

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.

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.

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.

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)