor
- $D_{P,F}$ = calibrated diameter of parent fibre standard
- $u_{P,F}$ = calibration uncertainty of parent fibre standard
- $u'_{P,F}$ = statistical uncertainty in measurement of parent fibre standard (raw data)
- $u_{Tr,P,F}$ = transfer uncertainty of parent fibre standard
- n_F = number of measurements

where P stands for parent and F for fibre.

The determination of the offset correction factor is described in 2.3.4.2. The offset O is given by:

$$O = D_{P,F} - D'_{P,F} \cdot S \quad (9)$$

The uncertainty u_O in the offset factor consists of the uncertainty $u_{P,F}$ in the calibration of the parent fibre standard, any changes $u_{Tr,P,F}$ that may have occurred in the fibre standard since its calibration and the statistical uncertainty $u'_{P,F}$ in the measurement of the parent fibre standard on the test set.

L'incertitude u dans le décalage est donnée par:

$$u_O = \sqrt{u_{P,F}^2 + u_{Tr,P,F}^2 + \left(\frac{u'_{P,F} \cdot S}{\sqrt{n_F}} \right)^2} \quad (10)$$

NOTE L'incertitude u_S dans le facteur d'échelle n'est pas comprise dans le calcul de l'équation (10), car l'erreur dans le facteur d'échelle est compensée dans la détermination du facteur de décalage correctif, conformément à l'équation (9). Elle contribue toutefois à l'incertitude dans la mesure du diamètre de fibre lorsque le diamètre de la fibre en cours de mesurage est différent du diamètre de la fibre d'étalonnage qui a été utilisée pour la détermination du facteur de correction de décalage (se reporter à 3.3).

3.2.2.1 Détermination de $u_{P,F}$

L'incertitude $u_{P,F}$ du parent peut être déterminée à partir de l'incertitude étendue $U_{P,F}$ consignée dans le certificat d'étalonnage ou la fiche de données concernant le parent. L'exprimer comme une incertitude type $u_{P,F}$ de la manière suivante:

$$u_{P,F} = \frac{U_{P,F}}{k} \quad (11)$$

où k est le facteur de couverture.

Déterminer k à partir du certificat d'étalonnage du parent.

3.2.2.2 Détermination de $u_{Tr,P,F}$

L'incertitude de transfert peut être due à des facteurs affectant l'étalonnage de l'étalon-parent en fibre, par exemple le vieillissement, des modifications dues à la température et la propreté. Estimer l'incertitude de transfert à l'aide de l'équation (C.2).

3.2.2.3 Détermination de $u'_{P,F}$

Déterminer l'incertitude statistique dans la mesure de l'étalon-parent en fibre à l'aide de l'équation (C.1).

3.3 Evaluation de l'incertitude dans la mesure d'une fibre

Les termes suivants sont utilisés:

$D_{P,F}$ = diamètre étalonné de l'étalon-parent en fibre utilisé dans la détermination du décalage

$D_{I,F}$ = diamètre de la fibre-fille (à déterminer)

$D'_{I,F}$ = diamètre mesuré de la fibre-fille (données brutes)

$u'_{I,F}$ = incertitude statistique dans la mesure de la fibre-fille (données brutes)

$u_{Op,I,F}$ = incertitude opérationnelle de la fibre-fille

n_F = nombre de mesures

où I signifie «fille» et F «fibre».

Le diamètre mesuré de la fibre-fille après étalonnage est donné par:

$$D_{I,F} = D'_{I,F} \cdot S + O \quad (12)$$

The uncertainty u in the offset is given by:

$$u_O = \sqrt{u_{P,F}^2 + u_{Tr,P,F}^2 + \left(\frac{u'_{P,F} \cdot S}{\sqrt{n_F}} \right)^2} \quad (10)$$

NOTE The uncertainty u_S in the scaling factor is not included in the derivation of equation (10). This is because error in the scaling factor is compensated for in the determination of the correction offset factor, according to equation (9). It will, however, contribute to the uncertainty in fibre diameter measurement when the diameter of the fibre being measured is different from the diameter of the calibration fibre that was used in the determination of the offset correction factor (see 3.3).

3.2.2.1 Determination of $u_{P,F}$

The uncertainty $u_{P,F}$ of the parent may be determined from the expanded uncertainty $U_{P,F}$ quoted on the parent's calibration certificate or data sheet. Express this as a standard uncertainty $u_{P,F}$ as follows:

$$u_{P,F} = \frac{U_{P,F}}{k} \quad (11)$$

where k is the coverage factor.

Determine k from the parent's calibration certificate.

3.2.2.2 Determination of $u_{Tr,P,F}$

The transfer uncertainty may be due to factors affecting the calibration of the parent fibre standard, for example ageing, temperature induced changes, and cleanliness. Estimate the transfer uncertainty using C.2.

3.2.2.3 Determination of $u'_{P,F}$

Determine the statistical uncertainty in measurement of the parent fibre standard using C.1.

3.3 Evaluation of uncertainty in fibre measurement

The following terms are used:

- $D_{P,F}$ = calibrated diameter of parent fibre standard used in offset determination
- $D_{I,F}$ = diameter of infant fibre (to be determined)
- $D'_{I,F}$ = measured diameter of infant fibre (raw data)
- $u'_{I,F}$ = statistical uncertainty in measurement of infant fibre (raw data)
- $u_{Op,I,F}$ = operational uncertainty of infant fibre
- n_F = number of measurements

where I stands for infant and F for fibre.

The measured diameter of the infant fibre after calibration is given by:

$$D_{I,F} = D'_{I,F} \cdot S + O \quad (12)$$

L'incertitude $u_{I,F}$ dans la mesure est constituée de l'incertitude u_S dans le facteur d'échelle, de l'incertitude u_O dans le facteur de décalage et de l'incertitude statistique $u'_{I,F}$ dans la mesure de la fibre-fille effectuée sur le dispositif d'essai. En outre, si le mesurage dépend de modifications des conditions opératoires par rapport à celles qui existaient au moment de l'étalonnage, il faut prendre en compte ces modifications sous la forme d'une incertitude opérationnelle $u_{Op,I,F}$. L'incertitude dans la détermination du facteur d'échelle contribue à l'incertitude dans la détermination du diamètre de fibre lorsque le diamètre de la fibre soumise aux essais est différent de celui de la fibre d'étalonnage qui a été utilisée pour la détermination du facteur de correction de décalage (se reporter à 3.2.2). Elle est incluse comme le terme final dans l'expression ci-après.

L'incertitude $u_{I,F}$ dans le diamètre mesuré de la fibre-fille est donnée par:

$$u_{I,F} = \sqrt{u_O^2 + u_{Op,I,F}^2 + \left(\frac{u'_{I,F} \cdot S}{\sqrt{n_F}} \right)^2 + (D'_{I,F} \cdot S - D_{P,F})^2 \cdot u_S^2} \quad (13)$$

3.3.1 Détermination de $u_{Op,I,F}$

L'incertitude opérationnelle est due à des conditions opératoires différentes de celles qui existaient au moment de l'étalonnage, par exemple la qualité du clivage, la propreté et la température de fonctionnement. Estimer l'incertitude opérationnelle à l'aide de l'équation (C.2).

3.3.2 Détermination de $u'_{I,F}$

Déterminer l'incertitude statistique dans la mesure de la fibre-fille à l'aide de l'équation (C.1).

3.4 Evaluation de l'incertitude dans la mesure d'un masque en chrome

Les termes suivants sont utilisés:

- $D_{I,C}$ = espacement de graduations du masque-fille en chrome (à déterminer)
- $D'_{I,C}$ = espacement mesuré des graduations du masque-fille en chrome (données brutes)
- $u'_{I,C}$ = incertitude statistique dans la mesure du masque-fille en chrome (données brutes)
- $u_{Op,I,C}$ = incertitude opérationnelle du masque-fille en chrome
- n_C = nombre de mesures

où I signifie «fille» et C «chrome».

Le diamètre mesuré du masque-fille en chrome après étalonnage est donné par:

$$D_{I,C} = D'_{I,C} \cdot S \quad (14)$$

L'incertitude $u_{I,C}$ dans le diamètre mesuré est constituée de l'incertitude relative u_S dans le facteur d'échelle et de l'incertitude statistique $u'_{I,C}$ dans la mesure du masque-fille en chrome effectuée sur le dispositif d'essai. En outre, si le mesurage dépend de modifications des conditions opératoires par rapport à celles qui existaient au moment de l'étalonnage, il faut prendre en compte ces modifications sous la forme d'une incertitude opérationnelle $u_{Op,I,C}$.

L'incertitude $u_{I,C}$ dans le diamètre mesuré du masque-fille en chrome est donnée par:

$$u_{I,C} = \sqrt{u_{Op,I,C}^2 + \left(\frac{u'_{I,C} \cdot S}{\sqrt{n_C}} \right)^2 + (D'_{I,C} \cdot u_S)^2} \quad (15)$$

The uncertainty $u_{I,F}$ in the measurement consists of the uncertainty u_S in the scaling factor, the uncertainty u_O in the offset factor and the statistical uncertainty $u'_{I,F}$ in the measurement of the infant fibre on the test set. Further, if the measurement depends on changes in operating conditions from those existing at the time of calibration, these changes must be taken into account in the form of an operational uncertainty $u_{Op,I,F}$. Uncertainty in the determination of the scaling factor contributes to the uncertainty in the determination of the fibre diameter when the diameter of the fibre under test is different from the diameter of the calibration fibre that was used in the determination of the correction offset factor (see 3.2.2). This is included as the final term in the following expression.

The uncertainty $u_{I,F}$ in the measured diameter of the infant fibre is given by:

$$u_{I,F} = \sqrt{u_O^2 + u_{Op,I,F}^2 + \left(\frac{u'_{I,F} \cdot S}{\sqrt{n_F}} \right)^2 + (D'_{I,F} \cdot S - D_{P,F})^2 u_S^2} \quad (13)$$

3.3.1 Determination of $u_{Op,I,F}$

The operational uncertainty is due to operating conditions that are different from those existing at the time of calibration, for example cleave quality, cleanliness and operating temperature. Estimate the operational uncertainty using C.2.

3.3.2 Determination of $u'_{I,F}$

Determine the statistical uncertainty in measurement of the infant fibre using C.1.

3.4 Evaluation of uncertainty in chromium mask measurement

The following terms are used:

- $D_{I,C}$ = spacing of graduations of infant chromium mask (to be determined)
- $D'_{I,C}$ = measured spacing of graduations of infant chromium mask (raw data)
- $u'_{I,C}$ = statistical uncertainty in measurement of infant chromium mask (raw data)
- $u_{Op,I,C}$ = operational uncertainty of infant chromium mask
- n_C = number of measurements

where I stands for infant and C for chromium.

The measured diameter of the infant chromium mask after calibration is given by:

$$D_{I,C} = D'_{I,C} \cdot S \quad (14)$$

The uncertainty $u_{I,C}$ in the measured diameter consists of the relative uncertainty u_S in the scaling factor and the statistical uncertainty $u'_{I,C}$ in the measurement of the infant chromium mask on the test set. Further, if the measurement depends on changes in operating conditions from those existing at the time of calibration, these changes must be taken into account in the form of an operational uncertainty $u_{Op,I,C}$.

The uncertainty $u_{I,C}$ in the measured diameter of the infant chromium mask is:

$$u_{I,C} = \sqrt{u_{Op,I,C}^2 + \left(\frac{u'_{I,C} \cdot S}{\sqrt{n_C}} \right)^2 + (D'_{I,C} \cdot u_S)^2} \quad (15)$$

3.4.1 Détermination de $u_{Op,I,C}$

L'incertitude opérationnelle est due à des conditions opératoires différentes de celles qui existaient au moment de l'étalonnage, par exemple la qualité du clivage, la propreté et la température de fonctionnement. Estimer l'incertitude opérationnelle à l'aide de l'équation (C.2).

3.4.2 Détermination de $u_{I,C}$

Déterminer l'incertitude statistique dans la mesure du masque-fille en chrome à l'aide de l'équation (C.1).

3.5 Résumé

L'incertitude dans l'étalonnage du dispositif d'essai a été évaluée en termes d'incertitude de facteur d'échelle et d'incertitude de facteur de décalage, respectivement en 3.2.1 et 3.2.2.

Les incertitudes dans la mesure d'une fibre d'essai et d'un masque en chrome sur verre ont été respectivement évaluées en 3.3 et 3.4.

La déclaration d'incertitude dans la mesure d'une fibre ou d'un masque en chrome comprend les incertitudes des étalons pour étalonnage utilisés pour étalonner le dispositif d'essai, les incertitudes statistiques de mesure et les éventuelles incertitudes de mesure supplémentaires.

4 Documentation

4.1 Enregistrements

Des enregistrements corrects doivent être tenus lorsque l'on étalonne un dispositif d'essai de géométrie conformément à la présente procédure. Ces enregistrements doivent inclure les éléments suivants:

- a) une description du dispositif d'essai et une identification unique (numéro de série);
- b) la date à laquelle l'étalonnage a été réalisé;
- c) les résultats obtenus du processus d'étalonnage (se reporter à l'article 3);
- d) l'intervalle de réétalonnage;
- e) l'identification de la procédure d'étalonnage suivie;
- f) une identification unique de tous les étalons pour étalonnage utilisés et une certification démontrant la traçabilité;
- g) une identification du personnel réalisant l'étalonnage;
- h) la déclaration des incertitudes impliquées dans l'étalonnage du dispositif d'essai et leur effet cumulé sur les incertitudes dans les facteurs d'échelle et de décalage (se reporter à l'article 3);
- i) l'état des instruments, tel que les niveaux de seuil pour le choix des points aux bords, les critères de rejet de points et les types de lissage de formes appliqués.

4.2 Certificat d'étalonnage

Un certificat d'étalonnage doit être établi à la suite de l'étalonnage d'un dispositif d'essai. Un exemple de certificat est illustré en 4.3. Il doit comprendre les éléments suivants:

- a) le nom et l'adresse du laboratoire qui réalise l'étalonnage;
- b) l'adresse de l'emplacement de l'instrument;
- c) l'identification du dispositif d'essai et de tous les étalons pour étalonnage utilisés;
- d) l'identification de la procédure d'étalonnage suivie;

3.4.1 Determination of $u_{Op,I,C}$

The operational uncertainty is due to operating conditions that are different from those existing at the time of calibration, for example cleave quality, cleanliness and operating temperature. Estimate the operational uncertainty using C.2.

3.4.2 Determination of $u'_{I,C}$

Determine the statistical uncertainty in measurement of the infant chromium mask using C.1.

3.5 Summary

The uncertainty in the calibration of the test set has been evaluated in terms of the scaling factor uncertainty and the offset factor uncertainty, in 3.2.1 and 3.2.2 respectively.

The uncertainties in the measurement of a test fibre and a chromium-on-glass mask are evaluated in 3.3 and 3.4 respectively.

The statement of uncertainty in the measurement on a fibre or chromium mask includes the uncertainties of the calibration standards used to calibrate the test set, the statistical measurement uncertainties and any other additional measurement uncertainties.

4 Documentation

4.1 Records

Proper records shall be kept when a geometry test set is calibrated according to this procedure. These records shall include the following:

- description of the test set and unique identification (serial number);
- date on which the calibration was performed;
- results obtained from the calibration process (see clause 3);
- re-calibration interval;
- identification of the calibration procedure followed;
- unique identification of all calibration standards used and certification demonstrating traceability;
- identification of personnel performing the calibration;
- statement of uncertainties involved in calibrating the test set and of their cumulative effect on the uncertainties in the scaling and offset factors (see clause 3);
- instrument state, such as threshold levels for edge point selection, criteria for point rejection and types of form-fit applied.

4.2 Certificate of calibration

A calibration certificate shall be prepared following calibration of a test set. A sample certificate is shown in 4.3. It shall include the following:

- name and address of the laboratory performing the calibration;
- location address of the instrument;
- identification of the test set and all calibration standards used;
- identification of the calibration procedure followed;

- e) l'identificateur unique du certificat (numéro de série);
- f) la date d'étalonnage;
- g) la date d'émission du certificat;
- h) l'identification et la signature du personnel qui réalise l'étalonnage;
- i) la déclaration suivante: «Les détails des techniques d'étalonnage utilisées et les informations concernant la traçabilité sont disponibles sur demande».

De plus, le certificat d'étalonnage peut également comprendre les informations suivantes selon le cas:

- 1) les valeurs et incertitudes certifiées de tous les étalons pour étalonnage utilisés;
- 2) les résultats des essais d'étalonnage (article 2);
- 3) le facteur d'échelle et le facteur de décalage (article 2);
- 4) l'incertitude estimée dans les facteurs d'échelle et de décalage (article 3);
- 5) les détails des algorithmes de calcul utilisés, les valeurs de seuil et toute autre information appropriée à l'environnement de l'étalonnage;
- 6) les conditions environnementales pertinentes au moment de l'étalonnage;
- 7) l'intervalle de réétalonnage.

- e) unique identifier of certificate (serial number);
- f) date of calibration;
- g) date of issue of certificate;
- h) identification and signature of personnel performing the calibration;
- i) the following statement: "Details of the calibration techniques used and information on traceability are available on request".

In addition, the calibration certificate may also include the following information as appropriate:

- 1) certified values and uncertainties of any calibration standards used;
- 2) calibration test results (clause 2);
- 3) scaling factor and offset factor (clause 2);
- 4) estimated uncertainty in scaling and offset factors (clause 3);
- 5) details of computer algorithms used, threshold values, and any other information appropriate to the calibration environment;
- 6) relevant environmental conditions at the time of calibration;
- 7) re-calibration interval.

4.3 Exemple de certificat d'étalonnage

Numéro de certificat: C3982

Certificat d'étalonnage de l'instrument

Nom du client:	Far Eastern Telecom Products		
Emplacement:	Salle:	Cable test lab	
	Site:	Cable Works	
	Adresse:	Photon Way Fiberville Metroland	
Instrument:	GEOM X-23		
Numéro de série:	497-272-A1		
Date d'étalonnage:	15 novembre 1994		
Numéro de référence de la procédure :	IEC CAL PROCX		
Numéro(s) de série:	B12234 (Chrome)	-----	FB1120C (Fibre)
Valeur certifiée d'artefact(s):	125,61 μm	-----	124,69 μm
Incertitude(s):	$\pm 0,15 \mu\text{m}$ @ 95 %	-----	$\pm 0,12 \mu\text{m}$ @ 95 %
Valeur mesurée après étalonnage:	125,64 μm	-----	124,70 μm
Fidélité (σ_{n-1}):	0,03 μm n=5	-----	0,04 μm n=5
Date d'échéance du réétalonnage:	14 novembre 1995		

NOTE 1 Il faut utiliser l'instrument conformément aux conditions opératoires spécifiées dans le manuel de l'opérateur.

NOTE 2 Il est recommandé d'effectuer régulièrement la vérification de l'étalonnage à l'aide d'un étalon de travail.

L'instrument dont le numéro de série est indiqué ci-dessus a été étalonné conformément aux procédures d'étalonnage de la société The Instrument Company Ltd pour l'option spécifiée. Les détails des techniques d'étalonnage utilisées et les informations concernant la traçabilité sont disponibles sur demande.

Technicien:	Mike Service
Date d'émission:	17 novembre 1994
Signé au nom de la société The Instrument Company Ltd.	M E Service

4.3 Sample calibration certificate

Certificate number: C3982**Instrument calibration certificate**

Customer's name:	Far Eastern Telecom Products		
Location:	Room:	Cable test lab	
	Site:	Cable Works	
	Address:	Photon Way Fiberville Metroland	

Instrument:	GEOM X-23		
Serial number:	497-272-A1		
Calibration date:	15 November 1994		
Calibration procedure reference number:	IEC CAL PROCX		

Serial number(s):	B12134 (Chrome)	-----	FB1120C (Fibre)
Certified value of artefact(s):	125,61 μm	-----	124,69 μm
Uncertainty(ies):	$\pm 0,15 \mu\text{m} @,95 \%$	-----	$\pm 0,12 \mu\text{m} @,95 \%$

Measured value after calibration:	125,64 μm	-----	124,70 μm
Repeatability (σ_{n-1}):	0,03 μm n=5	-----	0,04 μm n=5

Re-calibration due date:	14 November 1995
--------------------------	------------------

NOTE 1 – The instrument must be used in accordance with the operating conditions specified in the operator manual.

NOTE 2 – It is recommended that calibration checking by a working standard be performed on a routine basis.

The instrument with the above serial number has been calibrated according to The Instrument Company Ltd calibration procedures for the specified option. Details of the calibration techniques used and information on traceability are available on request.

Engineer:	Mike Service
Date of issue:	17 November 1994
Signed on behalf of The Instrument Company Ltd.	M E Service

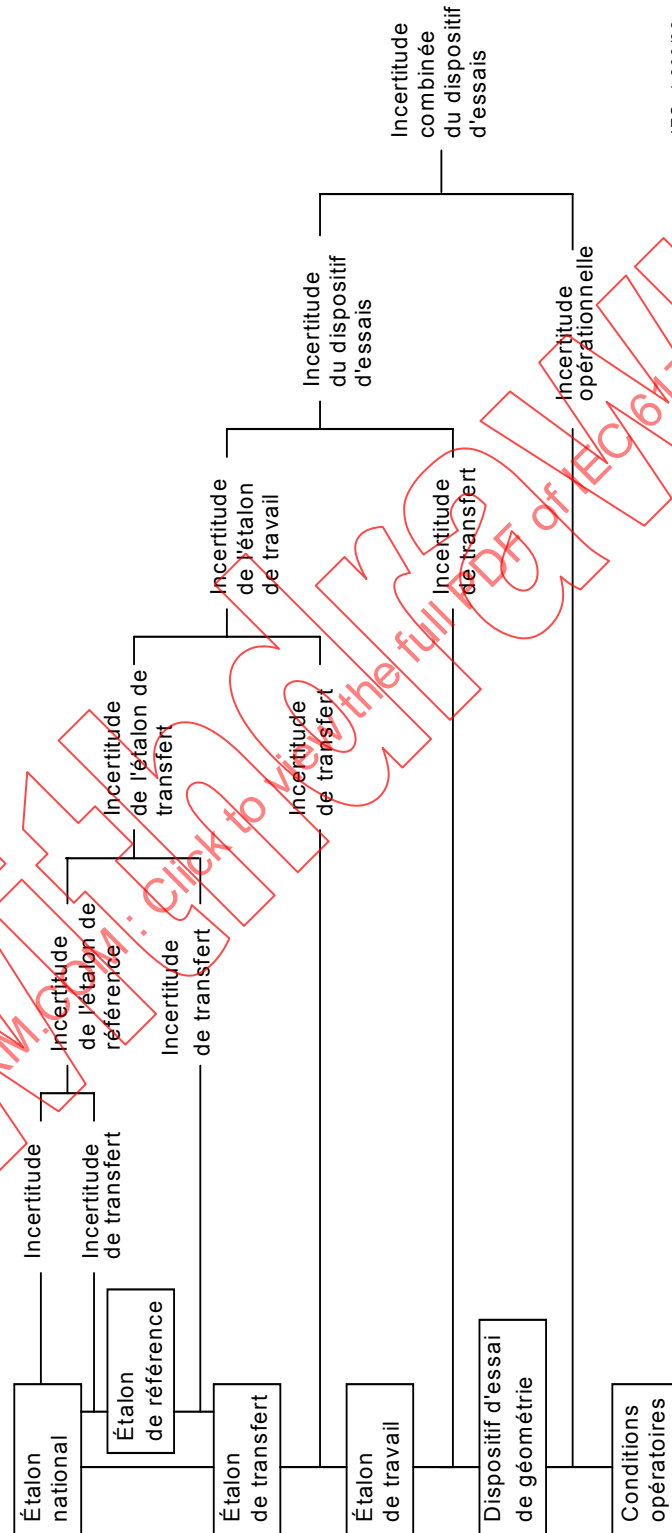


Figure 1 – Exemple d'une chaîne d'étalonnage et accumulation des incertitudes

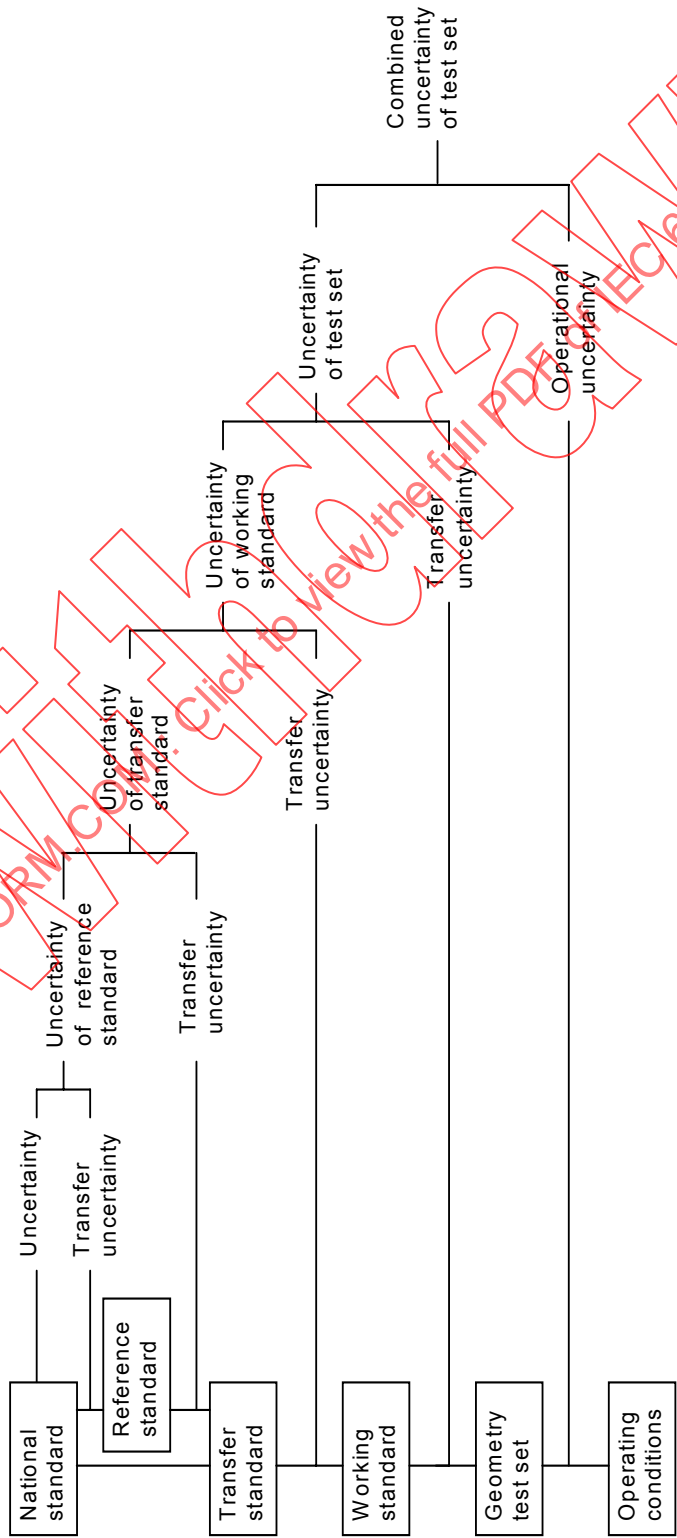


Figure 1 – Example of a calibration chain and the accumulation of uncertainties

Annexe A (informative)

Calcul des facteurs d'étalonnage

A.1 Calcul des facteurs d'échelle

Se reporter à 2.3.4.1.

Termes utilisés:

Dx_c = espacement étalonné des graduations du masque sur l'axe x;

Dy_c = espacement étalonné des graduations du masque sur l'axe y;

Dx_m = espacement mesuré des graduations du masque sur l'axe x;

Dy_m = espacement mesuré des graduations du masque sur l'axe y;

$Dx_{\text{intérieur}}$ = diamètre mesuré de l'anneau intérieur sur l'axe x;

$Dy_{\text{intérieur}}$ = diamètre mesuré de l'anneau intérieur sur l'axe y;

$Dx_{\text{extérieur}}$ = diamètre mesuré de l'anneau extérieur sur l'axe x;

$Dy_{\text{extérieur}}$ = diamètre mesuré de l'anneau extérieur sur l'axe y;

où les axes x et y sont définis comme étant les axes de balayage de la caméra.

La figure A.1 montre la manière dont sont définis les espacements mesurés des graduations, Dx_m et Dy_m , d'un masque constitué d'une grille de lignes.

Les diamètres intérieurs et extérieurs de l'anneau sur les axes x et y sont obtenus à partir de lissages de formes elliptiques appliqués aux bords intérieurs et extérieurs de l'anneau. La figure A.2 montre la manière dont sont définis les diamètres mesurés de l'anneau. Les espacements des graduations pour l'anneau sont donnés par:

$$Dx_m = \frac{Dx_{\text{intérieur}} + Dx_{\text{extérieur}}}{2} \quad (\text{A.1})$$

$$Dy_m = \frac{Dy_{\text{intérieur}} + Dy_{\text{extérieur}}}{2} \quad (\text{A.2})$$

Les facteurs d'échelle S_x et S_y des axes de balayage de la caméra pour les deux configurations de masque sont donnés par:

$$S_x = \frac{Dx_c}{Dx_m} \quad (\text{A.3})$$

$$S_y = \frac{Dy_c}{Dy_m} \quad (\text{A.4})$$

Annex A (informative)

Derivation of calibration factors

A.1 Derivation of scaling factors

Refer to 2.3.4.1.

Terms used:

Dx_c = calibrated spacing of graduations of the mask along the x-axis;

Dy_c = calibrated spacing of graduations of the mask along the y-axis;

Dx_m = measured spacing of graduations of the mask along the x-axis;

Dy_m = measured spacing of graduations of the mask along the y-axis;

Dx_{inner} = measured diameter of the inner annulus along the x-axis;

Dy_{inner} = measured diameter of the inner annulus along the y-axis;

Dx_{outer} = measured diameter of the outer annulus along the x-axis;

Dy_{outer} = measured diameter of the outer annulus along the y-axis;

where the x and y axes are defined as the scan axes of the camera.

Figure A.1 shows how the measured graduation spacings Dx_m and Dy_m of a mask consisting of a grid of lines are defined.

The inner and outer diameters of the annulus along the x and y axes are derived from elliptical form-fits applied to the inner and outer edges of the annulus. Figure A.2 shows how the measured diameters of an annulus are defined. The graduation spacings for the annulus are given by:

$$Dx_m = \frac{Dx_{inner} + Dx_{outer}}{2} \quad (A.1)$$

$$Dy_m = \frac{Dy_{inner} + Dy_{outer}}{2} \quad (A.2)$$

The scaling factors S_x and S_y of the scan axes of the camera for both mask configurations are given by:

$$S_x = \frac{Dx_c}{Dx_m} \quad (A.3)$$

$$S_y = \frac{Dy_c}{Dy_m} \quad (A.4)$$

A.2 Calcul du facteur de correction de décalage

Se reporter à 2.3.4.2.

Le décalage correctif est requis afin de corriger les effets systématiques tels que la diffraction au niveau du bord de la fibre. Il est défini comme la différence entre le diamètre étalonné D_{cal} d'une fibre et son diamètre mesuré D_{mes} , après l'application du facteur d'échelle mais pas du facteur de décalage. Le décalage est donné par:

$$\text{Décalage} = D_{\text{cal}} - D_{\text{mes}} \quad (\text{A.5})$$

La figure A.3 illustre la relation entre les diamètres étalonné et mesuré.

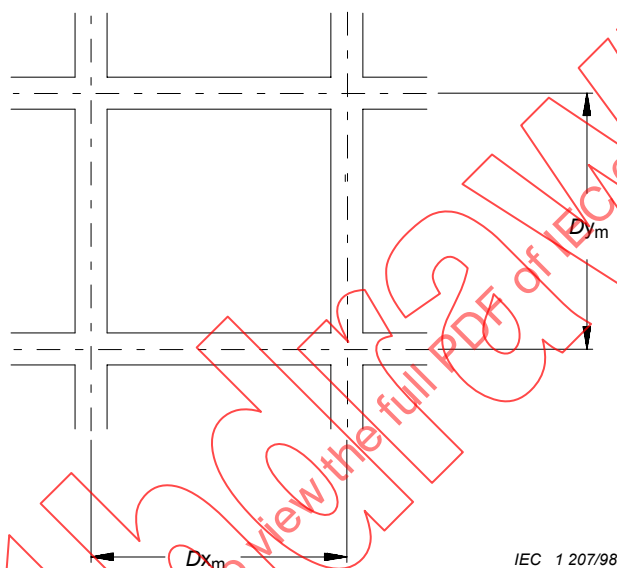


Figure A.1 – Représentation d'un masque d'étalonnage en forme de grille

A.2 Derivation of correction offset factor

Refer to 2.3.4.2

The correction offset is required to correct for systematic effects such as diffraction at the fibre edge. It is defined as the difference between the calibrated diameter D_{cal} of a fibre and its measured diameter D_{meas} , after the scaling factor, but no offset, has been applied. The offset is given by:

$$\text{Offset} = D_{\text{cal}} - D_{\text{meas}} \quad (\text{A.5})$$

Figure A.3 illustrates the relationship between the calibrated and measured diameters.

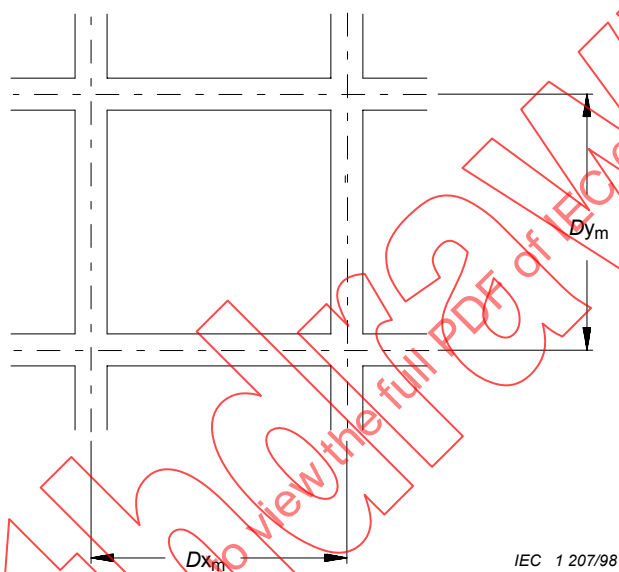
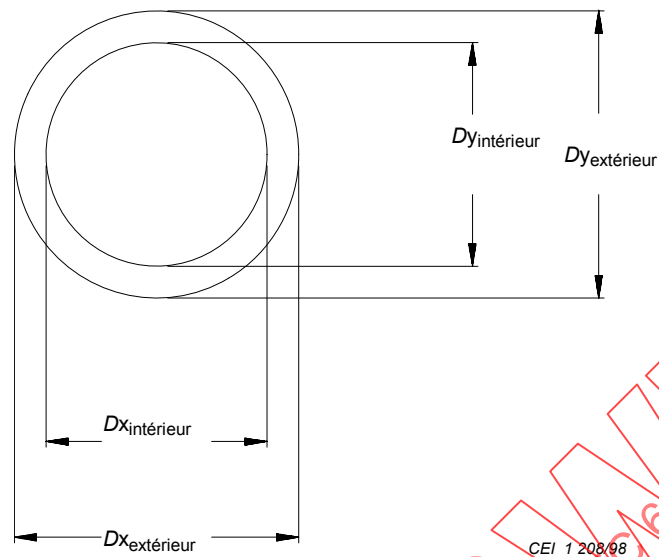
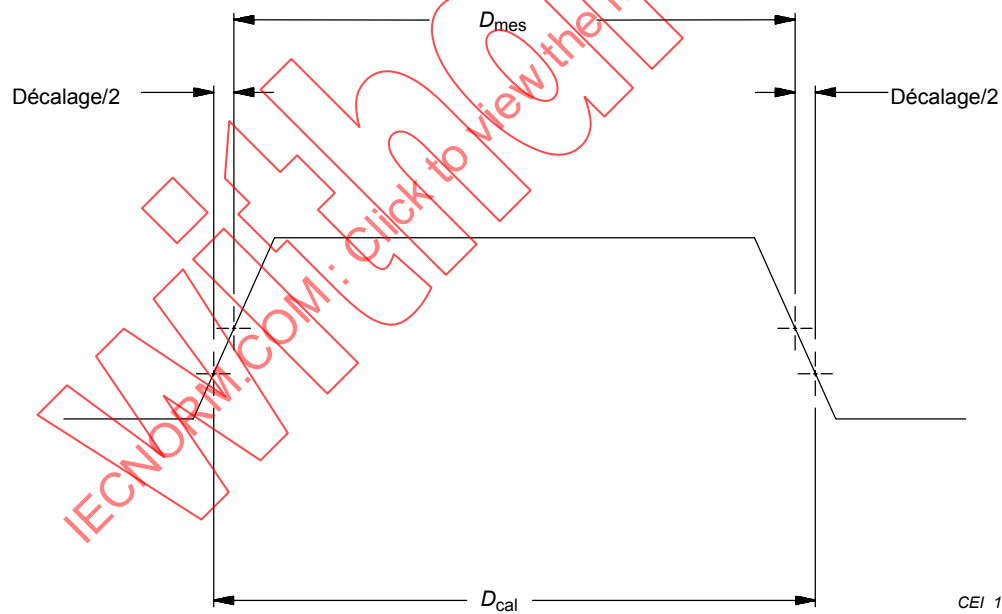


Figure A.1 – Representation of a grid calibration mask



CEI 1 208/98

Figure A.2 – Représentation d'un masque d'étalonnage en forme d'anneau



CEI 1 209/98

Figure A.3 – Calcul du décalage correctif

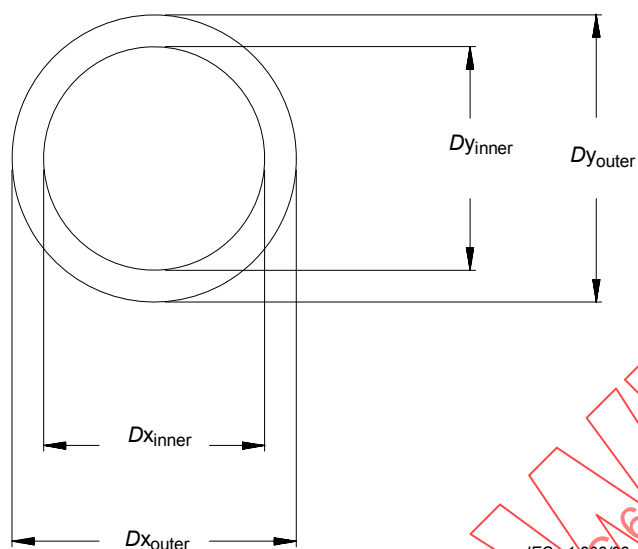


Figure A.2 – Representation of an annulus calibration mask

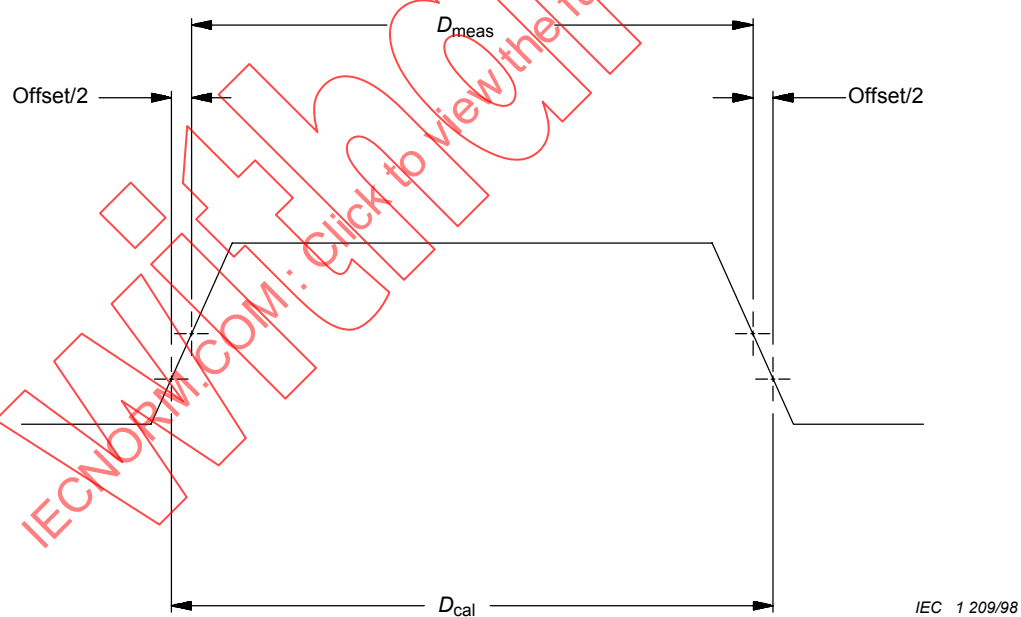


Figure A.3 – Derivation of correction offset

Annexe B (informative)

Exemples pratiques pour la détermination de facteurs d'étalonnage

B.1 Exemple de détermination du facteur d'échelle

Se reporter à 2.3.4.1.

Soit:

$D_{x_c} = 125,60 \text{ } \mu\text{m}$ (espacement étalonné des graduations sur l'axe x);

$D_{y_c} = 125,60 \text{ } \mu\text{m}$ (espacement étalonné des graduations sur l'axe y);

$D_{x_m} = 125,46$ (espacement mesuré des graduations sur l'axe x, données brutes);

$D_{y_m} = 124,84$ (espacement mesuré des graduations sur l'axe y, données brutes).

A partir des équations (1) et (2), les facteurs d'échelle S_x et S_y sont:

$$S_x = 1,0011 \quad S_y = 1,0061$$

B.2 Exemple de détermination du facteur de correction de décalage

Se reporter à 2.3.4.2.

Soit:

$D_{P,F} = 125,64 \text{ } \mu\text{m}$ (diamètre étalonné de fibre)

$D'_{P,F} = 124,77$ (diamètre mesuré de fibre, données brutes)

$S = (1,0011 + 1,0061)/2 = 1,0036$ (se reporter à B.1)

A partir de l'équation (5), le facteur de correction de décalage est:

$$O = 0,42 \text{ } \mu\text{m}$$

Annex B (informative)

Worked examples for the determination of calibration factors

B.1 Example of determination of scaling factor

Refer to 2.3.4.1.

Let:

$Dx_c = 125,60 \text{ } \mu\text{m}$ (calibrated spacing of graduations along the x-axis);

$Dy_c = 125,60 \text{ } \mu\text{m}$ (calibrated spacing of graduations along the y-axis);

$Dx_m = 125,46$ (measured spacing of graduations along the x-axis, raw data);

$Dy_m = 124,84$ (measured spacing of graduations along the y-axis, raw data).

From equations (1) and (2) the scaling factors S_x and S_y are:

$$S_x = 1,0011$$

$$S_y = 1,0061$$

B.2 Example of determination of offset correction factor

Refer to 2.3.4.2.

Let:

$D_{P,F} = 125,64 \text{ } \mu\text{m}$ (calibrated diameter of fibre)

$D'_{P,F} = 124,77$ (measured diameter of fibre, raw data)

$S = (1,0011 + 1,0061)/2 = 1,0036$ (see B.1)

From equation (5) the offset correction factor is:

$$O = 0,42 \text{ } \mu\text{m}$$

Annexe C (normative)

Calcul des incertitudes

L'incertitude dans le résultat d'une mesure comprend généralement plusieurs composantes qui peuvent être regroupées de façon générale en deux catégories selon la méthode utilisée pour leur évaluation:

- type A: les incertitudes évaluées par des méthodes statistiques;
- type B: les incertitudes évaluées par d'autres moyens.

La présente annexe décrit la manière d'évaluer ces incertitudes.

C.1 Evaluation de type A d'une incertitude type

Une évaluation de type A de l'incertitude peut s'appuyer sur n'importe quelle méthode statistique valide pour le traitement de données. Dans la présente norme, l'incertitude type u est définie comme égale à l'écart-type d'un ensemble de résultats de mesure, de la manière suivante:

$$u = \sqrt{\frac{\sum_i (Y_i - Y_{\text{moyen}})^2}{(n-1)}} \quad (\text{C.1})$$

où

- Y_i est un élément d'une série de mesures;
 Y_{moyen} est la valeur moyenne de la série de mesures;
 n est le nombre de mesures effectuées.

C.2 Evaluation de type B d'une incertitude type

Une évaluation de type B de l'incertitude s'appuie généralement sur un jugement scientifique qui utilise toutes les informations pertinentes disponibles, qui peuvent comprendre des données de mesure antérieures, l'expérience du comportement du dispositif d'essai lui-même, les spécifications du constructeur, et les incertitudes consignées dans les certificats d'étalonnage. Le terme «incertitude opérationnelle» est utilisé dans la présente norme pour décrire une incertitude due, par exemple, aux conditions environnementales, au vieillissement et à la propreté des échantillons. Le terme «incertitude de transfert» sert à décrire l'incertitude d'un étalon pour étalonnage qui est due, par exemple, au vieillissement.

Estimer les limites supérieure et inférieure a^+ et a^- pour le paramètre mesuré actuellement de sorte que la probabilité de trouver la valeur entre ces limites soit égale à 100 %. Afin de mieux combiner les incertitudes de type B avec celles de type A, l'incertitude type u qui correspond à une loi normale équivalente est déterminée en utilisant:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (\text{C.2})$$

où $a = \frac{a^+ + a^-}{2}$ est la meilleure estimation du paramètre.

Annex C (normative)

Calculation of uncertainties

The uncertainty in the result of a measurement generally consists of several components. These may be grouped broadly into two categories according to the method used to evaluate them:

- type A: uncertainties which are evaluated by statistical methods;
- type B: uncertainties which are evaluated by other means.

This annex describes how to evaluate these uncertainties.

C.1 Type A evaluation of standard uncertainty

A type A evaluation of uncertainty may be based on any valid statistical method for treating data. In this standard, the standard uncertainty u is defined as equal to the standard deviation of a set of measurement results as follows:

$$u = \sqrt{\frac{\sum_i (Y_i - Y_{\text{mean}})^2}{(n-1)}} \quad (\text{C.1})$$

where

- Y_i is one of a series of measurements;
 Y_{mean} is the mean value of the series of measurements;
 n is the number of measurements performed.

C.2 Type B evaluation of standard uncertainty

A type B evaluation of uncertainty is usually based on scientific judgement using all the relevant information available, which may include previous measurement data, experience with the behaviour of the test set itself, manufacturer's specifications, and uncertainties quoted on calibration certificates. The term operational uncertainty is used in this standard to describe an uncertainty that is due, for example, to environmental conditions, sample ageing and cleanliness. The term transfer uncertainty is used to describe the uncertainty of a calibration standard that is due, for example, to ageing.

Estimate upper and lower limits a^+ and a^- for the parameter being measured such as the probability that the value lies between these limits is 100 %. In order to facilitate the combination of type B uncertainties with type A uncertainties, the standard uncertainty u which corresponds to an equivalent normal distribution is determined using:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (\text{C.2})$$

where $a = \frac{a^+ + a^-}{2}$ is the best estimate of the parameter.

C.2.1 Exemples d'évaluation de type B de l'incertitude

Exemple A: Lorsque l'incertitude est due à une grandeur d'influence (telle qu'un changement de température) et demeure constante ou varie de manière prévisible au cours de plusieurs mesures de la même grandeur, cette incertitude peut être calculée de la manière suivante:

- a) déterminer le changement dans la grandeur d'influence;
- b) obtenir les limites supérieure et inférieure d'incertitude dans la valeur mesurée d'un paramètre en multipliant la modification dans la grandeur d'influence par la variation de l'instrument en fonction de cette grandeur. Calculer l'incertitude type à l'aide de l'équation (C.2).

Exemple B: Dans le cas où l'effet d'une grandeur d'influence est difficile à quantifier, il faut faire appel à l'expérience et au jugement. Par exemple, l'effet de la contamination de l'extrémité de fibre en cours de mesure ne peut pas être directement déterminé, mais l'expérience de tels mesurages permet d'estimer l'incertitude probable.

Exemple C: L'incertitude associée à un étalon pour étalonnage est consignée sur le certificat d'étalonnage de cet étalon. Si l'incertitude est spécifiée sous forme de limites supérieure et inférieure, l'incertitude type peut être déterminée à l'aide de l'équation (C.2). Si l'incertitude est spécifiée à un niveau de confiance particulier, l'incertitude type à 68,3 %, par exemple, est égale à l'incertitude consignée divisée par le facteur de couverture approprié.

C.3 Combinaison de sources d'incertitude

Plusieurs sources d'incertitude type peuvent être combinées pour produire une seule incertitude u_{com} , si l'on suppose l'indépendance statistique, de la manière suivante:

$$u_{\text{com}} = \sqrt{\sum_i u_i^2} \quad (\text{C.3})$$

où u_i est l'incertitude type, une des n sources d'incertitudes.

NOTE 1 Lorsque l'on combine plusieurs incertitudes types, il est essentiel que chacune des composantes de l'incertitude soit spécifiée au même niveau de confiance.

NOTE 2 Pour spécifier l'incertitude étendue U_{com} à un niveau de confiance autre que celui utilisé pour chaque incertitude individuelle, chacune des composantes d'incertitude u_i est d'abord multipliée par le facteur de couverture approprié k_i correspondant au nombre d'échantillons utilisés pour la détermination de cette incertitude, puis est combinée de la manière suivante:

$$U_{\text{com}} = \sqrt{\sum_i k_i^2 u_i^2} \quad (\text{C.4})$$

Il convient de noter que, si les tailles des échantillons pour chaque composante d'incertitude sont toutes grandes, l'incertitude étendue est obtenue en multipliant la combinaison des incertitudes individuelles, conformément à l'équation (C.3), par un facteur de couverture unique.

Pour les petits échantillons, le facteur de couverture k est déterminé en prenant k égal à un facteur t obtenu à partir de la loi t de Student, pour le nombre particulier de mesures.

C.3.1 Exemple de combinaison de plusieurs sources d'incertitude

Soit les valeurs suivantes pour trois composantes individuelles d'incertitude:

$u_1 = 0,052 \mu\text{m}$	$n_1 = 8$
$u_2 = 0,069 \mu\text{m}$	$n_2 = 12$
$u_3 = 0,034 \mu\text{m}$	$n_3 = 9$

C.2.1 Examples of type B evaluation of uncertainty

Example A: Where the uncertainty is caused by an influencing quantity (such as temperature changes) and, in the course of a number of measurements of the same quantity, remains constant or varies in a predictable way, the uncertainty may be calculated as follows:

- a) determine the change in the influencing quantity;
- b) obtain the upper and lower limits of uncertainty in the measured value of a parameter by multiplying the change in the influencing quantity by the instrument dependence on that quantity. Calculate the standard uncertainty using equation (C.2).

Example B: In the case where the effect of an influencing quantity is difficult to quantify then experience and judgement must be used. For example, the effect of contamination of the fibre end being measured cannot readily be determined but experience in such measurements will enable the likely uncertainty to be estimated.

Example C: The uncertainty that is associated with a calibration standard will be quoted on the calibration certificate for that standard. If the uncertainty is specified as upper and lower limits, the standard uncertainty may be determined using equation (C.2). If the uncertainty is specified at a particular confidence level, the standard uncertainty at, for example, 68,3 % is equal to the quoted uncertainty divided by the appropriate coverage factor.

C.3 Combining sources of uncertainty

Several sources of standard uncertainty may, assuming statistical independence, be combined to give a single uncertainty u_{com} as follows:

$$u_{\text{com}} = \sqrt{\sum_i u_i^2} \quad (\text{C.3})$$

where u_i is the standard uncertainty, one of n uncertainty sources.

NOTE 1 When several standard uncertainties are combined, it is essential that each component of uncertainty be specified at the same confidence level.

NOTE 2 In order to specify the expanded uncertainty U_{com} at a confidence level other than that used for each individual uncertainty, each component of uncertainty u_i is first multiplied by the appropriate coverage factor k_i corresponding to the number of samples used in the determination of that uncertainty, and then combined as follows:

$$U_{\text{com}} = \sqrt{\sum_i k_i^2 u_i^2} \quad (\text{C.4})$$

Note that, if the sample sizes for each component of uncertainty are all large, the expanded uncertainty is obtained by multiplying the combination of individual uncertainties, according to equation (C.3), by a single coverage factor.

For small samples the coverage factor k is determined by taking k equal to a t -factor obtained from Student's t distribution for the particular number of measurements.

C.3.1 Example of combining several sources of uncertainty

Consider the following values for three individual components of uncertainty:

$$\begin{array}{ll} u_1 = 0,052 \mu\text{m} & n_1 = 8 \\ u_2 = 0,069 \mu\text{m} & n_2 = 12 \\ u_3 = 0,034 \mu\text{m} & n_3 = 9 \end{array}$$

A partir du tableau des valeurs de t en C.4, les valeurs correspondantes de k au niveau de confiance de 95,5 % sont:

$$k_1 = 2,43$$

$$k_2 = 2,25$$

$$k_3 = 2,37$$

En utilisant l'équation (C.4), la valeur de l'incertitude étendue totale à un niveau de confiance de 95,5 % est donnée par:

$$U_{\text{com}} = 0,22 \mu\text{m}$$

C.4 Loi t de Student

Des valeurs de t pour un niveau de confiance spécifié, en fonction du nombre de mesures n , sont fournies dans le tableau ci-après:

Nombre de mesures n	Niveau de confiance		
	68,3 %	95,5 %	99,7 %
2	1,84	14,0	–
3	1,32	4,53	–
4	1,20	3,31	9,22
5	1,14	2,87	6,62
6	1,11	2,65	5,51
7	1,09	2,52	4,90
8	1,08	2,43	4,53
9	1,07	2,37	4,28
10	1,06	2,32	4,09
11	1,05	2,28	3,96
12	1,05	2,25	3,85
13	1,04	2,23	3,76
14	1,04	2,21	3,69
15	1,04	2,20	3,64
16	1,03	2,18	3,59
17	1,03	2,17	3,54
18	1,03	2,16	3,51
19	1,03	2,15	3,48
20	1,03	2,14	3,45
∞	1	2	3

Le facteur de couverture k pour le nombre particulier de mesures et les niveaux de confiance requis est donné par:

$$k = t \quad (\text{C.5})$$

From the table of t -values in C.4 the corresponding values for k at a confidence level of 95,5 % are:

$$k_1 = 2,43$$

$$k_2 = 2,25$$

$$k_3 = 2,37$$

Using equation (C.4) the expanded total uncertainty at 95,5 % confidence level is given by:

$$U_{\text{com}} = 0,22 \mu\text{m}$$

C.4 Student's t distribution

Values of t for specified confidence level, as a function of the number of measurements n are given in the following table:

Measurement number	Confidence level		
n	68,3 %	95,5 %	99,7 %
2	1,84	14,0	—
3	1,32	4,53	—
4	1,20	3,31	9,22
5	1,14	2,87	6,62
6	1,11	2,65	5,51
7	1,09	2,52	4,90
8	1,08	2,43	4,53
9	1,07	2,37	4,28
10	1,06	2,32	4,09
11	1,05	2,28	3,96
12	1,05	2,25	3,85
13	1,04	2,23	3,76
14	1,04	2,21	3,69
15	1,04	2,20	3,64
16	1,03	2,18	3,59
17	1,03	2,17	3,54
18	1,03	2,16	3,51
19	1,03	2,15	3,48
20	1,03	2,14	3,45
∞	1	2	3

The coverage factor k for the particular number of measurements and confidence levels required is given by:

$$k = t \quad (\text{C.5})$$

Annexe D (informative)

Exemples pratiques pour la détermination d'incertitudes

La présente annexe contient des exemples pratiques pour la détermination d'incertitudes dans le facteur d'échelle, dans le facteur de décalage, dans la mesure de fibre et dans la mesure de masque en chrome. On admet implicitement un niveau de confiance constamment égal à 68,3 %.

D.1 Exemple de détermination de l'incertitude de facteur d'échelle

Se reporter à 3.2.1 et à l'annexe C.

Soit

$D_{P,C} = 125,60 \text{ } \mu\text{m}$ (valeur étalonnée de l'étalon-parent)

$u_{P,C} = 0,07 \text{ } \mu\text{m}$ (incertitude d'étalonnage de l'étalon-parent)

$D'_{P,C} = 125,15$ (valeur mesurée de l'étalon-parent, données brutes)

$u'_{P,C} = 0,05$ (incertitude statistique de mesure, données brutes)

$n_C = 10$ (nombre de mesures)

A partir de l'annexe C: $t = 1,06$

Incertaince corrigée: $u'_{P,C} = 0,05 \times 1,06 = 0,053$

Dans cet exemple, posons le changement de température égal à $10 \text{ } ^\circ\text{C}$, et la variation de l'étalon-parent en fonction de la température égale à $0,001 \text{ } \mu\text{m}/^\circ\text{C}$.

Donc, à partir de l'équation (C.2): $U_{\pi,P,C} = \frac{10 \times 0,001}{\sqrt{3}} = 0,006 \text{ } \mu\text{m}$

A partir de l'équation (6): $S = \frac{125,60}{125,15} = 1,0036$

Alors, à partir de l'équation (7), l'incertitude dans le facteur d'échelle est: $u_s = 5,8 \times 10^{-4}$

D.2 Exemple de détermination de l'incertitude de décalage correctif

Se reporter à 3.2.2 et à l'annexe C.

Soit

$u_{P,F} = 0,05 \text{ } \mu\text{m}$ (incertitude d'étalonnage de l'étalon-parent en fibre)

$u'_{P,F} = 0,05$ (incertitude statistique de mesure, données brutes)

$n_F = 10$ (nombre de mesures)

$S = \text{facteur d'échelle} = 1,0036$ (à partir de l'article D.1)

A partir de l'annexe C: $t = 1,06$

Incertaince corrigée: $u'_{P,C} = 0,05 \times 1,06 = 0,053$

Annex D (informative)

Worked examples for the determination of uncertainties

This annex contains worked examples for the determination of uncertainties in scaling factor, offset factor, fibre measurement and chromium mask measurement. A confidence level of 68,3 % is assumed throughout.

D.1 Example of determination of scaling factor uncertainty

Refer to 3.2.1 and annex C.

Let

$D_{P,C} = 125,60 \text{ } \mu\text{m}$ (calibrated value of parent standard)

$u_{P,C} = 0,07 \text{ } \mu\text{m}$ (calibration uncertainty of parent standard)

$D'_{P,C} = 125,15$ (measured value of parent standard, raw data)

$u'_{P,C} = 0,05$ (statistical uncertainty of measurement, raw data)

$n_C = 10$ (number of measurements)

From annex C: $t = 1,06$

Corrected uncertainty: $u'_{P,C} = 0,05 \times 1,06 = 0,053$

In this example, let the change in temperature equal $10 \text{ } ^\circ\text{C}$, and let the dependence of parent standard on temperature equal $0,001 \text{ } \mu\text{m}/^\circ\text{C}$.

Thus, from equation (C.2): $U_{T,P,C} = \frac{10 \times 0,001}{\sqrt{3}} = 0,006 \text{ } \mu\text{m}$

From equation (6): $S = \frac{125,60}{125,15} = 1,0036$

Then, from equation (7), the uncertainty in scaling factor is: $u_s = 5,8 \times 10^{-4}$

D.2 Example of determination of correction offset uncertainty

Refer to 3.2.2 and annex C.

Let

$u_{P,F} = 0,05 \text{ } \mu\text{m}$ (calibration uncertainty of parent fibre standard)

$u'_{P,F} = 0,05$ (statistical uncertainty of measurement, raw data)

$n_F = 10$ (number of measurements)

$S = \text{scaling factor} = 1,0036$ (from clause D.1)

From annex C: $t = 1,06$

Corrected uncertainty: $u'_{P,C} = 0,05 \times 1,06 = 0,053$

Dans cet exemple, posons l'effet estimé sur la mesure dû à la propreté de la fibre d'étalonnage égal à $0,02 \mu\text{m}$. Donc $u_{\text{Tr},\text{P},\text{F}} = 0,02 \mu\text{m}$.

Alors, à partir de l'équation (10), l'incertitude dans le facteur de décalage est: $u_{\text{O}} = 0,06 \mu\text{m}$.

D.3 Exemple de détermination de l'incertitude de mesure d'une fibre

Se reporter à 3.3 et à l'annexe C.

Soit

$D'_{\text{I},\text{F}} = 124,50$ (valeur mesurée de la fibre-fille, données brutes)

$D'_{\text{P},\text{F}} = 125,64 \mu\text{m}$ (diamètre de fibre utilisé dans l'étalonnage du décalage, se reporter à l'annexe B)

$u'_{\text{I},\text{F}} = 0,05$ (incertitude statistique de mesure, données brutes)

$n_{\text{F}} = 10$ (nombre de mesures)

$S =$ facteur d'échelle = 1,0036 (à partir de l'article D.1)

$u_{\text{S}} =$ incertitude dans le facteur d'échelle = $5,8 \times 10^{-4}$ (à partir de l'article D.1)

$u_{\text{O}} =$ incertitude dans le facteur de décalage = $0,06 \mu\text{m}$ (à partir de l'article D.2)

A partir de l'annexe C: $t = 1,06$

Incrtitude corrigée: $u'_{\text{I},\text{F}} = 0,05 \times 1,06 = 0,053$

Dans cet exemple, posons l'effet estimé sur la mesure dû à la propreté et au type de dommage de clivage égal à $0,02 \mu\text{m}$. Donc $u_{\text{Op},\text{I},\text{F}} = 0,02 \mu\text{m}$.

Alors, à partir de l'équation (13), l'incertitude dans la mesure de la fibre est: $u_{\text{I},\text{F}} = 0,07 \mu\text{m}$.

D.4 Exemple de détermination de l'incertitude de mesure d'un masque en chrome

Se reporter à 3.4 et à l'annexe C.

Soit

$D'_{\text{I},\text{C}} = 125,40$ (valeur mesurée du masque-fille en chrome, données brutes)

$u'_{\text{I},\text{C}} = 0,05$ (incertitude statistique de mesure, données brutes)

$n_{\text{C}} = 10$ (nombre de mesures)

$S =$ facteur d'échelle = 1,0036 (à partir de l'article D.1)

$u_{\text{S}} =$ incertitude dans le facteur d'échelle = $5,8 \times 10^{-4}$ (à partir de l'article D.1)

A partir de l'annexe C: $t = 1,06$

Incrtitude corrigée: $u'_{\text{I},\text{C}} = 0,05 \times 1,06 = 0,053$

Dans cet exemple, posons l'effet estimé sur la mesure dû à la propreté égal à $0,007 \mu\text{m}$.

Donc $u_{\text{Op},\text{I},\text{C}} = 0,007 \mu\text{m}$.

Alors, à partir de l'équation (15), l'incertitude dans la mesure du masque est: $u_{\text{I},\text{C}} = 0,08 \mu\text{m}$.

In this example let the estimated effect on measurement due to cleanliness of the calibration fibre equal $0,02 \mu\text{m}$. Thus $u_{\text{Tr,P,F}} = 0,02 \mu\text{m}$.

Then, from equation (10), the uncertainty in offset factor is: $u_O = 0,06 \mu\text{m}$.

D.3 Example of determination of fibre measurement uncertainty

Refer to 3.3 and annex C.

Let

$D'_{\text{I,F}} = 124,50$ (measured value of infant fibre, raw data)

$D'_{\text{P,F}} = 125,64 \mu\text{m}$ (diameter of fibre used in offset calibration, see annex B)

$u'_{\text{I,F}} = 0,05$ (statistical uncertainty of measurement, raw data)

$n_F = 10$ (number of measurements)

$S = \text{scaling factor} = 1,0036$ (from clause D.1)

$u_S = \text{scaling factor uncertainty} = 5,8 \times 10^{-4}$ (from clause D.1)

$u_O = \text{offset factor uncertainty} = 0,06 \mu\text{m}$ (from clause D.2)

From annex C: $t = 1,06$

Corrected uncertainty: $u'_{\text{I,F}} = 0,05 \times 1,06 = 0,053$

In this example, let the estimated effect on measurement due to cleanliness and type of cleave damage present equal $0,02 \mu\text{m}$. Thus $u_{\text{Op,I,F}} = 0,02 \mu\text{m}$.

Then, from equation (13), the uncertainty in fibre measurement is: $u_{\text{I,F}} = 0,07 \mu\text{m}$.

D.4 Example of determination of chromium mask measurement uncertainty

Refer to 3.4 and annex C.

Let

$D'_{\text{I,C}} = 125,40$ (measured value of infant chromium mask, raw data)

$u'_{\text{I,C}} = 0,05$ (statistical uncertainty of measurement, raw data)

$n_C = 10$ (number of measurements)

$S = \text{scaling factor} = 1,0036$ (from clause D.1)

$u_S = \text{scaling factor uncertainty} = 5,8 \times 10^{-4}$ (from clause D.1)

From annex C: $t = 1,06$

Corrected uncertainty: $u'_{\text{I,C}} = 0,05 \times 1,06 = 0,053$

In this example, let the estimated effect on measurement due to cleanliness equal $0,007 \mu\text{m}$.

Thus $u_{\text{Op,I,C}} = 0,007 \mu\text{m}$.

Then, from equation (15), the uncertainty in mask measurement is: $u_{\text{I,C}} = 0,08 \mu\text{m}$.