

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 62461

Première édition
First edition
2006-12

**Instrumentation pour la radioprotection –
Détermination de l'incertitude de mesure**

**Radiation protection instrumentation –
Determination of uncertainty in measurement**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TR 62461:2006

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 62461

Première édition
First edition
2006-12

**Instrumentation pour la radioprotection –
Détermination de l'incertitude de mesure**

**Radiation protection instrumentation –
Determination of uncertainty in measurement**

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

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Domaine d'application et objet.....	12
2 Références normatives.....	12
3 Termes et définitions.....	14
4 Liste des symboles.....	18
5 Le concept du GUM.....	22
5.1 Généralités.....	22
5.2 Principes généraux et exemple d'une fonction modèle.....	24
5.3 Recueil des données et état de connaissance pour l'exemple traité.....	28
5.4 Calcul du résultat d'une mesure et de l'incertitude associée pour l'exemple traité.....	38
Annexe A (informative) Exemple d'une analyse de l'incertitude pour une mesure avec un dosimètre électronique mesurant le débit d'équivalent de dose en accord avec la CEI 60846:2002.....	50
Annexe B (informative) Exemple d'une analyse de l'incertitude pour une mesure avec un système de dosimétrie intégrée passive, en accord avec la CEI 62387-1.....	62
Annexe C (informative) Exemple d'une analyse de l'incertitude pour une mesure avec un dosimètre électronique mesurant directement le débit d'équivalent de dose neutron en accord avec la CEI 61526:2005.....	70
Annexe D (informative) Exemple d'une analyse de l'incertitude pour un étalonnage d'une surveillance de l'activité du radon en accord avec la série CEI 61577.....	80
Annexe E (informative) Exemple d'une analyse de l'incertitude pour une mesure de débit d'émission en surface avec un dosimètre en accord avec la CEI 60325:2002.....	86
Bibliographie.....	94
Figure 1 – Distribution de densité de probabilité triangulaire des valeurs possibles n^* pour le facteur d'étalonnage N	30
Figure 2 – Distribution rectangulaire de la densité de probabilité des valeurs possibles g_0^* pour la lecture de zéro G_0	32
Figure 3 – Distribution gaussienne de la densité de probabilité des valeurs possibles g^* pour la lecture de zéro G	32
Figure 4 – Distributions gaussienne et triangulaire (pointillés) de la densité de probabilité des valeurs possibles k^* du facteur de correction K	36
Figure 5 – Comparaison des différentes distributions de densité de probabilité des valeurs possibles: rectangulaire (ligne brisée), triangulaire (pointillé) et gaussienne (ligne continue).....	40
Tableau 1 – Symboles (et abréviations) utilisées dans le corps du texte (annexes exclues).....	20
Tableau 2 – Incertitude normalisée pour les distributions de densité de probabilité montrées à la Figure 5.....	40
Tableau 3 – Exemple de budget de l'incertitude pour une mesure avec un dosimètre électronique utilisant la fonction modèle $M = N K (G - G_0)$ et un degré faible de considération des conditions du lieu de travail, voir le texte pour plus de détails.....	44

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope and object.....	13
2 Normative references	13
3 Terms and definitions	15
4 List of symbols	19
5 The GUM concept.....	23
5.1 General.....	23
5.2 General principles and example of a model function	25
5.3 Collection of data and existing knowledge for the example	29
5.4 Calculation of the result of a measurement and the associated uncertainty for the example	39
Annex A (informative) Example of an uncertainty analysis for a measurement with an electronic ambient dose equivalent rate meter according to IEC 60846:2002	51
Annex B (informative) Example of an uncertainty analysis for a measurement with a passive integrating dosimetry system according to IEC 62387-1	63
Annex C (informative) Example of an uncertainty analysis for a measurement with an electronic direct reading neutron personal dose equivalent meter according to IEC 61526:2005.....	71
Annex D (informative) Example of an uncertainty analysis for a calibration of radon activity monitor according to the IEC 61577 series.....	81
Annex E (informative) Example of an uncertainty analysis for a measurement of surface emission rate with a contamination meter according to IEC 60325:2002	87
Bibliography.....	95
Figure 1 – Triangular probability density distribution of possible values n^* for the calibration factor N	31
Figure 2 – Rectangular probability density distribution of possible values g_0^* for the zero reading G_0	33
Figure 3 – Gaussian probability density distribution of possible values g^* for the reading G	33
Figure 4 – Gaussian and triangular (dotted line) probability density distribution of possible values k^* for the correction factor K	37
Figure 5 – Comparison of different probability density distributions of possible values: rectangular (broken line), triangular (dotted line) and Gaussian (solid line) distribution	41
Table 1 – Symbols (and abbreviated terms) used in the main text (excluding annexes).....	21
Table 2 – Standard uncertainty for the probability density distributions shown in Figure 5	41
Table 3 – Example of an uncertainty budget for a measurement with an electronic dosimeter using the model function $M = N K (G - G_0)$ and low level of consideration of the workplace conditions, see text for details	45

Tableau 4 – Exemple de budget d'incertitude pour une mesure avec un dosimètre électronique utilisant la fonction modèle $M = N K (G - G_0)$ et un degré élevé de considération des conditions du lieu de travail, voir le texte pour plus de détails.....	44
Tableau A.1 – Exemple d'un budget d'incertitude pour une mesure de débit de dose, en accord avec la CEI 60846:2002, avec un instrument ayant une échelle logarithmique et un degré faible de considération des conditions de mesure, voir le texte pour les détails.....	56
Tableau A.2 – Exemple d'un budget d'incertitude pour une mesure de débit de dose, en accord avec la CEI 60846:2002, avec un instrument ayant une échelle logarithmique et un degré élevé de considération des conditions de mesure, voir le texte pour les détails.....	60
Tableau B.1 – Exemple d'un budget d'incertitude pour la mesure de dose de photons avec un système de dosimétrie intégrée passive, en accord avec la CEI 62387-1 et un degré faible de considérations des conditions de lieu d'exploitation, voir le texte pour les détails	64
Tableau B.2 – Exemple d'un budget d'incertitude pour la mesure de dose de photons avec un système de dosimétrie intégrée passive, en accord avec la CEI 62387-1 et un degré élevé de considérations des conditions de mesure, voir le texte pour les détails	68
Tableau C.1 – Exemple d'un budget d'incertitude pour la mesure de dose de neutrons, en accord avec la CEI 61526:2005 et un degré faible de considérations des conditions de lieu d'exploitation, voir le texte pour les détails	74
Tableau C.2 – Exemple d'un budget d'incertitude pour la mesure de dose de neutrons, en accord avec la CEI 61526:2005 et un degré élevé de considérations des conditions de mesure, voir le texte pour les détails.....	78
Tableau D.1 – Liste des grandeurs utilisées dans l'équation (D.1)	80
Tableau D.2 – Liste des données disponibles pour les grandeurs d'entrée de l'équation (D.1)	82
Tableau D.3 – Exemple de budget d'incertitude pour l'étalonnage d'une surveillance de radon, en accord avec la CEI 61577; voir le texte pour plus de détails.....	82
Tableau E.1 – Exemple de budget d'incertitude pour une mesure du débit de contamination en surface, en accord avec la CEI 60325:2002; voir le texte pour plus de détails.....	92

Table 4 – Example of an uncertainty budget for a measurement with an electronic dosimeter using the model function $M = N K (G - G_0)$ and high level of consideration of the workplace conditions, see text for details	45
Table A.1 – Example of an uncertainty budget for a dose rate measurement according to IEC 60846:2002 with an instrument having a logarithmic scale and low level of consideration of the measuring conditions, see text for details	57
Table A.2 – Example of an uncertainty budget for a dose rate measurement according to IEC 60846:2002 with an instrument having a logarithmic scale and high level of consideration of the measuring conditions, see text for details	61
Table B.1 – Example of an uncertainty budget for a photon dose measurement with a passive dosimetry system according to IEC 62387-1 and low level of consideration of the workplace conditions, see text for details	65
Table B.2 – Example of an uncertainty budget for a photon dose measurement with a passive dosimetry system according to IEC 62387-1 and high level of consideration of the measuring conditions, see text for details	69
Table C.1 – Example of an uncertainty budget for a neutron dose measurement according to IEC 61526:2005 with low level of consideration of the measuring conditions, see text for details	75
Table C.2 – Example of an uncertainty budget for a neutron dose measurement according to IEC 61526:2005 with high level of consideration of the measuring conditions, see text for details	79
Table D.1 – List of quantities used in equation (D.1)	81
Table D.2 – List of data available for the input quantities of equation (D.1)	83
Table D.3 – Example of an uncertainty budget for the calibration of a radon monitor according to IEC 61577, see text for details	83
Table E.1 – Example of an uncertainty budget for a surface emission rate measurement according to IEC 60325:2002, see text for details	93

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – DÉTERMINATION DE L'INCERTITUDE DE MESURE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications, la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

La CEI 62461, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 45B: Instrumentation pour la radioprotection, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de ce Rapport Technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
45B/490/DTR	45B/511/RVC

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION –
DETERMINATION OF UNCERTAINTY IN MEASUREMENT**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 62461, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 45B: Radiation protection instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
45B/490/DTR	45B/511/RVC

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

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62461:2006

Withdrawing

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62461:2006

Withdrawn

INTRODUCTION

Le *Guide pour l'expression des incertitudes de mesure* (GUM) est un guide général qu'il n'est pas aisé de comprendre. De plus, il contient nombre d'explications introduisant cette nouvelle méthode qui est une amélioration de l'approche pour déterminer l'incertitude. Ces points semblent constituer une barrière pour de nombreux nouveaux utilisateurs. Néanmoins, il est fréquemment utilisé par les scientifiques dans les instituts nationaux de métrologie et par d'autres spécialistes responsables des étalonnages de haut niveau, mais il convient de prendre en considération l'absence d'utilisation dans le domaine de l'instrumentation de radioprotection. Ainsi, ce Rapport Technique sert d'introduction pratique au GUM avec une spécificité pour les mesures en radioprotection.

Ce Rapport Technique ne peut pas occulter le fait que la détermination de l'incertitude exige plus d'effort que la mesure elle-même. En revanche, le processus de détermination de l'incertitude ne résulte pas seulement de la valeur numérique de l'incertitude: il fournit aussi la meilleure estimation de la grandeur à mesurer, qui peut être différente de la valeur indiquée par l'instrument. Ainsi, il améliore aussi le résultat de la mesure.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62461:2006

INTRODUCTION

The *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM) is a general guide which requires considerable effort to understand. In addition, it contains many arguments as to why this new method is an improved approach to the determination of uncertainty. These points seem to be a barrier to many potential users. Nevertheless, it is frequently used by scientists in National Institutes of Metrology and other specialists responsible for high level calibration, but a lack of use in the field of radiation protection instrumentation should be considered. Therefore, this Technical Report serves as a practical introduction to the GUM with special emphasis on measurements in radiation protection.

This Technical Report cannot overcome the fact that the determination of the uncertainty requires a larger effort than performing the measurement itself. As a counterbalance, the process of determining the uncertainty results not only in a numerical value of the uncertainty, in addition it produces the best estimate of the quantity to be measured which may differ from the indication of the instrument. Thus, it also improves the result of the measurement.

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – DÉTERMINATION DE L'INCERTITUDE DE MESURE

1 Domaine d'application et objet

Ce Rapport Technique donne des recommandations pour l'application de l'analyse de l'incertitude, en accord avec le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* (GUM) pour les mesures relevant des normes du sous-comité 45B de la CEI (SC 45B). Il n'inclut pas l'incertitude associée au concept de la quantité mesurée, par exemple la différence entre $H_p(10)$ mesurée sur un fantôme ISO d'eau et sur une personne. Il est restreint aux mesures de grandeurs uniques consistant en une seule valeur. En conséquence, il n'est pas applicable par exemple aux mesures de spectrométrie.

Ce Rapport Technique explique les principes du GUM et les considérations spécifiques nécessaires à la radioprotection à partir d'un exemple de dosimétrie individuelle de rayonnement extérieur, par exemple une mesure quotidienne de la dose sur un individu. Dans les annexes informatives, plusieurs exemples sont donnés pour l'application à des instruments pour lesquels le SC 45B a développé des normes. Ce Rapport Technique doit apporter une assistance à la compréhension du GUM et d'autres documents portant sur l'analyse de l'incertitude. Il ne peut pas se substituer à ces documents ni apporter le fondement et la justification des arguments conduisant au concept du GUM.

Ce Rapport Technique apporte une variété d'exemples pour la détermination de l'incertitude, mais aucune des méthodes, distribution de densité de probabilité ou valeur donnée ne sont exclusives. Le document pertinent est le GUM, et donc toute autre méthode, distribution de densité de probabilité ou valeur en ligne avec le GUM est applicable pour la détermination de l'incertitude.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050-393:2003, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 393: Instrumentation nucléaire - Phénomènes physiques et notions fondamentales*

CEI 60050-394:1995, *Vocabulaire Électrotechnique International (VEI) – Chapitre 394: Instrumentation nucléaire: Instrumentation*
Amendement 1 (1996)
Amendement 2 (2000)

CEI 60359:2001, *Appareils de mesure électriques et électroniques – Expression des performances*

Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM). Organisation Internationale de Normalisation (ISO), Genève, Suisse (1995)

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – DETERMINATION OF UNCERTAINTY IN MEASUREMENT

1 Scope and object

This Technical Report gives guidelines for the application of the uncertainty analysis according to the *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM) for measurements covered by standards of IEC Subcommittee 45B (SC 45B). It does not include the uncertainty associated with the concept of the measuring quantity, e. g., the difference between $H_p(10)$ on the ISO water slab phantom and on the person. It is restricted to measurements of a single quantity consisting of only one value. Therefore, it is for example, not applicable to spectrometric measurements.

This Technical Report explains the principles of the GUM and the special considerations necessary for radiation protection at an example taken from individual dosimetry of external radiation, for example the daily measurement of the dose to the individual. In the informative annexes, several examples are given for the application on instruments, for which SC 45B has developed standards. This Technical Report shall assist the understanding of the GUM and other papers on uncertainty analysis. It cannot replace these papers nor can it provide the background and justification of the arguments leading to the concept of the GUM.

This Technical Report provides a variety of examples for the determination of the uncertainty, but none of the methods, probability density distributions or values given are exclusive. The relevant document is the GUM, therefore any other method, probability density distribution or value in line with the GUM is applicable for the determination of the uncertainty.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-393:2003, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 393: Nuclear instrumentation: Physical phenomena and basic concepts*

IEC 60050-394:1995, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 394: Nuclear instrumentation: Instruments*
Amendment 1 (1996)
Amendment 2 (2000)

IEC 60359:2001, *Electrical and electronic measurement equipment – Expression of performance*

Guide to the Expression of Uncertainty in measurement (GUM). International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland (1995)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, tous les termes techniques de la CEI 60050-393, la CEI 60050-394, la CEI 60359 ainsi que les définitions suivantes s'appliquent:

3.1

coefficient d'étalonnage

rapport de la valeur conventionnellement vraie de la grandeur, et de la valeur indiquée pour un rayonnement de référence spécifié dans des conditions de référence spécifiées

3.2

résultat complet d'une mesure

ensemble des valeurs attribuées au mesurande, incluant une valeur, l'incertitude correspondante et l'unité de mesure

[VEI 311-01-15, modifiée]

NOTE 1 La valeur centrale de l'ensemble de valeurs peut être sélectionnée comme *valeur mesurée* et un paramètre caractérisant la dispersion peut être sélectionné comme étant *l'incertitude*.

NOTE 2 Le résultat d'une mesure est lié à l'indication donnée par l'instrument et à la valeur de correction obtenue par étalonnage et par l'utilisation d'un modèle.

NOTE 3 Dans ce Rapport Technique, la «valeur mesurée», voir la Note 1 ci-dessus, est exprimée par l'abréviation *M*.

NOTE 4 Dans ce Rapport Technique, «l'indication donnée par l'instrument», voir Note 2 ci-dessus, est exprimée par l'abréviation *G*, et appelée «valeur indiquée».

NOTE 5 Dans ce Rapport Technique, le «modèle», voir Note 2 ci-dessus, est appelée «fonction modèle», voir 3.9 et 5.2.

3.3

facteur de correction

K

facteur appliqué à la valeur indiquée pour corriger l'écart des conditions de mesure par rapport aux conditions d'étalonnage

3.4

facteur de couverture

k_{cov}

facteur numérique utilisé comme un multiplicateur de l'incertitude (combinée) normalisée, afin d'obtenir une incertitude étendue

NOTE Un facteur de couverture *k_{cov}* est typiquement de l'ordre de 2 à 3.

[GUM, 2.3.6]

3.5

écart

D

différence entre les valeurs indiquées par un instrument de mesure pour une même valeur du mesurande, ou les valeurs de matériel de mesure, quand une grandeur d'influence prend successivement deux valeurs différentes

[VEI 311-07-03, modifié¹]

NOTE Cette définition est applicable à tout instrument de mesure et toute grandeur d'influence, mais il convient de l'utiliser principalement dans ces deux cas, quand cet écart est indépendant de la valeur indiquée.

¹ Terme original : «variation (due à une grandeur d'influence)»

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the technical terms of IEC 60050-393, IEC 60050-394, IEC 60359 as well as the following definitions apply.

3.1

calibration factor

quotient of the conventional true value of a quantity and the indicated value for a specified reference radiation under specified reference conditions

3.2

complete result of a measurement

set of values attributed to a measurand, including a value, the corresponding uncertainty and the unit of measurement

[IEV 311-01-01, modified]

NOTE 1 The central value of the whole (set of values) can be selected as *measured value* and a parameter characterising the dispersion as *uncertainty*.

NOTE 2 The result of a measurement is related to the *indication given by the instrument* and to the values of correction obtained by calibration and by the use of a *model*.

NOTE 3 In this Technical Report, the “measured value”, see Note 1 above, is abbreviated by *M*.

NOTE 4 In this Technical Report, the “indication given by the instrument”, see Note 2 above, is abbreviated by *G*, and called “indicated value”.

NOTE 5 In this Technical Report, the “model”, see Note 2 above, is called “model function”, see 3.9 and 5.2.

3.3

correction factor

K

factor to the indicated value to correct for deviation of measurement conditions from calibration conditions

3.4

coverage factor

k_{cov}

numerical factor used as a multiplier of the (combined) standard uncertainty in order to obtain an expanded uncertainty

NOTE A coverage factor *k_{cov}* is typically in the range of 2 to 3.

[GUM, 2.3.6]

3.5

deviation

D

difference between the indicated values for the same value of the measurand of an indicating measuring instrument, or the values of a material measure, when an influence quantity assumes, successively, two different values

[IEV 311-07-03, modified¹]

NOTE This definition is applicable to all measuring instruments and influence quantities, but it should mainly be used in those cases, where this deviation is independent of the indicated value.

¹ Original term “variation (due to an influence quantity)”

3.6

incertitude élargie

U

grandeur définissant un intervalle autour du résultat d'un mesurage dont on puisse s'attendre à ce qu'il comprenne une fraction élevée de la distribution de valeurs qui pourraient être attribuées raisonnablement au mesurande

[GUM, 2.3.5]

NOTE L'incertitude étendue est obtenue en multipliant l'incertitude (combinée) normalisée par un facteur de couverture.

3.7

valeur indiquée

G

valeur fournie comme sortie du système de mesure

NOTE L'indication est donnée par la position sur l'affichage d'une sortie analogique, le nombre affiché pour une sortie numérique, le code pour une sortie codée, la valeur nominale ou établie pour un instrument de mesure.

[VIM 3.2, modifiée]

3.8

grandeur d'influence

grandeur qui n'est pas le mesurande mais qui a un effet sur le résultat du mesurage

NOTE Par exemple, la température pour un micromètre destiné à une mesure de longueur.

[VEI 394-20-27; GUM, B.2.10]

3.9

valeur mesurée

M

valeur déterminée à partir de la valeur indiquée, *G*, en appliquant la fonction modèle de la mesure

NOTE 1 Un exemple de fonction modèle est donné ci-dessous. Le facteur d'étalonnage *N*, un écart *D*, et un facteur de correction *K* sont appliqués:

$$M = N \times K \times (G - D)$$

Les calculs en accord avec cette fonction modèle ne sont pas toujours effectués. Un des principaux objets de cette fonction modèle de la mesure est qu'elle est nécessaire pour toute détermination de l'incertitude en accord avec le GUM (voir GUM, 3.1.6, 3.4.1 et 4.1; voir aussi 5.2 du présent Rapport Technique).

NOTE 2 Dans le GUM, la *valeur mesurée* est appelée *valeur du mesurande*.

3.10

domaine d'utilisation

étendue spécifiée de valeurs pour laquelle on peut faire l'hypothèse qu'une grandeur d'influence ne provoque pas de variation de la réponse ou d'écart excédant les limites spécifiées

[VEI 311-07-05, modifiée]

3.11

conditions de référence

ensemble de valeurs spécifiées et/ou étendues de valeurs de grandeurs d'influence sous lesquelles les incertitudes, ou limites d'erreur, admissibles pour un instrument de mesure sont les plus faibles

[VEI 311-06-02; ≠VIM 5.7]

3.6

expanded uncertainty

U

quantity defining an interval about the result of a measurement that may be expected to encompass a large fraction of the distribution of values that could reasonably be attributed to the measurand

[GUM, 2.3.5]

NOTE The expanded uncertainty is obtained by multiplying the (combined) standard uncertainty by a coverage factor.

3.7

indicated value

G

value provided as the output of a measuring system

NOTE The indication is given by the position on the display for analog outputs, the displayed number for digital outputs, the code pattern for code outputs, the nominal or stated value for material measures.

[VIM, 3.2, modified]

3.8

influence quantity

quantity that is not the measurand but that effects the result of the measurement

NOTE For example, temperature of a micrometer used to measure length.

[IEV 394-20-27; GUM, B.2.10]

3.9

measured value

M

value determined from the indicated value, *G*, by applying the model function for the measurement

NOTE 1 An example of a model function is given below. The calibration factor *N*, a deviation *D*, and a correction factor *K* are applied.

$$M = N \times K \times (G - D)$$

The calculations according to this model function are not always performed. One main purpose of this model function of the measurement is, that it is necessary for any determination of the uncertainty according to the GUM (see GUM, 3.1.6, 3.4.1 and 4.1; see also 5.2 of this Technical Report).

NOTE 2 In the GUM the *measured value* is called *value of the measurand*.

3.10

rated range of use

specified range of values which an influence quantity can assume without causing a variation of the response or a deviation exceeding specified limits

[IEV 311-07-05, modified]

3.11

reference conditions

set of specified values and/or ranges of values of influence quantities under which the uncertainties, or limits of error, admissible for a measuring instrument are the smallest

[IEV 311-06-02, modified; #VIM 5.7]

3.12

réponse de référence

R_{ref}

réponse d'un ensemble, placé dans des conditions de référence, à un débit de dose ou une activité unitaire et exprimé par:

$$R_{\text{ref}} = \frac{G}{M_c}.$$

où G est la valeur indiquée par l'équipement ou ensemble en cours d'essai et M_c est la valeur conventionnellement vraie de la source de référence

3.13

réponse relative

r

rapport de la réponse sur la réponse de référence, dans des conditions spécifiées

NOTE Dans les conditions de références spécifiées, la réponse est l'inverse du coefficient d'étalonnage.

3.14

réponse

R

rapport de la grandeur mesurée, dans des conditions spécifiées par l'équipement ou l'assemblage en essai, sur la valeur conventionnellement vraie de cette grandeur

3.15

incertitude normalisée

écart-type associé au résultat de mesure ou à une grandeur d'entrée

NOTE 1 Voir GUM 2.3.4.

NOTE 2 L'incertitude normalisée du résultat de mesure est parfois appelée «incertitude combinée normalisée».

NOTE 3 Le rapport de l'incertitude normalisée sur le résultat de mesure est appelé «incertitude normalisée relative» et est parfois donné sous la forme d'un pourcentage.

3.16

essai de type

essai de conformité effectué sur une ou plusieurs entités représentatives de la production

[VEI 394-20-28]

3.17

incertitude (de mesure)

paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande

NOTE Le paramètre peut être par exemple, un écart type (ou un multiple donné de celui-ci) ou la demi-largeur d'un intervalle ayant un niveau de confiance déterminé.

[IEV 394-20-40; VIM, 3.9; GUM, 2.2.3]

4 Liste des symboles

Le Tableau 1 donne une liste des symboles (et des abréviations) utilisés dans le corps du texte de ce Rapport Technique (annexes exclues).

3.12**reference response** **R_{ref}**

response of the assembly under reference conditions to unit reference dose (rate) or activity and is expressed as:

$$R_{\text{ref}} = \frac{G}{M_c}$$

where G is the indicated value of the equipment or assembly under test and M_c is the conventional true value of the reference source

3.13**relative response** **r**

quotient of the response and the reference response under specified conditions

NOTE For the specified reference conditions, the response is the reciprocal of the calibration factor.

3.14**response** **R**

ratio of the quantity measured under specified conditions by the equipment or assembly under test and the conventional true value of this quantity

3.15**standard uncertainty**

standard deviation associated with the measurement result or an input quantity

NOTE 1 See GUM 2.3.4.

NOTE 2 The standard uncertainty of the measurement result is sometimes called “combined standard uncertainty”.

NOTE 3 The quotient of the standard uncertainty and the measurement result is called “relative standard uncertainty” and sometimes given as percentage.

3.16**type test**

conformity test made on one or more items representative of the production

[IEV 394-20-28]

3.17**uncertainty (of measurement)**

parameter, associated with the result of a measurement, that characterises the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the measurand

NOTE The parameter may be, for example, a standard deviation (or a given multiple of it), or the half-width of an interval having a stated level of confidence.

[IEV 394-20-40, VIM 3.9, GUM, 2.2.3]

4 List of symbols

Table 1 gives a list of the symbols (and abbreviated terms) used in the main text of this Technical Report (excluding annexes).

Tableau 1 – Symboles (et abréviations) utilisées dans le corps du texte (annexes exclues)

Symbole	Signification	Unité (mesure de dose)
a	Mi-largeur d'un intervalle pour des valeurs possibles d'une grandeur	Comme la grandeur
a_-	Limite inférieure d'un intervalle pour des valeurs possibles d'une grandeur	Comme la grandeur
a_+	Limite supérieure d'un intervalle pour des valeurs possibles d'une grandeur	Comme la grandeur
c_k	Coefficient de sensibilité pour la grandeur d'entrée K	Sv
c_m	Coefficient de sensibilité pour la grandeur d'entrée M	—
c_{m0}	Coefficient de sensibilité pour la grandeur d'entrée M_0	—
c_n	Coefficient de sensibilité pour la grandeur d'entrée N	Sv
G	Valeur indiquée, par exemple la lecture du dosimètre étant en unités de $H_p(10)$	Sv
g	Meilleure estimation de G	Sv
g^*	Valeur possible de G	Sv
G_0	Lecture de zéro	Sv
g_0	Meilleure estimation de G_0	Sv
g_0^*	Valeur possible de G_0	Sv
$H_p(10)$	Équivalent de dose individuel à une profondeur de 10 mm	Sv
K	Facteur de correction, par exemple pour l'énergie et l'angle d'incidence du rayonnement	—
k	Meilleure estimation de K	—
k^*	Valeur possible de K	—
k_{cov}	Facteur de couverture	—
M	Valeur mesurée, par exemple, équivalent de dose individuel $H_p(10)$	Sv
M_C	Valeur conventionnellement vraie pour une source de référence	Sv
m	Meilleure estimation de M	Sv
m^*	Valeur possible de M	Sv
N	Coefficient d'étalonnage	—
n	Meilleure estimation de N	—
n^*	Valeur possible de N	—
R	Réponse	—
s_g	Écart-type de la distribution des valeurs g^*	Sv
s_{g_0}	Écart-type de la distribution des valeurs g_0^*	Sv
s_k	Écart-type de la distribution des valeurs k^*	—
s_n	Écart-type de la distribution des valeurs n^*	—
U	Incertitude élargie	Sv
$u(m)$	Incertitude normalisée associée au résultat de mesure m	Sv
$u_g(m)$	Contribution d'incertitude à u de la grandeur d'entrée G associée au résultat de mesure m	Sv
$u_{g_0}(m)$	Contribution d'incertitude à u de la grandeur d'entrée G_0 associée au résultat de mesure m	Sv
$u_k(m)$	Contribution d'incertitude à u de la grandeur d'entrée K associée au résultat de mesure m	Sv
$u_n(m)$	Contribution d'incertitude à u de la grandeur d'entrée N associée au résultat de mesure m	Sv
x	Meilleure estimation d'une grandeur non spécifiée	Comme la grandeur

Table 1 – Symbols (and abbreviated terms) used in the main text (excluding annexes)

Symbol	Meaning	Unit (dose measurement)
a	Half-width of an interval for possible values of a quantity	As quantity
a_-	Lower limit of an interval for possible values of a quantity	As quantity
a_+	Upper limit of an interval for possible values of a quantity	As quantity
c_k	Sensitivity coefficient for the input quantity K	Sv
c_m	Sensitivity coefficient for the input quantity M	–
c_{m0}	Sensitivity coefficient for the input quantity M_0	–
c_n	Sensitivity coefficient for the input quantity N	Sv
G	Indicated value, for example, reading of the dosimeter in units of $H_p(10)$	Sv
g	Best estimate of G	Sv
g^*	Possible value of G	Sv
G_0	Zero reading	Sv
g_0	Best estimate of G_0	Sv
g_0^*	Possible value of G_0	Sv
$H_p(10)$	Personal dose equivalent at a depth 10 mm	Sv
K	Correction factor, for example, for energy and angle of radiation incidence	–
k	Best estimate of K	–
k^*	Possible value of K	–
k_{cov}	Coverage factor	–
M	Measured value, for example, personal dose equivalent $H_p(10)$	Sv
M_C	Conventional true value of a reference source	Sv
m	Best estimate of M	Sv
m^*	Possible value of M	Sv
N	Calibration factor	–
n	Best estimate of N	–
n^*	Possible value of N	–
R	Response	–
s_g	Standard deviation of the distribution of the g^* -values	Sv
s_{g0}	Standard deviation of the distribution of the g_0^* -values	Sv
s_k	Standard deviation of the distribution of the k^* -values	–
s_n	Standard deviation of the distribution of the n^* -values	–
U	Expanded uncertainty	Sv
$u(m)$	Standard uncertainty associated with the measurement result m	Sv
$u_g(m)$	Uncertainty contribution to u of the input quantity G associated with the measurement result m	Sv
$u_{g0}(m)$	Uncertainty contribution to u of the input quantity G_0 associated with the measurement result m	Sv
$u_k(m)$	Uncertainty contribution to u of the input quantity K associated with the measurement result m	Sv
$u_n(m)$	Uncertainty contribution to u of the input quantity N associated with the measurement result m	Sv
x	Best estimate of a non-specified quantity	As quantity

5 Le concept du GUM

5.1 Généralités

Le Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)

- prend en considération toutes les informations sur une mesure, même si elles sont fondées sur l'expérience de la personne effectuant la mesure,
- est fondé sur la statistique de Bayes,
- est internationalement accepté, et
- est décrit dans différents documents, voir [1 à 4]².

L'application de la méthode du GUM, et non la justification ou les mathématiques sur lesquelles elle s'appuie, sera décrite dans un exemple *simplifié* dans ce qui suit. Plus de détails peuvent être trouvés dans les références normatives et dans la littérature. Un court résumé, extrait de [2] est donné dans ce qui suit pour illustrer la méthode du GUM.

En 1993, une méthode pour évaluer les données de mesures en métrologie a été recommandée au niveau international par l'ISO, la CEI et d'autres organisations: le guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM) qui remplace la méthode d'analyse d'erreur appliquée jusqu'alors. Cette méthode a été reconnue et acceptée à travers le monde. Les effets systématiques non précisément connus ont acquis une importance croissante dans l'évaluation d'une mesure, du fait de l'amélioration de la précision des mesures, et par ailleurs il est apparu que l'analyse d'erreur n'était pas l'outil optimum pour traiter ces effets. La méthode recommandée évite toutes les difficultés du calcul d'erreur parce qu'elle n'utilise plus exclusivement le terme de probabilité statistique, mais adopte une position plus souple et plus générale: dans le domaine scientifique, la probabilité devra être considérée de la même façon que dans la vie de tous les jours. Si on ne sait pas si une hypothèse proposée pour une grandeur inconnue, s'applique ou non, toute information pertinente disponible est utilisée pour exprimer avec quel degré l'hypothèse est attendue ou supposée être vraie. Souvent, le degré ne peut pas être exprimé quantitativement mais seulement comme une probabilité très faible ou très élevée. Cependant, en métrologie une information quantitative sur une valeur inconnue d'une mesure est disponible et nous pouvons donc faire nous-même une description quantitative, bien qu'incomplète, par laquelle cette estimation exprime elle-même une distribution de probabilité des valeurs possibles de la grandeur. L'information sur laquelle généralement l'estimation est fondée consiste en des données prises dans des séries de mesure et aussi dans des données qui ont leur origine dans la littérature ou sont d'autres types non statistiques. La valeur connue attendue de la distribution de probabilité est la meilleure estimation pour la valeur de la grandeur. En général, elle est prise comme le résultat de la mesure. L'incertitude normalisée considérée comme la mesure de ce qu'on ignore du mesurande, ou aussi comme étant la fiabilité du résultat de mesure, réside dans la connaissance de l'écart-type de la distribution. Puisque la distribution contient un grand nombre d'informations complémentaires, les termes d'incertitude «aléatoire» et «systématique» de mesure ne sont plus utilisés. La seule chose qui demeure est l'établissement de l'incertitude normalisée de mesure dans laquelle la totalité de ce qu'on ignore de la grandeur est exprimée, quelles qu'en soient les raisons (dispersion aléatoire des valeurs mesurées, effets systématiques non connus avec précision, ou autres). Le principe de l'entropie maximale de l'information et le théorème de Bayes fournissent, selon l'information donnée, des distributions de probabilité dont l'utilisation correcte, en accord avec les règles des calculs de probabilité, conduisent à des résultats plausibles et utiles comme par exemple, dans le cas des intervalles de couverture avec des probabilités données de couverture.

Pour le recueil de toutes les données disponibles pour une mesure, l'expertise de celui qui mène l'évaluation est essentielle. Ceci s'applique aux paragraphes 5.2 concernant la fonction modèle et 5.3 concernant le recueil des données. Pour le paragraphe 5.4, relative au calcul du résultat de mesure et à l'incertitude associée, seule l'application de mathématiques est requise, cette tâche pouvant donc être complètement effectuée par un programme informatique, voir par exemple [5].

² Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

5 The GUM concept

5.1 General

The *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM)

- considers all available knowledge of a measurement, even that based on experience of the person performing the measurement,
- is based on the Bayes statistics,
- is internationally accepted, and
- is described in many papers, see [1 to 4]².

The application of the GUM method, not the justification or the mathematics behind it, will be described in a *simplified example* in the following. Further details can be found in the normative references and the literature. A short summary, taken from [2], is given in the following to illustrate the GUM method.

In 1993, a method to evaluate measurement data in metrology was recommended internationally by ISO, IEC and other organizations, the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) which superseded the method of error analysis applied so far. This method has meanwhile gained worldwide acceptance. On the one hand, not precisely known systematic effects became increasingly important for the assessment of a measurement due to increasingly precise measurements; on the other hand, it turned out that fault analysis was not the optimal tool for treating these effects. The recommended method avoids all difficulties of fault calculation because it no longer uses the term of the statistical probability exclusively, but takes a more flexible and general position: in science, too, the probability shall be understood in the same way as is usually done in everyday life. If one does not know whether a hypothesis having been proposed for an unknown quantity really applies or not, all relevant information available is used to express to which degree the assumption is expected or supposed to become true. Often, the degree cannot be expressed quantitatively but just as a very high or very low probability. In metrology, however, quantitative information on the unknown value of a measurand is available and we can therefore make ourselves a quantitative – though incomplete – picture of it whereby this estimation then expresses itself in a probability distribution over the possible values of the quantity. The information on which the estimation is based generally consists of data taken from measurement series and also from other data which originate from literature or are of another non-statistical type. The known expectation value of the probability distribution is the best estimate for the value of the quantity. In general, it is taken as the measurement result. The standard uncertainty as the measure for the ignorance of the measurand, or also the reliability of the measurement result, is given by the known standard deviation of the distribution. Since the distribution contains a great deal of additional information, the terms of ‘random’ and ‘systematic’ measurement uncertainty are no longer used. The only thing that is left is the statement of the standard measurement uncertainty in which the entire ignorance of the quantity is expressed, whatever the reasons may be for it (random scattering measured values, not precisely known systematic effects or other). The principle of the Maximum Information Entropy and Bayes’ theorem provide – according to the information given – probability distributions whose correct use, in compliance with the rules of the probability calculus, lead to plausible and useful results as, for example, in the case of coverage intervals with given coverage probability.

For the collection of all the available knowledge of a measurement, the expertise of the evaluator is essential. This applies for 5.2 concerning the model function and 5.3 concerning collection of data. For the 5.4, concerning the calculation of the measurement result und associated uncertainty, only the application of mathematics is required, this task can therefore be performed completely by a computer program, see for example, [5].

² Numbers in square brackets refer to the bibliography.

L'objectif de la détermination de l'incertitude est à la fois la meilleure estimation de m de la grandeur à mesurer (en dosimétrie: la dose) et de l'incertitude étendue U associée ou rapportée. Ceci sera donné sous la forme:

$$M = m \pm U. \quad (1)$$

A cela une note explicative doit être ajoutée qui, dans le cas général aura le contenu suivant:

L'incertitude étendue rapportée de la mesure est établie comme étant l'incertitude normalisée de la mesure multipliée par le facteur de couverture $k_{\text{cov}} = 2$, qui pour une distribution normale correspond à une probabilité proche de 95 %. L'incertitude normalisée de la mesure a été déterminée en accord avec le Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure.

5.2 Principes généraux et exemple d'une fonction modèle

La base de toute mesure et de la première étape (probablement la plus importante) du calcul d'incertitude est la construction du modèle d'évaluation, la fonction modèle. Cependant, différents évaluateurs peuvent avoir un état de connaissance différent et ainsi différentes fonctions modèles. C'est une image de la réalité scientifique: différents évaluateurs peuvent avoir un état de connaissance différent pour différentes grandeurs d'influence et ainsi différentes fonctions modèles. Comme résultat, différentes incertitudes (et peut être même différents résultats de mesure) peuvent être calculés par différents évaluateurs.

Dans la plupart des cas, la fonction modèle est une fonction analytique, mais la méthode du GUM ne l'exige pas: cela peut être un algorithme informatique. Il est important que le modèle donne une valeur non ambiguë du mesurande. Pour expliquer le modèle, un *exemple de lecture directe d'un dosimètre individuel* sera considéré. L'affichage du dosimètre indique directement la dose dans les unités de la grandeur à mesurer, par exemple en μSv ou mSv pour la grandeur $H_p(10)$.

Une méthode éprouvée pour établir la fonction modèle est de commencer par le principe de la cause à l'effet. La cause, et l'objectif de la mesure, est la dose M qui produit à cause de la réponse R , une indication de $M \times R$ qui est augmentée par l'indication de zéro G_0 . Donc, l'indication du dosimètre est donnée par

$$G = M R + G_0 \quad (2)$$

où

G est la valeur indiquée, par exemple la lecture du dosimètre étant en unité de $H_p(10)$;

M est la cause, par exemple l'équivalent de dose individuel $H_p(10)$, qui sera mesuré;

R est la réponse;

G_0 est la lecture de zéro.

L'objectif de la mesure est M , ainsi la fonction modèle est

$$M = \frac{1}{R} (G - G_0) \quad (3)$$

L'inverse de la réponse R est donné par

$$\frac{1}{R} = N K \quad (4)$$

The aim of the determination of uncertainty is both the best estimate m of the quantity to be measured, in dosimetry the dose, and the associated or reported expanded uncertainty U . This shall be given in the form

$$M = m \pm U. \quad (1)$$

To this an explanatory note shall be added which in the general case will have the following content:

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by a coverage factor $k_{\text{cov}} = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with the guide to the expression of uncertainty in measurement.

5.2 General principles and example of a model function

The basis of any measurement and the first (and probably most important) step of the uncertainty calculation is the construction of the model of evaluation, the model function. However, different evaluators may well have different knowledge and by that state different model functions. This is an image of the scientific reality: one evaluator is aware of a specific influence quantity and thus includes it in the model function, while the other is not. As a result, different uncertainties (and maybe even different measuring results) can be calculated by different evaluators.

The model function is in most cases an analytical function, but the GUM method does not require this: it can also be a computer algorithm. It is important that the model gives an unambiguous value of the measurand. To explain the model, an *example of a direct reading individual dosimeter* will be considered. The dosimeter's display indicates the dose directly in units of the quantity to be measured, for example, in μSv or mSv for the quantity $H_p(10)$.

A proved method to set up the model function is to start from the principle of cause and effect. The cause – and the aim of the measurement – is the dose M which produces, due to the response R , an indication of $M \times R$, which is increased by the zero indication G_0 . Therefore, the indication of the dosimeter is given by

$$G = M R + G_0 \quad (2)$$

where

G is the indicated value, for example, reading of the dosimeter in units of $H_p(10)$;

M is the cause, for example, the personal dose equivalent $H_p(10)$, which shall be measured;

R is the response;

G_0 is the zero reading.

The aim of the measurement is M , so the model function is

$$M = \frac{1}{R}(G - G_0) \quad (3)$$

The inverse of the response R is given by

$$\frac{1}{R} = N K \quad (4)$$

où

N est le facteur d'étalonnage,

K est le facteur de correction pour l'écart des conditions de mesure par rapport à celles d'étalonnage, par exemple, pour l'énergie et l'angle d'incidence du rayonnement.

Finalement, la fonction modèle est donnée par:

$$M = N K (G - G_0). \quad (5)$$

La fonction modèle (5) donne la relation entre le mesurande (grandeur mesurée) M , appelée grandeur de sortie de l'évaluation (qui est la valeur mesurée), et les grandeurs d'entrée N , K , G et G_0 .

Une erreur courante lors de la réalisation de l'analyse de l'incertitude est d'effectuer l'analyse avec l'équation (2) pour la valeur indiquée car ceci ignore le but de la mesure qui est la cause M et son incertitude associée, et non la valeur indiquée G .

Pour réaliser des mesures de routine, le modèle simplifié $M = G$ est utilisé, ce qui signifie qu'aucune correction n'est considérée. Cependant, quand l'incertitude associée à la mesure est discutée, la fonction modèle incluant les corrections doit être considérée, même si ce n'est pas explicitement établi. Ainsi pour toute mesure, la fonction modèle est implicitement incluse dans le processus de mesure.

La connaissance imparfaite de la valeur vraie sera prise en compte de telle sorte que pour l'évaluation, à la fois les grandeurs d'entrée N , K , G , G_0 et la grandeur de sortie M sont remplacées par des variables aléatoires. Leurs valeurs possibles sont nommées en minuscules avec une astérisque, par exemple n^* , k^* , tandis que toute grandeur est écrite en majuscules comme dans l'équation (5). Pour chaque grandeur, les valeurs possibles sont caractérisées par une distribution, qui possède une valeur attendue (valeur moyenne) nommée par la lettre minuscule correspondante sans astérisque, par exemple n , k et un écart-type correspondant (incertitude normalisée), nommé par la lettre s et un indice donné par la valeur moyenne, par exemple, s_n et s_k respectivement. Comme montré par l'équation (5), la grandeur de sortie M est liée aux grandeurs d'entrée N , K , G et G_0 par la fonction modèle. En conséquence, les distributions des valeurs possibles des grandeurs d'entrée conduisent à une distribution des valeurs possibles de la grandeur de sortie M . Ceci est décrit par la valeur prévue et son écart type. Par analogie aux symboles utilisés pour les grandeurs d'entrée, cela pourrait donner le symbole s_m , mais dans toute la littérature, le symbole u est utilisé et donc repris ici. Le but de l'analyse de l'incertitude en accord avec le GUM, est la détermination de $u(m)$. L'incertitude $u(m)$ n'est pas une fonction de m , et devrait plutôt être comprise comme « u associée à m ». Le principe de la méthode pour la déterminer est de faire varier simultanément toutes les grandeurs d'entrée dans leurs étendues de valeurs possibles, par exemple dans $n \pm s_n$, $k \pm s_k$. Ceci entraîne une variation des valeurs possibles m^* de la grandeur de sortie, qui est déterminée par la fonction modèle. Cette variation détermine une distribution des valeurs de sortie m^* dont la valeur moyenne est m et dont l'écart-type est $u(m)$.

La fonction modèle peut être toute fonction, mais le GUM exige que le modèle puisse être linéarisé autour des valeurs des grandeurs d'entrée pour toute mesure particulière. La fonction modèle donnée dans l'exemple de l'équation (5) est linéaire quand les grandeurs d'entrée sont considérées séparément, ainsi la linéarisation est évidente et permet d'obtenir la meilleure estimation de la grandeur de sortie, le résultat de mesure, directement en entrant les valeurs d'entrée dans la fonction modèle (5).

$$m = n k (g - g_0) \quad (6)$$

où

m est la meilleure estimation du résultat de mesure, par exemple, l'équivalent de dose individuel $H_p(10)$;

n est la meilleure estimation du facteur d'étalonnage;

where

N is the calibration factor;

K is the correction factor for deviation of measurement conditions from calibration conditions, for example, for energy and angle of radiation incidence.

Finally, the model function is given by

$$M = N K (G - G_0). \quad (5)$$

The model function (5) gives the relation between the measurand (measuring quantity) M , called output quantity of the evaluation (which is the measured value), and the input quantities N , K , G and G_0 .

A popular fallacy when performing the uncertainty analysis is to perform the analysis with equation (2) for the indicated value, but this ignores that the aim of the measurement is the cause M and its associated uncertainty and not the indicated value G .

To perform routine measurements, the simplified model $M = G$ is used, which means that no correction at all is considered. However, when the uncertainty associated with the measurement is discussed, the model function including corrections shall to be considered, even if it is not explicitly stated. So in any measurement, the model function is implicitly included in the measurement process.

The imperfect knowledge of the true value will be taken into account in such a way that for the evaluation both the input quantities N , K , G , G_0 and the output quantity M are being replaced by random variables. Their possible values are denoted by small letters with an asterisk, for example, n^* , k^* , whereas all quantities are written in capital letters as in equation (5). For each quantity the possible values are characterized by a distribution, which has an expectation value (mean value) denoted by the corresponding small letter without an asterisk, for example, n , k and a corresponding standard deviation (standard uncertainty), denoted by the letter s and the index given by the mean value, for example, s_n and s_k respectively. As seen by equation (5) the output quantity M is linked to the input quantities N , K , G and G_0 via the model function. Therefore, the distributions of the possible values of the input quantities lead to a distribution of the possible values of the output quantity M . This is described by the corresponding expectation value m and its standard deviation. In analogy to the symbols used for the input quantities this could be given the symbol s_m , but in all the literature the symbol u is used, so this is followed here. The aim of the uncertainty analysis according to the GUM is the determination of $u(m)$. The uncertainty $u(m)$ is not a function of m , so this should be read as " u associated to m ". The principle method to determine it is to vary all the input quantities simultaneously within their ranges of possible values, for example, within $n \pm s_n$, $k \pm s_k$. This results in a variation of the possible values m^* of the output quantity, which is determined by the model function. This variation determines a distribution of the output values m^* whose mean value is m and whose standard deviation is $u(m)$.

The model function can be any function, but the GUM requires that the model is able to be linearized around the values of the input quantities for any particular measurement. The model function given in the example of equation (5) is linear when considering the input quantities separately, so a linearization is trivial leading to the result that the best estimate of the output quantity, the measurement result, is directly obtained by entering the input values into the model function (5):

$$m = n k (g - g_0) \quad (6)$$

where

m is the best estimate of the measurement result, for example, personal dose equivalent $H_p(10)$;

n is the best estimate of the calibration factor;

- k est la meilleure estimation du facteur de correction pour l'écart des conditions de mesure par rapport aux conditions d'étalonnage, par exemple pour l'énergie et l'angle d'incidence du rayonnement;
- g est la meilleure estimation de la valeur indiquée, par exemple lecture par le dosimètre en unités de $H_p(10)$;
- g_0 est la meilleure estimation de la lecture de zéro.

Dans la représentation de l'exemple, toutes les corrélations ont été négligées.

NOTE 1 Il n'est pas nécessaire que le modèle lui-même soit linéaire, la seule exigence est que la linéarisation de la fonction modèle soit possible avec une précision raisonnable, par exemple dans la meilleure estimation plus/moins l'incertitude normalisée (un écart-type) des grandeurs d'entrée. Comme exemple, la fonction modèle

$M = 1/X$ peut être linéarisée autour de x comme: $m^* = \frac{1}{x^*} = \frac{1}{x + \Delta x} = \frac{1}{x} \left(\frac{1}{1 + \frac{\Delta x}{x}} \right) \approx \frac{1}{x} \left(1 - \frac{\Delta x}{x} \right)$. Pour $|\Delta x| \leq 0,1 \times x$ la

linéarisation est raisonnable, mais pas pour des valeurs plus élevées. Donc, pour une incertitude normalisée pas plus élevée que 10 %, la fonction modèle peut être linéarisée et l'analyse de l'incertitude en accord avec le GUM peut être appliquée. Pour des incertitudes normalisées plus larges de la grandeur d'entrée, le GUM n'est pas applicable à la mesure avec cette fonction modèle. Dans beaucoup de cas, il est possible de choisir une autre fonction modèle, par exemple en changeant les grandeurs d'entrée des valeurs de réponse aux facteurs de correction, auquel le GUM a été appliqué.

NOTE 2 Le traitement de corrélation des grandeurs d'entrée est décrit dans la littérature, voir par exemple le GUM et [1].

5.3 Recueil des données et état de connaissance pour l'exemple traité

5.3.1 Généralités

La seconde étape de l'analyse de l'incertitude est le recueil des données et des connaissances disponibles. Ceci inclut à la fois les méthodes mathématiques comme l'analyse statistique et les autres méthodes comme le recueil des données à partir des feuilles descriptives, par exemple les certificats d'étalonnage, ou les réalisations scientifiques et expérimentales. Ces autres méthodes apportent les nouvelles données les plus importantes introduites par la méthode du GUM et elles sont les plus importantes pour des calculs réalistes de l'incertitude. Cette seconde étape de l'analyse de l'incertitude dépend tout autant que la première étape de l'étendue de l'expérience et du savoir de l'évaluateur. Différents évaluateurs peuvent vraisemblablement estimer différentes valeurs d'incertitudes pour les grandeurs d'entrées et néanmoins obtenir des valeurs différentes pour l'incertitude de la grandeur de sortie. C'est un fait de la réalité scientifique: mais cela ne doit pas être interprété comme une incertitude sur l'incertitude elle-même: cela résulte de la différence dans l'information collectée par différents évaluateurs. Si les évaluateurs avaient disposé au départ de la même information, l'incertitude déterminée par les évaluateurs devrait être la même.

En particulier, les autres méthodes mentionnées ci-dessus ne peuvent être passées en revue que si l'analyse de l'incertitude est clairement documentée. Une méthode appropriée de documentation, le budget d'incertitude, sera exposée dans 5.4. Dans ce qui suit, ces méthodes seront démontrées pour l'exemple mentionné d'un dosimètre individuel électronique avec la fonction modèle de l'équation (5). Ainsi, les grandeurs d'entrée N , K , G et G_0 sont discutées l'une après l'autre dans ce qui suit.

5.3.2 Facteur d'étalonnage, pour l'exemple traité

Le dosimètre individuel est étalonné à l'usine sous des conditions de référence, par exemple sous rayonnement Cs-137, avec un angle d'incidence de 0° , une dose de $0,3 \text{ mSv}$ et un débit de dose de 5 mSv h^{-1} . Pendant l'étalonnage, le dosimètre est réglé de telle sorte que le facteur d'étalonnage est proche de 1. Ainsi, le facteur d'étalonnage N dans l'équation (5) ne devrait permettre que la correction des imperfections demeurant dans le processus d'étalonnage. De telles incertitudes ne devraient résulter que de l'incertitude des paramètres d'exploitation de l'installation d'étalonnage, mentionnées dans le certificat d'étalonnage de l'usine, et des limites du réglage tant que l'écart de la lecture de la valeur de référence reste dans la limite de 10 %.

- k is the best estimate of the correction factor for deviation of measurement conditions from calibration conditions, for example for energy and angle of radiation incidence;
- g is the best estimate of the indicated value, for example reading of the dosimeter in units of $H_p(10)$;
- g_0 is the best estimate of the zero reading.

In the following embodiment of the example, all correlations are neglected.

NOTE 1 It is not required that the model function itself be linear, the only requirement is that a linearization of the model function be possible with a reasonable accuracy, for example within the best estimate plus/minus one standard uncertainty (standard deviation) of the input quantities. As an example, the model function $M = 1/X$ can be

linearized around x as $m^* = \frac{1}{x^*} = \frac{1}{x + \Delta x} = \frac{1}{x} \left(\frac{1}{1 + \frac{\Delta x}{x}} \right) \approx \frac{1}{x} \left(1 - \frac{\Delta x}{x} \right)$. For $|\Delta x| \leq 0,1 \times x$ the linearization is reasonable,

but not for much larger values. Therefore, for a standard uncertainty not much greater than 10 %, this model function can be linearized and the uncertainty analysis according to the GUM can be applied. For much larger standard uncertainties of the input quantity, the GUM is not applicable to a measurement with this model function. In many cases, it is possible to choose another model function, for example changing the input quantities from response values to correction factors, to which the GUM can be applied.

NOTE 2 The treatment of correlation of input quantities is described in the literature, see for example, the GUM and [1].

5.3 Collection of data and existing knowledge for the example

5.3.1 General

The second step of the uncertainty analysis is the collection of data and existing knowledge. This includes both mathematical methods like statistical analysis and other methods like collecting data from data sheets, for example, calibration certificates, or using scientific and experimental experience. These other methods are the most important new item introduced by the GUM method and they are most important for realistic uncertainty calculations. This second step of the uncertainty analysis depends as well as the first step to a great extent on the experience and the knowledge of the evaluator. Different evaluators may well estimate different values for the uncertainties of the input quantities and by that calculate different uncertainties for the output quantity. This is again an image of the scientific reality. But this shall not be interpreted as an uncertainty of the uncertainty, this is due to the difference in information collected by different evaluators. If the evaluators would have started with the same information, the uncertainty determined by the evaluators should be the same.

In particular, the other methods mentioned above can only be reviewed if the uncertainty analysis is clearly documented. An adequate documentation method, the uncertainty budget, will be given in 5.4. In the following, these methods will be demonstrated for the mentioned example of an individual electronic dosimeter with the model function of equation (5). Therefore, the input quantities N , K , G and G_0 are discussed one after the other in the following.

5.3.2 Calibration factor for the example

The individual dosimeter is calibrated at the factory under reference conditions, for example, Cs-137 radiation, 0° radiation incidence and a dose of 0,3 mSv and a dose rate of 5 mSv h⁻¹. During the calibration process, the dosimeter is adjusted so that the calibration factor is close to unity. Therefore, the calibration factor N in equation (5) should only correct for remaining imperfections in the adjustment process. Such imperfections could be due to the uncertainty of the field parameters of the calibration facility at the factory – given in the calibration certificate of that facility – and limits for the adjustment given by the factory procedure, for example, adjustment until the deviation of the reading from the reference value is less than 10 %.

NOTE La lecture de zéro G_0 est supposée être plus petite que celle de la dose de 0,3 mSv utilisée pour l'étalonnage, et donc G_0 peut être négligé lors du réglage du dosimètre.

Pour simplifier, l'hypothèse est faite que l'incertitude des paramètres d'exploitation de l'installation d'étalonnage est inférieure à 10 % et peut donc être négligée. Les techniciens sont avertis de la nécessité de régler jusqu'à obtenir une lecture de la valeur de référence inférieure à 10 % et ceci, aussi précisément que possible. Donc, aucune valeur de n^* n'est possible sous 0,9 ou au dessus de 1,1 et la plupart des valeurs sont proches de l'unité. L'état des connaissances sur le facteur d'étalonnage N est donné par:

$$0,9 \leq n^* \leq 1,1 \quad (7)$$

et par l'hypothèse d'une distribution de densité de probabilité triangulaire de n^* , voir la Figure 1. Dans cet exemple, le choix d'une distribution de densité de probabilité triangulaire est une décision de l'évaluateur et d'autres conditions peuvent mener à d'autres distributions.

Comme il est montré en 5.4.2, cela conduit à $n = 1,0$ et à l'incertitude normalisée de n de $s_n = \frac{0,1}{\sqrt{6}} = 0,041$.

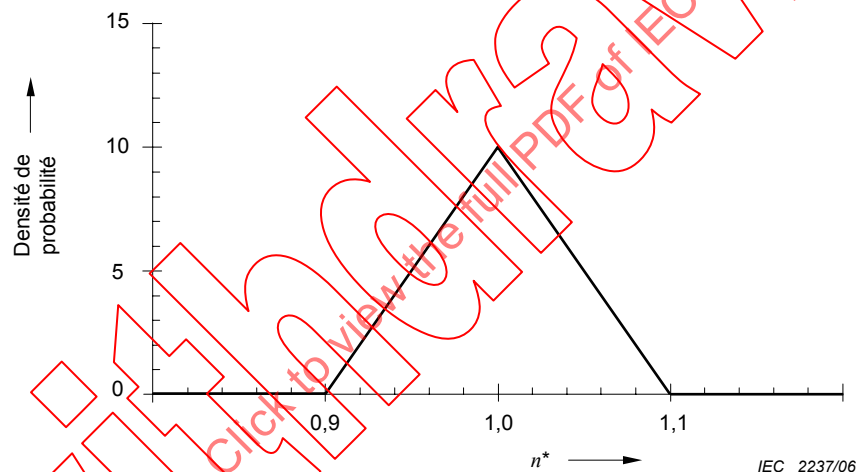


Figure 1 – Distribution de densité de probabilité triangulaire des valeurs possibles n^* pour le facteur d'étalonnage N

5.3.3 Lecture de zéro, pour l'exemple traité

Comme cela est mentionné précédemment, le dosimètre indique directement la dose dans l'unité de la grandeur à mesurer, et nous supposons un affichage numérique d'une résolution de 1 μSv . Pendant le réglage à l'usine, il a été demandé aux techniciens de poursuivre le réglage de la lecture de zéro jusqu'à ce que le dosimètre indique 0 μSv . Ainsi, la lecture de zéro G_0 dans l'équation (5) ne devrait permettre que la correction des imperfections demeurant dans le processus d'étalonnage. Du fait de la résolution de 1 μSv , le réglage ne peut être fait qu'à $\pm 0,5 \mu\text{Sv}$, autrement l'indication serait +1 μSv ou -1 μSv . Habituellement, les dosimètres n'affichent pas de valeurs négatives, mais dans cet exemple, c'est possible, à but d'illustration. La meilleure évaluation de G_0 est $g_0 = 0 \mu\text{Sv}$. Dans l'étendue de $\pm 0,5 \mu\text{Sv}$, chaque valeur possible de g_0^* a la même probabilité d'être indiquée puisque l'indication est toujours 0 μSv . L'état des connaissances sur la lecture de zéro G_0 est donné par

$$-0,5 \mu\text{Sv} \leq g_0^* \leq +0,5 \mu\text{Sv} \quad (8)$$

NOTE The zero reading G_0 is assumed to be much smaller than the dose of 0,3 mSv used for calibration, so G_0 can be neglected when adjusting the dosimeter.

We assume for simplicity that the uncertainty of the field parameters of the calibration facility is much less than 10 % and can therefore be neglected. The technicians are advised to adjust until the deviation of the reading from the reference value is less than 10 % and, furthermore, perform the adjustment as thoroughly as possible. Therefore, no possible value of n^* is below 0,9 or above 1,1 and most values are very close to unity. The existing knowledge about the calibration factor N is given by

$$0,9 \leq n^* \leq 1,1 \quad (7)$$

and by the assumption of a triangular probability density distribution of n^* , see Figure 1. In this example, the choice of the triangular probability density distribution is the decision of the evaluator, other conditions may lead to other distributions.

As shown in 5.4.2, this leads to $n = 1,0$ and to the standard uncertainty of n of $s_n = \frac{0,1}{\sqrt{6}} = 0,041$.

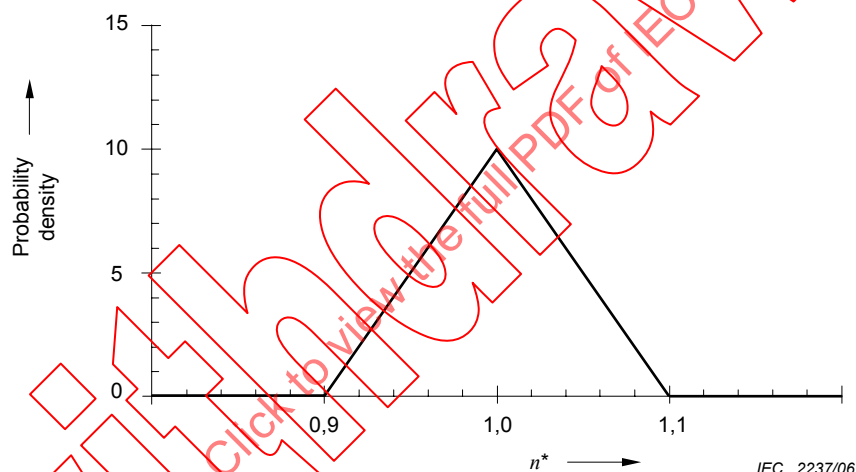


Figure 1 – Triangular probability density distribution of possible values n^* for the calibration factor N

5.3.3 Zero reading for the example

As mentioned above, the dosimeter indicates the dose directly in units of the quantity to be measured, we assume a digital display with a resolution of 1 μ Sv. During the adjustment procedure at the factory, the technicians are advised to adjust the zero reading until the dosimeter indicates 0 μ Sv. So the zero reading G_0 in equation (5) should only correct for remaining imperfections in the adjustment process. Due to a resolution of 1 μ Sv, the adjustment can only be done within $\pm 0,5 \mu$ Sv, otherwise the indication would be +1 μ Sv or –1 μ Sv. Dosimeters will not normally display negative values, but for this example we assume that it is possible for illustration purposes. The best estimate (mean value) of G_0 is $g_0 = 0 \mu$ Sv. In the range of $\pm 0,5 \mu$ Sv, every possible value of g_0^* has the same probability, as the indication is always 0 μ Sv. The existing knowledge about the zero reading G_0 is given by

$$-0,5 \mu\text{Sv} \leq g_0^* \leq +0,5 \mu\text{Sv} \quad (8)$$

et par l'hypothèse d'une distribution de probabilité rectangulaire de g_0^* , voir Figure 2. Dans cet exemple, le choix d'une distribution de densité de probabilité rectangulaire est une décision de l'évaluateur et d'autres conditions peuvent mener à d'autres distributions.

Comme il est montré en 5.4.2, cela conduit à $g_0 = 0 \mu\text{Sv}$ et à l'incertitude normalisée de g_0 de

$$s_{g0} = \frac{0,5 \mu\text{Sv}}{\sqrt{3}} = 0,29 \mu\text{Sv}.$$

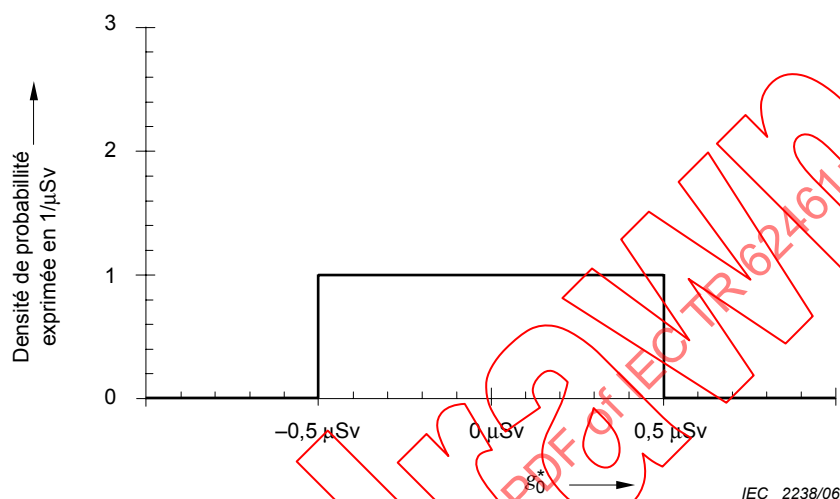


Figure 2 – Distribution rectangulaire de la densité de probabilité des valeurs possibles g_0 pour la lecture de zéro G_0

5.3.4 Lecture, pour l'exemple traité

La lecture G est une grandeur ayant une distribution statistique. Lorsqu'on mesure une dose bien plus élevée que la lecture de zéro G_0 , une distribution normale des valeurs lues g^* est adaptée et nous faisons l'hypothèse d'un écart-type relatif de 4 %. Ceci n'est pas très éloigné de l'exigence donnée dans la CEI 61526:2005. Une meilleure estimation de $g = 500 \mu\text{Sv}$ (choisie arbitrairement) conduit à un écart-type de $s_g = 0,04 \times 500 \mu\text{Sv} = 20 \mu\text{Sv}$. Cette distribution est donnée en Figure 3.

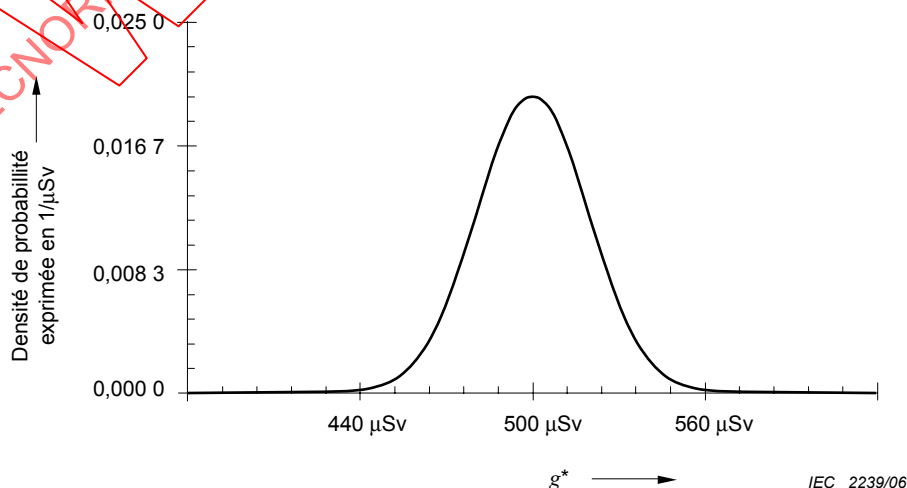


Figure 3 – Distribution gaussienne de la densité de probabilité des valeurs possibles g^* pour la lecture de zéro G

and by the assumption of a rectangular probability distribution of g_0^* , see Figure 2. In this example, the choice of the rectangular probability density distribution is the decision of the evaluator, other conditions may lead to other distributions.

As shown in 5.4.2 this leads to $g_0 = 0 \mu\text{Sv}$ and to the standard uncertainty of g_0 of

$$s_{g_0} = \frac{0,5 \mu\text{Sv}}{\sqrt{3}} = 0,29 \mu\text{Sv}.$$

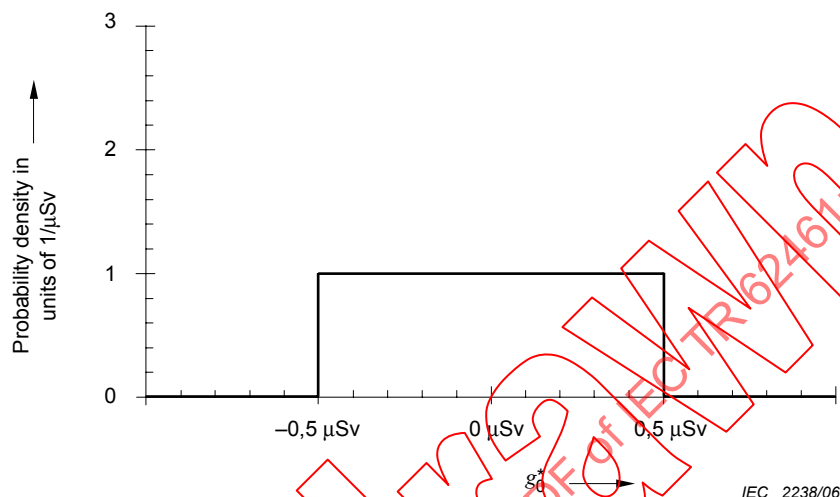


Figure 2 – Rectangular probability density distribution of possible values g_0^* for the zero reading G_0

5.3.4 Reading for the example

The reading G is a statistically distributed quantity. When measuring a dose much higher than the zero reading G_0 , a normal distribution of the possible reading values g^* is adequate and we assume a relative standard deviation of 4 %. This is not much smaller than the requirement given in IEC 61526:2005. A best estimate of $g = 500 \mu\text{Sv}$ (arbitrarily chosen) leads to a standard deviation of $s_g = 0,04 \times 500 \mu\text{Sv} = 20 \mu\text{Sv}$. This distribution is shown in Figure 3.

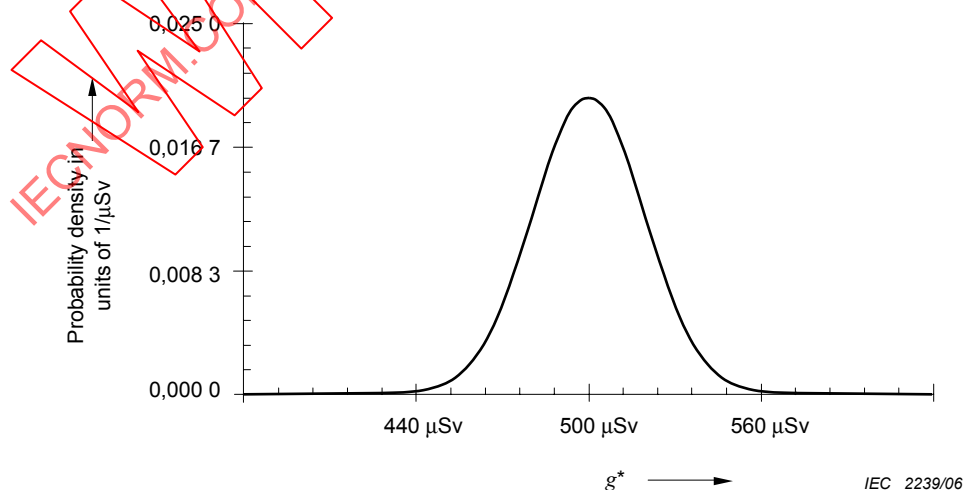


Figure 3 – Gaussian probability density distribution of possible values g^* for the reading G

5.3.5 Facteur de correction, pour l'exemple

5.3.5.1 Généralités

Le facteur de correction K nécessite une discussion plus complexe. En général, il est constitué de plusieurs facteurs de correction séparés pour différentes grandeurs d'influence, K étant le produit de ceux-ci. Dans le cas d'un appareil de surveillance individuel, ces grandeurs d'influence sont déterminées par les conditions du lieu d'exploitation, par exemple l'énergie du rayonnement et son angle d'incidence, les conditions climatiques résultant de la température et de l'humidité, les perturbations électromagnétiques, le débit de dose, prédominants lors de la mesure de la dose. Ces conditions d'exploitation peuvent être l'objet de considérations de degrés différents. Le degré le plus bas est l'hypothèse que le dosimètre est adapté au lieu de travail. Ceci signifie que les valeurs des grandeurs d'influence prévalant sur le lieu d'exploitation sont dans les domaines d'utilisation spécifiés dans la documentation du dosimètre. Ce degré peut être approprié pour les valeurs de dose faibles proches de la valeur du rayonnement naturel ambiant. Un pire cas pourrait être que les conditions du lieu d'exploitation ne soient pas couvertes par les domaines d'utilisation, mais ceci ne sera pas considéré ici. Le degré le plus élevé de considération correspond à des conditions du lieu d'exploitation pour une mesure de dose donnée analysée en détail. Les valeurs des grandeurs d'influence sont déterminées par des investigations sur le site et les corrections validées pour ces conditions spéciales sont appliquées à la valeur de dose. Par exemple, les corrections peuvent être prises à partir des valeurs de réponse déterminées au cours d'un essai de type. Ce degré de considération peut être adapté dans le cas d'un accident ou quand la valeur de dose est proche ou au dessus de la dose limite.

Dans ce qui suit, deux exemples (degrés de considération faible et élevé des conditions du lieu d'exploitation) sont donnés.

5.3.5.2 Exemple de degré faible de considération des conditions de lieu d'exploitation

Les conditions du lieu d'exploitation sont en accord avec les domaines d'utilisation pour les grandeurs d'influence données dans la norme applicable, par exemple la CEI 61526:2005, pour le dosimètre utilisé. Autrement exprimé, le dosimètre a été sélectionné convenablement pour les mesures, mais les valeurs réelles des grandeurs d'influence ne sont pas connues ni prises en considération pendant l'évaluation de la dose. Parce que la grandeur d'influence combinée «énergie du rayonnement et direction incidente» est la plus importante, cet exemple sera dédié à cette grandeur d'influence et les autres seront négligées. Si nécessaire, d'autres grandeurs d'influence peuvent être introduites par la méthode donnée ici. Si le dosimètre remplit les exigences de la CEI 61526:2005, la réponse relative au rayonnement photon (réponse relative au rayonnement de référence, par exemple Cs-137) est entre 0,71 et 1,67 dans la totalité du domaine d'utilisation. Le facteur de correction est l'inverse de la réponse relative, et donc entre 1,4 et 0,6. Ainsi, toute valeur possible k^* du facteur de correction K est dans cette étendue: $0,6 \leq k^* \leq 1,4$.

Le choix de la distribution de k^* dans l'étendue donnée ci-dessus est guidé par les faits suivants pour une période de mesure d'un jour:

- La personne portant le dosimètre change d'orientation dans le champ de rayonnement pendant le travail, du fait de ses mouvements. Donc, la valeur moyenne de l'angle d'incidence du rayonnement est estimée proche de la valeur centrale de l'intervalle valide pour l'angle. En général, le facteur de correction à ses valeurs extrêmes pour les valeurs extrêmes de l'angle d'incidence du rayonnement. Donc, la valeur moyenne du facteur de correction est attendue à proximité de la valeur centrale de l'intervalle valide pour k^* .
- Les champs du lieu de travail, donnés dans l'exemple, par la distribution spectrale des photons, sont beaucoup plus larges que les champs d'essai lors de l'essai de type. Ceci mène aussi au facteur de correction proche de la valeur centrale de l'intervalle valide pour k^* .
- Les mouvements de la personne modifient aussi le champ de rayonnement. Ceci établit l'étendue des énergies des photons collectés par le dosimètre et même plus largement, augmente encore plus la probabilité d'un facteur de correction proche de la valeur centrale de l'intervalle valide pour k^* .

5.3.5 Correction factor for the example

5.3.5.1 General

The correction factor K requires a more complex discussion. In general, it is composed of several separate correction factors for different influence quantities, K being the product of all these. In case of individual monitoring, these influence quantities are determined by the workplace conditions, for example radiation energy and direction of radiation incidence, climatic conditions given by temperature and humidity, electromagnetic disturbances, dose rate, prevailing during dose measurement. Different levels of consideration of these workplace conditions are possible. The lowest level is the assumption that the dosimeter is adequate for the workplace. This means that the values of influence quantities prevailing at the workplace are within the rated ranges specified in the data sheet of the dosimeter. This level may be adequate for low dose values near the natural background dose value. An even worse level could be that the workplace conditions are not covered by the rated ranges, but this will not be considered here. The highest level of consideration is given if the workplace conditions of a given dose measurement are considered in detail. The values of the influence quantities are determined by on site investigations and the corrections valid for these special conditions are applied to the dose value. The corrections can, for example, be taken from the response values determined in the course of a type test. This level of consideration may be adequate in case of an accident or when the dose value is near or above the dose limits.

In the following two examples (low and high level of consideration of workplace conditions) are given.

5.3.5.2 Example of low level of consideration of workplace conditions

The workplace conditions are in line with the rated ranges of the influence quantities given in the relevant standard, for example, of IEC 61526:2005, for the dosimeter used. In other words, the dosimeter was adequately selected for the measurement task, but the actual values of the influence quantities are not known or not considered during dose evaluation. Because the combined influence quantity "radiation energy and direction of radiation incidence" is most important, this example will focus on this influence quantity and neglect all the others. If necessary other influence quantities can be included in analogy to the method given here. If the dosimeter fulfils the requirements of IEC 61526:2005 the relative response to photon radiation (relative to the response to reference radiation, for example, Cs-137) is between 0,71 and 1,67 within the whole rated range. The correction factor is the inverse of the relative response, so it is between 1,4 and 0,6. Therefore, all possible values k^* of the correction factor K are within this range: $0,6 \leq k^* \leq 1,4$.

The choice of the distribution of k^* within the range given above is guided by the following facts for a measuring period of one day:

- The person wearing the dosimeter is changing his orientation in the radiation field during work because of the person's movement. Therefore, the mean value of the angle of radiation incidence is estimated to be close to the centre of the interval valid for the angle. In general, the correction factor has its extreme values for extreme values of the angle of radiation incidence. Therefore, the mean value for the correction factor is expected to be close to the centre of the interval valid for k^* .
- The workplace fields, given for example, by the spectral distribution of the photons, are broader than the test fields used during the type test. This also causes the correction factor to be close to the centre of the interval valid for k^* .
- The movement of the person also changes the radiation field. This makes the range of photon energies impinging on the dosimeter even broader, enhancing the probability of a correction factor close to the centre of the interval valid for k^* even more.

Tout ceci conduit à établir une distribution plus centrée que la distribution triangulaire donnée en 5.3.2. Une distribution possible est une distribution normale (gaussienne) où 99,7 % de toutes les valeurs possibles de k^* sont dans l'intervalle donné (l'intervalle de mi-largeur est $3 \times s_k$). Cette distribution est montrée à la Figure 4 avec la distribution triangulaire pour comparaison. En ce qui concerne la distribution normale, il y a 0,15 % des valeurs possibles de k^* en sous la limite de 0,6 et 0,15 % au dessus de la limite de 1,4. C'est suffisamment faible pour pouvoir être négligé.

L'état des connaissances sur le facteur de correction K est donné par

$$0,6 \leq k^* \leq 1,4 \quad (9)$$

et par une distribution gaussienne de probabilité de k^* centrée au milieu de l'intervalle, voir la Figure 4. Dans cet exemple, le choix d'une distribution gaussienne de densité de probabilité est une décision de l'évaluateur et d'autres conditions peuvent mener à d'autres distributions.

Comme il est montré en 5.4.2, cela conduit à $k = 1,0$ et à l'incertitude normalisée de k de $s_k = \frac{0,4}{3} = 0,133$.

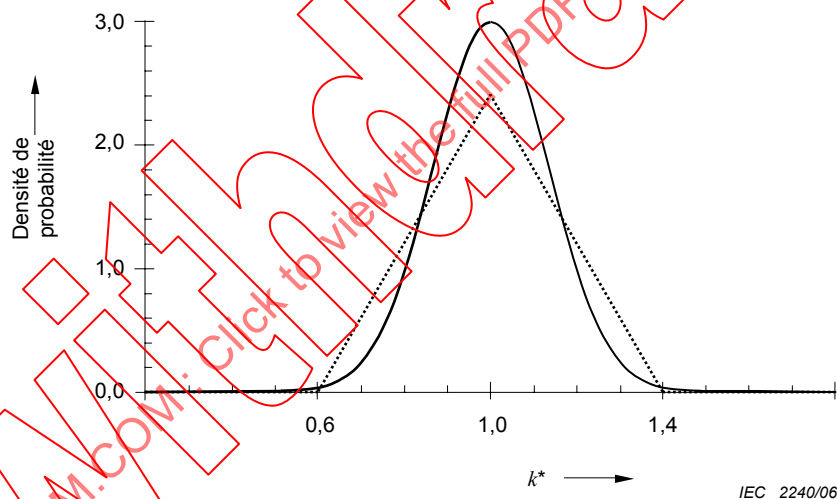


Figure 4 – Distributions gaussienne et triangulaire (pointillés) de la densité de probabilité des valeurs possibles k^* du facteur de correction K

5.3.5.3 Exemple de degré élevé de considération des conditions de lieu d'exploitation

Le lieu d'exploitation considéré est un équipement d'essai à rayons X pour des jantes de roue en aluminium pour automobile. Dans son étendue d'énergie, la réponse relative du dosimètre (relative à la réponse au rayonnement de référence, par exemple Cs-137) est faible et toujours inférieure à l'unité. L'hypothèse est donc faite que le facteur de correction est entre 1,0 et 1,4. Là encore, la valeur de dose indiquée, la lecture, est 500 μSv après une journée d'utilisation. Comme c'est une valeur élevée inattendue, il convient de déterminer la valeur de dose mesurée en prenant en considération tout ce que l'on connaît du lieu d'exploitation.

Toutes les valeurs possibles k^* du facteur de correction K sont dans l'étendue: $1,0 \leq k^* \leq 1,4$. Les arguments pour la distribution de probabilité des valeurs k^* données ci-dessus sont toujours valides pour une période d'une journée d'utilisation et seront donc repris.

All these statements give rise to a distribution that is even more peaked than the triangular distribution given in 5.3.2. One possible distribution is a normal (Gaussian) distribution where 99,7 % of all possible k^* values are within the given interval (the interval half-width is $3 \times s_k$). This distribution is shown in Figure 4 together with a triangular distribution for comparison purposes. Concerning the normal distribution, there are 0,15 % of the possible k^* values below the limit of 0,6 and 0,15 % above the limit of 1,4. This is small enough to be neglected.

The existing knowledge about the correction factor K is given by

$$0,6 \leq k^* \leq 1,4 \quad (9)$$

and by a Gaussian probability distribution of k^* peaked at the centre of the interval, see Figure 4. In this example, the choice of the Gaussian probability density distribution is the decision of the evaluator, other conditions may lead to other distributions.

As shown in 5.4.2, this leads to $k = 1,0$ and to the standard uncertainty of k of $s_k = \frac{0,4}{3} = 0,133$.

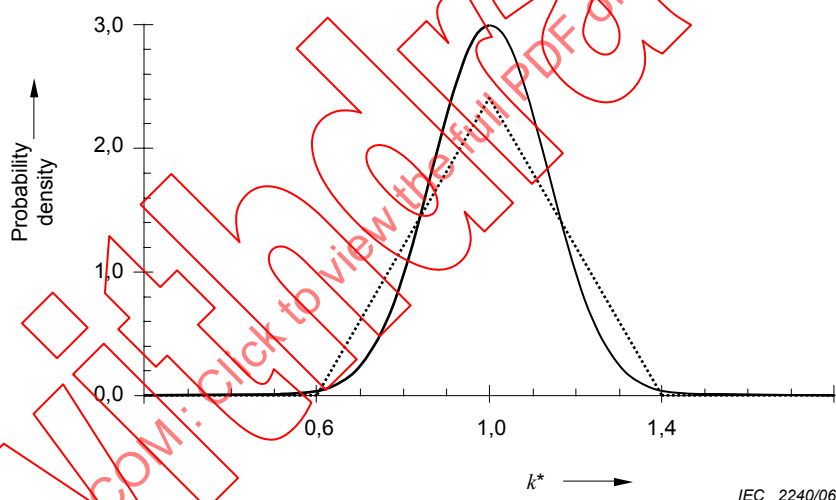


Figure 4 – Gaussian and triangular (dotted line) probability density distribution of possible values k^* for the correction factor K

5.3.5.3 Example of high level of consideration of workplace conditions

The workplace under consideration is an X-ray testing equipment for aluminium wheel rims for cars. In the respective energy range, the relative response of the dosimeter (relative to the response to reference radiation, for example, Cs-137) is low, always below unity. Therefore, it is assumed that the correction factor is between 1,0 and 1,4. Again, the indicated dose value, the reading, was 500 μ Sv after one working day. As this is an unexpectedly high value, the measured dose value should be determined considering all knowledge of the workplace.

All possible values k^* of the correction factor K are within the range: $1,0 \leq k^* \leq 1,4$. The arguments for the probability distribution of the k^* values given above are still valid for a working period of one day and will therefore be applied as well.

Ainsi l'état des connaissances sur le facteur de correction K pour cet exemple, est donné par

$$1,0 \leq k^* \leq 1,4 \quad (10)$$

et par une distribution gaussienne de probabilité de k^* centrée au milieu de l'intervalle.

Comme il est montré en 5.4.2, cela conduit à $k = 1,2$ et à l'incertitude normalisée de k de

$$s_k = \frac{0,2}{3} = 0,067$$

La valeur corrigée de la mesure est $M = 1,2 \times 500 \mu\text{Sv} = 600 \mu\text{Sv}$ avec une incertitude plus faible que dans le cas du degré faible de considération des conditions du lieu d'exploitation; ceci est montré en 5.4.

5.4 Calcul du résultat d'une mesure et de l'incertitude associée pour l'exemple traité

5.4.1 Généralités

La troisième étape de l'analyse de l'incertitude est le calcul du résultat d'une mesure et de l'incertitude associée en accord avec la fonction modèle. Ceci est réalisé en utilisant des méthodes mathématiques établies, et peut donc être effectué par logiciel. Un exemple de tels logiciels est donné en [5] et utilisé dans l'Annexe D.

Pour les grandeurs d'entrée dont les valeurs suivent une distribution statistique, par exemple la lecture donnée en 5.3.4, l'incertitude normalisée est l'écart-type. Dans le GUM, cette méthode statistique pour déterminer l'incertitude est appelée «méthode de type A». Pour les autres grandeurs d'influence, l'incertitude normalisée est déterminée par d'autres méthodes, par exemple l'hypothèse d'une distribution des valeurs possibles comme expliquée en 5.3 pour le facteur d'étalonnage, la lecture de zéro et le facteur de correction. Ces autres méthodes de détermination de l'incertitude sont appelées «méthodes de type B». Les méthodes de type B incluent aussi l'incertitude normalisée des données du constructeur ou d'un certificat d'étalonnage. Certaines formules pour le calcul de l'incertitude sont données dans l'article suivant.

NOTE Le concept du GUM distingue clairement d'un côté le résultat d'une mesure et son incertitude associée, et de l'autre côté la valeur du mesurande (appelée hors du GUM, valeur vraie). Cette dernière est inconnue principalement parce qu'une quantité infinie d'informations serait nécessaire. Le résultat d'une mesure est une meilleure estimation de la valeur (vraie) du mesurande, sur la base des informations disponibles. L'incertitude associée donne l'intervalle qui contient certaines valeurs qui sont raisonnablement cohérentes avec toutes les informations disponibles à l'instant de la mesure et de l'analyse de l'incertitude. Cependant, un effet systématique peut avoir été ignoré parce qu'il est inconnu. Alors, la valeur (vraie) du mesurande peut être hors de l'intervalle décrit. Heureusement, ceci est inhabituel en radioprotection parce que les effets connus induisent de telles incertitudes, qu'il est probable que tout effet inconnu aura une influence négligeable sur l'incertitude.

5.4.2 Calcul de l'incertitude normalisée des grandeurs d'entrée

Pour les grandeurs d'entrée qui ont été traitées par des méthodes de type A (comme indiqué auparavant, ce sont des données d'entrée ayant une distribution statistique des valeurs possibles), l'incertitude normalisée est l'écart-type bien connu de la moyenne. Un exemple est la lecture G du dosimètre. La valeur de l'écart-type s_g d'une mesure unique peut être obtenue à partir des autres mesures, par exemple de l'essai de type. Si une valeur moyenne de plusieurs mesures est utilisée comme grandeur d'entrée, l'écart-type de cette valeur moyenne est donné par l'écart-type d'une valeur unique divisé par la racine carrée du nombre de mesures.

Therefore, the existing knowledge about the correction factor K for this example is given by

$$1,0 \leq k^* \leq 1,4 \quad (10)$$

and by a Gaussian probability distribution of k^* peaked at the centre of the interval.

As shown in 5.4.2, this leads to $k = 1,2$ and to the standard uncertainty of k of $s_k = \frac{0,2}{3} = 0,067$.

The corrected measured value is $M = 1,2 \times 500 \mu\text{Sv} = 600 \mu\text{Sv}$ with an associated uncertainty smaller than in case of low level consideration of workplace conditions, this is shown in 5.4.

5.4 Calculation of the result of a measurement and the associated uncertainty for the example

5.4.1 General

The third step of the uncertainty analysis is the calculation of the result of a measurement and the associated uncertainty according to the model function. This is done using established mathematical methods and may, therefore, also be performed by software. An example of such a software is given by [5] and used in Annex D.

For input quantities with statistical distribution of the possible values, for example, the reading given in 5.3.4, the standard uncertainty is the well-known standard deviation. In the GUM, this statistical method for determining the uncertainty is called "type A method". For the other input quantities, the standard uncertainty is determined by other methods, for example, the assumption of a distribution of possible values as explained in 5.3 for the calibration factor, the zero reading and the correction factor. These other methods for determining the uncertainty are called "type B methods". Type B methods also include using the standard uncertainty from a data sheet or a calibration certificate. In the next clause, some formulae for calculating the standard uncertainty are given.

NOTE The GUM concept clearly distinguishes between the result of a measurement and its associated uncertainty on the one hand, and the value of the measurand (outside the GUM, called true value) on the other hand. The latter one is principally not known because for this, an infinite amount of information would be necessary. The result of a measurement is a best estimate for the (true) value of the measurand on the basis of the available information. The associated uncertainty gives the interval that contains values that are reasonably consistent with all the available information at the time of measurement and uncertainty analysis. However, a systematic effect may have been overlooked because it is unrecognized. Therefore, the (true) value of the measurand can be outside of the described interval. Fortunately, this is usually not the case in radiation protection, because the known effects cause such large uncertainties that the unknown effects probably have only negligible influence on the uncertainty.

5.4.2 Calculation of the standard uncertainty of input quantities

For input quantities that have to be treated by type A methods – as mentioned above these are input quantities with statistical distribution of the possible values – the standard uncertainty is the well-known standard deviation of the mean. An example is the reading G of the dosimeter. The value of the standard deviation of a single measurement s_g can be taken from other measurements, for example, the type test. If a mean value of several measurements is used as the input quantity, the standard deviation of this mean value is given by the standard deviation of a single measurement divided by the square root of the number of the measurements.

Pour toutes les autres grandeurs d'entrée qui ont été traitées par des méthodes de type B, la distribution des valeurs possibles doit être observée. Ces caractéristiques sont le type, par exemple rectangulaire, triangulaire ou gaussien, et la mi-largeur, nommée ici par le symbole a . Pour toutes ces distributions de probabilité, la valeur la plus probable, la meilleure estimation, est la valeur centrale de la distribution, nommée ici par le symbole x . En pratique, chacune des meilleures estimations, x , est donnée et les limites a_- et a_+ de la distribution doivent être choisies symétriquement par rapport à la meilleure estimation comme étant $a_- = x - a$ et $a_+ = x + a$, ou bien les limites a_- et a_+ sont données, par exemple pour le facteur de correction, et la meilleure estimation est la valeur moyenne

$$x = \frac{a_- + a_+}{2} \quad (11)$$

La distribution de probabilité mentionnée dans ce Rapport Technique est résumée dans la Figure 5 et les valeurs de l'écart-type sont données dans le Tableau 2. Elles sont données par le deuxième moment central des fonctions de distribution. D'autres distributions peuvent aussi être utilisées, si elles sont appropriées.

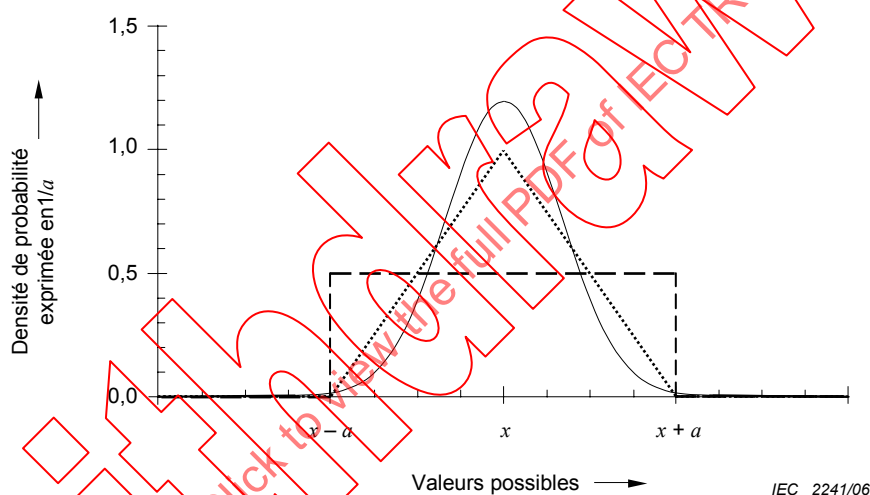


Figure 5 – Comparaison des différentes distributions de densité de probabilité des valeurs possibles: rectangulaire (ligne brisée), triangulaire (pointillée) et gaussienne (ligne continue)

Tableau 2 – Incertitude normalisée pour les distributions de densité de probabilité montrées à la Figure 5

Type de distribution	Incertainude normalisée	Remarque
Rectangulaire	$\frac{a}{\sqrt{3}}$	100 % de toutes les valeurs possibles sont dans l'intervalle de a_- à a_+
Triangulaire	$\frac{a}{\sqrt{6}}$	100 % de toutes les valeurs possibles sont dans l'intervalle de a_- à a_+
Gaussienne	$\frac{a}{3}$	99,7 % de toutes les valeurs possibles sont dans l'intervalle de a_- à a_+

For all the other input quantities that have to be treated by type B methods, the probability distribution of the possible values have to be considered. Their characteristics are the type – for example, rectangular, triangular or Gaussian – and the half-width, denoted here by the symbol a . For all these probability distributions, the most probable value, the best estimate, is the centre of the distribution, denoted here by the symbol x . In practice, either the best estimate, x , is given and the limits a_- and a_+ of the distribution have to be chosen symmetrical to this best estimate as $a_- = x - a$ and $a_+ = x + a$, or the limits a_- and a_+ are given, for example, of the correction factor, and the best estimate is the mean value

$$x = \frac{a_- + a_+}{2} \quad (11)$$

The probability distributions mentioned in this Technical Report are summarized in Figure 5 and the values for the standard uncertainty are given in Table 2. They are given by the second central moment of the distribution functions. Other distributions may also be used, if appropriate.

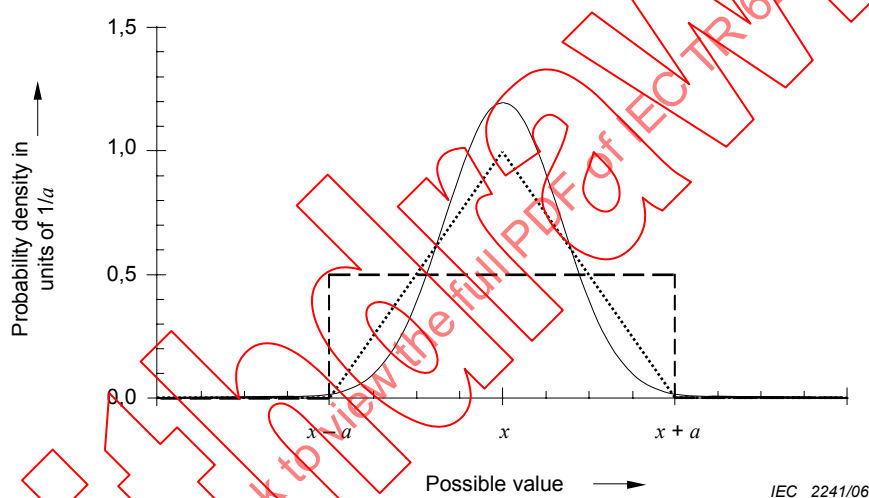


Figure 5 – Comparison of different probability density distributions of possible values: rectangular (broken line), triangular (dotted line) and Gaussian (solid line) distribution

Table 2 – Standard uncertainty for the probability density distributions shown in Figure 5

Type of distribution	Standard uncertainty	Remark
Rectangular	$\frac{a}{\sqrt{3}}$	100 % of all possible values are within the interval from a_- to a_+
Triangular	$\frac{a}{\sqrt{6}}$	100 % of all possible values are within the interval from a_- to a_+
Gaussian	$\frac{a}{3}$	99,7 % of all possible values are within the interval from a_- to a_+

5.4.3 Calcul de l'incertitude normalisée associée à la grandeur de sortie, pour l'exemple traité

L'incertitude normalisée, $u(m)$, associée à la grandeur de sortie m dépend de l'incertitude normalisée, s , des grandeurs d'entrée. Pour chaque grandeur d'entrée, la contribution résultant de cette dépendance est nommée par le symbole $u(m)$ avec un indice indiquant la grandeur d'entrée, par exemple $u_n(m)$, $u_k(m)$, $u_g(m)$ ou $u_{g0}(m)$ pour les grandeurs d'entrée données en équation (5). Cette contribution est donnée par l'extension par laquelle la grandeur de sortie est influencée par les variations de la grandeur d'entrée multipliée par l'incertitude normalisée de la grandeur d'entrée. Cette extension s'appelle «coefficient de sensibilité» et est nommée par le symbole c avec un indice indiquant la grandeur d'entrée, par exemple c_n , c_k , c_g ou c_{g0} pour les grandeurs d'entrée données en équation (5). En langage mathématique, l'extension est la variation de la grandeur de sortie, Δm , provoquée par une variation élémentaire de la grandeur d'entrée Δn . Leur rapport $\Delta m / \Delta n$ est le coefficient de sensibilité. En utilisant des calculs différentiels, c'est une dérivée partielle du modèle de la mesure par rapport à la grandeur d'entrée élémentaire. Ainsi, les coefficients de sensibilité en accord avec l'équation (5) et l'équation (6) sont:

$$c_n = \frac{\partial m}{\partial n} = \frac{\partial M}{\partial N} \Big|_{N=n, K=k, G=g, G_0=g_0} = k (g - g_0) \quad (12)$$

$$c_k = \frac{\partial m}{\partial k} = \frac{\partial M}{\partial K} \Big|_{N=n, K=k, G=g, G_0=g_0} = n (g - g_0)$$

$$c_g = \frac{\partial m}{\partial g} = \frac{\partial M}{\partial G} \Big|_{N=n, K=k, G=g, G_0=g_0} = nk$$

$$c_{g_0} = \frac{\partial m}{\partial g_0} = \frac{\partial M}{\partial G_0} \Big|_{N=n, K=k, G=g, G_0=g_0} = -nk$$

Les contributions des incertitudes normalisées des grandeurs d'entrée à l'incertitude de la grandeur de sortie sont donc données par

$$u_n(m) = |c_n| s_n \quad (13)$$

$$u_k(m) = |c_k| s_k$$

$$u_g(m) = |c_g| s_g$$

$$u_{g_0}(m) = |c_{g_0}| s_{g_0}$$

NOTE 1 En accord avec le GUM, les valeurs de $u_n(m)$, $u_k(m)$, $u_g(m)$ ou $u_{g_0}(m)$ sont positives, ainsi les valeurs absolues des coefficients de sensibilité doivent être utilisées dans l'équation (13).

L'incertitude normalisée totale $u(m)$, associée à la grandeur de sortie m est donnée par la somme géométrique de toutes ces contributions.

$$u = \sqrt{u_n^2(m) + u_k^2(m) + u_g^2(m) + u_{g_0}^2(m)} \quad (14)$$

NOTE 2 L'équation (13) n'est valide que pour les grandeurs non corrélées. Parfois, des corrélations peuvent être éliminées par un choix judicieux de la fonction modèle. Pour les grandeurs d'entrée corrélées, voir la bibliographie.

NOTE 3 Le signe algébrique du coefficient de sensibilité est important dans le cas de corrélation de grandeur d'entrée.

5.4.3 Calculation of the standard uncertainty associated with the output quantity for the example

The standard uncertainty, $u(m)$, associated with the output quantity m depends on the standard uncertainties, s , of the input quantities. For every input quantity, the “amount” of this dependence is denoted by the symbol $u(m)$ with a subscript indicating the input quantity, for example, $u_n(m)$, $u_k(m)$, $u_g(m)$ or $u_{g_0}(m)$ for the input quantities given in equation (5). This “amount” is given by the “extent” to which the output quantity is influenced by variations of the input quantity multiplied by the standard uncertainty of the input quantity. The “extent” is given the name “sensitivity coefficient”, denoted by the symbol c with a subscript indicating the input quantity, for example, c_n , c_k , c_g or c_{g_0} for the input quantities given in equation (5). In mathematical language, the “extent” is the change of the output quantity, Δm , due to a variation of a particular input quantity, for example, Δn . Their quotient $\Delta m/\Delta n$ is the sensitivity coefficient. Using differential calculus, this is the partial derivative of the model of the measurement with respect to the particular input quantity. Thus, the sensitivity coefficients according to equations (5) and (6) are:

$$c_n = \frac{\partial m}{\partial n} = \frac{\partial M}{\partial N} \Big|_{N=n, K=k, G=g, G_0=g_0} = k(g - g_0) \quad (12)$$

$$c_k = \frac{\partial m}{\partial k} = \frac{\partial M}{\partial K} \Big|_{N=n, K=k, G=g, G_0=g_0} = n(g - g_0)$$

$$c_g = \frac{\partial m}{\partial g} = \frac{\partial M}{\partial G} \Big|_{N=n, K=k, G=g, G_0=g_0} = nk$$

$$c_{g_0} = \frac{\partial m}{\partial g_0} = \frac{\partial M}{\partial G_0} \Big|_{N=n, K=k, G=g, G_0=g_0} = -nk$$

The contributions of the standard uncertainties of the input quantities to the standard uncertainty associated with the output quantity are then given by:

$$u_n(m) = |c_n| s_n \quad (13)$$

$$u_k(m) = |c_k| s_k$$

$$u_g(m) = |c_g| s_g$$

$$u_{g_0}(m) = |c_{g_0}| s_{g_0}$$

NOTE 1 According to the GUM, the values of $u_n(m)$, $u_k(m)$, $u_g(m)$ or $u_{g_0}(m)$ are positive, so the absolute values of the sensitivity coefficients have to be used in equation (13).

The total standard uncertainty $u(m)$, associated with the output quantity m is given by the geometrical sum of all these contributions.

$$u = \sqrt{u_n^2(m) + u_k^2(m) + u_g^2(m) + u_{g_0}^2(m)} \quad (14)$$

NOTE 2 Equation (13) is valid for uncorrelated quantities only. Sometimes correlations can be eliminated by a proper choice of the model function. For correlated input quantities, see bibliography.

NOTE 3 The algebraic sign of the sensitivity coefficient is of importance in case of correlation of the input quantities.

Il convient que l'analyse complète de l'incertitude d'une mesure, parfois appelée le budget d'incertitude, comprenne une liste de toutes les sources d'incertitude ainsi que les incertitudes normalisées associées et les méthodes pour les évaluer. Pour des mesures répétées, le nombre d'observations doit aussi être établi. Dans un souci de clarté, il est recommandé de présenter les données pertinentes pour l'analyse sous la forme d'un tableau. Un exemple formel d'un tel tableau pour l'exemple ci-dessus d'une mesure de dose avec un dosimètre électronique et utilisant la fonction modèle de l'équation (5) est donné en Tableau 3 pour un degré faible de considération des conditions du lieu d'exploitation et en Tableau 4 pour un degré élevé de considération des conditions du lieu d'exploitation.

Tableau 3 – Exemple de budget de l'incertitude pour une mesure avec un dosimètre électronique utilisant la fonction modèle $M = N K (G - G_0)$ et un degré faible de considération des conditions du lieu de travail, voir le texte pour plus de détails

Grandeur	Meilleure estimation	Incrtitude normalisée	Distribution	Coefficient de sensibilité	Contribution de l'incertitude à la grandeur de sortie
N	1,0	$\frac{0,1}{\sqrt{6}} = 0,041$	Triangulaire	500 μ Sv	$0,041 \times 500 \mu\text{Sv} = 20,5 \mu\text{Sv}$
K	1,0	$\frac{0,4}{3} = 0,133$	Gaussienne	500 μ Sv	$0,133 \times 500 \mu\text{Sv} = 66,5 \mu\text{Sv}$
G	500 μ Sv	$0,04 \times 500 \mu\text{Sv} = 20 \mu\text{Sv}$	Gaussienne pour une lecture	1,0	$20 \mu\text{Sv} \times 1,0 = 20 \mu\text{Sv}$
G_0	0 μ Sv	$\frac{0,5 \mu\text{Sv}}{\sqrt{3}} = 0,29 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,0	$0,29 \mu\text{Sv} \times -1,0 = 0,29 \mu\text{Sv}$
M	500 μ Sv	72 μ Sv (15 %)			

Tableau 4 – Exemple de budget d'incertitude pour une mesure avec un dosimètre électronique utilisant la fonction modèle $M = N K (G - G_0)$ et un degré élevé de considération des conditions du lieu de travail, voir le texte pour plus de détails

Grandeur	Meilleure estimation	Incrtitude normalisée	Distribution	Coefficient de sensibilité	Contribution de l'incertitude à la grandeur de sortie
N	1,0	$\frac{0,1}{\sqrt{6}} = 0,041$	Triangulaire	600 μ Sv	$0,041 \times 600 \mu\text{Sv} = 24,6 \mu\text{Sv}$
K	1,2	$\frac{0,2}{3} = 0,067$	Gaussienne	500 μ Sv	$0,067 \times 500 \mu\text{Sv} = 33,5 \mu\text{Sv}$
G	500 μ Sv	$0,04 \times 500 \mu\text{Sv} = 20 \mu\text{Sv}$	Gaussienne pour une lecture	1,2	$20 \mu\text{Sv} \times 1,2 = 24 \mu\text{Sv}$
G_0	0 μ Sv	$\frac{0,5 \mu\text{Sv}}{\sqrt{3}} = 0,29 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,2	$0,29 \mu\text{Sv} \times -1,2 = 0,35 \mu\text{Sv}$
M	600 μ Sv	48 μ Sv (8 %)			

On peut constater que dans le cas du degré élevé de considération des conditions du lieu d'exploitation, la meilleure estimation de la dose est accrue de 500 μ Sv à 600 μ Sv. Ceci s'accompagne d'une réduction de l'incertitude normalisée de 72 μ Sv à 48 μ Sv, ce qui respectivement est équivalent à une incertitude normalisée de 15 % et 8 %.

The complete uncertainty analysis for a measurement – sometimes called the uncertainty budget of the measurement – should include a list of all sources of the uncertainty together with the associated standard uncertainties and the methods of evaluating them. For repeated measurements, the number of observations also has to be stated. For the sake of clarity, it is recommended to present the data relevant for this analysis in the form of a table. A formal example of such a table for the above example of a dose measurement with an electronic dosimeter using the model function of equation (5) is given as Table 3 for low level of consideration of the workplace conditions and as Table 4 for high level of consideration of the workplace conditions.

Table 3 – Example of an uncertainty budget for a measurement with an electronic dosimeter using the model function $M = N K (G - G_0)$ and low level of consideration of the workplace conditions, see text for details

Quantity	Best estimate	Standard uncertainty	Distribution	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution to output quantity
N	1,0	$\frac{0,1}{\sqrt{6}} = 0,041$	Triangular	500 μSv	$0,041 \times 500 \mu\text{Sv} = 20,5 \mu\text{Sv}$
K	1,0	$\frac{0,4}{3} = 0,133$	Gaussian	500 μSv	$0,133 \times 500 \mu\text{Sv} = 66,5 \mu\text{Sv}$
G	500 μSv	$0,04 \times 500 \mu\text{Sv} = 20 \mu\text{Sv}$	Gaussian with one reading	1,0	$20 \mu\text{Sv} \times 1,0 = 20 \mu\text{Sv}$
G_0	0 μSv	$\frac{0,5 \mu\text{Sv}}{\sqrt{3}} = 0,29 \mu\text{Sv}$	Rectangular	–1,0	$0,29 \mu\text{Sv} \times -1,0 = 0,29 \mu\text{Sv}$
M	500 μSv	72 μSv (15 %)			

Table 4 – Example of an uncertainty budget for a measurement with an electronic dosimeter using the model function $M = N K (G - G_0)$ and high level of consideration of the workplace conditions, see text for details

Quantity	Best estimate	Standard uncertainty	Distribution	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution to output quantity
N	1,0	$\frac{0,1}{\sqrt{6}} = 0,041$	Triangular	600 μSv	$0,041 \times 600 \mu\text{Sv} = 24,6 \mu\text{Sv}$
K	1,2	$\frac{0,2}{3} = 0,067$	Gaussian	500 μSv	$0,067 \times 500 \mu\text{Sv} = 33,5 \mu\text{Sv}$
G	500 μSv	$0,04 \times 500 \mu\text{Sv} = 20 \mu\text{Sv}$	Gaussian with one reading	1,2	$20 \mu\text{Sv} \times 1,2 = 24 \mu\text{Sv}$
G_0	0 μSv	$\frac{0,5 \mu\text{Sv}}{\sqrt{3}} = 0,29 \mu\text{Sv}$	Rectangular	–1,2	$0,29 \mu\text{Sv} \times -1,2 = 0,35 \mu\text{Sv}$
M	600 μSv	48 μSv (8 %)			

It can be seen that in case of high level of consideration of the workplace conditions, the best estimate of the dose is enhanced from 500 μSv to 600 μSv . This is accompanied by a reduction of the standard uncertainty from 72 μSv to 48 μSv , which is equivalent to a relative standard uncertainty of 15 % and 8 % respectively.

5.4.4 Etablissement du résultat de mesure et de son incertitude

Dans la plupart des cas, l'hypothèse d'une distribution normale des valeurs possibles de la grandeur de sortie peut être faite. Pour une telle distribution, l'incertitude normalisée $u(m)$ définit un intervalle de $m - u(m)$ to $m + u(m)$ qui couvre 68 % des valeurs possibles de la grandeur de sortie qui peuvent raisonnablement être attribuées à la mesure. En général, une plus grande certitude (probabilité de couverture ou niveau de confiance) est requise et alors l'incertitude normalisée de la grandeur de sortie est multipliée par un facteur (supérieur à 1) pour obtenir l'incertitude étendue. Le facteur est appelé facteur de couverture, habituellement nommé par le symbole k , mais pour le distinguer du facteur de correction le symbole k_{cov} est ici utilisé. L'incertitude étendue est habituellement nommée par le symbole U (majuscule). Comme indiqué en 5.1, le résultat complet d'une mesure consistant en la meilleure estimation m de la dose et en l'incertitude étendue associée ou rapportée U doit être donné sous la forme

$$M = m \pm U \quad (1)$$

A cela une note explicative doit être ajoutée qui, dans le cas général aura le contenu suivant:

L'incertitude étendue rapportée de la mesure est établie comme étant l'incertitude normalisée de la mesure multipliée par le facteur de couverture $k_{cov} = 2$, qui pour une distribution normale correspond à une probabilité proche de 95 %. L'incertitude normalisée de la mesure a été déterminée en accord avec le guide pour l'expression de l'incertitude de mesure.

NOTE 1 La question qui demeure porte sur la criticité de l'hypothèse d'une distribution normale pour les valeurs possibles de la grandeur de sortie. Dans le cas d'un degré faible de considération des conditions du lieu d'exploitation, l'incertitude normalisée de l'estimation de la sortie est dominée par la contribution de l'incertitude du facteur de correction parce qu'elle est élevée (66,5 μ Sv) par rapport aux autres. Pour les valeurs possibles du facteur de correction, l'hypothèse d'une distribution gaussienne est faite et donc une distribution gaussienne est aussi valide pour les valeurs possibles de la grandeur de sortie, la dose.

Dans le cas d'un degré élevé de considération des conditions du lieu d'exploitation, la contribution de l'incertitude du facteur de correction est réduite (33,5 μ Sv) et les contributions des incertitudes du facteur d'étalonnage et de la valeur mesurée, considérées ensemble (24 μ Sv) est environ les deux tiers de celle du facteur de correction. Que peut-on conclure pour la distribution des valeurs possibles de la grandeur de sortie, la dose ? Le théorème de la limite centrale, un théorème fondamental en statistique, dit que la contribution de la combinaison d'un nombre croissant de variables indépendantes de distribution aléatoire, approche une distribution normale. Appliqué à la question, s'il y a trois ou plus contributions significatives d'incertitudes avec des dominances à peu près équivalentes, alors la distribution des valeurs possibles de la grandeur de sortie, la dose, peut être supposée une distribution normale (gaussienne). Dans l'exemple, les trois contributions n'ont pas une égale domination mais la plus dominante est une distribution normale, ainsi l'hypothèse d'une distribution normale (gaussienne) des valeurs possibles de la grandeur de sortie, la dose, est justifiée.

Pour l'exemple ci-dessus, dans le cas d'un degré faible de considération des conditions du lieu d'exploitation, le résultat complet de la mesure est donné par

$$M = 500 \mu\text{Sv} \pm 145 \mu\text{Sv} (k_{cov} = 2) \quad (15)$$

et par la note explicative donnée ci-dessus, et dans le cas d'un degré faible de considération des conditions du lieu d'exploitation, le résultat complet de la mesure est donné par

$$M = 600 \mu\text{Sv} \pm 96 \mu\text{Sv} (k_{cov} = 2) \quad (16)$$

et par la note explicative donnée ci-dessus. Les deux intervalles se recouvrent partiellement et donc, les résultats sont cohérents.

NOTE 2 Dans l'exemple, l'accroissement d'information conduit à une incertitude plus petite. Ce n'est pas toujours le cas, et il est aussi possible qu'un gain de connaissance conduise à une incertitude plus grande, par exemple parce que de nouvelles grandeurs d'influence ont été identifiées et qui avaient été ignorées auparavant.

5.4.4 Statement of the measurement result and its uncertainty

In most cases, a normal distribution of the possible values of the output quantity can be assumed. For such a distribution, the standard uncertainty $u(m)$ defines an interval from $m - u(m)$ to $m + u(m)$ which covers 68 % of the possible values of the output quantity that could reasonably be attributed to the measurement. In general, a larger certainty (coverage probability or level of confidence) is asked for, so the standard uncertainty of the output quantity is multiplied by a factor (larger than one) to get the 'expanded uncertainty'. The factor is called 'coverage factor', usually given the symbol k but to distinguish it from the correction factor here the symbol k_{cov} is used. The expanded uncertainty is usually given the symbol U (capital letter). As mentioned in equation (1) of 5.1, the complete result of a measurement consisting of the best estimate m of the dose and the associated or reported expanded uncertainty U shall be given in the form

$$M = m \pm U. \quad (1)$$

To this an explanatory note shall be added which in the general case shall have the following content:

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by a coverage factor $k_{\text{cov}} = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with the guide to the expression of uncertainty in measurement.

NOTE 1 The question remains, how critical is the assumption of a normal distribution for the possible values of the output quantity? In the case of low level of consideration of the workplace conditions, the standard uncertainty of the output estimate is dominated by the uncertainty contribution of the correction factor because the associated uncertainty contribution is quite large (66,5 µSv) compared to the others. For the possible values of the correction factor, a Gaussian distribution is assumed, therefore, a Gaussian distribution is also valid for the distribution of the possible values of the output quantity, the dose.

In the case of high level of consideration of the workplace conditions, the uncertainty contribution of the correction factor is reduced (33,5 µSv) and the uncertainty contributions of both the calibration factor (24,6 µSv) and the measured value (24 µSv) are about two third of those for the correction factor. What can be concluded for the distribution of the possible values of the output quantity, the dose? The 'central limit theorem', a fundamental statistical theorem, says, that with increasing number of independent distributed random variables the distribution of their combination approaches a normal distribution. Applied to the question, if three or more significant uncertainty contributions with nearly equivalent dominance occur then the distribution of the possible values of the output quantity, the dose, can be assumed to be a normal or Gaussian distribution. In the example, the three contributions are not completely of equal dominance but the most dominant part is a normal distribution, so the assumption of a normal or Gaussian distribution of the possible values of the output quantity, the dose, is justified.

For the above example, in the case of low level of consideration of the workplace conditions, the complete result of the measurement is given by

$$M = 500 \mu\text{Sv} \pm 145 \mu\text{Sv} (k_{\text{cov}} = 2) \quad (15)$$

plus the explanatory note given above and in the case of high level of consideration of the workplace conditions, the complete result of the measurement is given by

$$M = 600 \mu\text{Sv} \pm 96 \mu\text{Sv} (k_{\text{cov}} = 2) \quad (16)$$

plus the explanatory note given above. The two intervals overlap, thus these results are consistent.

NOTE 2 In the example, the increased knowledge leads to a smaller uncertainty. This is not always the case, it is also possible that an increase of knowledge leads to an enhanced uncertainty, for example, because new influence quantities were identified which were ignored previously.

Dans les Annexes A à E, des exemples d'analyse de l'incertitude sont donnés pour des mesures avec des instruments conformes à différentes normes. Pour chacun de ces instruments, deux exemples sont donnés. Dans le premier exemple, l'hypothèse est faite que l'instrument est conforme aux exigences minimales de la norme le concernant; pour l'appareil de surveillance individuel, c'est équivalent au degré faible de considération des conditions de lieu d'exploitation mentionné précédemment. Dans le second exemple, une situation spéciale de mesure est considérée, où les valeurs des grandeurs d'influence sont connues et les corrections appropriées sont appliquées en utilisant les résultats de l'essai de type. Pour l'appareil de surveillance individuel c'est équivalent au degré élevé de considération des conditions de lieu d'exploitation mentionné précédemment.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62461:2006

Withdrawing

In the Annexes A to E, examples of uncertainty analysis are given for measurements with instruments in accordance with some standards. For each of these instruments, two examples are given. In the first example, it is only assumed that the instrument fulfils the minimum requirements of the respective standards, for individual monitoring this is equivalent to the above-mentioned low level of consideration of the workplace conditions. In the second example, a special measurement situation is considered, where the values of the influence quantities are known and the appropriate corrections are applied using the results of the type test. For individual monitoring, this is equivalent to the above-mentioned high level of consideration of the workplace conditions.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62461:2006

Withd 2011

Annexe A (informative)

Exemple d'une analyse de l'incertitude pour une mesure avec un dosimètre électronique mesurant le débit d'équivalent de dose en accord avec la CEI 60846:2002

A.1 Généralités

La CEI 60846:2002 a pour titre «Instrumentation pour la radioprotection – Instruments pour la mesure et/ou la surveillance de l'équivalent de dose (ou du débit d'équivalent de dose) ambiant et/ou directionnel pour les rayonnements bêta, X et gamma».

Pour cet exemple, le choix s'est porté sur un dosimètre portable pour le débit d'équivalent de dose ambiant $\dot{H}^*(10)$ des rayonnements photon avec un affichage logarithmique analogique de trois ordres de grandeur. La gamme la plus basse couvre $0,1 \mu\text{Sv h}^{-1}$ à $100 \mu\text{Sv h}^{-1}$, ainsi la gamme de mesure commence en accord avec la CEI 60846:2002 paragraphe 4.1.5 à 10 % de déflexion, ce qui est équivalent à $H_0 = 0,1 \mu\text{Sv h}^{-1} \times 10^{0,3} \approx 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}$. Ceci et certaines hypothèses arbitraires conduisent à la gamme de mesures suivante et aux domaines d'utilisation pour les quantités d'influence:

Gamme de mesures:	$0,2 \mu\text{Sv h}^{-1} \leq \dot{H}^*(10) \leq 1 \text{ Sv h}^{-1}$
Domaine d'utilisation	
Energie des photons:	$50 \text{ keV} \leq E_{\text{ph}} \leq 1,5 \text{ MeV}$
Angle d'incidence:	$0^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ$
Puissance, pression, géotropisme:	étendue minimale pour le débit, voir CEI 60846:2002, Tableau 5.
Température, humidité:	domaines d'utilisation pour l'utilisation à l'extérieur, voir CEI 60846:2002, Tableau 5.
Compatibilité électromagnétique (CEM):	domaine minimal d'utilisation, voir CEI 60846:2002, Tableau 6.
Perturbations mécaniques:	Domaine d'utilisation minimal, voir CEI 60846:2002, Tableaux 7 à 9.

A.2 Fonction modèle

La fonction modèle utilisée pour l'exemple est:

$$\dot{H}^*(10) = K_{\text{intr}} K_{E,\varphi} K_{\text{pow}} K_{\text{temp}} K_{\text{hum}} K_{\text{press}} K_{\text{geo}} \times [G - D_{\text{zero}} - D_{\text{EMC},1} - D_{\text{EMC},2} - D_{\text{EMC},3} - D_{\text{EMC},4} - D_{\text{EMC},5} - D_{\text{EMC},6} - D_{\text{EMC},7} - D_{\text{vibr}} - D_{\text{shock}}] \quad (\text{A.1})$$

où

$\dot{H}^*(10)$	est le débit d'équivalent de dose ambiant en cours de mesure (valeur mesurée);
K_{intr}	est le facteur de correction pour l'erreur intrinsèque (facteur d'étalonnage et non linéarité inclus);
$K_{E,\varphi}$	est le facteur de correction pour l'énergie et l'angle d'incidence des photons;
K_{pow}	est le facteur de correction pour l'alimentation électrique;
K_{temp}	est le facteur de correction pour la température ambiante;
K_{hum}	est le facteur de correction pour l'humidité relative;
K_{press}	est le facteur de correction pour la pression atmosphérique;

Annex A (informative)

Example of an uncertainty analysis for a measurement with an electronic ambient dose equivalent rate meter according to IEC 60846:2002

A.1 General

IEC 60846:2002 has the title “Radiation protection instrumentation – Ambient and/or directional dose equivalent(rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation”.

For this example, a portable dose equivalent rate meter for the ambient dose equivalent rate $\dot{H}^*(10)$ for photon radiation with a logarithmic analog display of three orders of magnitude is chosen. The lowest range covers $0,1 \mu\text{Sv h}^{-1}$ to $100 \mu\text{Sv h}^{-1}$, so the measuring range starts according to IEC 60846:2002, 4.1.5 at 10 % deflection, which is equivalent to $H_0 = 0,1 \mu\text{Sv h}^{-1} \times 10^{0,3} \approx 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}$. This and some arbitrary assumptions lead to the following measuring range and rated ranges of use for influence quantities:

Measuring range:	$0,2 \mu\text{Sv h}^{-1} \leq \dot{H}^*(10) \leq 1 \text{ Sv h}^{-1}$
Rated ranges of use:	
Photon energy:	$50 \text{ keV} \leq E_{\text{ph}} \leq 1,5 \text{ MeV}$
Angle of incidence:	$0^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ$
Power, pressure, geotropism:	minimum rate ranges, see IEC 60846:2002, Table 5.
Temperature, humidity:	minimum rate ranges for outdoor use, see IEC 60846:2002, Table 5.
Electromagnetic compatibility (EMC):	minimum rate ranges, see IEC 60846:2002, Table 6.
Mechanical disturbances:	minimum rate ranges, see IEC 60846:2002, Tables 7 to 9.

A.2 Model function

The model function used for the example is:

$$\dot{H}^*(10) = K_{\text{intr}} K_{E,\varphi} K_{\text{pow}} K_{\text{temp}} K_{\text{hum}} K_{\text{press}} K_{\text{geo}} \times [G - D_{\text{zero}} - D_{\text{EMC},1} - D_{\text{EMC},2} - D_{\text{EMC},3} - D_{\text{EMC},4} - D_{\text{EMC},5} - D_{\text{EMC},6} - D_{\text{EMC},7} - D_{\text{vibr}} - D_{\text{shock}}] \quad (\text{A.1})$$

where

$\dot{H}^*(10)$	is the measuring quantity ambient dose equivalent rate (measured value);
K_{intr}	is the correction factor for intrinsic error (includes calibration factor and non-linearity);
$K_{E,\varphi}$	is the correction factor for photon energy and angle of incidence;
K_{pow}	is the correction factor for power supplies;
K_{temp}	is the correction factor for ambient temperature;
K_{hum}	is the correction factor for relative humidity;
K_{press}	is the correction factor for atmospheric pressure;

K_{geo}	est le facteur de correction pour l'orientation de l'instrument analogique (géotropisme) (résolution de l'échelle analogique et de l'erreur de parallaxe inclus);
G	est la valeur indiquée, la lecture sur le dosimètre en unités de $\dot{H}^*(10)$; (coefficient de variation inclus);
D_{zero}	est l'écart dû à la dérive de zéro;
$D_{\text{EMC},1}$	est l'écart dû à la CEM provoquée par les décharges électrostatiques;
$D_{\text{EMC},2}$	est l'écart dû à la CEM provoquée par les champs électromagnétiques;
$D_{\text{EMC},3}$	est l'écart dû à la CEM provoquée par les perturbations conduites (transitoires rapides en salves);
$D_{\text{EMC},4}$	est l'écart dû à la CEM provoquée par les perturbations conduites (surtensions);
$D_{\text{EMC},5}$	est l'écart dû à la CEM provoquée par les perturbations conduites (radiofréquences);
$D_{\text{EMC},6}$	est l'écart dû au champ magnétique (50 Hz/60Hz);
$D_{\text{EMC},7}$	est l'écart dû aux creux de tension/coupures brèves;
D_{vibr}	est l'écart dû aux vibrations;
D_{shock}	est l'écart dû aux impacts en surface.

NOTE Dans la CEI 60846:2002, l'écart est appelé indication complémentaire.

A.3 Calcul du résultat complet de la mesure (valeur mesurée et incertitude normalisée associée)

A.3.1 Généralités

La CEI 60846 donne les valeurs maximales permises pour la réponse relative, qui est l'inverse du facteur de correction. Toutes les grandeurs d'influence ont des limites symétriques pour la réponse relative, ce qui conduit à des limites dissymétriques pour le facteur de correction, voir aussi 5.2, Note 1.

Pour la grandeur d'influence combinée «énergie et angle d'incidence du rayonnement», ces limites symétriques pour la réponse relative sont 0,6 et 1,4 ($1,0 \pm 40\%$) ce qui conduit pour le facteur de correction respectivement aux limites de 0,71 et 1,67 ($1,0 - 29\%$ à $1,0 + 67\%$). Pour l'application du GUM, des limites symétriques sont exigées pour les valeurs possibles autour de la meilleure estimation, voir 5.4.2. La solution la plus aisée est de faire l'hypothèse d'un facteur de correction de 1,19 dans la partie centrale de l'intervalle ci-dessus, voir l'équation (11). Ceci conduit à un intervalle des valeurs possibles du facteur de correction de $1,19 \pm 0,48$. En accord avec 5.4.2, cela donne $a = 0,48$ pour ce facteur de correction. Cette approche est aussi utilisée pour des limites symétriques de la réponse relative de $1,0 \pm 20\%$ et $1,0 \pm 15\%$, conduisant à un intervalle pour les valeurs possibles du facteur de correction de $1,04 \pm 0,21$ et $1,02 \pm 0,15$, respectivement. Pour les limites de $\pm 10\%$ ou moins de la réponse relative et du facteur de correction, l'hypothèse est faite qu'elles sont identiques, voir 5.2, Note 1.

Pour la réponse relative résultant de l'orientation de l'instrument analogique (géotropisme), l'hypothèse est faite qu'elle inclut les effets de la résolution de l'échelle analogique et d'erreur de parallaxe. Une limite de $\pm 2\%$ de la pleine échelle de la déflexion angulaire maximale est donnée pour cela. La signification est différente pour les échelles linéaire et logarithmique. Pour une échelle linéaire de $0 \mu\text{Sv h}^{-1}$ à $100 \mu\text{Sv h}^{-1}$, ceci est équivalent à un écart constant de $\pm 2 \mu\text{Sv h}^{-1}$. Pour une échelle logarithmique, ceci donne une valeur constante pour la

K_{geo}	is the correction factor for orientation of the analog instrument (geotropism) (includes analog scale resolution and reading parallax);
G	is the indicated value, reading of the dosimeter in units of $\dot{H}^*(10)$; (includes coefficient of variation);
D_{zero}	is the deviation due to zero drift;
$D_{\text{EMC},1}$	is the deviation due to EMC by electrostatic discharge;
$D_{\text{EMC},2}$	is the deviation due to EMC by radiated electromagnetic fields;
$D_{\text{EMC},3}$	is the deviation due to EMC by conducted disturbances (fast transients/bursts);
$D_{\text{EMC},4}$	is the deviation due to EMC by conducted disturbances (surges);
$D_{\text{EMC},5}$	is the deviation due to EMC by conducted disturbances (radiofrequencies);
$D_{\text{EMC},6}$	is the deviation due to magnetic field (50 Hz/60 Hz);
$D_{\text{EMC},7}$	is the deviation due to voltage dips/short interruptions;
D_{vibr}	is the deviation due to vibration;
D_{shock}	is the deviation due to drop on surface.

NOTE In IEC 60846:2002, the deviation is called additional indication.

A.3 Calculation of the complete result of the measurement (measured value and associated standard uncertainty)

A.3.1 General

IEC 60846 gives maximum permissible values for the relative response, which is the inverse of the correction factor. All the influence quantities have symmetrical limits for the relative response leading to non-symmetrical limits for the correction factor, see also Note 1 to 5.2.

For the combined influence quantity "radiation energy and direction of radiation incidence", these symmetrical limits for the relative response are 0,6 and 1,4 ($1,0 \pm 40\%$) leading to respective limits of the correction factor of 0,71 and 1,67 ($1,0 - 29\%$ to $1,0 + 67\%$). For the application of the GUM, symmetrical limits of the possible values around the best estimate are required, see 5.4.2. The easiest solution is to assume a best estimate of the correction factor of 1,19 in the middle of the above interval, see equation (11). This will lead to an interval for the possible values of the respective correction factor of $1,19 \pm 0,48$. According to 5.4.2 this gives $a = 0,48$ for that correction factor. This approach is also used in case of symmetrical limits of the relative response of $1,0 \pm 20\%$ and $1,0 \pm 15\%$, leading to an interval for the possible values of the respective correction factor of $1,04 \pm 0,21$ and $1,02 \pm 0,15$, respectively. For limits of $\pm 10\%$ or less, the limits for the relative response and the correction factor are assumed to be identical, see Note 1 to 5.2.

For the relative response due to orientation of the analog instrument (geotropism) it is assumed that it includes the effects of analog scale resolution and reading parallax. A limit of $\pm 2\%$ of the full scale of maximum angular deflection is given for this. The meaning is different for linear and logarithmic scales. For a linear scale of $0 \mu\text{Sv h}^{-1}$ to $100 \mu\text{Sv h}^{-1}$ this is equivalent to a constant deviation of $\pm 2 \mu\text{Sv h}^{-1}$. For a logarithmic scale, this gives a constant value

variation de la réponse relative. Si cette échelle couvre trois ordres de grandeur, alors un facteur de 10 ($=10^1$) est équivalent à 33 % de la déflexion angulaire maximale et 2 % de la déflexion angulaire maximale est $10^{2/33} = 1,15$ ou 15 % de variation de la réponse relative. Ceci conduit à un facteur de correction de $1,02 \pm 0,15$, voir ci-dessus.

L'hypothèse est faite d'une distribution angulaire pour le facteur de correction de l'erreur intrinsèque, qui est constituée de deux composantes, le facteur d'étalonnage et le facteur de non-linéarité. En 5.3.5, l'hypothèse est faite d'une distribution gaussienne pour le facteur de correction de la grandeur d'influence combinée «énergie et angle d'incidence du rayonnement». Un seul des arguments donnés ici est valide pour les mesures de débit d'équivalent de dose ambiant traitées: l'argument b), disant que les champs du lieu d'exploitation, donnés pour l'exemple, par la distribution spectrale des photons, sont beaucoup plus étendus que les champs utilisés pendant l'essai de type. Il y a un nouvel argument qui est que l'instrument portable est tourné jusqu'à ce que l'indication maximale soit donnée. Les deux arguments font que le facteur de correction se rapproche de la partie centrale de l'intervalle, et donc que la distribution triangulaire est adéquate parce que les deux arguments sont donnés; voir aussi la Note 1 de 5.4.4. Pour le facteur de correction de l'orientation de l'instrument analogique (géotropisme), l'hypothèse d'une distribution gaussienne est faite, ce qui inclut trois grandeurs d'influence: le géotropisme, la résolution de l'échelle analogique et l'erreur de parallaxe. Une distribution rectangulaire est utilisée pour tous les autres facteurs de correction.

Pour l'écart D_{zero} , l'hypothèse est faite que la meilleure estimation est $0 \mu\text{Sv h}^{-1}$ et que l'incertitude normalisée est $0,25 \times H_0 = 0,05 \mu\text{Sv h}^{-1}$. Pour les écarts $D_{\text{EMC},1}$ à $D_{\text{EMC},7}$, D_{vibr} et D_{shock} , l'hypothèse est faite que la meilleure estimation est aussi $0 \mu\text{Sv h}^{-1}$ et l'incertitude normalisée est donnée par l'écart maximal permis et par le fait que l'intervalle des valeurs possibles est symétrique, incluant des valeurs négatives. Pour toutes ces grandeurs d'entrée, l'hypothèse d'une distribution rectangulaire est faite.

A.3.2 Degré faible de considération des conditions de mesure

Pour un degré faible de considération des conditions de mesure, l'hypothèse est faite que les domaines d'utilisation de l'instrument données ci-dessus dans l'article A.1 couvrent entièrement le champ de rayonnement à mesurer et les valeurs des grandeurs d'influence. Ces hypothèses conduisent à un facteur de correction de l'indication et à l'incertitude normalisée associée valides pour ces conditions de mesures non spécifiées. Les deux valeurs peuvent être fournies par le fabricant à partir des résultats de l'essai de type. Une meilleure spécification des conditions de mesure donnera le plus souvent une valeur différente du facteur de correction et une incertitude plus faible.

Dans le Tableau A.1, le budget de l'incertitude totale est donné pour une valeur indiquée de $g = 7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$. L'échelle de l'indication analogique est logarithmique de $0,1 \mu\text{Sv h}^{-1}$ à $100 \mu\text{Sv h}^{-1}$, voir l'Article A.1. Pour une indication de $7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$, la limite de la fluctuation statistique (voir CEI 60846:2002, Tableau 2) est donnée par $(16 - 7,5) \% = 8,5 \%$.

for the change in relative response. If this scale covers three orders of magnitude, then a factor of ten ($=10^1$) is equivalent to 33 % of the maximum angular deflection and 2 % of the maximum angular deflection is equivalent to a factor of $10^{2/33} = 1,15$ or 15 % change in relative response. This leads to a correction factor of $1,02 \pm 0,15$, see above.

A triangular distribution is assumed for the correction factor for intrinsic error, as it consists of two different components, the calibration factor and the non-linearity. In 5.3.5 a Gaussian distribution of the correction factor for the combined influence quantity 'radiation energy and direction of radiation incidence' is assumed. Only one of the arguments given there is valid for measurements of the ambient dose equivalent rate treated here, the argument b), saying that "The workplace fields, given for example, by the spectral distribution of the photons, are broader than the test fields used during the type test." There is a new argument that a portable instrument is turned until the maximum indication is given. Both arguments cause the correction factor to come closer to the centre of the interval, so a triangular distribution is adequate, because only two arguments are given, see also Note 1 to 5.4.4. For the correction factor for orientation of the analog instrument (geotropism) a Gaussian distribution is assumed, as this includes three influence quantities, the geotropism, the analog scale resolution and the reading parallax. For all other correction factors, a rectangular distribution is used.

For the deviation D_{zero} it is assumed that the best estimate is $0 \mu\text{Sv h}^{-1}$ and the standard uncertainty is $0,25 \times H_0 = 0,05 \mu\text{Sv h}^{-1}$. For the deviations $D_{\text{EMC},1}$ to $D_{\text{EMC},7}$, D_{vibr} and D_{shock} it is assumed that the best estimate is also $0 \mu\text{Sv h}^{-1}$ and the standard uncertainty is given by the maximum permitted deviation and that the interval of possible values is symmetrical including negative deviations. For all these input quantities, a rectangular distribution is assumed.

A.3.2 Low level of consideration of measuring conditions

For low level of consideration of measuring conditions, it is only assumed, that the rated ranges of the instrument given above in Clause A.1 totally cover the radiation field to be measured and the values of the influence quantities. These assumptions lead to a correction factor of the indication and to the associated uncertainty valid for these unspecified measuring conditions. Both values can be provided by the manufacturer from the results of the type test. A better specification of the measuring conditions will generally lead to a different value of the correction factor and to a smaller uncertainty.

In Table A.1, the complete uncertainty budget for an indicated value of $g = 7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ is given. The analog indication has a logarithmic scale from $0,1 \mu\text{Sv h}^{-1}$ to $100 \mu\text{Sv h}^{-1}$, see Clause A.1. For an indication of $7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ the limit of the statistical fluctuation (see IEC 60846:2002, Table 2) is given by $(16 - 7,5) \% = 8,5 \%$.

Tableau A.1 – Exemple d'un budget d'incertitude pour une mesure de débit de dose, en accord avec la CEI 60846:2002, avec un instrument ayant une échelle logarithmique et un degré faible de considération des conditions de mesure, voir le texte pour les détails

Grandeur	Meilleure estimation	Incrtitude normalisée	Distribution	Coefficient de sensibilité	Contribution de l'incertitude à la grandeur de sortie
K_{intr}	1,04	$0,21/\sqrt{6} = 0,086$	Triangulaire	$9,47 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,086 \times 9,47 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,814 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$K_{E, \varphi}$	1,19	$0,48/\sqrt{6} = 0,196$	Triangulaire	$8,28 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,196 \times 8,28 \mu\text{Sv h}^{-1} = 1,623 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{pow}	1,00	$0,05/\sqrt{3} = 0,029$	Rectangulaire	$9,85 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,029 \times 9,85 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,286 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{temp}	1,04	$0,21/\sqrt{3} = 0,121$	Rectangulaire	$9,47 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,121 \times 9,47 \mu\text{Sv h}^{-1} = 1,146 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{hum}	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,058$	Rectangulaire	$9,85 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,058 \times 9,85 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,571 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{press}	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,058$	Rectangulaire	$9,85 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,058 \times 9,85 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,571 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{geo}	1,02	$0,15/3 = 0,05$	Gaussienne	$9,66 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,05 \times 9,66 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,483 \mu\text{Sv h}^{-1}$
G	$7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,085 \times 7,5 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,638 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Gaussienne pour une lecture	1,31	$0,638 \mu\text{Sv h}^{-1} \times 1,31 = 0,836 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{zero}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,05 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,029 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-1,31	$0,029 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,038 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,2}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,3}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,4}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,5}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,6}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,7}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{vibr}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{shock}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$\dot{H}^*(10)$	$9,85 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$2,53 \mu\text{Sv h}^{-1} (25,7 \%)$			

Le résultat complet de la mesure du débit d'équivalent de dose ambiant pour le rayonnement photon en accord avec le Tableau A.1 est:

$$\dot{H}^*(10) = 9,9 \mu\text{Sv h}^{-1} \pm 5,1 \mu\text{Sv h}^{-1} \quad (\text{A.2})$$

Table A.1 – Example of an uncertainty budget for a dose rate measurement according to IEC 60846:2002 with an instrument having a logarithmic scale and low level of consideration of the measuring conditions, see text for details

Quantity	Best estimate	Standard uncertainty	Distribution	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution to output quantity
K_{intr}	1,04	$0,21/\sqrt{6} = 0,086$	Triangular	$9,47 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,086 \times 9,47 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,814 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$K_{E,\varphi}$	1,19	$0,48/\sqrt{6} = 0,196$	Triangular	$8,28 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,196 \times 8,28 \mu\text{Sv h}^{-1} = 1,623 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{pow}	1,00	$0,05/\sqrt{3} = 0,029$	Rectangular	$9,85 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,029 \times 9,85 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,286 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{temp}	1,04	$0,21/\sqrt{3} = 0,121$	Rectangular	$9,47 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,121 \times 9,47 \mu\text{Sv h}^{-1} = 1,146 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{hum}	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,058$	Rectangular	$9,85 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,058 \times 9,85 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,571 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{press}	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,058$	Rectangular	$9,85 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,058 \times 9,85 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,571 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{geo}	1,02	$0,15/3 = 0,05$	Gaussian	$9,66 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,05 \times 9,66 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,483 \mu\text{Sv h}^{-1}$
G	$7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,085 \times 7,5 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,638 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Gaussian with one reading	1,31	$0,638 \mu\text{Sv h}^{-1} \times 1,31 = 0,836 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{zero}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,05 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,029 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	– 1,31	$0,029 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,038 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	– 1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,2}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	– 1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,3}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	– 1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,4}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	– 1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,5}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	– 1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,6}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	– 1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,7}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	– 1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{vibr}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	– 1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{shock}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,7 \times 0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,081 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	– 1,31	$0,081 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,106 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$\dot{H}^*(10)$	$9,85 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$2,53 \mu\text{Sv h}^{-1} (25,7 \%)$			

The complete result of the measurement of the ambient dose equivalent rate for photon radiation according to Table A.1 is:

$$\dot{H}^*(10) = 9,9 \mu\text{Sv h}^{-1} \pm 5,1 \mu\text{Sv h}^{-1} \quad (\text{A.2})$$

L'incertitude étendue rapportée de la mesure est établie comme étant l'incertitude normalisée de la mesure multipliée par le facteur de couverture $k_{\text{cov}} = 2$, qui pour une distribution normale correspond à une probabilité proche de 95 %. L'incertitude normalisée de la mesure a été déterminée en accord avec le guide pour l'expression de l'incertitude de mesure.

Le facteur de correction pour les conditions de mesure non spécifiées pour la détermination de la meilleure estimation du débit de dose à mesurer est 1,31. Son écart élevé d'une unité est dû au fait que les limites de la réponse relative sont symétriques, ce qui mène à des limites non symétriques pour le facteur de correction; voir aussi 5.2 Note 1.

En utilisant les résultats réels de l'essai de type et les conditions réelles de mesure, le facteur de correction et l'incertitude peuvent être déterminés pour la mesure réelle. Le plus souvent, cela conduit à une incertitude bien plus faible. Cela est montré dans le paragraphe suivant.

A.3.3 Degré élevé de considération des conditions de mesure

Pour un haut degré de considération des conditions de mesure, l'hypothèse est faite que la tâche était de mesurer le rayonnement d'une source Co-60 derrière un blindage dans un immeuble. Ainsi, l'énergie était dans l'étendue de 300 keV à 1,3 MeV et l'angle d'incidence variant de 0° pour le rayonnement direct et 45° pour le rayonnement dispersé. Avec les résultats de l'essai de type, ceci mène à un facteur de correction $K_{E,\varphi}$ de 0,92 à 1,08, là encore avec l'hypothèse d'une distribution triangulaire. La température était 10 °C ± 1 °C soit un facteur de correction de $K_{\text{temp}} = 1,03 \pm 0,01$. L'humidité relative était 80 % ± 10 % soit un facteur de correction de $K_{\text{hum}} = 0,99 \pm 0,005$. L'alimentation électrique était à partir de batteries rechargées et la pression atmosphérique n'a pas d'influence sur la mesure, puisqu'il s'agit d'un tube GM, ainsi les deux facteurs de correction K_{pow} et K_{press} étaient l'unité et les incertitudes normalisées respectives peuvent être négligées. Pour le géotropisme (en incluant aussi la résolution de l'échelle analogique et l'erreur de parallaxe), la valeur de l'essai de type est 1 % de la déflexion angulaire maximale, ce qui est équivalent à un facteur de $10^{1/33} = 1,07$ or 7 % de variation de la réponse relative, et conduit à un facteur de correction de $1,0 \pm 0,07$; voir précédemment. La lecture de zéro D_{zero} était comme précédemment, voir A.3.2. Dans cet immeuble, les effets des champs électromagnétiques CEM peuvent être négligés et comme l'instrument est manipulé manuellement avec précaution, les effets des vibrations et chocs peuvent aussi être négligés.

Dans le Tableau A.2, le budget de l'incertitude totale est donné pour une valeur indiquée de $g = 7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$. Pour la valeur indiquée, le résultat de l'essai de type montre un facteur de correction de la non-linéarité de $0,96 \pm 0,01$ et le certificat d'étalonnage (et de réglage) donne un facteur de correction de $1,00 \pm 0,04$. Ces deux facteurs étaient combinés en un facteur de correction de l'erreur intrinsèque $K_{\text{intr}} = 0,96 \pm 0,041$. Les fluctuations statistiques (voir CEI 60846:2002, Tableau 2) pour cette valeur indiquée peuvent être interpolées à 6,5 %, à partir du résultat de l'essai de type.

Les considérations ci-dessus conduisent à un facteur de correction spécial de l'indication de 0,98 pour obtenir la meilleure estimation et donner l'incertitude spéciale de cette mesure. Les deux valeurs ne peuvent être déterminées que par l'utilisateur. La connaissance des conditions spéciales de mesure et des résultats de l'essai de type sont nécessaires pour cette détermination.

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by a coverage factor $k_{\text{cov}} = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with the guide to the expression of uncertainty.

The correction factor for unspecified measuring conditions for the determination of the best estimate of the dose rate to be measured is 1,31. Its large deviation from unity is due to the fact that the limits for the relative response are symmetrical leading to non-symmetrical limits for the correction factor, see also Note 1 to 5.2.

Using the actual results of the type test and the actual measuring conditions both, the correction factor and the uncertainty can be determined for the actual measurement. In general, this will lead to a much smaller uncertainty. This is shown in the next subclause.

A.3.3 High level of consideration of measuring conditions

For high level of consideration of measuring conditions, it is assumed that the task was to measure the radiation of a Co-60 source behind a shield inside a building. So the energy was in the range from 300 keV to 1,3 MeV and the angle of incidence varies from 0° for direct radiation to 45° for the stray radiation. With the results of the type test, this leads to a correction factor $K_{E,\phi}$ of 0,92 to 1,08, again with the assumption of a triangular distribution. The temperature was $10^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ leading to a correction factor of $K_{\text{temp}} = 1,03 \pm 0,01$. The relative humidity was $80\% \pm 10\%$ leading to a correction factor of $K_{\text{hum}} = 0,99 \pm 0,005$. Power supplies were fresh batteries and the atmospheric pressure has no influence on the measurement, as the detector is a GM-tube, so both correction factors K_{pow} and K_{press} were unity and the respective standard uncertainties can be neglected. For the geotropism (and included analog scale resolution and reading parallax) the value from the type test is 1 % of maximum angular deflection, which is equivalent to a factor of $10^{1/33} = 1,07$ or 7 % change in relative response, leading to a correction factor of $1,0 \pm 0,07$, see above. The zero reading D_{zero} was as before, see A.3.2. In that building, electromagnetic compatibility (EMC) effects can be neglected and as the instrument is carried carefully by hand, the effects of vibration and shock can also be neglected.

In Table A.2, the complete uncertainty budget for an indicated value of $g = 7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ is given. For that indicated value, the type test result shows a correction factor for non-linearity of $0,96 \pm 0,01$ and the calibration (and adjustment) certificate gives a respective correction factor of $1,00 \pm 0,04$. These two factors were combined to the correction factor for relative intrinsic error of $K_{\text{int}} = 0,96 \pm 0,041$. The statistical fluctuation (see IEC 60846:2002, Table 2) for that indicated value can be interpolated from the type test result to be 6,5 %.

The above considerations lead to a special correction factor of the indication of 0,98 to get the best estimate of the dose rate and give the special uncertainty for that measurement. Both values can only be determined by the user of the instrument. Required for this determination is the knowledge of the special measuring conditions and the results of the type test.

Tableau A.2 – Exemple d'un budget d'incertitude pour une mesure de débit de dose, en accord avec la CEI 60846:2002, avec un instrument ayant une échelle logarithmique et un degré élevé de considération des conditions de mesure, voir le texte pour les détails

Grandeur	Meilleure estimation	Incertitude normalisée	Distribution	Coefficient de sensibilité	Contribution de l'incertitude à la grandeur de sortie
K_{intr}	0,96	$0,041/\sqrt{6} = 0,017$	Triangulaire	$7,65 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,017 \times 7,65 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,130 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$K_{E,\varphi}$	1,00	$0,08/\sqrt{6} = 0,033$	Triangulaire	$7,34 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,033 \times 7,34 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,242 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{pow}	1,00	0	Rectangulaire	$7,34 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{temp}	1,03	$0,01/\sqrt{3} = 0,006$	Rectangulaire	$7,13 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,006 \times 7,13 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,043 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{hum}	0,99	$0,005/\sqrt{3} = 0,003$	Rectangulaire	$7,41 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,003 \times 7,41 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,022 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{press}	1,00	0	Rectangulaire	$7,34 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{geo}	1,00	$0,07/3 = 0,023$	Gaussienne	$7,34 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,023 \times 7,34 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,169 \mu\text{Sv h}^{-1}$
G	$7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,065 \times 7,5 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,488 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Gaussienne pour une lecture	0,98	$0,488 \mu\text{Sv h}^{-1} \times 0,98 = 0,478 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{zero}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,05 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,029 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-0,98	$0,029 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,038 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,2}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,3}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,4}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,5}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,6}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,7}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{vibr}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{shock}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangulaire	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$\dot{H}^*(10)$	$7,34 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,58 \mu\text{Sv h}^{-1} (7,9\%)$			

Le résultat complet de la mesure du débit d'équivalent de dose ambiant pour le rayonnement photon en accord avec le Tableau A.2 est:

$$\dot{H}^*(10) = 7,3 \mu\text{Sv h}^{-1} \pm 1,2 \mu\text{Sv h}^{-1} \quad (\text{A.3})$$

L'incertitude étendue rapportée de la mesure est établie comme étant l'incertitude normalisée de la mesure multipliée par le facteur de couverture $k_{cov} = 2$, qui pour une distribution normale correspond à une probabilité proche de 95 %. L'incertitude normalisée de la mesure a été déterminée en accord avec le guide pour l'expression de l'incertitude de mesure.

Les deux intervalles donnés par les équations (A.2) et (A.3) se recouvrent partiellement et donc, les résultats sont cohérents.

Table A.2 – Example of an uncertainty budget for a dose rate measurement according to IEC 60846:2002 with an instrument having a logarithmic scale and high level of consideration of the measuring conditions, see text for details

Quantity	Best estimate	Standard uncertainty	Distribution	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution to output quantity
K_{intr}	0,96	$0,041/\sqrt{6} = 0,017$	Triangular	$7,65 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,017 \times 7,65 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,130 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$K_{E,\varphi}$	1,00	$0,08/\sqrt{6} = 0,033$	Triangular	$7,34 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,033 \times 7,34 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,242 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{pow}	1,00	0	Rectangular	$7,34 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{temp}	1,03	$0,01/\sqrt{3} = 0,006$	Rectangular	$7,13 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,006 \times 7,13 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,043 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{hum}	0,99	$0,005/\sqrt{3} = 0,003$	Rectangular	$7,41 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,003 \times 7,41 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,022 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{press}	1,00	0	Rectangular	$7,34 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
K_{geo}	1,00	$0,07/3 = 0,023$	Gaussian	$7,34 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,023 \times 7,34 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,169 \mu\text{Sv h}^{-1}$
G	$7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,065 \times 7,5 \mu\text{Sv h}^{-1} = 0,488 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Gaussian with one reading	0,98	$0,488 \mu\text{Sv h}^{-1} \times 0,98 = 0,478 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{zero}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,05 \mu\text{Sv h}^{-1}/\sqrt{3} = 0,029 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	-0,98	$0,029 \mu\text{Sv h}^{-1} \times -1,31 = 0,038 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,2}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,3}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,4}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,5}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,6}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$D_{EMC,7}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{vibr}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
D_{shock}	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$	Rectangular	-0,98	$0 \mu\text{Sv h}^{-1}$
$\dot{H}^*(10)$	$7,34 \mu\text{Sv h}^{-1}$	$0,58 \mu\text{Sv h}^{-1}$ (7,9 %)			

The complete result of the measurement of the ambient dose equivalent rate for photon radiation according to Table A.2 is:

$$\dot{H}^*(10) = 7,3 \mu\text{Sv h}^{-1} \pm 1,2 \mu\text{Sv h}^{-1} \quad (\text{A.3})$$

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by a coverage factor $k_{cov} = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with the guide to the expression of uncertainty.

The two intervals given by equations (A.2) and (A.3) overlap, thus these results are consistent.

Annexe B (informative)

Exemple d'une analyse de l'incertitude pour une mesure avec un système de dosimétrie intégrée passive, en accord avec la série CEI 62387-1³

B.1 Généralités

La CEI 62387-1 a pour titre «Systèmes de dosimétrie intégrée passive pour la surveillance de l'environnement et la dosimétrie individuelle du corps entier pour les expositions externes aux rayonnements photon et bêta et utilisant des moyens électroniques pour l'évaluation des valeurs mesurées – Partie 1: Caractéristiques générales et exigences de performances des systèmes dosimétriques».

Pour cet exemple, un système de dosimétrie pour l'équivalent de dose individuel $H_p(10)$ pour le rayonnement photon est choisi et les gammes de mesures et domaines d'utilisation des grandeurs d'influence suivants:

Gamme de mesures:	$0,1 \text{ mSv} < H_p(10) < 1 \text{ Sv}$
Domaine d'utilisation	
Energie des photons:	$50 \text{ keV} \leq E_{ph} \leq 1,25 \text{ MeV}$
Angle d'incidence:	$0^\circ < \varphi < 60^\circ$
Le système de dosimétrie utilise un seul détecteur. En conséquence, la valeur indiquée est additive.	
Température, éclairage, durée:	domaines d'utilisation pour l'utilisation à l'extérieur, $(-10^\circ\text{C} \text{ à } +40^\circ\text{C})$, voir CEI 62387-1, Tableau 6.
Compatibilité électromagnétique (CEM):	domaine minimal d'utilisation, voir CEI 62387-1, Tableau 7.
Perturbations mécaniques:	étendue minimale de débit, voir CEI 62387-1, Tableau 8.

B.2 Fonction modèle

La fonction modèle utilisée pour l'exemple est:

$$H_p(10) = N_0 K_n K_{E,\varphi} K_{add} K_{env} [G - D_{EMC} - D_{mech}] \quad (\text{B.1})$$

où

$H_p(10)$	est l'équivalent de dose individuel en cours de mesure (valeur mesurée);
N_0	est le facteur d'étalonnage;
K_n	est le facteur de correction pour la non-linéarité;
$K_{E,\varphi}$	est le facteur de correction pour l'énergie et l'angle d'incidence des photons;
K_{add}	est le facteur de correction pour l'additivité;
K_{env}	est le facteur de correction pour les conditions environnementales;
G	est la valeur indiquée, la lecture du dosimètre en unités de $H_p(10)$;
D_{EMC}	est l'écart dû à toute la CEM;
D_{mech}	est l'écart dû à toutes les influence mécaniques.

³ A publier.

Annex B (informative)

Example of an uncertainty analysis for a measurement with a passive integrating dosimetry system according to IEC 62387-1³

B.1 General

IEC 62387-1 has the title “Passive integrating dosimetry systems for environmental and personal monitoring for external photon and beta radiation using electronic devices for the data evaluation – Part 1: General characteristics and performance requirements for dosimetry systems”.

For this example, a dosimetry system for the personal dose equivalent $H_p(10)$ for photon radiation is chosen and the following measuring range and rated ranges of influence quantities:

Measuring range: $0,1 \text{ mSv} < H_p(10) < 1 \text{ Sv}$

Rated ranges of use:

Photon energy: $50 \text{ keV} < E_{\text{ph}} < 1,25 \text{ MeV}$

Angle of incidence: $0^\circ < \varphi < 60^\circ$

The dosimetry systems uses only one detector. Therefore, the indicated value is additive.

Temperature, light, time: minimum rate ranges for outdoor use
(-10°C to $+40^\circ\text{C}$), see IEC 62387-1, Table 6.

Electromagnetic compatibility (EMC): minimum rate ranges, see IEC 62387-1, Table 7.

Mechanical disturbances: minimum rate ranges, see IEC 62387-1, Table 8.

B.2 Model function

The model function used for the example is:

$$H_p(10) = N_0 \cdot K_n \cdot K_{E,\varphi} \cdot K_{\text{add}} \cdot K_{\text{env}} [G - D_{\text{EMC}} - D_{\text{mech}}] \quad (\text{B.1})$$

where

$H_p(10)$ is the measuring quantity personal dose equivalent (measured value);

N_0 is the reference calibration factor;

K_n is the correction factor for non linearity;

$K_{E,\varphi}$ is the correction factor for photon energy and angle of incidence;

K_{add} is the correction factor for additivity;

K_{env} is the correction factor for environmental conditions;

G is the indicated value, reading of the dosimeter in units of $H_p(10)$;

D_{EMC} is the deviation due to all EMC;

D_{mech} is the deviation due to all mechanical influences.

³ To be published.

B.3 Calcul du résultat complet de la mesure (valeur mesurée et incertitude normalisée associée)

B.3.1 Généralités

La CEI 62387 ne donne pas d'exigences d'essai de type pour le facteur d'étalonnage de référence parce que cela ne peut pas être testé au cours de l'essai de type. Un système de dosimétrie est habituellement utilisé dans un service de dosimétrie avec une installation d'étalonnage de haute précision. Ainsi, l'hypothèse est faite de limites de $\pm 5\%$ avec une distribution triangulaire.

La CEI 62387 donne les valeurs maximales permises pour la réponse relative, qui est l'inverse du facteur de correction. Pour la plupart des grandeurs d'influence, ces valeurs maximales permises sont non symétriques et donnent des limites symétriques pour le facteur de correction. Seules sont données les grandeurs d'influence dont les limites de réponse relative sont dans des limites symétriques de $1 \pm 10\%$. Pour les limites de $\pm 10\%$ de la réponse relative et du facteur de correction, l'hypothèse est faite qu'elles sont identiques, voir 5.2 Note 1.

Pour les écarts D_{EMC} et D_{mech} , l'hypothèse est faite que la meilleure estimation est $0\ \mu\text{Sv}$ et que l'intervalle des valeurs possibles est symétrique et inclut des écarts négatifs. Pour toutes ces grandeurs d'entrée, une distribution gaussienne est l'hypothèse parce qu'elles sont combinées à partir de trois ou plus grandeurs d'influence indépendantes, voir 5.4.4 note 1.

B.3.2 Degré faible de considération des conditions de lieu d'exploitation

Pour un degré faible de considération des conditions du lieu d'exploitation, l'hypothèse est faite que les domaines d'utilisation de l'instrument donnés ci-dessus en B.1 couvrent entièrement le champ de rayonnement à mesurer et les valeurs des grandeurs d'influence. Ces hypothèses conduisent à un facteur de correction de l'indication et à l'incertitude normalisée associée valides pour ces conditions de mesures non spécifiées. Les deux valeurs peuvent être fournies par le fabricant à partir des résultats de l'essai de type. Une meilleure spécification des conditions de mesure donnera le plus souvent une valeur différente du facteur de correction et une incertitude plus faible.

Dans le Tableau B.1, le budget de l'incertitude totale pour une valeur indiquée de $g = 5\ \text{mSv}$ est donné.

Tableau B.1 – Exemple d'un budget d'incertitude pour la mesure de dose de photons avec un système de dosimétrie intégrée passive, en accord avec la CEI 62387-1 et un degré faible de considérations des conditions de lieu d'exploitation, voir le texte pour les détails

Grandeur	Meilleure estimation	Incertainitude normalisée absolue	Distribution	Coefficient de sensibilité	Contribution de l'incertitude à la grandeur de sortie
N_0	1,00	$0,05/\sqrt{6} = 0,020\ 4$	Triangulaire	5 mSv	$0,020\ 4 \times 5\ \text{mSv} = 0,102\ \text{mSv}$
K_n	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,057\ 7$	Rectangulaire	5 mSv	$0,057\ 7 \times 5\ \text{mSv} = 0,289\ \text{mSv}$
$K_{E\varphi}$	1,00	$0,40/3 = 0,133$	Gaussienne	5 mSv	$0,133 \times 5\ \text{mSv} = 0,667\ \text{mSv}$
K_{add}	1,00	0	Rectangulaire	5 mSv	0,0 mSv
K_{env}	1,00	$0,20/3 = 0,066\ 7$	Gaussienne	5 mSv	$0,066\ 7 \times 5\ \text{mSv} = 0,333\ \text{mSv}$
G	5 mSv	$0,05 \times 5\ \text{mSv} = 0,25\ \text{mSv}$	Gaussienne pour une lecture	1,00	$0,25\ \text{mSv} \times 1,00 = 0,25\ \text{mSv}$
D_{EMC}	0 μSv	$1,1 \times 0,1\ \text{mSv}/3 = 0,036\ 7\ \text{mSv}$	Gaussienne	-1,00	$0,037\ \text{mSv} \times -1,0 = 0,037\ \text{mSv}$
D_{mech}	0 μSv	$0,8 \times 0,1\ \text{mSv}/3 = 0,026\ 7\ \text{mSv}$	Gaussienne	-1,00	$0,027\ \text{mSv} \times -1,0 = 0,027\ \text{mSv}$
$H_p(10)$	5 mSv	0,845 mSv (16,9 %)			

B.3 Calculation of the complete result of the measurement (measured value and associated standard uncertainty)

B.3.1 General

IEC 62387 gives no type test requirements for the reference calibration factor because this cannot be tested in a type test. A dosimetry system is usually used in a dosimetry service with a high precision calibration facility. Therefore, limits of $\pm 5\%$ with a triangular distribution are assumed.

IEC 62387 gives maximum permissible values for the relative response, which is the inverse of the correction factor. For most of the influence quantities, these maximum permissible values are non-symmetrical to give symmetrical limits for the correction factor. Only for influence quantities whose limits of the relative responses are within $1 (\pm 10)\%$ symmetrical limits are given. For these limits of $\pm 10\%$ the limits for the relative response and the correction factor are assumed to be identical, see Note 1 to 5.2.

For the deviations D_{EMC} and D_{mech} it is assumed, that the best estimate is $0 \mu\text{Sv}$ and the interval of possible values is symmetrical including negative deviations. For all these input quantities, a Gaussian distribution is assumed because they are combined from three or more independent influence quantities, see Note 1 to 5.4.4.

B.3.2 Low level of consideration of workplace conditions

For low level of consideration of workplace conditions, it is only assumed that the rated ranges of the instrument given above in B.1 totally cover the radiation field to be measured and the values of the influence quantities. These assumptions lead to a correction factor of the indication and to the associated uncertainty valid for these unspecified measuring conditions. Both values can be provided by the manufacturer from the results of the type test. A better specification of the measuring conditions will generally lead to a different value of the correction factor and to a smaller uncertainty.

In Table B.1, the complete uncertainty budget for an indicated value of $g = 5 \text{ mSv}$ is given.

Table B.1 – Example of an uncertainty budget for a photon dose measurement with a passive dosimetry system according to IEC 62387-1 and low level of consideration of the workplace conditions, see text for details

Quantity	Best estimate	Absolute standard uncertainty	Distribution	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution to output quantity
N_0	1,00	$0,05/\sqrt{6} = 0,020\ 4$	Triangular	5 mSv	$0,020\ 4 \times 5 \text{ mSv} = 0,102 \text{ mSv}$
K_n	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,057\ 7$	Rectangular	5 mSv	$0,057\ 7 \times 5 \text{ mSv} = 0,289 \text{ mSv}$
$K_{E\varphi}$	1,00	$0,40/3 = 0,133$	Gaussian	5 mSv	$0,133 \times 5 \text{ mSv} = 0,667 \text{ mSv}$
K_{add}	1,00	0	Rectangular	5 mSv	0,0 mSv
K_{env}	1,00	$0,20/3 = 0,066\ 7$	Gaussian	5 mSv	$0,066\ 7 \times 5 \text{ mSv} = 0,333 \text{ mSv}$
G	5 mSv	$0,05 \times 5 \text{ mSv} = 0,25 \text{ mSv}$	Gaussian with one reading	1,00	$0,25 \text{ mSv} \times 1,00 = 0,25 \text{ mSv}$
D_{EMC}	$0 \mu\text{Sv}$	$1,1 \times 0,1 \text{ mSv} / 3 = 0,036\ 7 \text{ mSv}$	Gaussian	– 1,00	$0,037 \text{ mSv} \times -1,0 = 0,037 \text{ mSv}$
D_{mech}	$0 \mu\text{Sv}$	$0,8 \times 0,1 \text{ mSv} / 3 = 0,026\ 7 \text{ mSv}$	Gaussian	– 1,00	$0,027 \text{ mSv} \times -1,0 = 0,027 \text{ mSv}$
$H_p(10)$	5 mSv	0,845 mSv (16,9 %)			

Le résultat complet de la mesure d'équivalent de dose individuel pour le rayonnement photon en accord avec le Tableau B.1 est:

$$H_p(10) = 5,0 \text{ mSv} \pm 1,7 \text{ mSv} \quad (\text{B.2})$$

L'incertitude étendue rapportée de la mesure est établie comme étant l'incertitude normalisée de la mesure multipliée par le facteur de couverture $k_{\text{cov}} = 2$, qui pour une distribution normale correspond à une probabilité proche de 95 %. L'incertitude normalisée de la mesure a été déterminée en accord avec le guide pour l'expression de l'incertitude de mesure.

Autrement dit: La valeur du mesurande (valeur vraie) est très probablement entre 3,3 mSv et 6,7 mSv. Comme la valeur indiquée est 5 mSv, ce résultat est une réponse entre $5 \text{ mSv}/6,7 \text{ mSv} = 0,75$ et $5 \text{ mSv}/3,3 \text{ mSv} = 1,52$. Cette approximation remplit l'exigence de la publication 75 ICRP établie au paragraphe 251: «L'incertitude globale avec un niveau de confiance de 95 % dans l'estimation de la dose effective autour de la limite de dose pertinente peut être un facteur de 1,5 dans chaque direction pour les photons...» comme cela est rappelé dans l'introduction de la CEI 62387-1.

Cet exemple illustre deux améliorations apportées par la CEI 62387-1 comparée à la CEI 60846:2002 et à la CEI 61526:2005, pour lesquelles des exemples sont donnés en Annexes A et C.

- La limitation non symétrique des réponses relatives résultant dans des limitations symétriques pour le facteur de correction assure que la valeur indiquée par l'appareil (ici le système de dosimétrie) est équivalente à la valeur mesurée. Ceci est différent pour les exemples des Annexes A et C.
- L'exigence combinée pour plusieurs grandeurs d'influence (par exemple, une addition pour la CEM au lieu de huit) réduit l'analyse de l'incertitude et ainsi donne un budget d'incertitude plus concis.

B.3.3 Degré élevé de considération des conditions du lieu d'exploitation

Pour un degré élevé de considération des conditions du lieu d'exploitation, l'hypothèse est faite que le lieu d'exploitation était un site d'essai pour tubes de rayons X avec des tensions de fonctionnement entre 100 kV et 200 kV produisant en moyenne des énergies de photons entre 70 keV et 150 keV. Après considération de la variation du spectre et les différents angles d'incidence de rayonnement dans ce lieu d'exploitation, les limites de $K_{E,\varphi}$ sont supposées être 1,02 et 1,14, ce qui conduit à $K_{E,\varphi} = 1,08 \pm 0,06$. Là encore, l'hypothèse d'une distribution gaussienne est justifiée (voir précédemment).

La température était $22^\circ\text{C} \pm 6^\circ\text{C}$ soit un facteur de correction de $K_{\text{env}} = 1,02 \pm 0,04$. Comme l'essai de type l'a montré aucun effet dû à la CEM et aux influences mécaniques, D_{EMC} et D_{mech} sont supposés être égaux à zéro, de même que leurs incertitudes.

Dans le Tableau B.2, le budget de l'incertitude totale est donné pour une valeur indiquée de $g = 5 \text{ mSv}$. Pour la valeur indiquée, le résultat de l'essai de type montre un facteur de correction pour la non-linéarité de $K_n = 0,97 \pm 0,05$. Les fluctuations statistiques mesurées (voir CEI 62387-1, Tableau 3) pour cette valeur indiquée peuvent être fixées à 2,5 % par interpolation à partir du résultat de l'essai de type.

The complete result of the measurement of the personal dose equivalent for photon radiation according to Table B.1 is:

$$H_p(10) = 5,0 \text{ mSv} \pm 1,7 \text{ mSv} \quad (\text{B.2})$$

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by a coverage factor $k_{\text{cov}} = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with the guide to the expression of uncertainty.

In other words: The value of the measurand (true value) is very likely in the range between 3,3 mSv and 6,7 mSv. As the indicated value is 5 mSv, this results in a response between $5 \text{ mSv} / 6,7 \text{ mSv} = 0,75$ and $5 \text{ mSv} / 3,3 \text{ mSv} = 1,52$. This roughly fulfils the requirement of the ICRP publication 75 stating in paragraph 251: "The overall uncertainty at the 95 % confidence level in the estimation of effective dose around the relevant dose limit may well be a factor of 1,5 in either direction for photons..." as claimed in the introduction of IEC 62387-1.

This example shows two improvements of IEC 62387-1 (CDV) compared to IEC 60846:2002 and IEC 61526:2005, for which examples are given in Annexes A and C:

- The non-symmetrical limitation of relative responses resulting in symmetrical limitations of correction factors assures that the value indicated by the device (here dosimetry system) is equivalent to the measured value. This is different for the examples of Annexes A and C.
- The combined requirement for several influence quantities (for example, one additional for EMC instead of eight) shortens the uncertainty analysis and thus makes the uncertainty budget more concise.

B.3.3 High level of consideration of workplace conditions

For a high level of consideration of workplace conditions, it is assumed that the workplace was in a test facility for X-ray tubes with operating voltages between 100 kV and 200 kV resulting in mean photon energies between 70 keV and 150 keV. Considering the variation of the spectrum and the different angles of radiation incidence at this real workplace, the limits of $K_{E,\varphi}$ are assumed as 1,02 and 1,14, leading to $K_{E,\varphi} = 1,08 \pm 0,06$. Again the assumption of a Gaussian distribution is justified, see above.

The temperature was $22^\circ\text{C} \pm 6^\circ\text{C}$ leading to a correction factor of $K_{\text{env}} = 1,02 \pm 0,04$. As the type test showed no effect due to EMC and mechanical influences, D_{EMC} and D_{mech} are assumed to be zero as well as their uncertainties.

In Table B.2, the complete uncertainty budget for an indicated value of $g = 5 \text{ mSv}$ is given. For that indicated value the type test result shows a correction factor for non-linearity of $K_n = 0,97 \pm 0,05$. The measured statistical fluctuation (see IEC 62387-1, Table 3) for that indicated value can be interpolated from the type test result to be 2,5 %.

Tableau B.2 – Exemple d'un budget d'incertitude pour la mesure de dose de photons avec un système de dosimétrie intégrée passive, en accord avec la CEI 62387-1 et un degré élevé de considérations des conditions de mesure, voir le texte pour les détails

Grandeur	Meilleure estimation	Incertitude normalisée absolue	Distribution	Coefficient de sensibilité	Contribution de l'incertitude à la grandeur de sortie
N_0	1,00	$0,05/\sqrt{6} = 0,020$	Triangulaire	5,34 mSv	$0,020 \times 5,34 \text{ mSv} = 0,109 \text{ mSv}$
K_n	0,97	$0,05/\sqrt{3} = 0,029$	Rectangulaire	5,51 mSv	$0,029 \times 5,51 \text{ mSv} = 0,159 \text{ mSv}$
$K_{E,\varphi}$	1,08	$0,06/3 = 0,020$	Gaussienne	4,95 mSv	$0,020 \times 4,95 \text{ mSv} = 0,099 \text{ mSv}$
K_{env}	1,02	$0,04/\sqrt{3} = 0,023$	Rectangulaire	5,24 mSv	$0,023 \times 5,24 \text{ mSv} = 0,121 \text{ mSv}$
G	5 mSv	$0,025 \times 5 \text{ mSv} = 0,125 \text{ mSv}$	Gaussienne pour une lecture	1,07	$0,125 \text{ mSv} \times 1,07 = 0,134 \text{ mSv}$
D_{EMC}	0 mSv	0 mSv	Rectangulaire	0	0 mSv
D_{mech}	0 mSv	0 mSv	Rectangulaire	0	0 mSv
$H_p(10)$	5,34 mSv	0,282 mSv (5,3 %)			

Les considérations ci-dessus conduisent à un facteur de correction spécial de l'indication de 1,068 pour obtenir la meilleure estimation de la dose et donner l'incertitude spéciale de cette mesure. Les deux valeurs ne peuvent être déterminées que par l'utilisateur. La connaissance des conditions spéciales de mesure ou du lieu d'exploitation et des résultats de l'essai de type sont nécessaires pour cette détermination.

Le résultat complet de la mesure d'équivalent de dose individuel pour le rayonnement photon en accord avec le Tableau B.2 est:

$$H_p(10) = 5,3 \text{ mSv} \pm 0,6 \text{ mSv} \quad (\text{B.3})$$

L'incertitude étendue rapportée de la mesure est établie comme étant l'incertitude normalisée de la mesure multipliée par le facteur de couverture $k_{cov} = 2$, qui pour une distribution normale correspond à une probabilité proche de 95 %. L'incertitude normalisée de la mesure a été déterminée en accord avec le guide pour l'expression de l'incertitude de mesure.

Les deux intervalles donnés par les équations (B.2) et (B.3) se recouvrent partiellement, ainsi ces résultats sont cohérents.

Table B.2 – Example of an uncertainty budget for a photon dose measurement with a passive dosimetry system according to IEC 62387-1 and high level of consideration of the measuring conditions, see text for details

Quantity	Best estimate	Absolute standard uncertainty	Distribution	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution to output quantity
N_0	1,00	$0,05/\sqrt{6} = 0,020$	Triangular	5,34 mSv	$0,020 \times 5,34 \text{ mSv} = 0,109 \text{ mSv}$
K_n	0,97	$0,05/\sqrt{3} = 0,029$	Rectangular	5,51 mSv	$0,029 \times 5,51 \text{ mSv} = 0,159 \text{ mSv}$
$K_{E,\varphi}$	1,08	$0,06/3 = 0,020$	Gaussian	4,95 mSv	$0,020 \times 4,95 \text{ mSv} = 0,099 \text{ mSv}$
K_{env}	1,02	$0,04/\sqrt{3} = 0,023$	Rectangular	5,24 mSv	$0,023 \times 5,24 \text{ mSv} = 0,121 \text{ mSv}$
G	5 mSv	$0,025 \times 5 \text{ mSv} = 0,125 \text{ mSv}$	Gaussian with one reading	1,07	$0,125 \text{ mSv} \times 1,07 = 0,134 \text{ mSv}$
D_{EMC}	0 mSv	0 mSv	Rectangular	0	0 mSv
D_{mech}	0 mSv	0 mSv	Rectangular	0	0 mSv
$H_p(10)$	5,34 mSv	0,282 mSv (5,3 %)			

The above considerations lead to a special correction factor of the indication of 1,068 to get the best estimate of the dose and give the special uncertainty for that measurement. Both values can only be determined by the user of the instrument. Required for this determination is the knowledge of the special measuring conditions or workplace conditions and the results of the type test.

The complete result of the measurement of the personal dose equivalent for photon radiation according to Table B.2 is:

$$H_p(10) = 5,3 \text{ mSv} \pm 0,6 \text{ mSv} \quad (\text{B.3})$$

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by a coverage factor $k_{\text{cov}} = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with the guide to the expression of uncertainty.

The two intervals given by equations (B.2) and (B.3) overlap, thus these results are consistent.

Annexe C (informative)

Exemple d'une analyse de l'incertitude pour une mesure avec un dosimètre électronique mesurant directement le débit d'équivalent de dose neutron en accord avec la CEI 61526:2005

C.1 Généralités

La CEI 61526:2005 a pour titre «Instrumentation pour la radioprotection – Mesure des équivalents de dose individuels $H_p(10)$ and $H_p(0,07)$ pour les rayonnements X, gamma, neutron et bêta – Appareils de mesure à lecture directe et moniteurs de l'équivalent de dose individuel».

Pour l'exemple donné, un dosimètre électronique à affichage digital, pour l'équivalent de dose individuel $H_p(10)$ pour le rayonnement neutron est choisi et les gammes de mesures et domaines d'utilisation des grandeurs d'influence sont:

Gamme de mesures:	$10 \mu\text{Sv} < H_p(10) < 1 \text{ Sv}$
Domaine d'utilisation	
Débit de dose	$0,5 \mu\text{Sv h}^{-1} \leq \dot{H}_p(10) \leq 1 \text{ Sv h}^{-1}$
Energie des neutrons:	$0,025 \text{ eV} \leq E_n \leq 15 \text{ MeV}$
Angle d'incidence:	$0^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$
Puissance, température, humidité, pression:	domaine minimal d'utilisation, voir CEI 61526:2005, Tableau 6.
Compatibilité électromagnétique (CEM):	domaine minimal d'utilisation, voir CEI 61526:2005, Tableau 7.
Perturbations mécaniques:	étendue minimale de débit, voir CEI 61526:2005, Tableau 8.

Le dosimètre est utilisé sur une durée de travail de 6 h.

C.2 Fonction modèle

La fonction modèle utilisée pour l'exemple est:

$$H_p(10) = N_0 K_n K_{E,\varphi} K_{dr} K_{pow} K_{temp} K_{hum} K_{press} \times [G - D_{EMC,1} - D_{EMC,2} - D_{EMC,3} - D_{EMC,4} - D_{EMC,5} - D_{EMC,6} - D_{EMC,7} - D_{EMC,8} - D_{drop} - D_{vibr} - D_{micro}] \quad (C.1)$$

où

$H_p(10)$	est l'équivalent de dose individuel en cours de mesure (valeur mesurée);
N_0	est le facteur d'étalonnage;
K_n	est le facteur de correction pour la non-linéarité;
$K_{E,\varphi}$	est le facteur de correction pour l'énergie et l'angle d'incidence des neutrons;
K_{dr}	est le facteur de correction pour la dépendance du débit de dose vis-à-vis des mesures de dose;
K_{pow}	est le facteur de correction pour l'alimentation électrique;
K_{temp}	est le facteur de correction pour la température ambiante;
K_{hum}	est le facteur de correction pour l'humidité relative;
K_{press}	est le facteur de correction pour la pression atmosphérique;

Annex C (informative)

Example of an uncertainty analysis for a measurement with an electronic direct reading neutron personal dose equivalent meter according to IEC 61526:2005

C.1 General

IEC 61526:2005 has the title “Radiation protection instrumentation – Measurement of personal dose equivalents $H_p(10)$ and $H_p(0,07)$ for X, gamma, neutron and beta radiations – Direct reading personal dose equivalent meters and monitors”.

For the example, an electronic dosimeter with digital display for the personal dose equivalent $H_p(10)$ for neutron radiation is chosen, which has the following measuring range and rated ranges of use for influence quantities:

Measuring range:	$10 \mu\text{Sv} \leq H_p(10) \leq 1 \text{ Sv}$
Rated ranges of use:	
Dose rate:	$0,5 \mu\text{Sv h}^{-1} \leq \dot{H}_p(10) \leq 1 \text{ Sv h}^{-1}$
Neutron energy:	$0,025 \text{ eV} \leq E_n \leq 15 \text{ MeV}$
Angle of incidence:	$0^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$
Power, temperature, humidity, pressure:	minimum rate ranges, see IEC 61526:2005, Table 6.
Electromagnetic compatibility (EMC):	minimum rate ranges, see IEC 61526:2005, Table 7.
Mechanical disturbances:	minimum rate ranges, see IEC 61526:2005, Table 8.

The dosimeter is used for a 6 h period of work.

C.2 Model function

The model function used for the example is:

$$H_p(10) = N_0 K_n K_{E,\varphi} K_{dr} K_{pow} K_{temp} K_{hum} K_{press} \times [G - D_{EMC,1} - D_{EMC,2} - D_{EMC,3} - D_{EMC,4} - D_{EMC,5} - D_{EMC,6} - D_{EMC,7} - D_{EMC,8} - D_{drop} - D_{vibr} - D_{micro}] \quad (C.1)$$

where

$H_p(10)$	is the measuring quantity personal dose equivalent (measured value);
N_0	is the reference calibration factor;
K_n	is the correction factor for non-linearity;
$K_{E,\varphi}$	is the correction factor for neutron energy and angle of incidence;
K_{dr}	is the correction factor for dose rate dependence of dose measurements;
K_{pow}	is the correction factor for power supplies;
K_{temp}	is the correction factor for ambient temperature;
K_{hum}	is the correction factor for relative humidity;
K_{press}	is the correction factor for atmospheric pressure;

G	est la valeur indiquée, la lecture du dosimètre en unités de $H_p(10)$;
$D_{EMC,1}$	est l'écart dû à la CEM provoquée par les décharges électrostatiques;
$D_{EMC,2}$	est l'écart dû à la CEM provoquée par les champs électromagnétiques;
$D_{EMC,3}$	est l'écart dû à la CEM provoquée par les champs électromagnétiques des téléphones mobiles;
$D_{EMC,4}$	est l'écart dû à la CEM des perturbations conduites (transitoires rapides en salves);
$D_{EMC,5}$	est l'écart dû à la CEM provoquée par les perturbations conduites (surtensions);
$D_{EMC,6}$	est l'écart dû à la CEM des perturbations conduites (radiofréquences);
$D_{EMC,7}$	est l'écart dû au champ magnétique (50 Hz/60 Hz);
$D_{EMC,8}$	est l'écart dû aux creux de tension/coupures brèves;
D_{drop}	est l'écart dû aux chocs en surface;
D_{vibr}	est l'écart dû aux vibrations;
D_{micro}	est l'écart dû à la microphonie.

NOTE Dans la CEI 61526:2005, l'écart est appelé indication complémentaire.

C.3 Calcul du résultat complet de la mesure (valeur mesurée et incertitude normalisée associée)

C.3.1 Généralités

La CEI 61526 ne donne pas d'exigences d'essai de type pour le facteur d'étalonnage de référence parce que cela ne peut pas être testé au cours de l'essai de type. Ce ne peut être que l'objet d'un essai individuel. Ainsi, l'hypothèse est faite de limites de $\pm 10\%$ avec une distribution triangulaire; voir 5.4.2.

La CEI 61526 donne les valeurs maximales permises pour la réponse relative, qui est l'inverse du facteur de correction. Pour la grandeur combinée «énergie et angle d'incidence du rayonnement» ces valeurs maximales permises ($1,0 (-35\%)$ to $1,0 (+125\%)$) sont non symétriques et donnent des limites symétriques pour le facteur de correction $K_{E,\varphi}$ de $1,0 \pm 0,55$, voir Tableau 5 de la CEI 61526:2005. Pour ce facteur de correction, l'hypothèse d'une distribution gaussienne est faite, voir 5.3.5.2. Toutes les autres grandeurs d'influence ont des limites symétriques pour la réponse relative, ce qui conduit à des limites dissymétriques pour le facteur de correction, voir aussi 5.2 Note 1. Ces valeurs de limites symétriques pour la réponse relative sont 0,8 et 1,2 ($1,0 (\pm 20\%)$) pour l'intervalle le plus grand, soit les limites respectives du facteur de correction de 0,83 et 1,25 ($1,0 (-17\%)$ to $1,0 (+25\%)$). Pour l'application du GUM, des limites symétriques sont exigées pour les valeurs possibles autour de la meilleure estimation, voir 5.4.2. La solution la plus aisée est de faire l'hypothèse d'un facteur de correction de 1,04 dans la partie centrale de l'intervalle ci-dessus, voir l'équation (10). Ceci conduit à un intervalle des valeurs possibles du facteur de correction de $1,04 \pm 0,21$. En accord avec 5.4.2, cela donne $a = 0,21$ pour ce facteur de correction. Cette approche est aussi utilisée dans le cas de limites non symétriques de la réponse relative de $1,0 \pm 15\%$, soit un intervalle des valeurs possibles du facteur de correction de $1,02 \pm 0,15$. Pour des limites de $\pm 10\%$ ou moins, les limites de la réponse relative et du facteur de correction sont supposées être identiques, voir 5.2 note 1.

NOTE Dans le cas du rayonnement neutron, pour la grandeur d'influence combinée «énergie et angle d'incidence du rayonnement» des limites élargies spécialement s'appliquent au domaine d'utilisation minimale de l'énergie et 100 keV. Ces élargissements sont ici négligés.

Pour les écarts $D_{EMC,1}$ à $D_{EMC,8}$ et D_{drop} , D_{vibr} et D_{micro} , l'hypothèse est faite que la meilleure estimation est $0\ \mu\text{Sv}$ et que l'intervalle des valeurs possibles est symétrique et inclut des écarts négatifs. $D_{EMC,3}$ est une exception dans les cas d'un degré élevé de considération des conditions du lieu d'exploitation pour lesquels une valeur non nulle est l'hypothèse. Pour toutes ces grandeurs d'entrée, l'hypothèse d'une distribution rectangulaire est faite.

G	is the indicated value, reading of the dosimeter in units of $H_p(10)$;
$D_{\text{EMC},1}$	is the deviation due to EMC by electrostatic discharge;
$D_{\text{EMC},2}$	is the deviation due to EMC by radiated electromagnetic fields;
$D_{\text{EMC},3}$	is the deviation due to EMC by radiated electromagnetic fields of mobile phones;
$D_{\text{EMC},4}$	is the deviation due to EMC by conducted disturbances (fast transients/bursts);
$D_{\text{EMC},5}$	is the deviation due to EMC by conducted disturbances (surges);
$D_{\text{EMC},6}$	is the deviation due to EMC by conducted disturbances (radiofrequencies);
$D_{\text{EMC},7}$	is the deviation due to magnetic field (50 Hz/60 Hz);
$D_{\text{EMC},8}$	is the deviation due to voltage dips/short interruptions;
D_{drop}	is the deviation due to drop on surface;
D_{vibr}	is the deviation due to vibration;
D_{micro}	is the deviation due to microphonics.

NOTE In IEC 61526:2005 the deviation is called additional indication.

C.3 Calculation of the complete result of the measurement (measured value and associated standard uncertainty)

C.3.1 General

IEC 61526 gives no type test requirements for the reference calibration factor because this cannot be tested in a type test, it can only be tested in a routine test. Therefore, limits of $\pm 10\%$ with a triangular distribution are assumed, see 5.4.2.

IEC 61526 gives maximum permissible values for the relative response, which is the inverse of the correction factor. For the combined influence quantity "radiation energy and direction of radiation incidence" these maximum permissible values (1,0 (– 35 %) to 1,0 (+ 125 %)) are non-symmetrical to give symmetrical limits for the correction factor $K_{E,\phi}$ of $1,0 \pm 0,55$, see Table 5 in IEC 61526:2005. For this correction factor, a Gaussian probability density distribution is assumed, see 5.3.5.2. All the other influence quantities have symmetrical limits for the relative response leading to non-symmetrical limits for the correction factor, see also Note 1 to 5.2. The values of the symmetrical limits for the relative response are 0,8 and 1,2 ($1,0 \pm 20\%$) for the largest interval leading to respective limits of the correction factor of 0,83 and 1,25 (1,0 (– 17 %) to 1,0 (+ 25 %)). For the application of the GUM, symmetrical limits of the possible values around the best estimate are required, see 5.4.2. The easiest solution is to assume a best estimate of the correction factor of 1,04 in the middle of the above interval, see equation (10). This leads to an interval for the possible values of the respective correction factor of $1,04 \pm 0,21$. According to 5.4.2, this gives $a = 0,21$ for that correction factor. This approach is also used in case of non-symmetrical limits of the relative response of $1,0 \pm 15\%$, leading to an interval for the possible values of the respective correction factor of $1,02 \pm 0,15$. For limits of $\pm 10\%$ or less, the limits for the relative response and the correction factor are assumed to be identical, see Note 1 to 5.2.

NOTE For neutron radiation for the combined influence quantity "radiation energy and direction of radiation incidence" specially enlarged limits apply for the energy range between the minimum energy of the rated range and 100 keV. These enlargements are neglected here.

For the deviations $D_{\text{EMC},1}$ to $D_{\text{EMC},8}$ and D_{drop} , D_{vibr} and D_{micro} , it is assumed, that the best estimate is $0\mu\text{Sv}$ and the interval of possible values is symmetrical including negative deviations. An exception is $D_{\text{EMC},3}$ in case of high level of consideration of workplace conditions, where a non-zero value is assumed. For all these input quantities, a rectangular distribution is assumed.

C.3.2 Degré faible de considération des conditions du lieu d'exploitation

Pour un degré faible de considération des conditions du lieu d'exploitation, l'hypothèse est faite que les domaines d'utilisation de l'instrument donnés ci-dessus en C.1 couvrent entièrement le champ de rayonnement à mesurer et les valeurs des grandeurs d'influence. Ces hypothèses conduisent à un facteur de correction de l'indication et à l'incertitude normalisée associée valides pour ces conditions du lieu d'exploitation non spécifiées. Les deux valeurs peuvent être fournies par le fabricant à partir des résultats de l'essai de type. Une meilleure spécification des conditions de mesure donnera le plus souvent une valeur différente du facteur de correction et une incertitude plus faible.

Dans le Tableau C.1, le budget de l'incertitude totale est donné pour une valeur indiquée de $g = 500 \mu\text{Sv}$. Pour une indication de $500 \mu\text{Sv}$, la limite de la fluctuation statistique (voir CEI 61526:2005, Tableau 5) pour les rayonnements neutron est donnée par $(16-5) \% = 11 \%$.

Tableau C.1 – Exemple d'un budget d'incertitude pour la mesure de dose de neutrons, en accord avec la CEI 61526:2005 et un degré faible de considérations des conditions de lieu d'exploitation, voir le texte pour les détails

Grandeur	Meilleure estimation	Incertaince normalisée absolue	Distribution	Coefficient de sensibilité	Contribution de l'incertitude à la grandeur de sortie
N_0	1,00	$0,10/\sqrt{6} = 0,041$	Triangulaire	541 μSv	$0,041 \times 541 \mu\text{Sv} = 22,2 \mu\text{Sv}$
K_n	1,02	$0,15/\sqrt{3} = 0,087$	Rectangulaire	530 μSv	$0,087 \times 530 \mu\text{Sv} = 46,1 \mu\text{Sv}$
$K_{E,\varphi}$	1,00	$0,55/3 = 0,183$	Gaussienne	541 μSv	$0,183 \times 541 \mu\text{Sv} = 99,0 \mu\text{Sv}$
K_{dr}	1,04	$0,21/\sqrt{3} = 0,121$	Rectangulaire	520 μSv	$0,121 \times 520 \mu\text{Sv} = 62,9 \mu\text{Sv}$
K_{pow}	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,058$	Rectangulaire	541 μSv	$0,058 \times 541 \mu\text{Sv} = 31,4 \mu\text{Sv}$
K_{temp}	1,02	$0,15/\sqrt{3} = 0,087$	Rectangulaire	530 μSv	$0,087 \times 530 \mu\text{Sv} = 46,1 \mu\text{Sv}$
K_{hum}	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,058$	Rectangulaire	541 μSv	$0,058 \times 541 \mu\text{Sv} = 31,4 \mu\text{Sv}$
K_{press}	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,058$	Rectangulaire	541 μSv	$0,058 \times 541 \mu\text{Sv} = 31,4 \mu\text{Sv}$
G	500 μSv	$0,11 \times 500 \mu\text{Sv} = 55 \mu\text{Sv}$	Gaussienne pour une lecture	1,08	$55 \mu\text{Sv} \times 1,08 = 59,4 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,1}$	0 μSv	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,2}$	0 μSv	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,3}$	0 μSv	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,4}$	0 μSv	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,5}$	0 μSv	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,6}$	0 μSv	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,7}$	0 μSv	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,8}$	0 μSv	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
D_{drop}	0 μSv	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
D_{vibr}	0 μSv	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
D_{micro}	0 μSv	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$H_p(10)$	541 μSv	158,7 μSv (29,2 %)			

C.3.2 Low level of consideration of workplace conditions

For low level of consideration of workplace conditions, it is only assumed, that the rated ranges of the instrument given above in Clause C.1 totally cover the radiation field to be measured and the values of the influence quantities. These assumptions lead to a correction factor of the indication and to the associated uncertainty valid for these unspecified workplace conditions. Both values can be provided by the manufacturer from the results of the type test. A better specification of the measuring conditions will generally lead to a different value of the correction factor and to a smaller uncertainty.

In Table C.1, the complete uncertainty budget for an indicated value of $g = 500 \mu\text{Sv}$ is given. For an indication of $500 \mu\text{Sv}$, the limit of the statistical fluctuation (see IEC 61526:2005, Table 5) for neutron radiation is given by $(16 - 5) \% = 11 \%$.

Table C.1 – Example of an uncertainty budget for a neutron dose measurement according to IEC 61526:2005 with low level of consideration of the measuring conditions, see text for details

Quantity	Best estimate	Absolute standard uncertainty	Distribution	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution to output quantity
N_0	1,00	$0,10/\sqrt{6} = 0,041$	Triangular	$541 \mu\text{Sv}$	$0,041 \times 541 \mu\text{Sv} = 22,2 \mu\text{Sv}$
K_n	1,02	$0,15/\sqrt{3} = 0,087$	Rectangular	$530 \mu\text{Sv}$	$0,087 \times 530 \mu\text{Sv} = 46,1 \mu\text{Sv}$
$K_{E,\varphi}$	1,00	$0,55/3 = 0,183$	Gaussian	$541 \mu\text{Sv}$	$0,183 \times 541 \mu\text{Sv} = 99,0 \mu\text{Sv}$
K_{dr}	1,04	$0,21/\sqrt{3} = 0,121$	Rectangular	$520 \mu\text{Sv}$	$0,121 \times 520 \mu\text{Sv} = 62,9 \mu\text{Sv}$
K_{pow}	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,058$	Rectangular	$541 \mu\text{Sv}$	$0,058 \times 541 \mu\text{Sv} = 31,4 \mu\text{Sv}$
K_{temp}	1,02	$0,15/\sqrt{3} = 0,087$	Rectangular	$530 \mu\text{Sv}$	$0,087 \times 530 \mu\text{Sv} = 46,1 \mu\text{Sv}$
K_{hum}	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,058$	Rectangular	$541 \mu\text{Sv}$	$0,058 \times 541 \mu\text{Sv} = 31,4 \mu\text{Sv}$
K_{press}	1,00	$0,10/\sqrt{3} = 0,058$	Rectangular	$541 \mu\text{Sv}$	$0,058 \times 541 \mu\text{Sv} = 31,4 \mu\text{Sv}$
G	$500 \mu\text{Sv}$	$0,11 \times 500 \mu\text{Sv} = 55 \mu\text{Sv}$	Gaussian with one reading	1,08	$55 \mu\text{Sv} \times 1,08 = 59,4 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,1}$	$0 \mu\text{Sv}$	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangular	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,2}$	$0 \mu\text{Sv}$	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangular	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,3}$	$0 \mu\text{Sv}$	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangular	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,4}$	$0 \mu\text{Sv}$	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangular	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,5}$	$0 \mu\text{Sv}$	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangular	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,6}$	$0 \mu\text{Sv}$	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangular	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,7}$	$0 \mu\text{Sv}$	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangular	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,8}$	$0 \mu\text{Sv}$	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangular	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
D_{drop}	$0 \mu\text{Sv}$	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangular	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
D_{vibr}	$0 \mu\text{Sv}$	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangular	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
D_{micro}	$0 \mu\text{Sv}$	$0,7 \times 10 \mu\text{Sv} / \sqrt{3} = 4,04 \mu\text{Sv}$	Rectangular	-1,08	$4,04 \mu\text{Sv} \times -1,08 = 4,36 \mu\text{Sv}$
$H_p(10)$	$541 \mu\text{Sv}$	$158,7 \mu\text{Sv}$ (29,2 %)			

Le résultat complet de la mesure d'équivalent de dose individuel pour le rayonnement neutron en accord avec le Tableau C.1 est:

$$H_p(10) = 0,54 \text{ mSv} \pm 0,32 \text{ mSv} \quad (\text{C.2})$$

L'incertitude étendue rapportée de la mesure est établie comme étant l'incertitude normalisée de la mesure multipliée par le facteur de couverture $k_{\text{cov}} = 2$, qui pour une distribution normale correspond à une probabilité proche de 95 %. L'incertitude normalisée de la mesure a été déterminée en accord avec le guide pour l'expression de l'incertitude de mesure.

Le facteur de correction pour les conditions de mesure non spécifiées pour la détermination de la meilleure estimation du débit de dose à mesurer est 1,08. Son écart élevé d'une unité est dû au fait que les limites de la réponse relative de la plupart des grandeurs d'influence sont symétriques, ce qui mène à des limites non symétriques pour le facteur de correction; voir aussi 5.2 Note 1.

En utilisant les résultats réels de l'essai de type et les conditions réelles du lieu d'exploitation, le facteur de correction et l'incertitude peuvent être déterminés pour la mesure réelle. Le plus souvent, cela conduit à une incertitude bien plus faible. Ceci est montré dans le paragraphe suivant.

C.3.3 Degré élevé de considération des conditions du lieu d'exploitation

Pour le degré élevé de considération des conditions du lieu d'exploitation, l'hypothèse est que le lieu d'exploitation est un réacteur nucléaire de centrale et que la représentation CANEL/T400 [6] du champ neutron est applicable. Pour ce champ, l'essai de type du dosimètre électronique montre une large sur-réponse soit un facteur moyen de correction $K_{E,\varphi}$ de 0,65. Si l'on considère la variation spectrale et les différents angles d'incidence du rayonnement au lieu réel d'exploitation, les limites de $K_{E,\varphi}$ sont supposées être 0,45 et 0,85, soit $K_{E,\varphi} = 0,65 \pm 0,2$. Là encore, l'hypothèse d'une distribution gaussienne est justifiée; voir précédemment.

La température était $35^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, soit un facteur de correction de $K_{\text{temp}} = 1,05 \pm 0,03$. L'humidité relative était $80\% \pm 10\%$ soit un facteur de correction de $K_{\text{hum}} = 0,99 \pm 0,05$. L'alimentation électrique était assurée par des batteries rechargées et la pression atmosphérique n'a pas d'influence sur la mesure, puisqu'il s'agit d'un détecteur semi-conducteur, ainsi les deux facteurs de correction K_{pow} et K_{press} étaient l'unité et les incertitudes normalisées respectives peuvent être négligées. Dans cet immeuble, la plupart des effets CEM peuvent être négligés à l'exception des champs électromagnétiques provoqués par l'utilisation de téléphones mobiles. L'essai de type a montré un effet maximal de $D_{\text{EMC},3} = 0,5 \times H_0$ pour l'intensité de champ maximale permise. Ceci est valide pour 1 h d'utilisation, voir 11.4 de la CEI 61526:2005. Pour 6 h d'utilisation, l'hypothèse de la moitié de l'intensité maximale de champ et $H_0 = 10 \mu\text{Sv}$, la meilleure estimation pour l'effet maximal, est supposée être $D_{\text{EMC},3} = 6 \times 0,5 \times 0,5 \times H_0 = 15 \mu\text{Sv}$. La meilleure estimation pour l'effet moyen est ainsi supposée être $\overline{D}_{\text{EMV},3} = 7,5 \mu\text{Sv}$. L'incertitude normalisée associée est déterminée en faisant l'hypothèse d'une distribution rectangulaire de $0 \mu\text{Sv}$ à $15 \mu\text{Sv}$. L'instrument étant porté avec précaution et non malmené, les effets de vibrations, chocs et microphonie peuvent être négligés.

Dans le Tableau C.2, le budget de l'incertitude totale est donné pour une valeur indiquée de $g = 500 \mu\text{Sv}$. Pour la valeur indiquée, le résultat de l'essai de type montre un facteur de correction pour la non linéarité de $K_n = 0,93 \pm 0,07$. Les fluctuations statistiques mesurées (voir CEI 61526:2005, Tableau 5) pour cette valeur indiquée peuvent être fixées à 6,5 % par interpolation à partir du résultat de l'essai de type. Le débit de dose était sous 10 mSv h^{-1} . En accord avec l'essai de type, ceci résulte en des valeurs de K_{dr} entre 0,91 et 1,07, soit $K_{\text{dr}} = 0,99 \pm 0,08$.

The complete result of the measurement of the personal dose equivalent for neutron radiation according to Table C.1 is:

$$H_p(10) = 0,54 \text{ mSv} \pm 0,32 \text{ mSv} \quad (\text{C.2})$$

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by a coverage factor $k_{\text{cov}} = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with the guide to the expression of uncertainty.

The correction factor for unspecified measuring conditions for the determination of the best estimate of the dose rate to be measured is 1,08. Its deviation from unity is due to the fact that the limits for the relative response are symmetrical for most influence quantities leading to non-symmetrical limits for the correction factor, see also Note 1 to 5.2.

Using the actual results of the type test and the actual workplace conditions, both the correction factor and the uncertainty can be determined for the actual measurement. In general, this will lead to a much smaller uncertainty. This is shown in the next subclause.

C.3.3 High level of consideration of workplace conditions

For high level of consideration of workplace conditions it is assumed that the workplace was in a nuclear power reactor and that the CAMEL/T400 [6] neutron field is a good representation of that field. For that field the type test of the electronic dosimeter shows a large over response leading to a mean correction factor $K_{E,\varphi}$ of 0,65. Considering the variation of the spectrum and the different angles of radiation incidence at the real workplace, the limits of $K_{E,\varphi}$ are assumed as 0,45 and 0,85, leading to $K_{E,\varphi} = 0,65 \pm 0,2$. Again the assumption of a Gaussian distribution is justified, see above.

The temperature was $35^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ leading to a correction factor of $K_{\text{temp}} = 1,05 \pm 0,03$. The relative humidity was $80\% \pm 10\%$ leading to a correction factor of $K_{\text{hum}} = 0,99 \pm 0,05$. Power supplies were fresh batteries and the atmospheric pressure has no influence on the measurement, as the detector is a semiconductor, so both correction factors K_{pow} and K_{press} were unity and the respective standard uncertainties can be neglected. In that building, most EMC effects can be neglected as well with the exception of radiated electromagnetic fields due to the use of mobile phones. The type test showed an maximum effect of $D_{\text{EMC},3} = 0,5 \times H_0$ for the maximum allowed field strength. This is valid for 1 h of use, see 11.4 in IEC 61526:2005. For 6 h of use, the assumption of half the maximum field strength and $H_0 = 10 \mu\text{Sv}$, the best estimate for the maximum effect is assumed to be $D_{\text{EMC},3} = 6 \times 0,5 \times 0,5 \times H_0 = 15 \mu\text{Sv}$. The best estimate for the mean effect is then assumed to be $\overline{D_{\text{EMV},3}} = 7,5 \mu\text{Sv}$. The associated standard uncertainty is determined under the assumption of a rectangular distribution from $0 \mu\text{Sv}$ to $15 \mu\text{Sv}$. As the instrument is carefully worn and not dropped, the effects of vibration, shock and microphonics can be neglected.

In Table C.2, the complete uncertainty budget for an indicated value of $g = 500 \mu\text{Sv}$ is given. For that indicated value, the type test result shows a correction factor for non-linearity of $K_n = 0,93 \pm 0,07$. The measured statistical fluctuation (see IEC 61526:2005, Table 5) for that indicated value can be interpolated from the type test result to be 6,5 %. The dose rate was below 10 mSv h^{-1} . According to the type test this results in values of K_{dr} between 0,91 and 1,07, leading to $K_{\text{dr}} = 0,99 \pm 0,08$.

Tableau C.2 – Exemple d'un budget d'incertitude pour la mesure de dose de neutrons, en accord avec la CEI 61526:2005 et un degré élevé de considérations des conditions de mesure, voir le texte pour les détails

Grandeur	Meilleure estimation	Incertitude normalisée absolue	Distribution	Coefficient de sensibilité	Contribution de l'incertitude à la grandeur de sortie
N_0	1,00	$0,10/\sqrt{6} = 0,041$	Triangulaire	304 μ Sv	$0,041 \times 304 \mu\text{Sv} = 12,5 \mu\text{Sv}$
K_n	0,93	$0,07/\sqrt{3} = 0,040$	Rectangulaire	327 μ Sv	$0,040 \times 327 \mu\text{Sv} = 13,1 \mu\text{Sv}$
$K_{E,\varphi}$	0,65	$0,20/3 = 0,067$	Gaussienne	468 μ Sv	$0,067 \times 468 \mu\text{Sv} = 31,6 \mu\text{Sv}$
K_{dr}	0,99	$0,08/\sqrt{3} = 0,046$	Rectangulaire	307 μ Sv	$0,046 \times 307 \mu\text{Sv} = 14,1 \mu\text{Sv}$
K_{pow}	1,00	0	Rectangulaire	304 μ Sv	$0 \times 304 \mu\text{Sv} = 0 \mu\text{Sv}$
K_{temp}	1,05	$0,03/\sqrt{3} = 0,017$	Rectangulaire	290 μ Sv	$0,017 \times 290 \mu\text{Sv} = 4,9 \mu\text{Sv}$
K_{hum}	0,99	$0,05/\sqrt{3} = 0,029$	Rectangulaire	307 μ Sv	$0,029 \times 307 \mu\text{Sv} = 8,9 \mu\text{Sv}$
K_{press}	1,00	0	Rectangulaire	304 μ Sv	$0 \times 304 \mu\text{Sv} = 0 \mu\text{Sv}$
G	500 μ Sv	$0,065 \times 500 \mu\text{Sv} = 32,5 \mu\text{Sv}$	Gaussienne pour une lecture	0,622	$32,5 \mu\text{Sv} \times 0,622 = 20,2 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,1}$	0 μ Sv	0 μ Sv	Rectangulaire	-0,622	$0 \mu\text{Sv} \times -0,622 = 0 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,2}$	0 μ Sv	0 μ Sv	Rectangulaire	-0,622	$0 \mu\text{Sv} \times -0,622 = 0 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,3}$	7,5 μ Sv	$15 \mu\text{Sv}/\sqrt{3} = 8,66 \mu\text{Sv}$	Rectangulaire	-0,622	$8,66 \mu\text{Sv} \times -0,622 = 5,4 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,4}$	0 μ Sv	0 μ Sv	Rectangulaire	-0,622	$0 \mu\text{Sv} \times -0,622 = 0 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,5}$	0 μ Sv	0 μ Sv	Rectangulaire	-0,622	$0 \mu\text{Sv} \times -0,622 = 0 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,6}$	0 μ Sv	0 μ Sv	Rectangulaire	-0,622	$0 \mu\text{Sv} \times -0,622 = 0 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,7}$	0 μ Sv	0 μ Sv	Rectangulaire	-0,622	$0 \mu\text{Sv} \times -0,622 = 0 \mu\text{Sv}$
$D_{EMC,8}$	0 μ Sv	0 μ Sv	Rectangulaire	-0,622	$0 \mu\text{Sv} \times -0,622 = 0 \mu\text{Sv}$
D_{drop}	0 μ Sv	0 μ Sv	Rectangulaire	-0,622	$0 \mu\text{Sv} \times -0,622 = 0 \mu\text{Sv}$
D_{vibr}	0 μ Sv	0 μ Sv	Rectangulaire	-0,622	$0 \mu\text{Sv} \times -0,622 = 0 \mu\text{Sv}$
D_{micro}	0 μ Sv	0 μ Sv	Rectangulaire	-0,622	$0 \mu\text{Sv} \times -0,622 = 0 \mu\text{Sv}$
$H_p(10)$	304 μ Sv	45,4 μ Sv (14,9 %)			

Les considérations ci-dessus conduisent à un facteur de correction spécial de l'indication de 0,608 et à un écart de 7,5 μ Sv pour obtenir la meilleure estimation de la dose et donner l'incertitude spéciale de cette mesure. Les deux valeurs ne peuvent être déterminées que par l'utilisateur. La connaissance des conditions spéciales de mesure ou du lieu d'exploitation et des résultats de l'essai de type sont nécessaires pour cette détermination.

Le résultat complet de la mesure d'équivalent de dose individuel pour le rayonnement neutron en accord avec le Tableau C.2 est:

$$H_p(10) = 0,30 \text{ mSv} \pm 0,09 \text{ mSv} \quad (\text{C.3})$$

L'incertitude étendue rapportée de la mesure est établie comme étant l'incertitude normalisée de la mesure multipliée par le facteur de couverture $k_{cov} = 2$, qui pour une distribution normale correspond à une probabilité proche de 95 %. L'incertitude normalisée de la mesure a été déterminée en accord avec le guide pour l'expression de l'incertitude de mesure.

Les deux intervalles donnés par les équations (C.2) et (C.3) se recouvrent partiellement, ainsi ces résultats sont cohérents.