
Lignes directrices relatives à l'incertitude en hydrométrie

Hydrometric uncertainty guidance (HUG)

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

ISO 25377:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/42f62369-7d82-4da8-b2b7-9c560df09ef7/iso-25377-2020>



iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

ISO 25377:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/42f62369-7d82-4da8-b2b7-9c560df09ef7/iso-25377-2020>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2020

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
Introduction.....	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles	1
5 Guide ISO/IEC 98-3 (GUM) — Définitions et règles fondamentales	3
5.1 Généralités.....	3
5.2 Incertitude des ensembles de mesures.....	3
5.3 Effets aléatoires et systématiques.....	4
5.4 Modèles d'incertitude — Distributions de probabilités.....	5
5.5 Composition des incertitudes — Loi de propagation des incertitudes.....	5
5.6 Expression des résultats.....	6
6 Écoulement à surface libre — Méthodes par exploration du champ des vitesses	7
6.1 Généralités.....	7
6.2 Vitesse moyenne, \bar{V}_x	8
6.3 Méthode d'exploration du champ des vitesses pour le calcul du débit.....	9
6.4 Mesure de la vitesse.....	10
6.5 Incertitude associée à la méthode d'exploration du champ des vitesses.....	10
6.5.1 Généralités.....	10
6.5.2 Effets aléatoires et systématiques.....	12
6.6 Incertitudes relatives à l'intégration $[u^*(F_y), u^*(F_z)]$	12
6.6.1 Généralités.....	12
6.6.2 Incertitudes relatives au balayage vertical.....	12
6.6.3 Incertitudes relatives au balayage horizontal.....	13
6.7 Incertitudes relatives à l'écoulement périphérique, $u(Q_p)$	13
7 Écoulement à surface libre — Méthode de la profondeur critique	14
7.1 Généralités.....	14
7.2 Détermination de la charge et de la géométrie.....	14
7.3 Calcul itératif.....	15
7.4 Évaluation de l'incertitude.....	16
8 Méthodes par dilution	16
8.1 Généralités.....	16
8.2 Alimentation en continu.....	17
8.3 Masse transitoire.....	18
9 Instrumentation en hydrométrie	19
9.1 Spécifications des performances.....	19
9.2 Validité des déclarations d'incertitude.....	19
9.3 Spécifications du fabricant.....	20
9.4 Guide de performances des équipements hydrométriques utilisés dans les exemples de normes techniques.....	21
10 Guide pour la rédaction des articles relatifs à l'incertitude dans les normes hydrométriques	22
10.1 Généralités.....	22
10.2 Équipements, méthodes et systèmes de mesure.....	22
10.2.1 Généralités.....	22
10.2.2 Équipement.....	22
10.2.3 Méthodes.....	23

10.2.4	Systèmes.....	23
11	Exemples.....	23
11.1	Généralités.....	23
11.2	Incertitude de mesure du niveau d'eau.....	23
11.2.1	Exemple 1: Capteur à flotteur/à encodeur installé dans un puits de mesurage dans une station hydrométrique.....	23
11.2.2	Exemple 2: Transmetteur de pression monté dans un tube.....	24
11.3	Incertitude de mesure de l'écoulement avec des structures de mesurage de l'écoulement.....	25
11.4	Incertitude de mesure du débit par un moulinet.....	27
Annexe A	(informative) Introduction à l'incertitude en hydrométrie.....	33
Annexe B	(informative) Introduction à la simulation de Monte-Carlo (MCS).....	50
Annexe C	(informative) Méthode d'estimation de la variance par interpolation (IVE).....	55
Annexe D	(informative) Guide de performances des équipements hydrométriques utilisés dans les exemples de normes techniques.....	59
Annexe E	(informative) Analyse de l'incertitude de la relation hauteur-débit.....	63
Annexe F	(informative) Mesure de la vitesse.....	67
Bibliographie	72

iTeh Standards
(<https://standards.itih.ai>)
Document Preview

[ISO 25377:2020](https://standards.itih.ai/catalog/standards/iso/42f62369-7d82-4da8-b2b7-9c560df09ef7/iso-25377-2020)

<https://standards.itih.ai/catalog/standards/iso/42f62369-7d82-4da8-b2b7-9c560df09ef7/iso-25377-2020>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 113, *Hydrométrie*.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Introduction

La gestion d'un environnement naturel suppose d'avoir une connaissance, par le biais de mesurages, des événements qui se produisent. Ce n'est qu'alors que des mesures efficaces peuvent être prises et que l'efficacité de ces mesures peut être évaluée. L'essentiel de l'efficacité obtenue dépend de la qualité des connaissances proprement dites.

La qualité des connaissances mesurables est exprimée en termes d'incertitude de mesure. Le guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM) est la méthode d'évaluation de la qualité de mesure adoptée au niveau international. Sans cette uniformité de normes de mesure, il est impossible de parvenir à un partage équitable de l'environnement; en outre, les obligations internationales en matière de respect de l'environnement s'en trouveraient amoindries.

L'objet essentiel du GUM est d'accompagner toutes les mesures décrites dans les normes techniques d'une déclaration de la qualité d'un résultat de mesure. À défaut, il serait impossible de comparer deux mesures ou d'établir des étalons. Si le GUM est un document de référence couvrant les exigences universelles de la métrologie, les lignes directrices relatives à l'incertitude en hydrométrie (HUG) s'appliquent de façon spécifique à l'hydrométrie, c'est-à-dire au mesurage des composantes du cycle hydrologique. Le présent document emprunte au GUM les méthodes qui s'appliquent le mieux à l'hydrométrie et les applique aux techniques et équipements employés dans le domaine de l'hydrométrie.

Autrefois, une simple analyse des erreurs donnait une indication de la qualité de mesure, mais de tels énoncés ne peuvent transmettre correctement la qualité du résultat, car ils présupposent la connaissance d'une valeur vraie, exempte d'erreur, à laquelle le résultat mesuré peut être comparé. La valeur vraie ne peut jamais être connue et une incertitude demeure. C'est pourquoi le GUM est fondé sur le concept d'incertitude, qu'il utilise pour toutes les phases et toutes les composantes du processus de mesure. Cela garantit une cohérence.

Le GUM définit l'incertitude-type d'un résultat comme étant équivalent à un écart-type. Il peut s'agir de l'écart-type d'un ensemble de valeurs mesurées ou de valeurs probables. Cette approche est globalement similaire à celle utilisée dans l'analyse des erreurs qui était utilisée avant le développement de la technique de détermination de l'incertitude. Cependant, le GUM propose des méthodes supplémentaires permettant d'estimer l'incertitude sur la base de modèles de probabilité. Les deux approches sont équivalentes, mais l'incertitude suppose seulement de connaître ou d'estimer la dispersion du mesurage autour de sa valeur moyenne, et non l'existence d'une valeur vraie. L'hypothèse retenue est qu'une évaluation rigoureuse des composantes de l'incertitude de mesure permet d'obtenir une valeur moyenne proche de la valeur vraie probable, ou tout du moins une valeur bien située dans sa marge d'incertitude.

De façon plus générale, l'incertitude est un paramètre qui caractérise la dispersion de valeurs mesurables qui peuvent être attribuées à leur valeur moyenne.

En considérant les écarts-types et les modèles de probabilité comme approchant les distributions gaussiennes (ou normales), le GUM établit une méthodologie formelle pour combiner les composantes de l'incertitude dans des systèmes de mesure où plusieurs variables d'entrée interviennent dans la détermination du résultat.

Dans ce cadre formel, le GUM peut être appliqué de manière cohérente à une grande diversité d'applications et, par conséquent, il peut être utilisé pour comparer des résultats de façon significative.

Le HUG cherche à promouvoir une compréhension de la nature de l'incertitude de mesure et son importance pour l'estimation de la «qualité» d'une mesure ou d'une détermination dans le domaine de l'hydrométrie.

L'hydrométrie est principalement axée sur la détermination de l'écoulement dans les rivières et les chenaux artificiels. Cela inclut:

- l'hydrométrie environnementale, c'est-à-dire la détermination de l'écoulement des eaux naturelles (qui concerne essentiellement les réseaux hydrométriques, l'alimentation en eau et la protection contre les inondations);

- l'hydrométrie industrielle, c'est-à-dire la détermination des écoulements dans les installations industrielles et les rejets dans l'environnement naturel (qui concerne essentiellement la protection de l'environnement et l'irrigation).

L'une et l'autre sont régies par des traités et engagements internationaux. Pour cette raison, il est attendu que les données mesurées se conforment au GUM pour assurer la comparabilité des résultats.

L'hydrométrie concerne également la détermination des précipitations, le mouvement/la diffusion des eaux souterraines et le transport de sédiments et de matières solides par l'écoulement de l'eau. Cette version du HUG s'applique uniquement à la détermination de l'écoulement.

Les résultats de l'hydrométrie sont utilisés par d'autres disciplines pour la réglementation et la gestion de l'environnement. Si des connaissances en matière de biomasse, de matières sédimentaires, de toxines, etc. sont nécessaires, la concentration de ces composants est déterminée et leur incertitude est estimée. L'incertitude de la charge de masse peut alors être déterminée à partir de l'incertitude de la détermination de l'écoulement. La conformité au GUM garantit la compatibilité des éléments utilisés pour ce calcul.

Pour les professionnels de l'hydrométrie et pour les ingénieurs, le GUM n'est pas un simple document de référence. Le document a été rédigé pour fournir un cadre juridique aux professionnels de la métrologie ayant une connaissance pratique des méthodes statistiques et de leur représentation mathématique. Un document utile, voir Référence [2], condense le GUM pour le rendre plus accessible aux ingénieurs et aux spécialistes intervenant dans d'autres domaines que la métrologie.

Le HUG, bien qu'il simplifie les concepts, ne contredit en rien les principes et méthodes du GUM. Par conséquent, le HUG interprète le GUM pour appliquer de manière pratique ses exigences à l'hydrométrie, et dans l'espoir qu'il soit accessible aux ingénieurs et aux personnes responsables de la gestion de l'environnement.

De plus, le HUG introduit et développe la simulation de Monte-Carlo, une technique complémentaire qui présente des avantages pour l'hydrométrie dans la mesure où des systèmes de mesure complexes peuvent être représentés de façon réaliste.

Le HUG synthétise les méthodes hydrométriques de base définies dans différentes normes techniques. Le HUG s'inspire du GUM pour établir des formules d'estimation de l'incertitude pour ces méthodes de base. Les méthodes hydrométriques de base décrites dans le HUG peuvent différer de celles présentées dans les normes techniques publiées. Dans ces cas de figure, les méthodes décrites dans ces normes ne font pas autorité. Il convient en revanche d'adapter les paragraphes et articles des normes techniques relatifs à l'incertitude de manière qu'ils soient conformes au HUG.

NOTE 1 Les normes hydrométriques ne donnent aucune définition unifiée des coordonnées spatiales. Le présent document adopte les axes conventionnels du manuel pour décrire l'écoulement à surface libre: l'axe x étant horizontal et positif dans la direction moyenne d'écoulement, l'axe y étant orthogonal à l'axe x dans le plan horizontal et l'axe z étant vertical et positif.

NOTE 2 Pour une appréciation complète du domaine d'application des définitions utilisées dans l'incertitude de mesure, le lecteur est invité à se référer au GUM[1] ou à la Note technique 1297[2] du NIST.

Lignes directrices relatives à l'incertitude en hydrométrie

1 Domaine d'application

Le présent document fournit une compréhension de la nature de l'incertitude de mesure et son importance pour l'estimation de la «qualité» d'une mesure ou d'une détermination dans le domaine de l'hydrométrie.

Il s'applique aux mesures d'écoulement dans les chenaux naturels et artificiels. Il ne s'applique pas aux mesures de précipitations.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

ISO 772, *Hydrométrie — Vocabulaire et symboles*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 772 s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

— IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>.

4 Symboles

Symboles	Explications	Unités
α	coefficient représentant les effets d'une énergie non uniforme (vitesse) dans un chenal	b
$\gamma_{xx}, \gamma_{xy}, \gamma_{xz}$	angles entre les axes du bateau et l'axe x	rad
σ	écart-type	a
$\Delta'x, \Delta'y$	dispersion de mesure par rapport à la valeur moyenne de l'ensemble de mesures x,y pour une distribution symétrique: $\Delta'x = 0,5(x_{\max} - x_{\min})$, etc.	a
$\Delta'x^+, \Delta'x^-$	dispersion \pm autour de la valeur moyenne, \bar{x} , pour une distribution asymétrique de mesures, où $\Delta'x^+ = (x_{\max} - \bar{x})$ et $\Delta'x^- = (\bar{x} - x_{\min})$	a
Δ	petite différence dans une grandeur mesurée $\Delta Q, \Delta h, \Delta T$, etc.	a
$\Delta y, \Delta z$	petites distances théoriques dans les directions y et z à une section transversale du chenal	m
a L'ordre de grandeur dépend du contexte.		
b Grandeur sans dimension.		

Symboles	Explications	Unités
Dc_2	dans la méthode par dilution, changement de concentration mélangée en aval ($c_m - c_b$) du traceur	mg/l
$A, A(z), A(h)$	section transversale (dans le plan y,z) de l'écoulement	m ²
B	largeur du chenal	m
b	largeur de la section contractée du chenal ou largeur du col du canal jaugeur	m
c_b	méthode par dilution, concentration de fond du traceur	mg/l
c_T	méthode par dilution, concentration d'alimentation du traceur	mg/l
c_m	méthode par dilution, concentration mélangée en aval du traceur	mg/l
C	coefficient de débit	b
C_v	coefficient de vitesse	b
d_i	écart entre une mesure (la i ème mesure d'une série) et la valeur moyenne de la même série	a
E	hauteur du plan de référence d'un dispositif de mesure de plages	m
$f(h)$	fonction générale du paramètre h	a
F_x, F_y	facteurs de multiplication à appliquer à la somme des composantes du champ des vitesses pour tenir compte de l'approximation d'un processus de sommation à une intégration réelle de paramètres variables en continu	b
g	accélération gravitationnelle	m/s ²
h	charge de l'eau par rapport à un niveau de référence défini dans le chenal	m
H	charge totale par rapport à un niveau de référence défini dans le chenal	m
i, j	indices d'un nombre $i = 1$ à n , ou $j = 1$ à m d'une série	a
J	facteur de détection d'une fausse mesure	b
K	constante d'une formule de détermination d'écoulement pour un déversoir ou un canal jaugeur	b
k_1, k_2	constantes de détermination d'écoulement selon la méthode par dilution	b
M	méthode par dilution, masse du traceur introduit dans le cours d'eau	g
n	exposant d'une formule de détermination d'écoulement pour un déversoir ou un canal jaugeur	b
n, m	nombre de mesurages dans une série	a
$p(x)$	fonction de probabilité	b
Q	écoulement	
Q_p	écoulement estimatif passant à proximité des frontières ou de toute région où la mesure ne peut pas être déterminée par les moyens primaires	m ³ /s
Q_T	méthode par dilution, écoulement du traceur dans le cours d'eau	m ³ /s
S	écart-type d'échantillonnage d'un ensemble de mesures	a
t_e	facteur à appliquer à de petites quantités d'échantillons pour obtenir un écart-type qui soit représentatif de grandes quantités d'échantillons (voir Annexe A)	b
t_1, t_2	dans la méthode par dilution, intervalle pendant lequel un changement de concentration est détectable	s
T	température absolue, en Kelvin	°C
T_n	paramètre du test de Grubbs	°C
$U(x), u(y)$	incertitude des variables mesurées x, y , etc.	a
$u_c(p), u_c(q)$	incertitude composée des résultats déterminés p, q , etc.	a
$u^*(x)$	pourcentage d'incertitude d'une mesure d'une quelconque grandeur x	a
a L'ordre de grandeur dépend du contexte.		
b Grandeur sans dimension.		

Symboles	Explications	Unités
U_{95}	incertitude de mesure élargie à un niveau de confiance de 95 %	a
$V_{\bar{x}}$	vitesse moyenne à travers un plan yx croisant une section transversale du chenal	m/s
$V_x(y, z)$	vitesse dans la direction x au point y, z dans le chenal	m/s
\vec{V}	vecteur de vitesse de l'eau par rapport au chenal	m/s
\vec{V}_b	vecteur de vitesse du bateau par rapport au chenal	m/s
\vec{V}'	vecteur de vitesse de l'eau par rapport au bateau	m/s
V'_x, V'_y, V'_z	composantes de la vitesse de l'eau par rapport au bateau le long des axes de coordonnées du bateau	m/s
$V'_{bx}, V'_{by}, V'_{bz}$	composantes de la vitesse du bateau par rapport aux axes du bateau	m/s
$\gamma_{xx}, \gamma_{xy}, \gamma_{xz}$	angles entre les axes du bateau et l'axe x du chenal	rad
x, y, z	coordonnées du chenal	m
x', y', z'	coordonnées du bateau	m
x, y	variables mesurables	a
^a L'ordre de grandeur dépend du contexte. ^b Grandeur sans dimension.		

Dans le présent document, le terme «incertitude» se rapporte à l'incertitude de mesure et les formules suivantes sont utilisées pour signifier:

- une somme de n valeurs de x $x_1 + x_2 + x_3 + \dots x_i + \dots x_n = \sum_{i=1}^n x_i$;
- une différence, $df(x)$ dans la fonction, $f(x)$, en raison d'une faible variation, Δx de la valeur de x $df(x) = \frac{df}{dx} \Delta x$;
- une valeur d'une intégrale, F , d'une fonction, $f(x)$, entre, $x = x_1$, et $x = x_n$ $F = \int_{x_1}^{x_n} f(x) dx$.

5 Guide ISO/IEC 98-3 (GUM) — Définitions et règles fondamentales

5.1 Généralités

Le présent article décrit succinctement les méthodes décrites dans le GUM pour l'expression de l'incertitude de mesure. Pour une introduction générale à l'incertitude de mesure, voir l'[Annexe A](#).

5.2 Incertitude des ensembles de mesures

Le GUM décrit l'incertitude de mesure comme une valeur qui caractérise la dispersion des mesures qui pourraient être raisonnablement attribuées au résultat. Le GUM poursuit en définissant l'incertitude-type comme une incertitude exprimée sous la forme d'un écart-type, s .

De cette définition, il ressort que l'incertitude ne porte que sur la dispersion naturelle relative à une série de résultats de mesure. Il convient donc de souligner que l'incertitude ne décrit en aucun cas les écarts constants (systématiques) de ces mesures par rapport à la valeur vraie. La différence entre les effets aléatoires et systématiques est davantage détaillée en [5.3](#).

Aussi, pour un ensemble de n mesures, l'incertitude est liée à la différence entre chaque valeur mesurée, x_i , par rapport à la valeur moyenne, \bar{x} de l'ensemble. L'écart-type, et donc l'incertitude, $u(x)$ est:

$$u(x) = s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[(\bar{x} - x_1)^2 + (\bar{x} - x_2)^2 + (\bar{x} - x_3)^2 + \dots + (\bar{x} - x_n)^2 \right]}$$

où la composante $d_i = \bar{x} - x_i$ correspond à l'écart entre la i ème mesure, x_i , et la valeur moyenne, \bar{x} .

Ou, de façon simplifiée:

$$u(x) = s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n d_i^2} \quad (1)$$

où $d_i = \bar{x} - x_i$ correspond à l'écart entre la i ème mesure et la valeur moyenne, \bar{x} , exprimée par la [Formule \(2\)](#):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

La [Formule \(1\)](#) exprimant l'incertitude de x s'applique uniquement aux processus stochastiques stationnaires en régime permanent, où la valeur moyenne et l'écart-type du processus échantillonné restent inchangés pendant tout le mesurage.

L'incertitude de la valeur moyenne, $u(\bar{x})$, diminue en même temps que le nombre de mesures, n , augmente. La relation donnée par le GUM à cet effet correspond à la [Formule \(3\)](#):

$$u(\bar{x}) = \frac{1}{\sqrt{n}} u(x) \quad (3)$$

Il convient de noter que la [Formule \(3\)](#) ne s'applique qu'aux mesures non corrélées, c'est-à-dire en l'absence de relation réciproque ou de connexion entre ces mesures.

5.3 Effets aléatoires et systématiques

La [Formule \(3\)](#) s'applique uniquement aux variations aléatoires de la grandeur mesurée. Cet effet aléatoire est déterminé à partir des données mesurées et, par conséquent, est évalué après qu'un ensemble de mesures a été effectué. Les effets aléatoires peuvent être déterminés à partir de l'analyse des données historiques ou par l'instrumentation elle-même si elle a été conçue pour analyser les données en temps réel. Les effets aléatoires diminuent l'incertitude liée à la valeur moyenne d'un ensemble de n mesures non corrélées par un facteur de $\frac{1}{\sqrt{n}}$. Il existe souvent des conditions aléatoires

sous forme de turbulences naturelles. Des variations aléatoires peuvent cependant parfois se produire au niveau de l'interprétation humaine d'une valeur lue sur un indicateur, comme une échelle limnimétrique verticale.

Les écarts constants dans les mesures qui sont inhérents à l'équipement de mesure ou à la méthode sont appelés «effets systématiques». Il convient de les distinguer clairement des écarts stochastiques ou aléatoires ci-mentionnés, conformément à la description du terme «incertitude». La [Formule \(3\)](#) ne peut pas être utilisée pour diminuer les effets systématiques. Pendant chaque session de mesure, les effets systématiques peuvent généralement être considérés comme constants pour le dispositif de mesure. En ce qui concerne les composantes systématiques:

- il convient qu'elles soient évaluées dans le cadre d'une procédure d'installation ou de mise en service; et/ou
- elles peuvent être spécifiées au préalable par le fabricant de l'équipement. Voir l'[Article 9](#);
- elles peuvent parfois être détectées et quantifiées par comparaison minutieuse de différentes techniques de mesure indépendantes.

Voir [A.6](#) pour plus d'informations sur les effets aléatoires et systématiques.

Pour l'évaluation de l'incertitude d'un procédé stochastique continu, inclure également la présence de tout effet transitoire comme composante aléatoire. Cependant, cela est uniquement admis si la grandeur physique mesurée varie lentement et de manière relativement faible pendant le mesurage. Bien sûr, une telle procédure élargit la dispersion des valeurs mesurées et vient donc s'ajouter à l'évaluation de la composante aléatoire. Cette variation devient alors partie intégrante du caractère aléatoire de la mesure. Si, au cours du mesurage, le taux et l'ampleur de la variation sont tels qu'ils dépassent de façon significative la dispersion naturelle des mesures, le résultat doit être ignoré.

5.4 Modèles d'incertitude — Distributions de probabilités

En hydrométrie, les mesures sont souvent prises manuellement ou à l'aide d'instruments automatisés. Elles ont une marge dans laquelle les valeurs mesurées peuvent varier de façon aléatoire dans des conditions stables. Si elles présentent également un décalage constant, inhérent au processus de mesure, ce décalage est considéré comme une composante systématique. Elle est généralement exprimée sous forme de distribution de probabilités. Les distributions de probabilités ont des écarts-types autour de la valeur moyenne qui équivalent à l'écart-type des mesures discrètes définies ci-dessus. L'incertitude-type équivalant aux [Formules \(1\)](#) et [\(2\)](#) est donnée par les [Formules \(4\)](#) et [\(5\)](#):

$$\bar{x} = \int_{-\Delta x}^{\Delta x} x \cdot p(x) dx \quad (4)$$

et

$$u(x) = \sqrt{\int_{-\Delta x}^{\Delta x} d(x)^2 \cdot p(x) dx} \quad (5)$$

où

$p(x)$ est une fonction de densité de probabilité;

d est l'écart par rapport à la moyenne;

Δx est l'intervalle des mesures discrètes.

Se reporter à l'[Annexe A](#) pour plus d'informations.

5.5 Composition des incertitudes — Loi de propagation des incertitudes

Le GUM définit également une règle pour composer les certitudes à partir de plusieurs sources. Il s'agit de ce que l'on appelle la «loi de la propagation des incertitudes». Pour une relation, f , entre un résultat, y , et des variables, x_1, x_2, \dots, x_n , définies comme $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, l'incertitude composée, $u_c(y)$, de y est:

$$u_c(y)^2 = \sum_{i=1}^{i=n} \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right]^2$$

ou

$$u_c(y)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1} u(x_1) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} u(x_2) \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} u(x_n) \right)^2 \quad (6)$$

où x_1, x_2, \dots, x_n sont des variables indépendantes. Cependant, l'approximation linéaire avec les dérivées premières est uniquement admise lorsque les écarts des variables x_i sont relativement faibles par rapport à leur valeur moyenne.

La [Formule \(6\)](#) s'applique uniquement lorsque les variables x_1, x_2, \dots, x_n ne sont pas corrélées, c'est-à-dire si la variable x_i change de valeur, aucune autre variable x n'est affectée par ce changement. Si deux variables x ou plus s'influencent l'une et l'autre (autrement dit, si elles sont corrélées), il existe alors une autre composante d'incertitude. La [Formule \(6\)](#) devient alors:

$$u_c(y)^2 = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2 + 2 \sum_{i=1}^{i=n-1} \sum_{j=i+1}^{j=n} \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i x_j) \quad (7)$$

Presque toutes les estimations de l'incertitude en hydrométrie exigent l'utilisation de la forme plus simple, c'est-à-dire la [Formule \(6\)](#).

Les composantes peuvent être aléatoires ou systématiques. Les dérivées partielles $\frac{\partial f}{\partial x_n}$ sont appelés «coefficients de sensibilité» et $u(x_i x_j) = \text{cov}(x_i x_j)$.

5.6 Expression des résultats

La [Formule \(6\)](#) exprime le résultat final en termes d'incertitude-type. Pour la loi de probabilité gaussienne utilisée comme modèle de distribution pour une analyse générale, un seul écart-type couvre 68 % de la plage des résultats possibles. Cela signifie que, pour un résultat exprimé comme suit:

$$\text{débit} = 10,8 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

ou

$$Q = \bar{Q} \pm u(Q)$$

seulement 68 % de la mesure seront compris entre 10,2 m³/s et 11,4 m³/s. On peut s'attendre à ce que près d'un tiers de la mesure sorte de cette plage. Un tel énoncé n'a que peu de valeur en hydrométrie. Un énoncé plus significatif est nécessaire pour couvrir une plus grande partie des résultats possibles.

L'incertitude élargie est définie en [A.9](#). En élargissant la marge d'incertitude, une plus grande partie de la plage de mesures attendue est couverte. Pour la distribution de probabilités gaussienne, en doublant la marge d'incertitude, 95 % des mesures attendues peuvent être couvertes. L'incertitude élargie est définie en [A.9](#).

Le même résultat exprimé sous la forme suivante:

$$\text{débit} = 10,8 \text{ m}^3/\text{s} \pm 1,2 \text{ m}^3/\text{s} \text{ à un niveau de confiance de } 95 \%$$

ou

$$Q = \bar{Q} \pm U_{95}(Q)$$

signifie que 95 % de la mesure devraient se trouver entre 9,6 m³/s et 12,0 m³/s. Il s'agit d'une approche plus pratique de l'expression du résultat.