



Mesure du débit des liquides dans les canaux découverts — Méthode d'exploration du champ des vitesses — Recherche de l'erreur globale

Liquid flow measurement in open channels — Velocity-area methods — Investigation of total error

Le Rapport technique ISO/TR 7178 a été établi par le Comité technique ISO/TC 113, *Mesure du débit des liquides dans les canaux découverts*. Il résume les résultats des recherches de l'erreur globale dans la mesure du débit par les méthodes d'exploration du champ des vitesses. Bien que l'on ait considéré que ces renseignements informatifs ne pouvaient faire l'objet d'une Norme internationale, il a été décidé, vu l'intérêt très vaste qu'ils présentent, de les publier sous forme de Rapport technique.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 7178:1983

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/60863d7a-399f-4b98-93fb-b86a8afbaf6d/iso-tr-7178-1983>

Sommaire

| | Page |
|--|------|
| 0 Introduction | 2 |
| 1 Objet et domaine d'application | 3 |
| 2 Symboles | 3 |
| Section un : Procédure et types d'erreurs | |
| 3 Principes généraux des méthodes d'exploration du champ des vitesses et critères de précision | 5 |
| 4 Composition de l'erreur globale | 5 |
| 5 Erreurs sur la vitesse moyenne et sur la profondeur | 6 |
| 5.1 Généralités | 6 |
| 5.2 Erreur du type I | 6 |
| 5.3 Erreur du type II | 7 |
| 5.4 Erreur du type III | 8 |

CDU 532.57 : 532.543 : 627.133

Réf. n° : ISO/TR 7178-1983 (F)

Descripteurs : écoulement de liquide, écoulement d'eau, écoulement en canal découvert, mesurage de débit, mesurage de vitesse, calcul d'erreur.

© Organisation internationale de normalisation, 1983 •

Imprimé en Suisse

Prix basé sur 27 pages

| | | |
|-----|--|----|
| 6 | Conclusions générales et recommandations | 9 |
| 6.1 | Généralités | 9 |
| 6.2 | Erreur du type I | 10 |
| 6.3 | Erreur du type II | 10 |
| 6.4 | Erreur du type III | 10 |
| 6.5 | Remarque finale | 11 |

Section deux : Recommandations pour le recueil des données sur la recherche des erreurs

| | | |
|-----|---|----|
| 7 | Mesures et données | 12 |
| 7.1 | Vitesse locale | 12 |
| 7.2 | Vitesse moyenne sur la verticale | 12 |
| 7.3 | Nombre limité des verticales dans la section droite | 12 |
| 7.4 | Données générales | 12 |
| 8 | Traitement des données | 12 |
| 8.1 | Généralités | 12 |
| 8.2 | Erreur du type I | 13 |
| 8.3 | Erreur du type II | 15 |
| 8.4 | Erreur du type III | 17 |
| 8.5 | Erreur stochastique globale | 19 |

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 7178:1983](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/60863d7a-399f-4b98-93fb-b86a8afba6d/iso-tr-7178-1983)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/60863d7a-399f-4b98-93fb-b86a8afba6d/iso-tr-7178-1983>

Annexes

| | | |
|---|--|----|
| A | Caractéristiques des cours d'eau ayant servis au recueil des données | 20 |
| B | Exemple de calcul de l'erreur stochastique globale | 22 |
| C | Influence de l'intervalle du temps de mesure sur l'erreur | 25 |
| D | Critères retenus pour le choix des verticales | 26 |
| | Bibliographie | 27 |

0 Introduction

Toutes les mesures de quantités physiques donnent lieu à des incertitudes qui peuvent être liées à des écarts provoqués par des erreurs de l'appareil de mesurage et d'étalonnage ou à une dispersion aléatoire due à un manque de sensibilité de l'appareillage de mesure, etc.

Pendant la préparation de l'ISO 748^[1], on a beaucoup discuté de la question de l'ampleur des erreurs de mesurage et on en a conclu que les recommandations ne pouvaient être formulées que sur base d'une analyse de données suffisantes. De plus, on a admis que pour pouvoir analyser de telles données statistiquement, il était essentiel de recueillir et d'enregistrer les données sur une base normalisée et de façon systématique, ce qui a abouti à la préparation de l'ISO 1088^[2].

En se basant sur les procédures données dans ces deux Normes internationales, des données concernant les cours d'eau mentionnés ci-après furent recueillies et traitées :

- a) Gange, Jalangi, Yamuna et Canal Visvesvaraya en Inde;
- b) IJssel aux Pays-Bas;
- c) Derwent, Eden, Lambourn, Ouse, Tyne et Usk au Royaume-Uni;
- d) Columbia et Mississippi aux États-Unis d'Amérique.

D'autres données relatives au Gange et au Krishna, en Inde, ainsi qu'aux cours d'eau Spey, Tay, Tweed, Tyne, Gala Water, Yarrow Water, Ettrick Water et Clyde au Royaume-Uni, ont été reçues plus tard, mais n'ont pu être incluses dans l'exercice de traitement.

1 Objet et domaine d'application

Le présent Rapport technique résume les résultats des recherches sur l'erreur globale dans les mesures du débit par les méthodes d'exploration du champ des vitesses. Il décrit la procédure employée et les types d'erreurs (section un), et donne des recommandations pour recueillir des données pour les recherches des erreurs (section deux) afin de compléter les renseignements donnés dans l'ISO 1088.

2 Symboles

- a* = coefficient de régression linéaire
- b* = coefficient de régression linéaire
- b_i* = largeur réelle inobservable de la section *i*
- d_i* = profondeur réelle inobservable sur la verticale de la section *i*
- h_{rel}* = profondeur relative mesurée à partir de la surface
- i* = nombre de séries de mesures (erreur des types II et III)
- j* = nombre de mesures par série (erreur du type II)
- k* = décalage de temps pour la fonction d'autocorrélation
- m* = nombre de verticales ou de sections par section droite
- n* = nombre d'intervalles de temps pour la mesure des vitesses (erreur du type I)
- q* = débit réel inobservable
- q_i* = débit relatif à la section *i*
- s_i* = erreur stochastique d'échantillonnage de la vitesse moyenne sur la verticale (erreur du type II)
- t_i* = temps *i*
- t₀* = intervalle de temps de mesure initial
- v_i* = vitesse au temps *i* ou dans la section *i*
- V_i* = vitesse réelle au temps *i* ou dans la section *i*
- V_{corr*i*}* = vitesse réelle pour des conditions permanentes
- μ_s* = erreur moyenne d'échantillonnage (erreur du type II)
- μ_m* = erreur moyenne quand les mesures sont faites sur *m* verticales (erreur du type III)

$\rho(k)$ = fonction d'autocorrélation pour le décalage de temps k

σ = écart-type (symbole général)

σ_I = écart-type relatif de l'erreur stochastique globale imputable à l'instrumentation et à l'échantillonnage

σ_{B_i} = écart-type relatif dû à l'erreur instrumentale aléatoire déterminant la largeur de la section i

σ_{D_i} = écart-type relatif dû à l'erreur instrumentale aléatoire déterminant la profondeur de la section i

σ_{F_i} = écart-type relatif dû à l'erreur des fluctuations aléatoires (type I)

σ_{S_d} = écart-type relatif dû à l'erreur d'échantillonnage aléatoire du profil de la profondeur

σ_{S_h} = écart-type relatif dû à l'erreur d'échantillonnage aléatoire du profil horizontal des vitesses

$\sigma_{S_{hd}}$ = écart-type relatif combinant σ_{S_h} et σ_{S_d} respectivement (erreur du type III) :

$$\sigma_{S_{hd}}^2 = \sigma_{S_h}^2 + \sigma_{S_d}^2$$

σ_{S_v} = écart-type relatif de la vitesse moyenne de l'erreur instrumentale aléatoire

NOTE — Les observations ou les résultats de calculs faisant intervenir des observations sont indiqués par une lettre majuscule. Les grandeurs statistiques obtenues à la suite d'observations sont indiquées par une lettre minuscule avec accent circonflexe. Une valeur moyenne est indiquée en surlignant le symbole.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TR 7178:1983](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/60863d7a-399f-4b98-93fb-b86a8afbaf6d/iso-tr-7178-1983)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/60863d7a-399f-4b98-93fb-b86a8afbaf6d/iso-tr-7178-1983>

Section un : Procédure et types d'erreurs

3 Principes généraux des méthodes d'exploration du champ des vitesses et critères de précision

Les méthodes d'exploration du champ des vitesses pour déterminer le débit de l'écoulement dans un canal découvert consistent à mesurer la vitesse et la profondeur en un certain nombre de points de la section et à calculer le débit à l'aide de ces données.

La vitesse est mesurée sur un certain nombre de verticales et sur chaque verticale, on détermine la vitesse moyenne en mesurant la vitesse en un certain nombre de points choisis à cet effet.

La précision de la détermination du débit prend une importance toute particulière suivant que le débit est restreint ou abondant. Le débit sert généralement plusieurs buts. Si le débit est restreint, l'importance relative des différents buts doit être pesée et la répartition entre chacun de ces buts est une affaire de politique de distribution de l'eau. De plus, les exigences pour la navigation, ainsi que les phénomènes de transport des sédiments doivent être pris en considération.

Pour faire des prévisions statistiques concernant les fortes crues dans le cadre d'une politique de contrôle des crues, il est très important de disposer d'une relation précise entre hauteur et débit. Pour un point donné, cette relation peut être lue sur une courbe d'étalonnage passant par un certain nombre de points représentant les résultats de mesures de débit à différents niveaux. Étant donné que l'on peut facilement déterminer le niveau avec une précision relativement grande, la précision de la détermination des débits réels dépend de la précision de la courbe d'étalonnage.

Reste cependant la question du degré de précision requis pour de telles mesures.

Le degré de précision est en général basé sur un certain nombre de considérations, selon les besoins, du point de vue recherche, étude, construction, économie, gestion, etc. Il importe d'examiner jusqu'à quel point il est possible d'améliorer la précision tout en maintenant dans des limites raisonnables l'intensification des efforts nécessaires dans ce sens. Ajoutons que si une précision ainsi accrue ne semble pas nécessaire aux conditions actuelles, les frais représentés par l'intensification des efforts peuvent s'avérer par la suite avoir été un bon investissement.

On affirme^[3] que l'on peut généralement considérer comme satisfaisante une erreur correspondant à un écart-type de 2 à 3 %. Ces chiffres, que confirme l'expérience, peuvent être acceptés. 1)

4 Composition de l'erreur globale

Pour déterminer un débit, il faut mesurer un certain nombre de grandeurs ou d'éléments. Pour permettre les meilleures mesures possibles, il est nécessaire de connaître la précision de mesure qui peut être atteinte quand on mesure chacun de ces éléments. L'erreur globale étant constituée à partir d'erreurs de mesure des éléments individuels, il est évident que si l'un des éléments est mesuré avec une certaine imprécision, ceci affecte l'erreur globale au point qu'il soit impossible de mesurer très précisément les autres éléments.

En général, une distinction peut être faite entre les erreurs de nature systématique et les erreurs de nature stochastique (aléatoire).

Suivant leur origine, on peut distinguer les erreurs selon qu'elles sont dues aux instruments utilisés, aux méthodes de mesure ou au traitement des données. Elles peuvent être systématiques aussi bien que stochastiques.

Lorsqu'on utilise les méthodes d'exploration des vitesses, il faut mesurer trois grandeurs, à savoir la largeur, la profondeur et la vitesse de l'écoulement. Chacune de ces mesures sera sujette aux erreurs mentionnées.

L'examen de la précision des instruments ne faisait pas partie de la présente étude.

L'erreur systématique d'un instrument est liée aux propriétés caractéristiques de l'instrument.

L'erreur stochastique de l'instrument, toutefois, doit être incluse dans le calcul de l'erreur stochastique globale. C'est pour cette raison que les écarts-types relatifs aux erreurs stochastiques instrumentales, que l'on connaît grâce à des ouvrages techniques et aux recherches sont données ci-après :

- a) Dans l'ISO 748, annexe E, pour la mesure d'une distance, une erreur relative de 0,3 % est indiquée pour les distances comprises entre 0 et 100 m, et de 0,5 % pour une distance de 250 m. Lorsque la distance est mesurée électroniquement, une erreur correspondant à un pourcentage de la distance (par exemple, 0,5 à 1 %), en plus d'une erreur fixe de 0,5 à 2 m, doit être prise en compte.

1) Toutes les valeurs des erreurs mentionnées dans le présent Rapport technique correspondent à un écart-type.

b) L'erreur instrumentale dans la mesure de la profondeur dépend en grande partie de la composition du lit de la rivière, qui est déterminante si la perche, le plomb ou le signal acoustique du sondeur à l'écho pénètre dans le lit. Une erreur de 1 % semble être une approximation raisonnable.

c) Pour déterminer la vitesse d'écoulement, deux types d'instrument sont utilisés : le moulinet à coupelles et le moulinet à hélice. On les étalonne en déplaçant le moulinet dans l'eau au repos d'un bassin d'étalonnage à des vitesses connues avec précision. Bien que l'on ne soit pas sûr que cette méthode simule correctement la situation inverse, à savoir l'eau qui se déplace alors que le moulinet est immobile, cette méthode d'étalonnage est généralement acceptée.^[4]

Bien que le moulinet à coupelles semble être plus sensible à la turbulence, des mesures faites simultanément avec des moulinets à coupelles et des moulinets à hélice par Townsend et Blust,^[5] Carter et Anderson^[6] et Grindley^[4], ont donné des résultats identiques. L'écart-type de l'erreur stochastique d'étalonnage de moulinets à coupelles est inférieur à 1 %.

D'autres recherches utilisant un moulinet à hélice ont indiqué un écart-type relatif de 4,9 % pour une vitesse d'écoulement de 0,2 m/s, tombant à 0,44 % pour une vitesse d'écoulement de 2,5 m/s. L'écart-type absolu est minimal pour une vitesse d'écoulement d'environ 1 m/s ($\sigma = 0,83 \times 10^{-2}$ m/s).

5 Erreurs sur la vitesse moyenne et la profondeur

5.1 Généralités

Dans les recherches, on s'est tout spécialement penché sur les erreurs stochastiques dues aux mesures et aux méthodes utilisées pour déterminer la vitesse moyenne de l'écoulement dans la section droite et dues aux méthodes de détermination de la profondeur dans la section considérée.

Hormis l'erreur instrumentale, on peut considérer que l'erreur relative à l'élément vitesse moyenne de l'écoulement comporte trois types d'erreur indépendants :

- erreur du type I (durée de mesure), due à la durée de mesure limitée de la vitesse en un point de la verticale;
- erreur du type II (nombre de points dans la verticale) provenant de l'utilisation d'un nombre limité de points d'échantillonnage dans la verticale. La vitesse moyenne calculée dans une verticale n'est donc qu'une approximation de la vitesse moyenne réelle dans cette verticale;
- erreur du type III (nombre de verticales), de même nature que l'erreur du type II, due à un nombre limité de verticales dans la section droite. Le profil de vitesse horizontal et le profil du lit entre deux verticales doivent être déterminés par interpolation, ce qui donne lieu à des erreurs.

NOTE — Les types d'erreurs mentionnés dans le présent Rapport technique ne sont pas afférents aux erreurs statistiques du type I et du type II.

5.2 Erreur du type I

5.2.1 Bien que les conditions de l'écoulement soient supposées permanentes, la vitesse locale instantanée est, en raison de la turbulence, un phénomène aléatoire considéré comme phénomène stochastique.

La vitesse moyenne de l'écoulement en un point donné, déterminée à partir de mesures pendant un temps de mesurage fini, est une approximation de la vitesse moyenne réelle de l'écoulement en ce point. Si l'on répète la même mesure avec le même intervalle de temps de mesure, le résultat obtenu sera différent. Ces écarts de résultat s'amenuisent si l'on accroît l'intervalle de temps de mesure ou si les fluctuations sont plus faibles. En général, on peut dire que les fluctuations ont moins d'influence sur la vitesse moyenne mesurée de l'écoulement lorsqu'on augmente le temps de mesure, et cela se traduit par une diminution de l'écart-type.

Afin de rechercher l'influence de l'intervalle de temps de mesure sur des fluctuations de vitesse de l'écoulement et donc de son influence sur la précision de la vitesse moyenne en un point, la méthode de mesure suivante est décrite dans l'ISO 1088.

On choisit trois verticales de la section droite au point le plus profond et en des endroits où la profondeur est, respectivement, égale à 60 % et 30 % de la plus grande profondeur, ces deux endroits se trouvant du côté le plus large de la verticale comprenant le point le plus profond.

Sur chacune de ces verticales, la vitesse est mesurée à 20, 60, 80 et 90 % de la profondeur, mesurée à partir de la surface, chaque mesure consiste en une observation continue au moyen d'un moulinet durant 50, à raison d'une lecture toutes les 30 s.

Les fluctuations ne sont pas indépendantes les unes des autres. Ceci signifie que la vitesse au temps t_2 est influencée par la vitesse au temps t_1 . Cette influence diminue lorsque l'intervalle de temps $t_2 - t_1$ augmente.

Cette interdépendance est importante pour le choix de l'intervalle de temps de mesure, car l'amélioration de l'approximation de la vitesse moyenne réelle de l'écoulement à laquelle on pourrait s'attendre lorsque l'on augmente le temps de mesure, n'est que partielle en raison de l'interdépendance (voir annexe C).

Si l'on considère une réduction du temps de mesure, il est nécessaire de connaître les fondements physiques du processus d'amortissement, ou, sinon, de disposer d'un modèle mathématique de processus non déterministe. Le modèle suivant a été essayé :

$$\rho(\tau) = e^{-\lambda\tau}$$

où

$\rho(\tau)$ est une fonction d'autocorrélation;

λ est une constante;

τ est un décalage de temps.

À cet effet, des mesures spéciales ont été effectuées avec un intervalle de temps de mesure de 10 s. L'intervalle initial était de 30 s.

Pour les fluctuations de vitesse de l'écoulement on a avancé l'hypothèse d'une distribution normale (gaussienne) que l'on a ensuite soumise à vérification.

5.2.2 Les conclusions concernant l'erreur du type I sont les suivantes :

- a) En général, les fluctuations de vitesse ont une distribution normale (gaussienne).
- b) L'importance des fluctuations de vitesse est liée à la profondeur. La valeur absolue de l'écart-type (σ_{abs}) des vitesses locales croît avec la profondeur.
- c) En raison de l'accroissement de σ_{abs} et de la diminution des vitesses locales avec la profondeur, l'écart-type relatif (σ_{rel}), c'est-à-dire le rapport de l'écart-type absolu et de la vitesse locale considérée, ($\sigma_{\text{abs}}/v_{\text{local}}$) augmente rapidement avec la profondeur.
- d) Aucune relation n'a été établie entre σ_{rel} d'une part et l'emplacement de la verticale dans la section droite, le débit et la relation de dépendance entre la largeur et la profondeur d'autre part.
- e) L'hypothèse $\rho(\tau) = e^{-\lambda\tau}$ pour le modèle de la fonction d'autocorrélation n'a pas de valeur générale; l'hypothèse n'était pas en contradiction avec les résultats tirés des mesures dans neuf cas, mais a été rejetée dans six autres cas.

Cependant, les résultats obtenus semblaient en accord avec l'hypothèse dans un cas, quant l'intervalle de temps de mesure était de 10 s.

5.3 Erreur du type II

5.3.1 Généralement, la vitesse moyenne d'écoulement sur une verticale est calculée à l'aide de l'une des règles de calcul existantes. Ces règles aboutissent à une approximation de la vitesse moyenne réelle à un moment donné.

Les choses sont compliquées par le fait qu'à l'erreur due aux fluctuations de vitesse (erreur du type I), s'ajoute l'erreur d'échantillonnage (erreur du type II). En admettant que les conditions d'écoulement sont stables et en tenant compte de la dispersion d'un certain nombre de vitesses moyennes mesurées, à l'aide de leur écart-type, il est possible de déterminer l'influence de l'erreur du type I.

L'ISO 1088 spécifie que le relevé de la vitesse dans la verticale soit effectué en dix points, avec un intervalle de temps de mesure de 60 s, répété cinq fois. On peut tracer le profil de la vitesse sur la verticale à l'aide des dix observations et déterminer la vitesse moyenne au moyen d'un planimètre. On a admis, dans cette recherche, que la vitesse moyenne ainsi déterminée était la vitesse moyenne réelle.

On a comparé les vitesses moyennes calculées à l'aide des règles de calcul avec cette vitesse moyenne réelle. Les règles de calcul suivantes ont été examinées :

$$\bar{v} = v_{0,6} \quad \dots (1)$$

$$\bar{v} = 0,96 v_{0,5} \quad \dots (2)$$

$$\bar{v} = 0,5 (v_{0,2} + v_{0,8}) \quad \dots (3)$$

$$\bar{v} = 0,25 v_{0,2} + 0,5 v_{0,6} + 0,25 v_{0,8} \quad \dots (4)$$

$$\bar{v} = 0,4 v_{0,2} + 0,3 v_{0,6} + 0,25 v_{0,8} \quad \dots (5)$$

$$\bar{v} = 1/3 (v_{0,2} + v_{0,6} + v_{0,8}) \quad \dots (6)$$

$$\bar{v} = 1/4 (v_{0,2} + v_{0,4} + v_{0,7} + v_{0,9}) \quad \dots (7)$$

$$\bar{v} = 0,1 v_{\text{surf.}} + 0,3 v_{0,2} + 0,3 v_{0,6} + 0,2 v_{0,8} + 0,1 v_{\text{fond}} \quad \dots (8)$$

$$\bar{v} = 1/6 (v_{\text{surf.}} + v_{0,2} + v_{0,4} + v_{0,6} + v_{0,8} + v_{\text{fond}}) \quad \dots (9)$$

$$\bar{v} = 0,1 v_{\text{surf.}} + 0,2 v_{0,2} + 0,2 v_{0,4} + 0,2 v_{0,6} + 0,2 v_{0,8} + 0,1 v_{\text{fond}} \quad \dots (10)$$

Les résultats de cette étude figurent dans le tableau 1.

Tableau 1

| Règle | Nombre de points | Erreur moyenne $\hat{\mu}_s$ % | Écart type de l'erreur moyenne $\hat{\sigma}_{SV}$ % | $\sqrt{\text{M.S.E.}}$ * % | Écart type de l'erreur moyenne comprenant l'erreur du type I $\hat{\sigma}_{s+f}$ % |
|-------|------------------|--------------------------------|--|----------------------------|---|
| (1) | 1 | 1,6 | 7,5 | 7,7 | 8,2 |
| (2) | 1 | 3,3 | 4,8 | 5,9 | 6,5 |
| (3) | 2 | 2,2 | 3,4 | 4,0 | 4,9 |
| (4) | 3 | 1,9 | 4,4 | 4,8 | 4,8 |
| (5) | 3 | -0,8 | 3,3 | 3,4 | 3,9 |
| (6) | 3 | 2,0 | 3,7 | 4,2 | 4,2 |
| (7) | 4 | 0,9 | 2,2 | 2,4 | 3,0 |
| (8) | 5 | 0,2 | 2,2 | 2,2 | 2,7 |
| (9) | 6 | -1,6 | 2,5 | 3,0 | 2,8 |
| (10) | 6 | 0,9 | 2,3 | 2,3 | 2,4 |

* $\sqrt{\text{M.S.E.}} = \sqrt{\hat{\mu}_s^2 + \hat{\sigma}_{SV}^2}$ (racine carrée de la somme des carrés des erreurs)

Le caractère non systématique de l'erreur moyenne par rapport à zéro est pris en considération par le biais de $\sqrt{\text{M.S.E.}}$ d'une façon qui permet une comparaison mutuelle avec l'écart-type ainsi que la comparaison des règles entre elles.

5.3.2 Les conclusions concernant l'erreur du type II sont les suivantes :

a) Les résultats pour une règle varient d'une rivière à l'autre. Les règles ont une validité générale plus grande pour les grandes rivières ($Q > 120 \text{ m}^3/\text{s}$) que les petites ($Q < 120 \text{ m}^3/\text{s}$). (Le critère de $120 \text{ m}^3/\text{s}$ a été retenu de façon à ce que les deux groupes soient représentés par un nombre suffisant de rivières.)

b) Des mesures en quatre points (règle n° 7) suffisent à définir la nature du profil des vitesses dans la verticale. On peut améliorer le résultat en augmentant la durée globale des mesures en plus de quatre points, soit en augmentant l'intervalle de temps de mesure en chacun des quatre points.

5.4 Erreur du type III

5.4.1 L'erreur du type III est due à l'approximation par interpolation du profil du lit et de la répartition horizontale des vitesses entre les verticales.

En pratique, les deux effets se produisent généralement simultanément. Les mesures de vitesse de l'écoulement et de profondeur sont effectuées sur un nombre limité de verticales de la section. Le choix du nombre et de l'emplacement des verticales est essentiellement une affaire de jugement personnel la forme du profil du lit dans la section, étant prise en considération.

En général, on sait que le choix d'un trop petit nombre de verticales peut conduire à une erreur très importante, mais l'on ne connaît ni l'importance des approximations, ni la relation avec des erreurs d'origine différente.

Dans le cadre de la présente recherche, on a tenté d'établir une comparaison entre l'erreur qui résulte de la technique de mesure normale (subjective) et l'erreur qui subsiste après un choix optimal de verticales. Pour cela un certain nombre de critères (objectifs) ont été retenus.

Il est clair que pour la comparaison il faut connaître la répartition horizontale des vitesses ainsi que le profil du lit aussi précisément que possible. D'après l'ISO 1088, soit le profil continu de la section, soit au moins la profondeur à des intervalles qui ne dépassent pas 2 % de la largeur totale, doit être mesuré. Il faut observer la répartition horizontale des vitesses en faisant des relevés de vitesse (intervalle de temps de mesure de 120 s) à 60 % de la profondeur aux intervalles mentionnés. Certains des critères utilisés pour choisir les verticales sont décrits dans l'annexe D.

Afin de déterminer l'influence du nombre de verticales sur la précision atteinte, on a réduit le nombre de verticales utilisées tour à tour pour déterminer le débit, selon un processus dépendant du critère considéré.

Les résultats sont donnés dans le tableau 2 pour les critères décrits dans l'annexe D. Ils indiquent l'écart-type de l'erreur du type III déduit des courbes de régression passant par les points observés.

Tableau 2

| Nombre de verticales | Écart-type relatif de l'erreur exprimé, % | | |
|----------------------|---|--|---|
| | Critère 1 : Profil du lit dans la section | Critère 2 : Verticales équidistantes | Critère 3 : Sections d'égal débit |
| 5 | 7,70 | | |
| 6 | 7,00 | | 4,52 |
| 10 | 4,40 | 2,60 | 3,35 |
| 15 | 3,02 | 1,98 | 2,60 |
| 20 | 2,20 | 1,65 | 2,08 |
| 25 | 1,70 | 1,45 | 1,76 |
| 30 | 1,28 | 1,30 | 1,60 |
| 35 | 1,02 | | 1,55 |
| 40 | 0,80 | | |
| 45 | 0,68 | | |

ISO/TR 7178:1983

5.4.2 Les conclusions concernant l'erreur du type III sont les suivantes :

- Le calcul du débit à partir d'un nombre réduit de verticales donne systématiquement des résultats trop faibles.
 - Le choix des verticales à partir du critère du profil dans la section (critère 1) donne de bons résultats par comparaison avec les résultats obtenus en appliquant les autres critères.
 - Le choix des verticales d'après le critère d'équidistance donne des résultats apparemment légèrement meilleurs que les résultats obtenus en utilisant le critère d'égal débit. La différence devrait toutefois être considérée comme insignifiante.
 - Pour les grandes rivières ($Q > 120 \text{ m}^3/\text{s}$), l'interpolation du profil horizontal des vitesses affecte beaucoup plus l'importance de l'erreur que l'interpolation du profil du lit. La différence est pourtant faible.
- Par contre, pour les petites rivières ($Q < 120 \text{ m}^3/\text{s}$) l'interpolation du profil du lit influe beaucoup plus sur l'erreur que l'interpolation du profil horizontal des vitesses.
- Les erreurs sur le débit, dues respectivement au profil des vitesses et à l'interpolation de la profondeur, sont liées. Cette relation repose sur l'interdépendance de la vitesse de l'écoulement et de la profondeur sur la verticale.
 - L'erreur sur le débit peut être considérablement réduite en se servant de ce que l'on sait de l'évolution continue du profil (écho-gramme) lorsque l'on détermine le débit, au lieu de n'utiliser que la profondeur relevée sur les verticales où l'on observe la vitesse d'écoulement.

6 Conclusions générales et recommandations

6.1 Généralités

Il y a une règle fondamentale à observer lorsqu'on effectue des mesures de débit, à savoir qu'il faut harmoniser le degré de précision pour les différents éléments.

Ainsi par exemple, le choix du nombre de verticales a non seulement une influence sur l'importance de l'erreur du type III, mais détermine également l'influence respective des erreurs des types I et II sur l'erreur globale.

6.2 Erreur du type I

6.2.1 Conclusions

6.2.1.1 Un intervalle de temps de mesure d'au moins 60 s est souhaitable pour mesurer les vitesses locales. Des mesures utilisant des intervalles de 30 s ont montré qu'il pouvait aussi bien y avoir ou non une corrélation entre les fluctuations de vitesse pour des intervalles de temps consécutifs. Dans un certain nombre de cas il n'a pas été possible de prononcer de jugement précis quant à la dépendance. Dans des cas d'indépendance, le fait de doubler l'intervalle de temps de mesure a pour effet de réduire l'erreur de la vitesse moyenne locale réelle en la multipliant par le facteur $1/\sqrt{2} = 0,7$. Dans des cas de dépendance, la réduction est moins grande.

6.2.1.2 L'intervalle de temps de mesure doit être choisi suivant la règle de calcul appliquée pour arriver à la vitesse moyenne sur la verticale.

6.2.2 Recommandations

6.2.2.1 Bien que l'on recommande des intervalles de temps de mesure de 60 s, si l'on considère la grande influence du nombre total de verticales sur l'erreur globale [voir annexe B, équation (2)], les résultats indiquent qu'on peut admettre des intervalles plus courts (par exemple de 30 s). Cette recommandation ne serait cependant valable que sous réserve des conditions d'écoulement et du nombre de mesures utilisé en des emplacements individuels.

6.2.2.2 Étant donné que l'erreur du type I augmente avec la profondeur, il peut sembler logique d'adapter l'intervalle de temps de mesure de telle sorte que l'on obtienne des pourcentages d'erreur comparables à chaque point de mesure. En ce qui concerne l'erreur du type III, une adaptation de l'intervalle de temps de mesure n'aurait pourtant que fort peu d'importance.

6.3 Erreur du type II

6.3.1 Conclusion

En ce qui concerne l'influence de l'erreur du type II sur l'erreur globale sur le débit, la règle de calcul qu'il faut appliquer pour trouver la vitesse moyenne d'écoulement sur la verticale est d'importance mineure.

6.3.2 Recommandation

Si, par des mesures préalables, la relation entre la vitesse moyenne et la vitesse locale mesurée alors, en général, est connue une méthode en un point pour la détermination de \bar{v} est suffisante du point de vue de la précision sur le débit total. Toutefois, étant donné la dispersion de la moyenne et l'écart-type par rivière ainsi que les écarts systématiques éventuels, il n'est recommandé d'utiliser la méthode «à un point» pour aucune rivière. Une méthode «à deux points» est plus sûre.

Dans l'exemple donné dans l'annexe B on utilise une méthode «à deux points» et l'on calcule une erreur stochastique globale de 1,97 %.

Si, en des circonstances identiques, on avait utilisé la méthode ($\bar{v} = 0,96 v_{0,5 d}$, avec $\hat{\sigma}_{s+f} = 6,5$ % (voir tableau 1), l'erreur stochastique globale aurait été de 2,16 %. En ce cas l'utilisation de la méthode «à deux points» au lieu de la méthode «à un point» indique une amélioration de 0,2 %.

6.4 Erreur du type III

6.4.1 Conclusions

6.4.1.1 Les recherches ont montré que le nombre et l'emplacement des verticales dans la section étaient des facteurs décisifs pour ce qui est de la précision avec laquelle il est possible de déterminer le débit total.

6.4.1.2 L'erreur sur le débit peut être considérablement réduite si l'on utilise ce que l'on sait de l'évolution continue du profil du lit pour déterminer le débit.

6.4.2 Recommandations

6.4.2.1 Il est recommandé d'effectuer des mesures sur au moins 20 verticales. Avec 25 verticales la sûreté augmente. Si l'on n'en prend que 15, on risque d'introduire des erreurs importantes. Cette recommandation s'applique aussi bien aux grandes qu'aux petites rivières.

6.4.2.2 Il est recommandé qu'un certain nombre de verticales soit situé en des endroits caractéristiques de la section (après sondage préalable). Les autres verticales devront être placées de telle manière qu'elles soient à distance à peu près égale les unes des autres.

6.5 Remarque finale

Les espoirs que l'analyse d'un nombre suffisant de données révélerait une composition homogène de l'erreur globale n'ont pas été confirmés.

Les résultats de la présente recherche montrent clairement que chaque rivière et même chaque section ont des propriétés physiques spécifiques qui interviennent de manière décisive sur les éléments à mesurer et que l'ensemble des éléments détermine la précision finale sur le débit.

C'est pourquoi en principe des mesures devront être effectuées pour chaque section à des niveaux différents pour permettre de déterminer la précision pour chaque élément et pour le débit total. Ces mesures doivent être effectuées conformément à l'ISO 1088, en tenant compte des recommandations de la section deux du présent Rapport technique.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 7178:1983](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/60863d7a-399f-4b98-93fb-b86a8afbaf6d/iso-tr-7178-1983)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/60863d7a-399f-4b98-93fb-b86a8afbaf6d/iso-tr-7178-1983>