
Norme internationale



1088

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

**Mesure de débit des liquides dans les canaux
découverts — Méthodes d'exploration du champ des
vitesses — Recueil et traitement des données pour la
détermination des erreurs de mesurage**

Liquid flow measurement in open channels — Velocity-area methods — Collection and processing of data for determination of errors in measurement

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Deuxième édition — 1985-01-15

[ISO 1088:1985](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9035e071-4e96-479a-a429-2d323f0c4d89/iso-1088-1985>

CDU 532.57 : 532.543 : 627.133

Réf. n° : ISO 1088-1985 (F)

Descripteurs : écoulement de liquide, mesurage de débit, mesurage de vitesse, calcul d'erreur.

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 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.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 1088 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*.

La Norme internationale ISO 1088 a été pour la première fois publiée en 1973. Cette deuxième édition annule et remplace la première édition dont elle constitue une révision technique.

Sommaire

	Page	
1	Objet et domaine d'application	1
2	Références	1
3	Généralités	1
3.1	Principe	1
3.2	Apparition d'erreurs	1
3.3	Sources d'erreur	1
3.4	Détermination des composantes individuelles de l'erreur	2
3.5	Description de l'erreur limite	3
3.6	Erreur limite totale sur le débit	3
3.7	Évaluation de l'erreur sur les composantes individuelles	4
4	Données sur la vitesse en un point	4
5	Données sur la vitesse moyenne	4
5.1	Emplacement de la verticale	4
5.2	Répartition des points de mesurage	4
5.3	Durée des mesurages des vitesses en un point	5
5.4	Nombre de mesurages	5
5.5	Présentation des données	5
6	Données sur la méthode d'exploration du champ des vitesses	5
6.1	Mesurage à 0,6 fois la profondeur	5
6.2	Méthode de distribution des vitesses	5
6.3	Présentation des données	5
6.4	Informations de caractère général	5
7	Méthode d'intégration	5
8	Courbes d'étalonnage	6
9	Mesurages de distances	6
10	Mesurages de profondeur	6
11	Traitement des données	6
11.1	Généralités	6
11.2	Erreur-type I	6
11.3	Erreur-type II	8
11.4	Erreur-type III	9
12	Liste des symboles	10
Annexes		
A	Mesurages de la vitesse en un point — Formulaire	13
B	Mesurages de vitesse moyenne — Formulaire	16
C	Méthode d'exploration du champ des vitesses — Formulaire	19

Page blanche

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 1088:1985

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9035e071-4e96-479a-a429-2d323f0c4d89/iso-1088-1985>

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes d'exploration du champ des vitesses — Recueil et traitement des données pour la détermination des erreurs de mesurage

1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale fournit une base commune pour le recueil et le traitement des données pour la détermination des composantes individuelles de l'erreur totale dans le mesurage de débit des liquides dans les canaux découverts par les méthodes d'exploration du champ des vitesses.

Pour la détermination du débit dans les canaux découverts par la méthode d'exploration du champ des vitesses, il est nécessaire de mesurer les composantes du débit. L'erreur limite totale sur le débit est une combinaison des erreurs limites dans ces composantes. La présente Norme internationale fournit une base commune pour le recueil et le traitement des données nécessaires pour calculer les erreurs limites des composantes en vue de la détermination de l'erreur limite totale sur le débit. Elle peut servir pour effectuer une étude des erreurs limites des composantes à partir de données obtenues d'un échantillon important prélevé des rivières dans un bassin ou d'un pays, ou pour effectuer des études au niveau international.

2 Références

ISO 748, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes d'exploration du champ des vitesses.*

ISO 772, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Vocabulaire et symboles.*

ISO 4363, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes de mesurage des sédiments en suspension.*

ISO 4364, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Échantillonnage des matériaux du lit.*

ISO 5168, *Mesure de débit des fluides — Calcul de l'erreur limite sur une mesure de débit.*

ISO/TR 7178, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthode d'exploration du champ des vitesses — Recherche de l'erreur globale.*

3 Généralités

3.1 Principe

La méthode d'exploration du champ des vitesses est fondée sur le principe d'une détermination à partir de mesurages de la distribution de la vitesse de l'écoulement dans la section et dans l'aire de la section, et de l'utilisation de ces observations pour le calcul du débit.

Les mesurages de la vitesse de l'écoulement sont effectués sur un certain nombre de verticales. Sur chaque verticale la vitesse moyenne est déterminée à partir de mesurages effectués en un certain nombre de points choisis. Le débit par unité de largeur peut s'obtenir en multipliant la vitesse moyenne par la profondeur sur la verticale considérée.

Chaque verticale est censée être représentative d'un segment de l'aire de la section. Le choix du nombre et de l'emplacement des verticales détermine la largeur de ces segments. Si l'on suppose que le débit est demeuré constant pendant les mesurages, la somme des débits dans les divers segments donne le débit total au travers de la section.

3.2 Apparition d'erreurs

Lorsqu'on mesure la largeur, la profondeur et la vitesse, des erreurs se produisent. L'application de certaines méthodes de calcul introduit également des erreurs qui dépendent des hypothèses adoptées.

Une distinction doit être faite entre les erreurs aléatoires et les erreurs systématiques, provenant des appareils employés, des procédures de mesurage et du traitement des données. Les erreurs aléatoires dépendent aussi de la nature de la turbulence de l'écoulement. L'importance des erreurs aléatoires peut être réduite dans un sens favorable par un choix judicieux des appareils et des méthodes.

Les erreurs systématiques peuvent être constantes ou variables et elles ne peuvent pas être éliminées par une répétition des mesurages ou par l'accroissement de la durée du mesurage. Il y a de plus des fautes qui sont dues à une lecture erronée de l'appareil ou à un fonctionnement défectueux de l'instrument.

3.3 Sources d'erreur (voir figure 1)

Théoriquement le débit est défini par la formule :

$$q = \int \int_A v(x, y) dx dy \quad \dots (1)$$

où

q est le débit vrai non observable;

A est l'aire de la section;

$v(x, y)$ est le champ des vitesses en largeur x et en profondeur y .

Dans la pratique l'intégrale est obtenue par approximation par la somme

$$Q = \sum_{i=1}^m b_i d_i \bar{v}_i \quad \dots (2)$$

où

Q est le débit calculé;

b_i est la largeur du i^e élément de section;

d_i est la profondeur du i^e élément de section;

\bar{v}_i est la vitesse moyenne sur la i^e verticale;

m est le nombre de sections.

L'erreur sur Q est due

- a) aux erreurs de mesure des quantités b_i , d_i et des mesurages individuels de la vitesse de l'écoulement, nécessaires pour la détermination de \bar{v}_i , et
- b) à l'approximation de l'intégrale (1) par la somme (2).

3.4 Détermination des composantes individuelles de l'erreur

3.4.1 Erreurs sur la largeur

Le mesurage de la largeur entre verticales est normalement effectué en mesurant les distances à partir d'un point de référence sur la berge. Lorsqu'on utilise une sonde ou un câble de mesurage ou que l'on observe le mouvement d'un câble relié à un chariot, l'erreur dépend de la distance mais elle est habituellement négligeable. Lorsqu'on utilise des appareils optiques, les erreurs dépendent aussi de la distance, mais elles peuvent être plus importantes.

Lorsqu'on mesure la distance avec des appareils électroniques, il y a une erreur constante et une erreur qui dépend de la distance mesurée.

Les erreurs sont principalement des erreurs provenant des appareils.

3.4.2 Erreurs sur la profondeur

Dans l'ISO 748, au chapitre 10, on indique plusieurs sources d'erreur dans le mesurage de la profondeur.

Certaines erreurs dépendront du type et de l'emploi des appareils utilisés. De telles erreurs ne sont pas considérées dans la présente Norme internationale.

Des erreurs proviennent de l'interpolation de la profondeur entre les verticales sur lesquelles les profondeurs sont mesurées. Celles-ci sont indiquées en 3.4.3 c) en tant qu'«erreurs de type III».

3.4.3 Erreurs dans la détermination de la vitesse moyenne

Ces erreurs ont trois composantes :

- a) L'erreur due au temps restreint de mesurage de la vitesse en un point sur chaque verticale. En raison de la turbulence, la vitesse varie sans cesse dans la section. La vitesse moyenne en un point quelconque, déterminée à partir d'un mesurage effectué pendant un certain intervalle de temps, est une approximation de la vitesse réelle moyenne

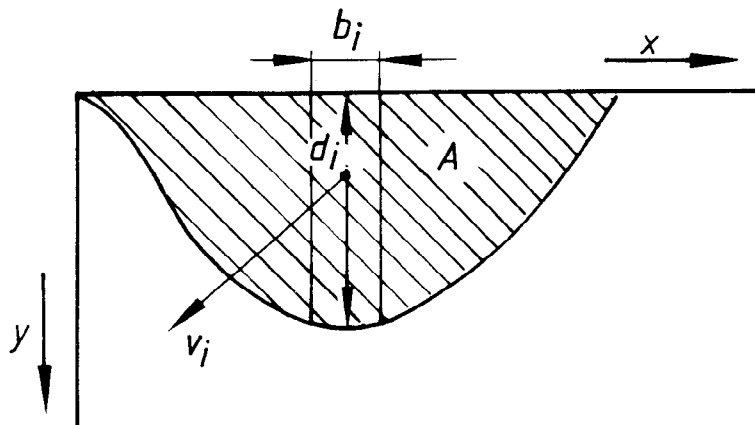


Figure 1 — Schéma de définition

en ce point particulier. Dans la présente Norme internationale, les erreurs de cette nature sont désignées comme étant de l'espèce « erreur-type I »¹⁾.

b) L'erreur provenant de l'emploi d'un nombre limité de points d'échantillonnage sur une verticale. Le calcul de la vitesse moyenne sur une verticale en tant que la moyenne ou une moyenne pondérée de plusieurs vitesses en un point aboutit à une approximation de la vitesse réelle moyenne sur la verticale considérée. Dans la présente Norme internationale, les erreurs de cette nature sont désignées comme étant de l'espèce « erreur-type II »¹⁾.

c) L'erreur provenant du nombre restreint de verticales sur lesquelles les vitesses sont mesurées. Le profil de la vitesse horizontale entre deux verticales doit être déterminé par interpolation, ce qui introduit une erreur.

Les valeurs de la profondeur d_i et de la vitesse moyenne \bar{v}_i sur la verticale, sont utilisées pour déterminer le débit par unité de largeur ainsi que le débit au travers de la section i . La somme des débits au travers de chaque section effectuée selon l'équation (2) conduit à une approximation du débit total réel. Les erreurs de cette nature sont désignées comme étant de l'espèce « erreur-type III »¹⁾.

3.4.4 Symboles

Les symboles utilisés sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Grandeur	Erreur limite en pourcentage ¹⁾	
	aléatoire	systématique ²⁾
Largeur	X'_{b_i}	X''_b
Profondeur	X'_{d_i}	X''_d
Vitesse moyenne	$X'_{\bar{v}_i}$	$X''_{\bar{v}}$

1) Toutes les erreurs limites utilisées dans la présente Norme internationale sont données en pourcentages exprimés dans des limites de confiance de 95 %. Dans la présente Norme internationale X avec un indice se rapporte à l'erreur limite en pourcentage, X' à l'erreur limite aléatoire en pourcentage et X'' à l'erreur limite systématique en pourcentage.

2) La cause principale d'erreur limite systématique sur la vitesse proviendra des erreurs d'étalonnage des moulinets.

3.5 Description de l'erreur limite

Dans la détermination de l'influence sur l'erreur limite totale, les composantes individuelles sont décrites de manière suffisante par leur moyenne relative et leurs écarts-types relatifs.

3.6 Erreur limite totale sur le débit

On peut montrer (voir ISO/TR 7178) que le pourcentage d'erreur limite totale sur le débit, $X'_{Q'}$, peut être calculé au moyen de l'équation suivante :

$$X'_{Q'} = \pm \left[X'^2_{S_d} + X'^2_{S_h} + \sum_{i=1}^m \left\{ (b_i d_i \bar{v}_i)^2 / Q \right\} \left\{ X'^2_{\bar{v}_i} + X'^2_{F_i} + X'^2_{S_{\bar{v}_i}} + X'^2_{d_i} + X'^2_{b_i} \right\} \right]^{1/2} \dots (3)$$

où

X'_{S_d} est le pourcentage d'erreur limite dû à l'erreur aléatoire d'échantillonnage sur le profil de la profondeur (erreur-type III);

X'_{S_h} est le pourcentage d'erreur limite dû à l'erreur aléatoire d'échantillonnage sur le profil de la vitesse horizontale (erreur-type III);

$X'_{\bar{v}_i}$ est le pourcentage d'erreur limite sur la vitesse moyenne dû à l'erreur aléatoire provenant de l'appareillage;

X'_{F_i} est le pourcentage d'erreur limite dû à l'erreur aléatoire de variation de vitesse (erreur-type I);

$X'_{S_{\bar{v}_i}}$ est le pourcentage d'erreur limite dû à l'erreur aléatoire d'échantillonnage sur la vitesse moyenne sur la verticale (erreur-type II);

X'_{d_i} est le pourcentage d'erreur limite dû à l'erreur aléatoire provenant de l'appareillage dans la détermination de la profondeur de la section;

X'_{b_i} est le pourcentage d'erreur limite dû à l'erreur aléatoire provenant de l'appareillage dans la détermination de la largeur de la section;

b_i est la largeur de la section i ;

d_i est la profondeur de la section i ;

\bar{v}_i est la vitesse moyenne de la section i ;

Q est le débit total.

L'erreur limite systématique totale est la suivante :

$$X''_Q = \pm \left(X''^2_b + X''^2_d + X''^2_{\bar{v}} \right)^{1/2} \dots (4)$$

L'erreur limite totale sur le débit est donnée par

$$X_Q = \pm \left(X'^2_Q + X''^2_Q \right)^{1/2} \dots (5)$$

Si l'on suppose que les débits dans les sections respectives sont à peu près égaux, alors l'équation (3) se simplifie avec certaines approximations (voir ISO/TR 7178 et ISO 748) à :

$$X'_{Q'} = \pm \left[X'^2_m + \frac{1}{m} \left(X'^2_b + X'^2_d + X'^2_e + X'^2_p + X'^2_c \right) \right]^{1/2} \dots (6)$$

où

$X'_{Q'}$ est l'erreur limite aléatoire totale sur le débit à un niveau de confiance de 95 %;

X'_m est l'erreur limite aléatoire en pourcentage due au nombre restreint de verticales utilisées;

1) Les erreurs-types I, II et III utilisées dans la présente Norme internationale n'ont aucun rapport avec les erreurs statistiques des types I et II.

X'_b est l'erreur limite aléatoire en pourcentage sur le mesurage de la largeur;

X'_d est l'erreur limite aléatoire en pourcentage sur le mesurage de la profondeur;

X'_e est l'erreur limite aléatoire en pourcentage due au temps restreint d'exposition utilisé;

X'_p est l'erreur limite aléatoire en pourcentage due au nombre restreint de points de vitesse prélevés sur une verticale;

X'_c est l'erreur limite aléatoire en pourcentage sur le calibrage de la vitesse avec un moulinet.

NOTE — On peut constater à partir de l'équation (3) ou (6) que, pour réduire l'erreur limite aléatoire totale, il faut soit augmenter le nombre de verticales, soit apporter une amélioration dans le mesurage des composantes individuelles, soit réaliser les deux.

3.7 Évaluation de l'erreur sur les composantes individuelles

L'évaluation de l'erreur limite sur les composantes individuelles de l'erreur limite totale peut être obtenue par analyse statistique d'un grand nombre d'observations sur une composante particulière dans les conditions réelles de mesurage. L'introduction de cette procédure dans la méthode de mesurage courante n'est pas possible, et c'est pourquoi le traitement centralisé des données recueillies conformément aux programmes normalisés indiqués dans la présente Norme internationale, est recommandé en vue de fournir une norme générale sur les erreurs limites des composantes dans les limites d'une gamme pratique de mesurages.

4 Données sur la vitesse en un point¹⁾

Pour juger de la valeur d'une mesure unique de vitesse, opérer comme suit.

En chaque point de mesurage sur une verticale, faire au moyen d'un moulinet une observation continue de la vitesse pendant 2 000 s, ou pendant une période au cours de laquelle le débit ne change pas de plus de 5 % de la valeur initiale, selon celle qui est la plus courte. Lire l'indication donnée par l'appareil toutes les 10 s, de manière à disposer de 200 lectures. Si le moulinet émet des impulsions périodiques, leur nombre doit être relevé toutes les 10 s; si l'intervalle de temps est mesuré pour un nombre déterminé d'impulsions, cet intervalle doit être de 10 s en moyenne. Si l'enregistrement est continu, il faut fournir l'enregistrement complet en indiquant les caractéristiques de réponse de l'instrument électronique.

Les verticales à prendre en compte pour ce mesurage doivent être la verticale située au point de plus grande profondeur et les verticales situées aux emplacements où les profondeurs sont 0,6 et 0,3 fois la plus grande profondeur, ces deux verticales étant toutes deux du côté le plus large par rapport à la verticale de plus grande profondeur.

Sur chaque verticale ce mode opératoire doit être effectué à 0,2 — 0,6 — 0,8 et, si possible, 0,9 fois la profondeur mesurée à partir de la surface. Si possible, ces données doivent être obtenues pendant la même période de 2 000 s.

Les mesurages doivent être renouvelés pour divers débits.

Les données ainsi obtenues doivent être indiquées sur le formulaire donné en annexe A. Dans le cas d'un enregistrement continu, les valeurs doivent être données à intervalles de 10 s et le mode de détermination doit être indiqué.

5 Données sur la vitesse moyenne¹⁾

La vitesse moyenne en une verticale peut être obtenue de diverses manières. La méthode par distribution des vitesses a, toutefois, été prise comme base de comparaison des résultats obtenus par d'autres méthodes généralement utilisées ou par des méthodes particulières adoptées en raison de circonstances spéciales.

La procédure suivante doit être suivie.

5.1 Emplacement de la verticale

La verticale choisie pour ce mesurage doit normalement être déterminée à partir des distributions connues des vitesses dans la section de mesurage, de manière que l'on ait des vitesses représentatives de toute la section.

Lorsque les distributions des vitesses dans la section de mesurage ne sont pas connues, la verticale adoptée pour ce mesurage doit être celle qui est située à la plus grande profondeur dans la section et en des emplacements où la profondeur est égale respectivement à 0,6 et 0,3 fois la profondeur maximale, du côté le plus large et pas trop près des berges.

5.2 Répartition des points de mesurage

Les vitesses doivent être mesurées aux points suivants sur la verticale :

- 1) immédiatement au-dessous de la surface;
- 2) à 0,2 fois la profondeur;
- 3) à 0,3 fois la profondeur;
- 4) à 0,4 fois la profondeur;
- 5) à 0,5 fois la profondeur;
- 6) à 0,6 fois la profondeur;
- 7) à 0,7 fois la profondeur;
- 8) à 0,8 fois la profondeur;
- 9) à 0,9 fois la profondeur;
- 10) près du lit.

1) On peut également faire référence à l'ISO 748 et à l'ISO/TR 7178.

Dans les canaux envahis par les herbes, on doit prendre grand soin de s'assurer que les mesurages effectués au voisinage du lit ne soient faussés par les herbes qui se seraient introduites dans le moulinet.

5.3 Durée du mesurage des vitesses en un point

La durée du mesurage de la vitesse en chaque point doit être de 60 s ou bien le nombre d'impulsions en chaque point doit être celui observé en 60 s à 0,6 fois la profondeur.

5.4 Nombre de mesurages

Les mesurages sur la verticale doivent être répétés cinq fois, de préférence consécutivement. Les mesurages qui ont été perturbés par la navigation doivent être indiqués.

Ces séries d'observations doivent être effectuées pour divers débits.

5.5 Présentation des données

La vitesse moyenne doit être déterminée à l'aide d'un planimètre à partir d'une représentation graphique d'assez grande dimension (d'au moins 300 cm² de préférence si possible). Le type et la précision du planimètre doivent être indiqués ainsi que l'échelle du débit. La précision du papier quadrillé doit être vérifiée.

Les profils de vitesse doivent être tracés à une échelle telle que la vitesse et la profondeur maximales soient représentées par 0,10 m et 0,20 m respectivement.

Le relevé des données doit être fait sur un tableau conformément aux indications de l'annexe B.

6 Données sur la méthode d'exploration du champ des vitesses ¹⁾

Pour évaluer la justesse de la méthode par intégration du champ des vitesses, deux moyens sont possibles : l'un exige des mesurages spéciaux, l'autre essentiellement des mesurages courants.

Lorsque cela est possible, des données relatives à ces deux méthodes doivent être fournies.

6.1 Mesurage à 0,6 fois la profondeur

Dans cette méthode, il faut connaître le tracé complet du profil de la section à l'emplacement choisi. Ceci peut être obtenu au moyen d'un sondeur acoustique ou par mesurage de la profondeur au moyen de perches à des espacements dans les grandes rivières qui seront au plus de 1/50 de la largeur totale.

La distribution horizontale des vitesses doit être observée par lecture des vitesses à 0,6 fois la profondeur à des espacements dans les grandes rivières de 1/50 de la largeur totale, avec un espacement minimal absolu de 0,5 m. Les lectures du moulinet doivent être faites pendant 120 s.

En outre, des lectures doivent être faites sur un moulinet de référence, fixé en un point, de préférence à 0,6 fois la profondeur sur la verticale de la plus grande profondeur. Il doit être lu toutes les 60 s.

6.2 Méthode de distribution des vitesses

Dans cette méthode, le procédé normal de mesurage du débit peut être utilisé à condition que la méthode de distribution des vitesses ou la méthode d'intégration soit utilisée pour obtenir la vitesse moyenne sur la verticale.

Les lectures doivent être faites toutes les 60 s sur un moulinet de référence fixé en un point, de préférence à 0,6 fois la profondeur sur la verticale de la plus grande profondeur.

En plus des données sur la profondeur, obtenues par le mesurage normal du débit, un profil continu de la section à l'emplacement de mesurage doit être fourni comme indiqué en 6.1.

6.3 Présentation des données

Les données doivent être présentées sous la forme de tableau, comme indiqué en annexe C. Dans le tableau donnant la vitesse au point de référence, le facteur de correction est calculé, de préférence, à partir de la valeur moyenne de la vitesse au point de référence. Dans ce tableau, ce facteur de correction est mentionné en fonction du temps. Pour obtenir la vitesse corrigée dans le tableau donnant la vitesse moyenne sur les verticales, la vitesse mesurée doit être multipliée par ce facteur de correction.

Une représentation graphique de la section doit être donnée à une échelle suffisante; la largeur de la rivière doit être représentée par 0,5 m au moins. La représentation doit indiquer les valeurs numériques de la profondeur aux points de mesurage lorsqu'une perche de sondage a été utilisée, et doit montrer les emplacements des verticales et du moulinet de référence.

Une représentation graphique des profils de vitesse mesurée doit aussi être donnée. Elle doit indiquer les valeurs numériques des vitesses aux points de mesurage.

6.4 Informations de caractère général

En vue de faciliter l'interprétation des écarts par rapport au type normal des diverses erreurs, les détails pertinents sur la géométrie et la morphologie de la rivière en question sont nécessaires, par exemple, une carte de la rivière à l'échelle de 1/10 000, approximativement 50 fois la largeur de la rivière en amont et en aval de l'emplacement de mesurage.

7 Méthode d'intégration

En vue de déterminer l'erreur-type dans la vitesse moyenne sur les verticales obtenues par la méthode d'intégration, un nombre suffisant de mesurages (par exemple cinquante) doit être effectué à niveau constant sur trois verticales et les résultats doivent être reportés dans un tableau.

Les verticales à prendre en compte pour ces mesurages comprennent la verticale de plus grande profondeur à l'emplacement choisi et les verticales où la profondeur est égale à 0,6 et 0,3 fois la plus grande profondeur, ces deux dernières verticales étant toutes deux du côté le plus large par rapport à la verticale de plus grande profondeur.

Les mesurages doivent être répétés pour divers débits. Les données de caractère général peuvent être réunies dans un formulaire analogue à celui représenté en annexe A.

1) On peut également faire référence à l'ISO 748.

8 Courbes d'étalonnage

En relation avec l'étude de l'erreur due aux appareils, les courbes d'étalonnage doivent être fournies avec tous les points d'étalonnage; en particulier, les données des étalonnages successifs d'un moulinet représentatif avec les dates et les années d'étalonnage ainsi que la fréquence d'emploi doivent être fournies.

9 Mesurages de distances

Il ne peut être donné actuellement de méthode générale permettant de déterminer la précision des mesurages de distances. Pour qu'elle puisse être examinée théoriquement, on doit fournir une description détaillée de la méthode de mesurage de distances ainsi que les distances mesurées et tout autre facteur à prendre en considération.

Des dispositifs électroniques de mesurages de distances donnent une base de comparaison presque absolument sûre pour les mesurages de distances. Si l'on dispose de tels instruments, on peut adopter des programmes de recherche indépendants pour l'erreur limite des diverses méthodes de mesurage de distances et en fournir les résultats.

Les conditions de cette étude doivent être semblables aux conditions d'exécution normale des mesurages sur le terrain.

10 Mesurages de profondeur

La précision des mesurages de profondeur dépend du chenal et de la méthode de mesurage. Dans le cas d'un chenal revêtu, la nature du lit n'agit probablement pas sur la précision des mesurages.

Dans les chenaux naturels, c'est-à-dire les rivières, la configuration du lit varie dans les directions longitudinale aussi bien que transversale.

En ce qui concerne le procédé de mesurage, il est important de savoir si le mesurage est fait depuis une position fixe ou depuis une embarcation à l'ancre. Dans ce dernier cas, les irrégularités du lit peuvent contribuer de façon plus importante à l'erreur totale de mesurage de profondeur.

En raison de la complexité des mesurages de profondeur, on ne peut donner de directives générales. Pour mener à bien cette étude, on peut donner comme indication les considérations suivantes.

10.1 Dans une rivière à fond mobile, éviter les mesurages consécutifs en un même point.

10.2 Il est bon d'étudier la configuration du lit au voisinage du point de mesurage en déterminant des sections longitudinales et transversales.

10.3 La précision de lecture de tous les appareils en fonction des graduations de l'échelle doit être déterminée.

10.4 Les perches de sondage produisent des erreurs dues à

- la pénétration dans le lit;
- l'écart par rapport à la verticale;
- le remous de surface dû à la vitesse.

10.5 Les lignes de sonde (y compris les moulinets suspendus) produisent des erreurs dues à

- leur pénétration dans le lit;
- l'écart par rapport aux conditions idéales pour lesquelles a été calculée la dérive aval;
- la forme et le point de suspension du plomb.

10.6 Les sondeurs acoustiques produisent des erreurs dues à

- la largeur du faisceau d'ondes transmises au fond;
- la pénétration des ondes dans le lit, laquelle est fonction de la fréquence des ondes et de la consistance du lit.

11 Traitement des données

11.1 Généralités

Ce chapitre donne la description de la méthode de traitement des données pour la détermination de l'erreur aléatoire totale dans le mesurage du débit par les méthodes d'exploration du champ des vitesses. Bien qu'il soit supposé que l'on dispose d'ordinateurs, il est possible de suivre le mode de calcul avec des moyens moins modernes. Certaines de ces autres possibilités sont indiquées.

Lorsque l'on traite les données, on suppose que les conditions du courant sont stables, ce qui signifie que la vraie valeur moyenne de chacune des diverses quantités demeure constante dans le temps. Les tendances instables doivent être éliminées des données avant qu'elles ne soient traitées (voir 11.2.2).

11.2 Erreur-type I

11.2.1 Temps de mesurage limité et distribution des résultats

On calcule l'écart-type de l'erreur sur la variation due à un temps de mesurage limité.

Il est supposé que les moyennes trouvées à partir des mesurages réels sont égales aux moyennes hypothétiques sur un temps infini de mesurage et que la répartition des résultats est de type normal (gaussien).

11.2.2 Correction pour les cas de conditions instables

La vitesse moyenne du courant est calculée à partir de la formule

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad \dots (7)$$

où

\bar{V} est la vitesse pendant l'intervalle de temps des mesurages;

V_i est la vitesse instantanée observée;

n est le nombre d'observations.

Lorsque la vitesse V_i est tracée en fonction du temps t_i , on peut voir à partir de la courbe si la dimension de V_i montre une certaine tendance indiquant que les conditions pendant les mesurages n'étaient pas stables. Dans ce cas, les vitesses observées doivent être corrigées en utilisant la formule

$$V_i = a(t_i - \bar{t}) + b \quad \dots (8)$$

dans laquelle t_i est le temps lorsque la vitesse est V_i et les constantes a et b sont déterminées à partir des équations suivantes :

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i = \bar{V} \quad \dots (9)$$

et

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n V_i(t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i t_i - n \bar{t} \bar{V}}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - 1/n \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad \dots (10)$$

La vitesse instantanée observée V_i est ainsi corrigée :

$$V_{\text{corr}_i} = V_i - (v_i - \bar{V}) \quad \dots (11)$$

où V_{corr_i} est la vitesse corrigée en supposant une tendance linéaire dans les vitesses observées (dans les paragraphes suivants V_i indique V_{corr_i} si la correction a été appliquée).

11.2.3 Écart-type¹⁾ des variations de vitesse

L'écart-type des variations de vitesse est calculée en utilisant

$$S_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n - 1}} \quad \dots (12)$$

Le mode de calcul peut être simplifié en utilisant l'équation :

$$S_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n V_i \right)^2}{n}}{n - 1}} \quad \dots (13)$$

$\frac{\left(\sum_{i=1}^n V_i \right)^2}{n}$ ($= n \bar{V}^2$) est déjà connu d'après les calculs précédents [voir équation (7)].

11.2.4 Fonction d'autocorrélation

La fonction d'autocorrélation peut être déterminée d'après l'équation

$$\hat{\rho}(k) = \frac{n}{n - k} \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (V_i - \bar{V})(V_{i+k} - \bar{V})}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \quad \dots (14)$$

où

$\hat{\rho}(k)$ est la fonction d'autocorrélation;

k est le déplacement dans le temps de la fonction;

$\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2$ est déjà connu d'après des calculs antérieurs [voir équation (12)].

La fonction d'autocorrélation est utilisée pour le calcul de l'écart-type, comme indiqué en 11.2.6.

11.2.5 Effet du temps de mesurage sur l'écart-type (1)

Si l'on ne dispose pas d'un ordinateur, l'influence du temps de mesurage pour l'intervalle kt_0 , dans lequel t_0 est le temps de mesurage initial et k est un nombre entier, l'écart-type peut être mesuré. Dans ce but, la vitesse moyenne pendant un intervalle de temps kt_0 est calculée d'après :

$$\frac{\bar{V}_{2i+k-1}}{2} = \frac{V_i + V_{i+1} + \dots + V_{i+k-1}}{k} \quad \dots (15)$$

Les grandeurs $\frac{\bar{V}_{2i+k-1}}{2}$ sont utilisées pour calculer l'écart-type [voir équation (12)].

Cette méthode est moins courante que la procédure décrite au 11.2.6.

11.2.6 Effet du temps de mesurage sur l'écart-type (2)

En utilisant l'écart-type $S(t_0)$ pour un temps de mesurage initial t_0 (voir 11.2.3) et la fonction d'autocorrélation $\hat{\rho}(k)$ (voir 11.2.4), l'écart-type des variations de la vitesse peut être calculée à partir de l'équation :

$$S^2(n t_0) = \frac{S^2(t_0)}{n} \left[1 + 2 \sum_{k=1}^n \left(1 - \frac{k}{n} \right) \hat{\rho}(k) \right] \quad \dots (16)$$

Dans cette équation, l'influence du temps de mesurage sur la précision de la vitesse en un point est caractérisée.

1) Pour le rapport entre l'écart-type et l'erreur limite, voir ISO 5168. Généralement, les erreurs limites sont exprimées à un niveau de confiance de 95 % et habituellement en pourcentage. Pour les valeurs importantes de n , les écarts-types doivent être multipliés par 2 et par 100 pour obtenir des erreurs limites en pourcentage. Le facteur est supérieur à 2 pour les petits échantillons.