



GUIDE 98-3

Incertitude de mesure —

Partie 3:

Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

Uncertainty of measurement —

*Part 3: Guide to the expression of uncertainty in
measurement (GUM:1995)*

ISO/IEC Guide 98-3:2008

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4c151f9f-7398-4eae-825d-ea7c01f19d20/iso-iec-guide-98-3-2008>

PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/IEC Guide 98-3:2008](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4c151f9f-7398-4eae-825d-ea7c01f19d20/iso-iec-guide-98-3-2008)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4c151f9f-7398-4eae-825d-ea7c01f19d20/iso-iec-guide-98-3-2008>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO/CEI 2008

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Version française parue en 2010

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Préliminaires	v
Avant-propos	vi
Introduction.....	vii
1 Domaine d'application	1
2 Définitions	2
2.1 Termes métrologiques généraux	2
2.2 Le terme «incertitude»	2
2.3 Termes spécifiques à ce <i>Guide</i>	3
3 Concepts fondamentaux.....	4
3.1 Mesurage	4
3.2 Erreurs, effets et corrections	5
3.3 Incertitude	6
3.4 Considérations pratiques	7
4 Évaluation de l'incertitude-type	8
4.1 Modélisation du mesurage	8
4.2 Évaluation de type A de l'incertitude-type	10
4.3 Évaluation de Type B de l'incertitude-type	12
4.4 Illustration graphique de l'évaluation de l'incertitude-type	15
5 Détermination de l'incertitude-type composée	19
5.1 Grandeurs d'entrée non corrélées	19
5.2 Grandeurs d'entrée corrélées	21
6 Détermination de l'incertitude élargie	24
6.1 Introduction.....	24
6.2 Incertitude élargie.....	24
6.3 Choix d'un facteur d'élargissement.....	25
7 Expression de l'incertitude.....	25
7.1 Conseils généraux.....	25
7.2 Conseils spécifiques.....	26
8 Récapitulation de la procédure d'évaluation et d'expression de l'incertitude.....	28
Annexe A Recommandations du Groupe de travail et du CIPM.....	29
A.1 Recommandation INC-1 (1980)	29
A.2 Recommandation 1 (CI-1981)	30
A.3 Recommandation 1 (CI-1986)	30
Annexe B Termes métrologiques généraux	32
B.1 Origine des définitions.....	32
B.2 Définitions	32
Annexe C Termes et concepts statistiques fondamentaux	40
C.1 Origine des définitions.....	40
C.2 Définitions	40
C.3 Élaboration de termes et de concepts	46
Annexe D Valeur «vraie», erreur et incertitude	50
D.1 Le mesurande	50
D.2 La grandeur réalisée	50
D.3 La valeur «vraie» et la valeur corrigée	50
D.4 Erreur	51

D.5	Incertitude.....	52
D.6	Représentation graphique	52
Annexe E Motivation et fondements de la Recommandation INC-1 (1980)		55
E.1	«Sûr», «aléatoire» et «systématique».....	55
E.2	Justification pour des évaluations réalistes de l'incertitude	55
E.3	Justification pour le traitement identique de toutes les composantes de l'incertitude.....	56
E.4	Écart-type comme mesure de l'incertitude	59
E.5	Une comparaison entre les deux points de vue sur l'incertitude	61
Annexe F Conseils pratiques pour l'évaluation des composantes de l'incertitude		62
F.1	Composantes évaluées à partir d'observations répétées: évaluation de Type A de l'incertitude-type	62
F.2	Composantes évaluées par d'autres moyens: évaluation de Type B de l'incertitude-type	65
Annexe G Degrés de liberté et niveaux de confiance		72
G.1	Introduction	72
G.2	Théorème central limite	73
G.3	La loi de t et les degrés de liberté	74
G.4	Nombre effectif de degrés de liberté	75
G.5	Autres considérations.....	77
G.6	Résumé et conclusions.....	78
Annexe H Exemples.....		81
H.1	Étalonnage de calibres à bouts.....	81
H.2	Mesurage simultané d'une résistance et d'une réactance	87
H.3	Étalonnage d'un thermomètre	91
H.4	Mesurage d'activité.....	95
H.5	Analyse de variance	100
H.6	Mesurages par rapport à une échelle de repérage: dureté.....	106
Annexe J Liste des principaux symboles		111
Bibliographie		115
Index alphabétique		117

Le présent *Guide* établit les règles générales pour l'évaluation et l'expression de l'incertitude de mesure, règles prévues pour s'appliquer à un large éventail de mesurages. Ce *Guide* est fondé sur la Recommandation 1 (CI-1981) du Comité international des poids et mesures (CIPM) et sur la Recommandation INC-1 (1980) du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes. Ce groupe de travail avait été constitué par le Bureau international des poids et mesures (BIPM) pour répondre à une demande du CIPM. La Recommandation du CIPM est la seule recommandation concernant l'expression de l'incertitude de mesure qui ait été avalisée par une organisation intergouvernementale.

Le présent *Guide* a été préparé par un groupe de travail mixte composé d'experts désignés par le BIPM, la Commission électrotechnique internationale (CEI), l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML).

Les sept organisations* suivantes ont apporté leur soutien à l'élaboration du présent *Guide* et il est publié en leur nom:

BIPM: Bureau international des poids et mesures

CEI: Commission électrotechnique internationale

FICC: Fédération internationale de chimie clinique**

ISO: Organisation internationale de normalisation

OIML: Organisation internationale de métrologie légale

UICPA: Union internationale de chimie pure et appliquée

UIPPA: Union internationale de physique pure et appliquée

Les utilisateurs du présent *Guide* sont invités à adresser leurs commentaires et leurs demandes de clarification à l'une des sept organisations de tutelle dont les adresses postales sont données sur la page 2 de couverture***.

* **Note de bas de page à la version 2008:**

En 2005, la Coopération internationale sur l'agrément des laboratoires d'essais (ILAC) a rejoint officiellement les sept organisations internationales fondatrices.

** **Note de bas de page à la version 2008:**

Le nom de cette organisation a changé depuis 1995. Il s'écrit maintenant:

IFCC: Fédération internationale de chimie clinique et de médecine de laboratoire

*** **Note de bas de page à la version 2008:**

Des liens vers les adresses des huit organisations membres du JCGM (Comité commun pour les guides en métrologie) peuvent être trouvés à l'adresse <http://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm>.

Avant-propos

Le Comité international des poids et mesures (CIPM), la plus haute autorité mondiale en métrologie, a reconnu en 1977 le manque de consensus international dans l'expression de l'incertitude de mesure. Il a demandé au Bureau international des poids et mesures (BIPM) de traiter le problème de concert avec les laboratoires de métrologie nationaux et d'émettre une recommandation.

Le BIPM a préparé un questionnaire détaillé couvrant les problèmes en cause et l'a diffusé à 32 laboratoires de métrologie nationaux reconnus comme s'intéressant au sujet (et, pour information, à cinq organisations internationales). Au début de 1979, 21 laboratoires avaient répondu [1] 1). Presque tous les laboratoires reconnaissaient l'importance d'arriver à une procédure acceptée internationalement pour exprimer l'incertitude de mesure et pour combiner les composantes individuelles de l'incertitude en une seule incertitude globale. Toutefois, il n'y avait pas de consensus apparent sur la méthode à utiliser. En conséquence, le BIPM a organisé une réunion qui avait pour objectif d'arriver à une procédure uniforme et généralement acceptable pour la spécification de l'incertitude. Des experts de 11 laboratoires nationaux de métrologie ont participé à cette réunion. Ce Groupe de travail sur l'expression des incertitudes a préparé la Recommandation INC-1 (1980), Expression des incertitudes expérimentales [2]. Le CIPM a approuvé la Recommandation en 1981 [3] et l'a reconfirmée en 1986 [4].

Le CIPM s'en est remis à l'Organisation internationale de normalisation (ISO) pour développer un guide détaillé fondé sur la Recommandation du Groupe de travail (qui est un bref canevas plutôt qu'une prescription détaillée), l'ISO pouvant mieux, en effet, refléter les besoins provenant des larges intérêts de l'industrie et du commerce.

C'est le groupe technique consultatif (TAG 4) sur la métrologie qui a été chargé de cette responsabilité, car l'une de ses tâches consiste à coordonner l'élaboration de lignes directrices relatives aux problèmes de mesurage qui sont d'intérêt commun à l'ISO et aux six organisations qui participent, avec l'ISO, au travail du TAG 4, à savoir: la Commission électrotechnique internationale (CEI), partenaire de l'ISO pour la normalisation au niveau mondial; le CIPM et l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML), qui sont les deux organisations mondiales de la métrologie; l'Union internationale de chimie pure et appliquée (UICPA) et l'Union internationale de physique pure et appliquée (UIPPA), qui représentent la chimie et la physique; et la Fédération internationale de chimie clinique (FICC).

Le TAG 4 a constitué à son tour le Groupe de travail 3 (ISO/TAG 4/GT 3) composé d'experts désignés par le BIPM, la CEI, l'ISO et l'OIML et nommés par le Président du TAG 4. Son mandat est le suivant:

Développer un guide, fondé sur la recommandation du Groupe de travail BIPM sur l'expression des incertitudes, qui fournisse des règles pour l'expression de l'incertitude de mesure, utilisables en normalisation, dans l'étalonnage, dans l'accréditation des laboratoires et dans les services de métrologie.

L'objectif d'un tel guide est de

- contribuer à une information complète sur la manière dont on aboutit à l'expression de l'incertitude;
- fournir une base pour la comparaison internationale des résultats de mesure.

Cette première édition du Guide ISO/CEI 98-3 annule et remplace le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)*, BIPM, CEI, FICC, ISO, OIML, UICPA, UIPPA, 1993, corrigée et réimprimée 1995.

La présente édition française du Guide ISO/CEI 98-3 correspond à la version anglaise corrigée publiée en 2010.

1) Voir la [Bibliographie](#).

*** Note de bas de page à la version 2008:**

Lors de l'élaboration de la présente version 2008 du GUM, seules les corrections jugées nécessaires par rapport à la version papier de 1995 ont été introduites par le JCGM/WG 1. Elles concernent les paragraphes 4.2.2, 4.2.4, 5.1.2, B.2.17, C.3.2, C.3.4, E.4.3, H.4.3, H.5.2.5 et H.6.2.

Introduction

0.1 Lorsqu'on rend compte du résultat d'un mesurage d'une grandeur physique, il faut obligatoirement donner une indication quantitative sur la qualité du résultat pour que ceux qui l'utiliseront puissent estimer sa fiabilité. En l'absence d'une telle indication, les résultats de mesure ne peuvent pas être comparés, soit entre eux, soit par rapport à ces valeurs de référence données dans une spécification ou une norme. Aussi est-il nécessaire qu'il existe une procédure facilement applicable, aisément compréhensible et largement acceptée pour caractériser la qualité du résultat d'un mesurage, c'est-à-dire pour évaluer et exprimer son *incertitude*.

0.2 Le concept d'*incertitude* comme attribut quantifiable est relativement nouveau dans l'histoire de la mesure bien que l'*erreur* et l'*analyse des erreurs* soient des concepts depuis longtemps pratiqués dans la science de la mesure, c'est-à-dire en métrologie. On reconnaît maintenant largement que, lorsqu'on a évalué la totalité des composantes de l'erreur connues ou soupçonnées et que les corrections appropriées ont été appliquées, il subsiste encore une incertitude sur la validité du résultat exprimé, c'est-à-dire un doute sur la manière dont le résultat de mesure représente correctement la valeur de la grandeur mesurée.

0.3 De même que l'utilisation quasi universelle du Système international d'unités (SI) a apporté la cohérence pour tous les mesurages scientifiques et technologiques, de même un consensus universel sur l'évaluation et l'expression de l'incertitude de mesure permettrait la compréhension aisée et l'interprétation correcte d'un vaste spectre de résultats de mesure en science, ingénierie, commerce, industrie et réglementation. À notre époque de développement mondial du commerce, il est impératif que la méthode d'évaluation et d'expression des incertitudes soit uniforme dans le monde entier pour pouvoir comparer facilement des mesurages effectués dans des pays différents.

0.4 La méthode idéale d'évaluation et d'expression de l'incertitude du résultat d'un mesurage devrait être:

- *universelle*: la méthode devrait pouvoir s'appliquer à tous les types de mesurages et à tous les types de données d'entrée utilisées dans les mesurages.

La grandeur effectivement utilisée pour exprimer l'incertitude devrait être:

- *logique en elle-même*: elle devrait pouvoir se déduire directement des composantes constitutives tout en étant indépendante du groupement de ces composantes ou de leur décomposition en sous-composantes;
- *transférable*: l'incertitude évaluée pour un résultat devrait pouvoir être utilisée directement comme composante dans l'évaluation de l'incertitude d'un autre mesurage où l'on utilise le premier résultat.

De plus, dans de nombreuses applications industrielles et commerciales de même que dans les domaines de la santé et de la sécurité, il est souvent nécessaire de fournir, autour du résultat d'un mesurage, un intervalle dont on puisse s'attendre à ce qu'il comprenne une fraction élevée de la distribution des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande. Aussi, la méthode idéale d'évaluation et d'expression de l'incertitude de mesure devrait pouvoir fournir aisément un tel intervalle, en particulier avec une probabilité ou un niveau de confiance qui corresponde d'une manière réaliste à ce qui est exigé.

0.5 L'approche de base de ce *Guide* est celle qui est esquissée dans la Recommandation INC-1 (1980) [2] du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes, constitué par le BIPM en réponse à une demande du CIPM (voir l'*Avant-propos*). Cette approche, dont la justification est développée en Annexe E, satisfait toutes les exigences exposées ci-dessus. Cela n'est pas le cas pour la plupart des autres méthodes d'usage courant. La Recommandation INC-1 (1980) a été approuvée et réaffirmée par le CIPM dans ses propres Recommandations 1 (CI-1981) [3] et 1 (CI-1986) [4]. Le texte original en français des Recommandations du CIPM est donné en Annexe A (voir respectivement A.2 et A.3). Comme la Recommandation INC-1 (1980) sert de fondement au présent document, elle est donnée ci-après en 0.7. L'original français, qui fait autorité, est donné en A.1 dans les deux versions, française et anglaise, du *Guide*.

0.6 L'Article 8 du présent *Guide* donne un résumé succinct de la procédure spécifiée pour évaluer et exprimer l'incertitude de mesure et l'Annexe H présente en détail un certain nombre d'exemples. Les autres annexes traitent des termes généraux de métrologie (Annexe B), des termes et concepts statistiques fondamentaux (Annexe C), de la valeur «vraie», de l'erreur et de l'incertitude (Annexe D), des suggestions pratiques pour évaluer les composantes de l'incertitude (Annexe E), des degrés de liberté et niveaux de confiance (Annexe G), des symboles mathématiques principaux utilisés dans le document (Annexe J), et des références bibliographiques (Bibliographie). Un [Index alphabétique](#) complète le document.

0.7 Recommandation INC-1 (1980) Expression des incertitudes expérimentales

- 1) L'incertitude d'un résultat de mesure comprend généralement plusieurs composantes qui peuvent être groupées en deux catégories d'après la méthode utilisée pour estimer leur valeur numérique:

A. celles qui sont évaluées à l'aide de méthodes statistiques,

B. celles qui sont évaluées par d'autres moyens.

Il n'y a pas toujours une correspondance simple entre le classement dans les catégories A ou B et le caractère «aléatoire» ou «systématique» utilisé antérieurement pour classer les incertitudes. L'expression «incertitude systématique» est susceptible de conduire à des erreurs d'interprétation: elle doit être évitée.

Toute description détaillée de l'incertitude devrait comprendre une liste complète de ses composantes et indiquer pour chacune la méthode utilisée pour lui attribuer une valeur numérique.

- 2) Les composantes de la catégorie A sont caractérisées par les variances estimées s_i^2 (ou les «écarts-types» estimés s_i) et les nombres ν_i de degrés de liberté. Le cas échéant, les covariances estimées doivent être données.
- 3) Les composantes de la catégorie B devraient être caractérisées par les variances estimées u_j^2 , qui peuvent être considérées comme des approximations des variances correspondantes dont on admet l'existence. Les termes u_j^2 peuvent être traités comme des variances et les termes u_j comme des écarts-types. Le cas échéant, les covariances doivent être traitées de façon analogue.
- 4) L'incertitude composée devrait être caractérisée par la valeur obtenue en appliquant la méthode usuelle de combinaison des variances. L'incertitude composée ainsi que ses composantes devraient être exprimées sous la forme d'«écarts-types».
- 5) Si, pour des utilisations particulières, on est amené à multiplier par un facteur l'incertitude composée afin d'obtenir une incertitude globale, la valeur numérique de ce facteur doit toujours être donnée.

Incertitude de mesure —

Partie 3:

Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)

1 Domaine d'application

1.1 Ce *Guide* établit les règles générales pour l'évaluation et l'expression de l'incertitude pour les mesurages qui peuvent être effectués à des niveaux variés d'exactitude et dans de nombreux domaines — de la boutique du commerçant à la recherche fondamentale. C'est pourquoi les principes de ce *Guide* sont prévus pour s'appliquer à un large spectre de mesurages y compris ceux qui sont exigés pour:

- aider à la gestion et à l'assurance de la qualité en production,
- satisfaire aux lois et réglementations et les appliquer,
- mener des recherches fondamentales et des recherches et développement appliqués en science et ingénierie,
- étalonner des étalons et instruments et réaliser des essais dans le cadre d'un système de mesure national pour obtenir la traçabilité aux étalons nationaux,
- développer, maintenir et comparer des étalons physiques de référence internationaux et nationaux, en y incluant les matériaux de référence.

1.2 Ce *Guide* concerne en premier lieu l'expression de l'incertitude de mesure d'une grandeur physique bien définie — le mesurande — qui peut être caractérisée en première approximation par une valeur unique. Si le phénomène auquel on s'intéresse peut seulement se représenter par une distribution de valeurs ou s'il est fonction d'un ou de plusieurs paramètres, tel le temps, les mesurandes nécessaires à sa description sont alors l'ensemble des grandeurs décrivant cette distribution ou cette fonctionnalité.

1.3 Ce *Guide* s'applique aussi à l'évaluation et à l'expression de l'incertitude associée aux études conceptuelles et à l'analyse théorique d'essais, de méthodes de mesure et de composantes et systèmes complexes. Comme un résultat de mesure et son incertitude peuvent être de nature conceptuelle et entièrement fondés sur des données hypothétiques, c'est dans ce contexte plus large qu'on doit interpréter le terme «résultat de mesure» tel qu'il est utilisé dans ce *Guide*.

1.4 Ce *Guide* fournit des règles générales pour l'évaluation et l'expression de l'incertitude de mesure plutôt que des instructions détaillées, spécifiques à une technique. De plus, il ne traite pas de la manière d'utiliser, pour différents objectifs, l'incertitude d'un résultat de mesure particulier, une fois qu'elle est évaluée, par exemple, tirer des conclusions sur la compatibilité de ce résultat avec d'autres résultats analogues, établir des limites de tolérance pour un procédé de fabrication, décider si l'on peut adopter de manière sûre une certaine ligne de conduite. En conséquence, il peut s'avérer nécessaire de développer des normes spéciales fondées sur ce *Guide* pour traiter les problèmes particuliers de domaines de mesure spécifiques ou les utilisations diverses des expressions quantitatives de l'incertitude.* Ces normes peuvent être des versions simplifiées du présent *Guide*, mais elles doivent comprendre le degré de détail approprié au niveau d'exactitude et de complexité des mesurages et utilisations concernés.

NOTE Il peut se présenter des situations pour lesquelles on peut penser que le concept d'incertitude de mesure n'est pas totalement applicable, par exemple pour la détermination de la fidélité d'une méthode d'essai (voir Référence [5], par exemple).

*** Note de bas de page à la version 2008:**

Depuis la publication initiale de ce *Guide*, plusieurs documents d'application générale ou spécifique ont été publiés. À titre d'information, des recueils non exhaustifs de ces documents peuvent être consultés à l'adresse http://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/wg1_bibliography.html. De plus, une liste actualisée de documents qui citent le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* peut être obtenue en utilisant les fonctions de recherche plein texte sur <http://www.iso.org> et <http://www.iec.ch>.

2 Définitions

2.1 Termes métrologiques généraux

Les définitions d'un certain nombre de termes métrologiques généraux concernant ce *Guide*, tels que «grandeur mesurable», «mesurande» et «erreur de mesure» sont donnés en Annexe B. Ces définitions sont extraites du *Vocabulaire international des termes généraux et fondamentaux de métrologie* (VIM)* [6]. En complément, l'Annexe C donne les définitions d'un certain nombre de termes statistiques fondamentaux provenant principalement de la Norme internationale ISO 3534-1 [7]. À partir de l'Article 3, lorsqu'un de ces termes métrologiques ou statistiques (ou un terme apparenté) est utilisé pour la première fois dans le texte, il est imprimé en caractères gras et la référence du paragraphe dans lequel il est défini est donnée entre parenthèses.

En raison de son importance pour ce *Guide*, la définition du terme métrologique général «incertitude de mesure» est donnée à la fois en Annexe B et en 2.2.3. Les définitions des termes les plus importants, spécifiques de ce *Guide*, sont données de 2.3.1 à 2.3.6. Dans tous ces paragraphes et dans les Annexes B et C, l'utilisation de parenthèses pour les mots de certains termes signifie que ces mots peuvent être omis s'il n'y a pas risque de confusion.

2.2 Le terme «incertitude»

Le concept d'incertitude est développé ultérieurement à l'Article 3 et en Annexe D.

2.2.1 Le mot «incertitude» signifie doute. Ainsi, dans son sens le plus large, «incertitude de mesure» signifie doute sur la validité du résultat d'un mesurage. Comme on ne dispose pas de plusieurs mots pour ce concept général d'incertitude et pour les grandeurs spécifiques qui fournissent des mesures quantitatives du concept, par exemple l'écart-type, l'utilisation du mot «incertitude» s'impose pour ces deux sens différents.

2.2.2 Dans ce *Guide*, le mot «incertitude» sans adjectif se réfère à la fois au concept général d'incertitude et à l'expression quantitative d'une mesure de ce concept. Un adjectif approprié est utilisé pour une mesure spécifique déterminée.

2.2.3 La définition formelle du terme «incertitude de mesure» mise au point pour ce *Guide* et adoptée par le VIM:1993, définition 3.9 [6] est la suivante:

incertitude (de mesure)

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

NOTE 1 Le paramètre peut être, par exemple, un écart-type (ou un multiple de celui-ci) ou la demi-largeur d'un intervalle de niveau de confiance déterminé.

NOTE 2 L'incertitude de mesure comprend, en général, plusieurs composantes. Certaines peuvent être évaluées à partir de la distribution statistique des résultats de séries de mesurages et peuvent être caractérisées par des écarts-types expérimentaux. Les autres composantes, qui peuvent aussi être caractérisées par des écarts-types, sont évaluées en admettant des lois de probabilité, d'après l'expérience acquise ou d'après d'autres informations.

NOTE 3 Il est entendu que le résultat du mesurage est la meilleure estimation de la valeur du mesurande, et que toutes les composantes de l'incertitude, y compris celles qui proviennent d'effets systématiques, telles que les composantes associées aux corrections et aux étalons de référence, contribuent à la dispersion.

* **Note de bas de page à la version 2008:**

La troisième édition du vocabulaire a été publiée en 2007, sous le titre *Guide ISO/CEI 99, Vocabulaire international de métrologie — Concepts fondamentaux et généraux et termes associés* (VIM).

2.2.4 La définition de l'incertitude de mesure donnée en 2.2.3 est une définition opérationnelle qui se focalise sur le résultat de mesure et son incertitude évaluée. Elle n'est cependant pas incompatible avec d'autres concepts d'incertitude de mesure tels que

- mesure de l'erreur possible sur la valeur estimée du mesurande telle que fournie par le résultat d'un mesurage;
- estimation caractérisant l'étendue des valeurs dans laquelle se situe la valeur vraie d'une grandeur mesurée (VIM:1984, définition 3.09).

Bien que ces deux concepts traditionnels soient valables en tant qu'idéaux, ils se focalisent sur des grandeurs *inconnues*: respectivement l'«erreur» du résultat d'un mesurage et la «valeur vraie» du mesurande (par opposition avec sa valeur estimée). Quoi qu'il en soit, quel que soit le *concept* d'incertitude que l'on adopte, une composante d'incertitude est toujours *évaluée* en utilisant les mêmes données et l'information associée. (Voir aussi E.5.)

2.3 Termes spécifiques à ce Guide

En général, les termes qui sont spécifiques à ce *Guide* sont définis lorsqu'ils apparaissent dans le texte pour la première fois. Cependant, les définitions des termes les plus importants sont données ci-après pour permettre de s'y référer aisément.

NOTE Ces termes sont explicités ultérieurement selon les références suivantes: pour 2.3.2, voir 3.3.3 et 4.2; pour 2.3.3, voir 3.3.3 et 4.3; pour 2.3.4, voir Article 5 et Équations (10) et (13); et, pour 2.3.5 et 2.3.6, voir Article 6.

2.3.1

incertitude-type

incertitude du résultat d'un mesurage exprimée sous la forme d'un écart-type

2.3.2

évaluation de Type A (de l'incertitude)

méthode d'évaluation de l'incertitude par l'analyse statistique de séries d'observations

ISO/IEC Guide 98-3:2008

2.3.3

évaluation de Type B (de l'incertitude)

méthode d'évaluation de l'incertitude par des moyens autres que l'analyse statistique de séries d'observations

2.3.4

incertitude-type composée

incertitude-type du résultat d'un mesurage, lorsque ce résultat est obtenu à partir des valeurs d'autres grandeurs, égale à la racine carrée d'une somme de termes, ces termes étant les variances ou covariances de ces autres grandeurs, pondérées selon la variation du résultat de mesure en fonction de celle de ces grandeurs

2.3.5

incertitude élargie

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 des valeurs qui pourraient être attribuées raisonnablement au mesurande

NOTE 1 La fraction peut être considérée comme la probabilité ou le niveau de confiance de l'intervalle.

NOTE 2 L'association d'un niveau de confiance spécifique à l'intervalle défini par l'incertitude élargie nécessite des hypothèses explicites ou implicites sur la loi de probabilité caractérisée par le résultat de mesure et son incertitude-type composée. Le niveau de confiance qui peut être attribué à cet intervalle ne peut être connu qu'avec la même validité que celle qui se rattache à ces hypothèses.

NOTE 3 L'incertitude élargie est appelée *incertitude globale* au paragraphe 5 de la Recommandation INC-1 (1980).

2.3.6

facteur d'élargissement

facteur numérique utilisé comme multiplicateur de l'incertitude-type composée pour obtenir l'incertitude élargie

NOTE Un facteur d'élargissement, k , a sa valeur typiquement comprise entre 2 et 3.

3 Concepts fondamentaux

On peut trouver une présentation complémentaire des concepts fondamentaux dans l'Annexe [D](#) centrée sur les idées de valeur «vraie», d'erreur et d'incertitude et qui comprend des illustrations graphiques de ces concepts, ainsi que dans l'Annexe [E](#) qui approfondit les motifs et les fondements statistiques de la Recommandation INC-1 (1980), base de ce *Guide*. L'Annexe [J](#) est une liste des principaux symboles mathématiques utilisés tout au long du *Guide*.

3.1 Mesurage

3.1.1 L'objectif d'un **mesurage** ([B.2.5](#)) consiste à déterminer la **valeur** ([B.2.2](#)) du **mesurande** ([B.2.9](#)), c'est-à-dire la valeur de la **grandeur particulière** ([B.2.1](#), Note [1](#)) à mesurer. En conséquence, un mesurage commence par une définition appropriée du mesurande, de la **méthode de mesure** ([B.2.7](#)) et de la **procédure de mesure** ([B.2.8](#)).

NOTE Le terme «valeur vraie» (voir Annexe [D](#)) n'est pas utilisé dans ce *Guide* pour la raison donnée en [D.3.5](#); on considère que les termes «valeur d'un mesurande» (ou d'une grandeur) et «valeur vraie d'un mesurande» (ou d'une grandeur) sont deux termes équivalents.

3.1.2 En général, le **résultat d'un mesurage** ([B.2.11](#)) est seulement une approximation ou **estimation** ([C.2.26](#)) de la valeur du mesurande et, de ce fait, est seulement complet lorsqu'il est accompagné par une expression de l'**incertitude** ([B.2.18](#)) de cette estimation.

3.1.3 Dans la pratique, la spécification ou la définition exigée pour le mesurande est dictée par l'**exactitude de mesure** ([B.2.14](#)) exigée pour le mesurage. Le mesurande doit être défini de façon suffisamment complète en rapport avec l'exactitude exigée de sorte que sa valeur soit unique pour tous les objectifs pratiques associés au mesurage. C'est dans ce sens qu'on utilise l'expression «valeur du mesurande» dans ce *Guide*.

EXEMPLE Si l'on doit déterminer la longueur nominale d'une barre d'acier de longueur un mètre au micromètre près, sa spécification doit comprendre la température et la pression auxquelles la longueur est définie. Le mesurande peut alors être spécifié comme, par exemple, la longueur de la barre à 25,00 °C et 101 325 Pa (avec, en plus, tout autre paramètre de définition jugé nécessaire, tel que la manière de supporter la barre). Cependant, si l'on ne doit déterminer la longueur de la barre qu'au millimètre près, sa spécification ne nécessitera pas la définition d'une température, ou d'une pression, ou de tout autre paramètre.

NOTE Une définition incomplète du mesurande peut entraîner une composante d'incertitude suffisamment grande pour qu'il soit nécessaire de l'inclure dans l'évaluation de l'incertitude du résultat de mesure (voir [D.1.1](#), [D.3.4](#) et [D.6.2](#)).

3.1.4 Dans de nombreux cas, le résultat d'un mesurage est déterminé sur la base de séries d'observations obtenues dans des **conditions de répétabilité** ([B.2.15](#), Note [1](#)).

3.1.5 Les variations entre les observations répétées sont supposées se produire parce que les **grandeurs d'influence** ([B.2.10](#)) qui peuvent affecter le résultat de mesure ne sont pas maintenues parfaitement constantes.

3.1.6 Le modèle mathématique du mesurage qui transforme l'ensemble des observations répétées en résultat de mesure est d'importance critique parce que, en plus des observations, il comporte généralement les différentes grandeurs d'influence qui ne sont pas connues exactement. La nature imparfaite de la connaissance contribue à l'incertitude du résultat de mesure comme le font les variations des observations répétées et toute incertitude associée au modèle mathématique lui-même.

* **Note de bas de page à la version 2008:**

Conformément à la Résolution 10 de la 22e CGPM (2003), «... le symbole du séparateur décimal pourra être le point sur la ligne ou la virgule sur la ligne...». Le JCGM a décidé d'adopter, dans ses documents en anglais, le point sur la ligne. Cependant, dans le présent document, la virgule sur la ligne a été retenue par souci de cohérence avec la version imprimée.

3.1.7 Ce *Guide* traite le mesurande comme un scalaire (une grandeur unique). L'extension à un ensemble de mesurandes interdépendants, déterminés simultanément par le même mesurage, nécessite de remplacer le mesurande scalaire et sa **variance** (C.2.11, C.2.20, C.3.2) par un mesurande vectoriel et une **matrice de covariance** (C.3.5). Ce *Guide* n'envisage ce remplacement que dans les exemples (voir H.2, H.3 et H.4).

3.2 Erreurs, effets et corrections

3.2.1 Un mesurage présente, en général, des imperfections qui occasionnent une **erreur** (B.2.19) pour le résultat de mesure. On envisage traditionnellement qu'une erreur possède deux composantes, à savoir une composante **aléatoire** (B.2.21) et une composante **systématique** (B.2.22).

NOTE Le concept d'erreur est idéal et les erreurs ne peuvent pas être connues exactement.

3.2.2 L'erreur aléatoire provient probablement de variations temporelles et spatiales non prévisibles ou stochastiques de grandeurs d'influence. Les effets de telles variations, appelés ci-après *effets aléatoires*, entraînent des variations pour les observations répétées du mesurande. Bien qu'il ne soit pas possible de compenser l'erreur aléatoire d'un résultat de mesure, elle peut généralement être réduite en augmentant le nombre d'observations. Son **espérance mathématique** ou **valeur espérée** (C.2.9, C.3.1) est égale à zéro.

NOTE 1 L'écart-type expérimental de la moyenne arithmétique d'une série d'observations (voir 4.2.3) *n'est pas* l'erreur aléatoire de la moyenne, bien qu'on le désigne ainsi dans certaines publications. Mais c'est, en fait, une mesure de l'*incertitude* de la moyenne due aux effets aléatoires. La valeur exacte de l'erreur sur la moyenne provenant de ces effets ne peut pas être connue.

NOTE 2 Ce *Guide* prend grand soin de distinguer les termes «erreur» et «incertitude». Ils ne sont pas synonymes mais représentent des concepts complètement différents. Ils ne doivent pas être confondus ou utilisés à tort l'un pour l'autre.

3.2.3 L'erreur systématique, comme l'erreur aléatoire, ne peut pas être éliminée mais, elle aussi, peut souvent être réduite. Si une erreur systématique se produit sur un résultat de mesure à partir d'un effet reconnu d'une grandeur d'influence, effet appelé ci-après *effet systématique*, l'effet peut être quantifié et, s'il est significatif par rapport à l'exactitude requise du mesurage, une **correction** (B.2.23) ou un **facteur de correction** (B.2.24) peut être appliqué pour compenser l'effet. On suppose qu'après correction l'espérance mathématique de l'erreur qui provient d'un effet systématique est égale à zéro.

NOTE L'incertitude d'une correction appliquée à un résultat de mesure pour compenser un effet systématique *n'est pas* l'erreur systématique due à cet effet, souvent appelée *biais*, sur le résultat de mesure, bien qu'elle soit parfois désignée ainsi. Au lieu de cela, c'est la mesure de l'*incertitude* du résultat due à une connaissance incomplète de la valeur exigée pour la correction. L'erreur provenant d'une compensation imparfaite d'un effet systématique ne peut pas être connue exactement. Les termes «erreur» et «incertitude» doivent être utilisés correctement et il faut prendre soin de les distinguer l'un de l'autre.

3.2.4 On suppose que le résultat d'un mesurage a été corrigé pour tous les effets systématiques reconnus comme significatifs et qu'on a fait tous ses efforts pour leur identification.

EXEMPLE On applique une correction due à l'impédance finie d'un voltmètre utilisé pour déterminer la différence de potentiel (le mesurande) aux bornes d'une résistance d'impédance élevée, pour réduire l'effet systématique sur le résultat du mesurage provenant de l'effet dû au branchement du voltmètre. Cependant, les valeurs des impédances du voltmètre et de la résistance, qui sont utilisées pour estimer la valeur de la correction et qui sont obtenues à partir d'autres mesurages, présentent elles-mêmes une incertitude. Ces incertitudes sont utilisées pour évaluer la composante de l'incertitude sur la détermination de la différence de potentiel provenant de la correction, donc de l'effet systématique dû à l'impédance finie du voltmètre.

NOTE 1 Les instruments et systèmes de mesure sont souvent ajustés ou étalonnés par utilisation d'étalons et de matériaux de référence pour éliminer les effets systématiques. Il n'en reste pas moins que les incertitudes associées à ces étalons et matériaux de référence doivent être prises en considération.

NOTE 2 Le cas où une correction due à un effet systématique reconnu comme significatif n'est pas appliquée est présenté dans la *Note* de 6.3.1 et en F.2.4.5.

3.3 Incertitude

3.3.1 L'incertitude du résultat d'un mesurage reflète l'impossibilité de connaître exactement la valeur du mesurande (voir [2.2](#)). Le résultat d'un mesurage après correction des effets systématiques reconnus reste encore seulement une *estimation* de la valeur du mesurande en raison de l'incertitude provenant des effets aléatoires et de la correction imparfaite du résultat pour les effets systématiques.

NOTE Le résultat d'un mesurage (après correction) peut, sans qu'on le sache, être très proche de la valeur du mesurande (et, en conséquence, avoir une erreur négligeable) même s'il possède une incertitude élevée. C'est pourquoi l'incertitude du résultat d'un mesurage ne doit pas être confondue avec l'erreur résiduelle inconnue.

3.3.2 Il existe dans la pratique de nombreuses sources possibles d'incertitude dans un mesurage, comprenant:

- a) définition incomplète du mesurande;
- b) réalisation imparfaite de la définition du mesurande;
- c) échantillonnage non représentatif — l'échantillon mesuré peut ne pas représenter le mesurande défini;
- d) connaissance insuffisante des effets des conditions d'environnement sur le mesurage ou mesurage imparfait des conditions d'environnement;
- e) biais dû à l'observateur pour la lecture des instruments analogiques;
- f) résolution finie de l'instrument ou seuil de mobilité;
- g) valeurs inexactes des étalons et matériaux de référence;
- h) valeurs inexactes des constantes et autres paramètres obtenus de sources extérieures et utilisés dans l'algorithme de traitement des données;
- i) approximations et hypothèses introduites dans la méthode et dans la procédure de mesure;
- j) variations entre les observations répétées du mesurande dans des conditions apparemment identiques.

Ces sources ne sont pas nécessairement indépendantes, et certaines des sources [a](#)) à [j](#)) peuvent contribuer à la source [j](#)). Naturellement, un effet systématique non mis en évidence ne peut pas être pris en compte dans l'évaluation de l'incertitude du résultat d'un mesurage mais il contribue à son erreur.

3.3.3 La Recommandation INC-1 (1980) du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes classe les composantes de l'incertitude en deux catégories fondées sur leur méthode d'évaluation, «A» et «B» (voir [0.7](#), [2.3.2](#) et [2.3.3](#)). Ces catégories s'appliquent à l'*incertitude* et ne constituent pas des substituts aux mots «aléatoire» et «systématique». L'incertitude d'une correction pour un effet systématique connu peut être obtenue dans certains cas par une évaluation de Type A et, dans d'autres cas, par une évaluation de Type B; il peut en être de même pour l'incertitude qui caractérise un effet aléatoire.

NOTE Dans certaines publications, les composantes de l'incertitude sont réparties en «aléatoires» et «systématiques» et sont respectivement associées aux erreurs provenant d'effets aléatoires et d'effets systématiques connus. Un tel classement des composantes de l'incertitude peut être ambigu lorsqu'on l'applique généralement. Par exemple, une composante «aléatoire» de l'incertitude pour un mesurage donné peut devenir une composante «systématique» de l'incertitude dans un autre mesurage pour lequel on utilise le résultat du premier mesurage comme donnée d'entrée. Différencier les *méthodes* d'évaluation des composantes de l'incertitude plutôt que les *composantes* elles-mêmes évite cette ambiguïté. En même temps, cela n'empêche pas de rassembler ultérieurement des composantes individuelles évaluées par les deux méthodes différentes dans des groupes conçus pour être utilisés pour un objectif particulier (voir [3.4.3](#)).

3.3.4 L'objectif de la classification en Type A et en Type B est d'indiquer les deux différentes manières d'évaluer les composantes de l'incertitude; elle n'a pour but que de clarifier la présentation; cette classification ne signifie pas qu'il existe une différence quelconque de nature entre les composantes résultant des deux types d'évaluation. Les deux types d'évaluation sont fondés sur des **lois de probabilité** ([C.2.3](#)), et les

composantes de l'incertitude résultant de l'un comme de l'autre type sont quantifiées par des variances ou des écarts-types.

3.3.5 La variance estimée u^2 qui caractérise une composante de l'incertitude obtenue par une évaluation de Type A est calculée à partir de séries d'observations répétées et est la variance habituelle estimée statistiquement s^2 (voir 4.2). L'**écart-type** estimé (C.2.12, C.2.21, C.3.3) u , racine carrée de u^2 , est donc $u = s$ et, par commodité, est parfois appelé *incertitude-type de Type A*. Pour une composante de l'incertitude obtenue par une évaluation de Type B, la variance estimée u^2 est évaluée par utilisation des connaissances disponibles (voir 4.3) et l'écart-type estimé u est parfois appelé *incertitude-type de Type B*.

On obtient donc une incertitude-type de Type A à partir d'une **fonction de densité de probabilité** (C.2.5) (ou simplement **densité de probabilité**) déduite d'une **distribution d'effectif** (C.2.18) (ou distribution de fréquence) observée alors qu'on obtient une incertitude-type de Type B à partir d'une densité de probabilité supposée, fondée sur le degré de croyance en ce qu'un événement se produise [souvent appelé **probabilité** (C.2.1) subjective]. Les deux approches utilisent des interprétations classiques de la probabilité.

NOTE Une évaluation de Type B d'une composante de l'incertitude est habituellement fondée sur un ensemble d'informations relativement fiables (voir 4.3.1).

3.3.6 Lorsque le résultat d'un mesurage est obtenu à partir des valeurs de plusieurs autres grandeurs, l'incertitude-type de ce résultat est appelée *incertitude-type composée* et notée u_c . C'est l'écart-type estimé associé au résultat et il est égal à la racine carrée de la variance composée obtenue à partir de toutes les composantes de variances et **covariances** (C.3.4), de quelque manière qu'elles soient évaluées, en utilisant ce qui, dans ce Guide, est appelé la *loi de propagation de l'incertitude* (voir Article 5).

3.3.7 Pour satisfaire les besoins de certaines applications industrielles et commerciales ainsi que les exigences dans les domaines de la santé et de la sécurité, une *incertitude élargie* U s'obtient par la multiplication de l'incertitude-type composée u_c par un **facteur d'élargissement** k . L'objectif poursuivi avec cette incertitude élargie U est de fournir, autour du résultat d'un mesurage, un intervalle dont on puisse s'attendre à ce qu'il comprenne une fraction élevée de la distribution des valeurs qui pourraient être attribuées raisonnablement au mesurande. Le choix du facteur k , qui est habituellement compris entre 2 et 3, est fondé sur la probabilité ou le niveau de confiance exigé pour l'intervalle (voir Article 6).

NOTE Le facteur d'élargissement k doit toujours être donné pour que l'incertitude-type de la grandeur mesurée puisse être retrouvée et utilisée dans le calcul de l'incertitude-type composée d'autres résultats de mesure qui pourraient dépendre de cette grandeur.

3.4 Considérations pratiques

3.4.1 Si on fait varier la totalité des grandeurs dont dépend le résultat d'un mesurage, son incertitude peut être évaluée par des moyens statistiques. Cependant, comme cela est rarement possible en pratique faute de temps et de ressources suffisantes, l'incertitude d'un résultat de mesure est habituellement évaluée par utilisation d'un modèle mathématique du mesurage et de la loi de propagation de l'incertitude. L'hypothèse qu'un mesurage peut être modélisé mathématiquement, jusqu'au degré imposé par l'exactitude requise pour le mesurage, est donc implicite dans ce Guide.

3.4.2 Comme le modèle mathématique peut être incomplet, il faudrait pouvoir faire varier toutes les grandeurs mises en jeu, de la manière la plus complète possible pratiquement, pour que l'évaluation de l'incertitude puisse être fondée le plus possible sur des données observées. À chaque fois que cela est réalisable, on utilisera des modèles empiriques du mesurage fondés sur des données quantitatives obtenues pendant de longues périodes ou sur l'utilisation d'étalons de surveillance ou de cartes de contrôles qui puissent indiquer si un mesurage est sous contrôle statistique. Toutes ces dispositions doivent faire partie des efforts qui ont pour but d'obtenir des évaluations fiables de l'incertitude. Le modèle mathématique doit toujours être révisé lorsque les données observées, y compris le résultat de déterminations indépendantes du même mesurande, démontrent que le modèle est incomplet. Un essai bien conçu peut grandement faciliter des évaluations fiables de l'incertitude et c'est une part importante de l'art de la mesure.

3.4.3 Pour décider si un système de mesure fonctionne correctement, la variabilité observée expérimentalement de ses valeurs de sortie, telle que mesurée par leur écart-type observé, est souvent comparée avec l'écart-type prédit, obtenu par combinaison des diverses composantes de l'incertitude qui