

---

# Norme internationale



# 4360

---

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

---

## Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs — Déversoirs à profil triangulaire

*Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes — Triangular profile weirs*

Deuxième édition — 1984-12-15

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
(standards.iteh.ai)

[ISO 4360:1984](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/99bfebfc-21be-45b7-bb70-5f531ed45195/iso-4360-1984)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/99bfebfc-21be-45b7-bb70-5f531ed45195/iso-4360-1984>

---

CDU 532.572 : 532.532

Réf. n° : ISO 4360-1984 (F)

Descripteurs : écoulement de liquide, écoulement d'eau, écoulement en canal découvert, déversoir, mesurage de débit, 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 4360 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*.

[ISO 4360:1984](#)

La Norme internationale ISO 4360 a été pour la première fois publiée en 1979. Cette deuxième édition annule et remplace la première édition dont elle constitue une révision technique.

# Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs — Déversoirs à profil triangulaire

## 1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie des méthodes de mesure du débit d'eau en régime permanent dans les canaux découverts au moyen de déversoirs à profil triangulaire. Les conditions d'écoulement considérées ici sont limitées aux régimes de type permanent qui ne dépendent que de la hauteur de charge en amont et aux écoulements noyés qui dépendent à la fois des niveaux amont et aval.

## 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 4373, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Appareils de mesure du niveau de l'eau.*

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

## 3 Définitions et symboles

Dans le cadre de la présente Norme internationale, les définitions données dans l'ISO 772 sont applicables. Les symboles utilisés dans la présente Norme internationale sont donnés dans l'annexe.

## 4 Unités de mesure

Les unités de mesure utilisées dans la présente Norme internationale sont la seconde et le mètre.

## 5 Installation

Les conditions relatives à l'étude préliminaire, au choix de l'emplacement, à l'installation, au chenal d'approche, à l'entretien, au mesurage de la hauteur de lame, aux puits de mesurage ou aux puits à flotteur, qui sont généralement nécessaires pour le mesurage du débit, sont données dans les paragraphes suivants. Les conditions particulières aux déversoirs à profil triangulaire sont données séparément dans le chapitre 8.

## 5.1 Choix de l'emplacement

**5.1.1** Il faut procéder à une étude préliminaire des conditions physiques et hydrauliques de l'emplacement proposé pour vérifier qu'il est conforme (ou peut être rendu conforme) aux conditions nécessaires à un mesurage au moyen d'un déversoir.

On doit faire particulièrement attention aux conditions suivantes pour choisir l'emplacement :

- a) existence d'une longueur suffisante de chenal, à section régulière;
- b) répartition des vitesses existantes;
- c) chenal à forte pente à éviter, si possible;
- d) effets de l'augmentation des niveaux de l'eau en amont, due au dispositif de mesurage;
- e) conditions de l'écoulement aval, y compris l'influence d'éléments tels que marées, confluent avec d'autres cours d'eau, écluses, barrages et autres sections de contrôle qui peuvent provoquer un écoulement noyé;
- f) imperméabilité du sol sur lequel doit reposer le dispositif de mesurage et nécessité de procéder à un compactage, à un jointoiement ou à tout autre moyen d'assurer l'étanchéité dans les installations en rivière;
- g) nécessité que les berges du lit majeur puissent contenir le débit maximal dans le chenal;
- h) stabilité des rives et nécessité de nettoyer et/ou de garnir d'un revêtement les chenaux naturels;
- j) suppression des rochers ou des galets qui se trouvent dans le lit des chenaux d'approche;
- k) effet du vent; celui-ci peut avoir une influence considérable sur l'écoulement dans une rivière ou sur un déversoir, en particulier lorsque ceux-ci sont larges et la hauteur de lame est faible et que le vent dominant est dans une direction transversale.

Si l'emplacement ne remplit pas les conditions requises pour effectuer des mesurages satisfaisants, il faut l'abandonner, à moins qu'il soit possible d'y apporter les améliorations nécessaires.

Si un examen du courant montre que la répartition des vitesses existante est régulière, on peut alors supposer que la répartition des vitesses restera satisfaisante après la construction du déversoir.

Si la répartition des vitesses existante est irrégulière et s'il n'y a pas d'autre station de jaugeage possible, il faut bien vérifier cette répartition après l'installation du déversoir et l'améliorer si nécessaire.

Il existe plusieurs méthodes pour obtenir une indication plus précise de la répartition irrégulière des vitesses : bâtons de vitesse, flotteurs ou solutions concentrées de colorants peuvent être employés pour de petits chenaux, la dernière méthode servant à vérifier les conditions au fond du chenal. Une estimation complète et quantitative de la répartition des vitesses peut s'obtenir au moyen d'un moulinet. Tous les renseignements sur l'emploi des moulinets sont donnés dans l'ISO 748.

## 5.2 Conditions d'installation

### 5.2.1 Généralités

L'installation complète de mesurage comprend un chenal d'approche, un dispositif de mesurage et un chenal aval. Les conditions de chacun de ces trois éléments affectent la précision totale des mesurages.

Les conditions exigées pour l'installation comprennent des caractéristiques telles que : état de surface du déversoir, forme de la section transversale du chenal, rugosité du chenal, influence des appareils de contrôle en amont ou en aval du dispositif de jaugeage.

La répartition et la direction des vitesses déterminées par les caractéristiques mentionnées en 5.1.1 ont une influence importante sur le fonctionnement du déversoir.

Lorsque l'installation a été construite, l'utilisateur doit empêcher toute modification qui pourrait affecter les caractéristiques de l'écoulement.

### 5.2.2 Chenal d'approche

Sur toutes les installations, l'écoulement dans le chenal d'approche doit se faire en régime fluvial, sans perturbation, et la répartition des vitesses doit être aussi normale que possible pour toute la section transversale. On peut habituellement la vérifier par examen ou mesurage. Dans le cas des cours d'eau naturels ou des rivières, on n'y parvient que si l'on dispose d'un chenal d'approche long et rectiligne, exempt de saillies soit sur la paroi, soit au fond. Sauf indications spéciales dans les paragraphes correspondants, il faut respecter les conditions générales suivantes.

Les changements apportés au régime d'écoulement par la construction du déversoir peuvent faire naître des dépôts en amont de la construction, ce qui, à la longue, pourrait modifier le régime. Les variations du niveau de l'eau qui en résultent doivent être prises en considération dans le projet des stations de jaugeage.

Dans un chenal artificiel, la section transversale doit être uniforme et le chenal doit être rectiligne sur une longueur d'au moins cinq fois sa largeur.

Dans un cours d'eau naturel ou une rivière, la section transversale doit être raisonnablement uniforme et le chenal doit être rectiligne sur une longueur telle que la répartition des vitesses soit régulière.

Si l'entrée du chenal d'approche se trouve dans un coude ou si le chenal est alimenté par une conduite, de section transversale plus petite, ou faisant un angle, on peut alors avoir besoin d'un chenal d'approche rectiligne sur une longueur plus grande afin d'obtenir une répartition régulière des vitesses.

Aucun dispositif de tranquillisation ne doit être placé à une distance des points de mesure inférieure à cinq fois la hauteur de la lame maximale à mesurer.

Dans certaines conditions, un ressaut peut apparaître en amont du dispositif de jaugeage, par exemple si le chenal d'approche est à forte pente. Si ce ressaut est à une distance en amont d'au moins trente fois la hauteur de lame maximale, on peut effectuer le mesurage du débit, à condition qu'il existe bien une répartition régulière des vitesses au niveau de la station de jaugeage.

### 5.2.3 Dispositif de mesurage

Le dispositif de mesurage doit être rigide, étanche et capable de résister aux écoulements de crue sans se déformer ou se casser. Il doit être perpendiculaire à la direction de l'écoulement et conforme aux dimensions données dans les paragraphes qui s'y rapportent.

### 5.2.4 Chenal en aval

Le chenal en aval du dispositif de mesurage est sans importance à condition que le déversoir ait été conçu de façon que l'écoulement soit dénoyé dans toutes les conditions d'emploi. Un limnimètre doit être placé en aval pour vérifier le niveau aval afin de déterminer le moment où l'écoulement noyé se produit.

En cas de possibilité d'un affouillement en aval de l'ouvrage, ce qui pourrait conduire à l'instabilité de l'ouvrage, des mesures spéciales pour empêcher ceci peuvent être nécessaires.

Une prise de pression à la crête et un puits de mesurage séparé doivent être prévus si le déversoir est conçu pour fonctionner dans des conditions d'écoulement noyé ou s'il y a une possibilité que le déversoir se noie dans l'avenir.

Cette dernière situation peut se produire si les changements apportés au régime d'écoulement par la construction du déversoir peuvent faire naître des dépôts immédiatement en aval du dispositif de mesurage ou si des travaux fluviaux sont effectués en aval à une date ultérieure.

## 6 Entretien

L'entretien du dispositif de mesurage et du chenal d'approche est important pour assurer des mesurages précis et continus.

Il est primordial que le chenal d'approche jusqu'au déversoir soit, dans toute la mesure du possible, maintenu propre et exempt de limon et de végétation sur une distance au moins

égale à celle spécifiée en 5.2.2. Le puits à flotteur et l'entrée du chenal d'approche doivent également être maintenus propres et exempts de dépôts.

La structure du déversoir doit être maintenue propre et exempte de tout dépôt de surface, et l'on doit prendre soin, au cours du nettoyage, de ne pas en détériorer le seuil.

## 7 Mesurage de la hauteur de lame

### 7.1 Généralités

La hauteur de lame en amont du dispositif de mesurage peut être mesurée au moyen d'une pointe limnimétrique recourbée, d'une pointe limnimétrique droite ou d'une échelle limnimétrique lorsqu'on a besoin de mesurages instantanés, ou au moyen d'un limnigraphe lorsqu'il faut un enregistrement continu, et bien souvent il est préférable de mesurer la hauteur de lame dans un puits de mesurage séparé afin de réduire l'influence des irrégularités de la surface de l'eau.

Les débits obtenus d'après la formule de calcul sont des débits-volumes, et la masse volumique du liquide n'affecte pas le débit-volume pour une hauteur de lame donnée, à condition que la hauteur de lame soit mesurée dans un liquide de même masse volumique. Si l'on effectue le mesurage dans un puits séparé, il peut être nécessaire de faire une correction pour tenir compte de la différence des masses volumiques si la température, dans le puits, est sensiblement différente de celle du liquide en écoulement. Toutefois, on admet ici que les masses volumiques sont égales.

### 7.2 Puits de mesurage ou puits à flotteur

Si l'on utilise un puits de mesurage, il doit être vertical et avoir une marge de 0,6 m au-dessus du niveau maximal de l'eau susceptible d'être enregistré dans le puits.

Il doit être relié au chenal d'approche par une tuyauterie de liaison ou une fente suffisamment grande pour permettre à l'eau dans le puits de suivre sans délai notable l'augmentation ou la diminution de la hauteur de lame.

Toutefois, la tuyauterie de liaison ou la fente doit être aussi petite que compatible avec un entretien facile, ou bien être pourvue d'un étranglement pour amortir les oscillations dues à des ondes de faible amplitude.

Le puits et la tuyauterie de liaison ou la fente doivent être étanches. Si l'on prévoit l'utilisation du flotteur d'un enregistreur de niveau, le puits doit avoir un diamètre et une profondeur adaptés au flotteur.

Le puits doit également être assez profond pour que le limon qui pourrait y pénétrer n'entraîne pas l'échouage du flotteur. L'installation du puits à flotteur peut comprendre une chambre intermédiaire, placée entre le puits de mesurage et le chenal d'approche, ayant des proportions analogues à celles du puits de mesurage pour que le limon et les matières solides s'y décantent. Afin de faciliter l'entretien, des vannes peuvent être prévues dans la tuyauterie.

Pour une description détaillée du puits de mesurage, voir l'ISO 4373.

### 7.3 Repérage du zéro

Il faut prévoir, pour vérifier la position du zéro du dispositif de mesurage de la hauteur de lame, un niveau de référence rattaché au niveau du déversoir.

Le contrôle du zéro, basé sur le niveau de l'eau quand l'écoulement cesse, est sujet à de graves erreurs dues à l'influence de la tension superficielle, et cette méthode ne doit pas être employée.

Lorsque la taille du déversoir et la hauteur de lame diminuent, les faibles erreurs de construction et celles commises dans le positionnement du zéro et la lecture de l'appareil de mesurage de la hauteur de lame, deviennent plus importantes.

## 8 Spécifications relatives au déversoir normalisé

### 8.1 Description

8.1.1 Le déversoir se compose d'une pente amont de 1 (verticale) à 2 (horizontale) et d'une pente aval de 1 (verticale) à 5 (horizontale). L'intersection de ces deux surfaces forme une crête rectiligne, horizontale et perpendiculaire au sens de l'écoulement dans le chenal d'approche. La crête ou seuil doit faire l'objet d'une attention particulière et présenter un angle bien défini et de construction durable. En variante d'une construction complète *in situ*, le seuil peut être fait de blocs préformés soigneusement alignés et joints ou avoir une arête en métal non corrosif rapportée.

8.1.2 Les dimensions du déversoir et de ses butées doivent être conformes aux exigences données à la figure 1. Les blocs peuvent être tronqués, mais pas au point de réduire leurs dimensions en plan à moins de  $1,0 h_{\max}$  pour la pente 1:2 et  $2,0 h_{\max}$  pour la pente 1:5.

### 8.2 Emplacement de la section de mesurage de la hauteur de lame

Des piézomètres ou des stations de pointes limnimétriques, permettant de mesurer la hauteur de lame sur le déversoir, doivent être placés à une distance suffisante, en amont du déversoir, pour éviter la région d'abaissement de la surface. D'autre part, ils doivent être placés suffisamment près du déversoir pour que la perte de charge, entre la section de mesurage et la section de contrôle sur le déversoir, soit négligeable. Dans la présente Norme internationale, il est recommandé que la section de mesurage de la hauteur de lame se trouve à une distance égale à deux fois la hauteur de lame maximale ( $2 h_{\max}$ ), en amont du seuil.

### 8.3 Condition pour un écoulement dénoyé

8.3.1 L'écoulement est dénoyé lorsqu'il est indépendant des variations du niveau aval. Cette condition est remplie lorsque la charge totale à l'aval au-dessus du seuil est égale ou inférieure à 75 % de la charge totale en amont au-dessus du seuil.

8.3.2 On commettra une erreur significative sur le débit calculé si ce rapport est dépassé à moins qu'une prise à la crête ne soit prévue et que deux mesures séparées de la charge ne soient effectuées.

#### 8.4 Emplacement de la prise à la crête

8.4.1 La prise à la crête doit comprendre cinq à dix trous de 10 mm de diamètre percés dans le bloc du déversoir à intervalles de 75 mm et à 20 mm en aval de la crête du déversoir sur la pente 1:5. Les bords des trous ne doivent être ni arrondis ni ébarbés. Le nombre de trous doit être suffisant pour que le niveau de l'eau dans le puits de mesurage suive les variations de la pression dans la poche de séparation derrière la crête sans un retard important.

8.4.2 La position optimale de la prise à la crête se situe au centre de la crête du déversoir. La prise peut être décalée sur les déversoirs d'une largeur supérieure à 2,0 m à condition que la distance de la ligne centrale de la prise à la paroi latérale la plus proche soit supérieure à 1,0 m.

### 9 Caractéristiques de débit

#### 9.1 Formules

9.1.1 La formule de débit pour un écoulement dénoyé est la suivante :

$$Q = (2/3)^{3/2} C_d C_v \sqrt{g} b h^{3/2}$$

où

$Q$  est le débit du déversoir, en mètres cubes par seconde;

$C_d$  est le coefficient de débit, sans dimension;

$C_v$  est le coefficient, sans dimension, tenant compte de l'effet de la vitesse d'approche  $\left(\frac{H}{h}\right)^{3/2}$  ;

$H$  est la charge totale, en mètres;

$b$  est la largeur du déversoir, en mètres;

$g$  est l'accélération due à la pesanteur, en mètres par seconde carrée;

$h$  est la hauteur de lame mesurée, en mètres.

9.1.2 La formule de débit pour l'écoulement noyé est la suivante :

$$Q = (2/3)^{3/2} C_d C_v f \sqrt{g} b h^{3/2}$$

où  $f$  est le facteur de réduction, sans dimension, de l'écoulement noyé.

#### 9.2 Coefficients

9.2.1 Le coefficient  $C_v$  pour la formule de l'écoulement dénoyé est donné par la figure 2, où  $A$  est l'aire du chenal d'approche.

9.2.2 Le coefficient combiné  $C_v f$  pour la formule de l'écoulement noyé est donné par la figure 3 où  $h_p$  est la hauteur au-dessus du seuil mesurée à la prise à la crête. Dans les conditions d'écoulement dénoyé, la valeur de  $h_p/h$  est constante à 0,20 et la valeur de  $f$  est de 1,00. Par conséquent, dans ces conditions, les valeurs de  $C_v f$  lues à partir de la figure 3 coïncident avec les valeurs de  $C_v$  données par la figure 2.

9.2.3 Pour une eau à température ordinaire  $C_d$  est presque indépendant de  $h$ , sauf à des hauteurs très faibles où les propriétés du fluide influent sur le coefficient.  $C_d$  est donné par l'équation suivante :

$$C_d = 1,163 \left(1 - \frac{0,0003}{h}\right)^{3/2}$$

où  $h$  est en mètres. Pour les usages pratiques  $C_d$  peut être pris égal à 1,163 pour  $h \geq 0,1$  m.

#### 9.3 Limites

Les limites générales suivantes sont recommandées :

$h \geq 0,03$  m (pour une crête en métal lisse ou équivalent);

$h \geq 0,06$  m (pour une crête en béton fin ou équivalent);

$p \geq 0,06$  m;

$b \geq 0,3$  m;

$h/p \leq 3,5$ ;

$b/h \geq 2,0$ .

#### 9.4 Précision

9.4.1 La précision relative des mesurages de débit, effectués avec des déversoirs, dépend de la précision des mesurages de la hauteur de lame et des dimensions du déversoir ainsi que de la précision des coefficients qui s'appliquent au déversoir utilisé.

9.4.2 En construisant et en installant le déversoir à profil triangulaire avec le plus grand soin, on peut déduire l'erreur systématique, en pourcentage, sur le coefficient de débit ( $\gamma$  compris  $C_v$  et  $f$ ) de l'équation :

$$X_c'' = \pm \left(\frac{10 C_v}{f} - 9\right)$$

Les valeurs numériques de  $X_c''$  sont données dans le tableau 1.

L'erreur aléatoire dépend de la qualité de la recherche utilisée pour déterminer le coefficient et peut être prise égale à  $X_c' = \pm 0,5$  % dans ce cas.

9.4.3 La méthode selon laquelle les erreurs sur le coefficient doivent être combinées à d'autres sources d'erreurs est spécifiée dans le chapitre 10.

**9.4.4** En général, les étalonnages expérimentaux ont été réalisés sur des dispositifs de petites dimensions, et leur transposition à des structures plus grandes peut provoquer de petites variations des coefficients de débit par suite des effets d'échelle.

## 10 Erreurs limites sur le mesurage de débit

### 10.1 Généralités

**10.1.1** Il faut se reporter à l'ISO 5168.

**10.1.2** On peut évaluer l'erreur limite totale sur les mesurages de débit si les erreurs limites provenant de différentes sources sont combinées. En général, on peut évaluer ces erreurs qui constituent l'erreur limite totale, et elles indiquent si le débit peut être mesuré ou non avec une précision suffisante pour le cas considéré. Le présent chapitre a pour but de fournir les informations de base nécessaires à l'utilisateur de la présente Norme internationale pour évaluer l'erreur limite sur les mesurages de débit.

**10.1.3** L'erreur peut être définie comme étant la différence entre le débit réel et celui calculé à partir de l'équation utilisée pour l'étalonnage du dispositif de mesure construit et installé conformément à la présente Norme internationale. Le terme «erreur-limite» est employé ici pour désigner la gamme à l'intérieur de laquelle la valeur réelle du débit mesuré doit se trouver environ dix-neuf fois sur vingt (limites de confiance de 95 %).

### 10.2 Sources d'erreur

**10.2.1** On peut identifier les sources d'erreur en considérant une expression générale de la formule du débit pour les déversoirs :

$$Q = (2/3)^{3/2} C_d C_v f \sqrt{g} b h^{3/2}$$

où

$(2/3)^{3/2}$  est une constante numérique sur laquelle on ne fait pas d'erreur;

$g$  est l'accélération due à la pesanteur, qui varie selon le lieu, mais sa variation est suffisamment faible pour être négligée dans la mesure du débit.

**10.2.2** Les sources d'erreur à considérer sont les suivantes :

- le coefficient de débit  $C_d$ , le coefficient de vitesse d'approche  $C_v$  et le facteur de réduction de l'écoulement noyé  $f$ . Les estimations numériques et les erreurs limites sur le coefficient combiné  $C_d C_v f$  sont données en 9.4;
- le mesurage des dimensions du dispositif de mesurage, par exemple la largeur du déversoir,  $b$ ;
- le mesurage de la hauteur de lame,  $h$ .

**10.2.3** Les erreurs limites sur le mesurage de  $b$  et  $h$  doivent être évaluées par l'utilisateur. L'erreur limite sur le mesurage des dimensions dépendra de la précision avec laquelle on peut mesurer le dispositif une fois construit; en pratique, cette erreur peut s'avérer négligeable par rapport aux autres erreurs. L'erreur limite sur la mesure de la hauteur de lame dépendra de la précision de l'appareil de mesurage de cette hauteur, de la détermination du zéro du dispositif de mesurage de la hauteur de lame et de la méthode employée. Cette erreur limite peut être faible si l'on emploie un vernier ou un micromètre et si le repérage du zéro est fait avec une précision comparable.

### 10.3 Types d'erreur

**10.3.1** Les erreurs peuvent être aléatoires ou systématiques; les premières affectent la reproductibilité (fidélité) du mesurage, les secondes affectent sa véritable précision.

**10.3.2** L'écart-type d'un ensemble de  $n$  mesures d'une grandeur  $Y$  obtenues dans des conditions régulières peut être évalué à partir de la formule

$$s_Y = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1} \right)^{1/2}$$

où  $\bar{Y}$  est la moyenne arithmétique des  $n$  mesures. L'écart-type de la moyenne est donc donné par :

$$\frac{s_Y}{\sqrt{n}}$$

et l'erreur limite de la moyenne est égale à deux fois  $s_{\bar{Y}}$  (pour une probabilité de 95 %)<sup>1)</sup>. Cela constitue la part des observations de  $Y$  dans l'erreur limite totale.

**10.3.3** Une mesure peut également contenir une erreur systématique; la valeur moyenne mesurée serait alors différente de la vraie valeur de la quantité mesurée. Une erreur dans le repérage du zéro du dispositif de mesurage du niveau de l'eau par rapport au niveau du radier, par exemple, produit une différence systématique entre la valeur moyenne mesurée et la valeur réelle. Puisque la répétition de la mesure n'élimine pas les erreurs systématiques, la valeur réelle ne pourrait être déterminée que par un mesurage distinct, plus précis.

### 10.4 Erreurs sur les valeurs des coefficients

**10.4.1** Les valeurs des coefficients de débit  $C_d$  et  $C_v$  indiquées dans la présente Norme internationale sont basées sur les résultats d'expériences présumées faites soigneusement, avec un nombre suffisant de lectures pour obtenir une moyenne de grande fidélité. Les erreurs aléatoires et systématiques provenant de cette source sont faibles. Cependant, lorsque les mesurages sont faits sur d'autres installations semblables, il peut survenir des écarts systématiques entre les coefficients de débit,

1) Ce facteur de deux suppose que  $n$  a une valeur élevée. Pour  $n = 6$ , le facteur devrait être 2,6;  $n = 8$  exige 2,4;  $n = 10$  exige 2,3;  $n = 15$  exige 2,1.

que l'on peut attribuer aux différences de l'état de surface du dispositif, à son installation, aux conditions amont, à l'effet d'échelle entre le modèle et le dispositif sur site, etc.

**10.4.2** Les erreurs limites sur les coefficients, indiquées dans les paragraphes précédents de la présente Norme internationale, sont fondées sur l'examen de l'écart entre des données expérimentales provenant de différentes sources et les formules de calcul données. Les erreurs limites suggérées représentent donc la compilation des constatations et des expériences disponibles.

**10.5 Erreurs limites sur les grandeurs mesurées par l'utilisateur**

**10.5.1** Les mesurages faits par l'utilisateur présentent des erreurs aléatoires et systématiques.

**10.5.2** Puisque ni les méthodes de mesurage, ni la manière de les effectuer ne sont précisées, il est impossible de suggérer des valeurs numériques pour ces erreurs : elles doivent être évaluées par l'utilisateur. Par exemple, la considération de la méthode de mesurage de la largeur du déversoir permet à l'utilisateur de déterminer l'erreur limite sur cette grandeur.

**10.5.3** L'erreur limite sur la hauteur de lame mesurée doit être déterminée à partir d'une évaluation des différentes sources d'erreurs limites individuelles, par exemple l'erreur limite sur le repérage du zéro, la sensibilité du dispositif de mesurage, le jeu dans l'équipement de mesurage (là où ceci est applicable), l'erreur limite résiduelle sur la valeur moyenne d'une série de mesurages (là où ceci est applicable).

**10.6 Combinaison des erreurs limites**

**10.6.1** L'erreur limite systématique ou aléatoire totale est la résultante de plusieurs erreurs limites, qui peuvent elles-mêmes être des erreurs limites composées. Si les erreurs limites contributives sont indépendantes, faibles et nombreuses, elles peuvent être combinées pour donner une erreur limite aléatoire (ou systématique) totale avec une probabilité de 95 %.

**10.6.2** Toutes les sources qui contribuent à des erreurs limites auront des composantes aléatoires et systématiques. Cependant, dans certains cas, soit la composante aléatoire, soit la composante systématique peut être prédominante et l'autre composante peut être négligée par comparaison.

**10.6.3** En raison de la nature différente des erreurs limites aléatoires et systématiques, elles ne devraient pas généralement être combinées. Cependant, conformément à 10.6.1, les erreurs limites aléatoires provenant de différentes sources peuvent être combinées quadratiquement; les erreurs limites systématiques provenant de différentes sources peuvent être combinées de la même manière.

**10.6.4** L'erreur limite aléatoire, en pourcentage,  $X'_Q$  sur le débit peut être calculée à partir de la formule :

$$X'_Q = \pm \sqrt{X'_c{}^2 + X'_b{}^2 + 1,5^2 X'_h{}^2}$$

où

$X'_c$  est l'erreur limite aléatoire, en pourcentage, sur  $C_d C_v f$ ;

$X'_b$  est l'erreur limite aléatoire, en pourcentage, sur  $b$ ;

$X'_h$  est l'erreur limite aléatoire, en pourcentage, sur  $h$ .

Dans ce qui précède,  $X'_b = 100 \times \frac{\epsilon_b}{b}$

et

$$X'_h = ({}_1X'_h{}^2 + {}_2X'_h{}^2 + \dots + X'_m{}^2)^{1/2}$$

où

$\epsilon_b$  est l'erreur limite aléatoire sur la mesure de la largeur;

${}_1X'_h, {}_2X'_h$ , etc., sont les erreurs limites aléatoires, en pourcentage, sur les mesures de la hauteur de lame (voir 10.5.3);

$X'_m$  est l'erreur limite aléatoire, en pourcentage, de la valeur moyenne des lectures de la mesure de la hauteur de lame à niveau d'eau constant.

Le terme  $X'_m$  peut être facilement évalué si, par exemple, une pointe limnimétrique est utilisée pour les mesures du niveau de l'eau. Dans le cas d'un enregistreur continu ou numérique, l'erreur limite aléatoire sur la lecture d'un niveau d'eau donné peut être évaluée par des essais de laboratoire de l'équipement.

**10.6.5** L'erreur limite systématique, en pourcentage,  $X''_Q$  sur le débit peut être calculée à partir de l'équation :

$$X''_Q = \pm \sqrt{X''_c{}^2 + X''_b{}^2 + 1,5^2 X''_h{}^2}$$

où

$X''_c$  est l'erreur limite systématique, en pourcentage, sur  $C_d C_v f$ ;

$X''_b$  est l'erreur limite systématique, en pourcentage, sur  $b$ ;

$X''_h$  est l'erreur limite systématique, en pourcentage, sur  $h$ .

Dans ce qui précède,  $X''_h = ({}_1X''_h{}^2 + {}_2X''_h{}^2 + \dots)^{1/2}$

où  ${}_1X''_h, {}_2X''_h$ , etc., sont les erreurs limites systématiques, en pourcentage, sur les mesures de la hauteur de lame (voir 10.5.3).

**10.7 Présentation des résultats**

**10.7.1** Bien qu'il soit souhaitable, et souvent nécessaire, d'énumérer séparément les erreurs limites aléatoires et systématiques totales, il faut reconnaître qu'une présentation plus simple des résultats peut être nécessaire.



À cet effet, les erreurs limites aléatoires et systématiques peuvent être combinées comme indiqué dans l'ISO 5168.

$$X_Q = \pm \sqrt{(X'_Q)^2 + (X''_Q)^2}$$

## 11 Exemples

### 11.1 Exemple 1

Ce qui suit est un exemple du calcul du débit et de l'erreur limite associée sur une détermination unique du débit avec un déversoir à profil triangulaire, dans le cas d'un écoulement dénoyé. La hauteur de seuil au-dessus du lit du chenal d'approche,  $p$ , est de 1 m et la hauteur de lame,  $h$ , est de 0,67 m. La largeur de seuil du déversoir,  $b$ , et la largeur du chenal d'approche,  $B$ , sont toutes deux égales à 10 m. On suppose un enregistreur numérique à bande perforée.

**11.1.1** Pour le calcul du débit, la formule donnée en 9.1.2 est utilisée. Étant donné que la hauteur de lame,  $h$ , est supérieure à 0,1 m,  $C_d = 1,163$ . Dans le cas d'un écoulement dénoyé, le facteur de réduction est égal à 1.

**11.1.2** Pour effectuer la lecture de  $C_v$  à partir de la figure 2, il est nécessaire d'évaluer  $2/3 \sqrt{2/3} C_d b h/A$ , où  $A$  est la section transversale de l'écoulement dans le chenal d'approche, dans le présent cas égal à  $B(h+p)$  ou  $10(0,67 + 1) = 16,7 \text{ m}^2$ .

Alors  $2/3 \sqrt{2/3} C_d b h/A = 2/3 \sqrt{2/3} \times 1,163 \times 10 \times 0,67/16,7 = 0,254$ .

Avec cette valeur, à partir de la figure 2,  $C_v = 1,054$ .

**11.1.3** En utilisant la formule donnée en 9.1.2,

$$\begin{aligned} Q &= (2/3)^{3/2} C_d C_v f \sqrt{g} b h^{3/2} \\ &= (2/3)^{3/2} \times 1,163 \times 1,054 \times 1 \times \sqrt{9,81} \times 10 \times 0,67^{3/2} \\ &= 11,46 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

**11.1.4** Pour calculer l'erreur limite sur cette valeur de  $Q$ , les erreurs limites sur les valeurs des coefficients sont d'abord déterminées :

$$X'_c = \pm 0,5 \% \quad (\text{à partir de 9.4})$$

$$X''_c = \pm \left( \frac{10 C_v}{f} - 9 \right) \quad (\text{à partir de 9.4})$$

$$= \pm \left( \frac{10 \times 1,054}{1} - 9 \right)$$

$$= \pm 1,54 \%$$

**11.1.5** En supposant que plusieurs mesures de la largeur aient été faites, la composante aléatoire de l'erreur limite sur la mesure de la largeur sera probablement négligeable. L'erreur limite systématique sur la mesure de la longueur est censée être dans ce cas de 0,01 m. En conséquence,

$$X'_b = 0$$

$$X''_b = \frac{0,01}{10} \times 100 = \pm 0,1 \%$$

**11.1.6** Avec l'équipement utilisé, il a été prouvé que le repérage du zéro peut être fait à  $\pm 3 \text{ mm}$  près. Ceci constitue une erreur limite systématique; cependant, la grandeur de l'erreur limite doit être rattachée à l'équipement utilisé. Aucune erreur limite aléatoire n'est associée à l'erreur du repérage du zéro, car, jusqu'à ce que le zéro soit repéré de nouveau, le zéro réel aura la même grandeur et le même signe. Par conséquent,

$${}_1X'_h = 0$$

$${}_1X''_h = \frac{0,003}{0,67} \times 100 = 0,45 \%$$

**11.1.7** Les erreurs limites associées à différents types d'équipement d'observation du niveau de l'eau peuvent être déterminées par des essais effectués avec soin et dans des conditions réglementées. La composante aléatoire de l'erreur limite peut être déterminée en effectuant une série de lectures à un niveau d'eau donné; cependant, en vue de distinguer l'erreur limite aléatoire des erreurs limites provenant d'autres sources, il est nécessaire d'effectuer ces essais avec le niveau de l'eau toujours en montée (ou en baisse). Dans le cas de l'équipement utilisé, la composante aléatoire de l'erreur limite sur les mesures du niveau de l'eau était d'environ  $\pm 1 \text{ mm}$ . Les erreurs limites systématiques sur les mesures du niveau de l'eau proviennent du jeu, de l'allongement de la bande, etc. Là où c'est possible, des corrections doivent être apportées, mais les essais réglementés pour des types donnés d'équipement indiqueront la grandeur de l'erreur limite systématique résiduelle. Dans le cas présent, cette erreur était approximativement de  $\pm 2,5 \text{ mm}$ . En conséquence,

$${}_2X'_h = \frac{0,001}{0,67} \times 100 = 0,15 \%$$

$${}_2X''_h = \pm \frac{0,0025}{0,67} \times 100 = 0,37 \%$$

**11.1.8** La combinaison des erreurs limites individuelles pour obtenir l'erreur limite totale sur le débit peut être effectuée comme suit.

En supposant que  $X'_m$  soit négligeable, les erreurs limites sur la mesure du niveau de l'eau sont :

$$X'_h = \pm \sqrt{{}_1X'_h{}^2 + {}_2X'_h{}^2} = \pm \sqrt{0 + 0,15^2} = \pm 0,15 \%$$

$$X''_h = \pm \sqrt{{}_1X''_h{}^2 + {}_2X''_h{}^2} = \pm \sqrt{0,45^2 + 0,37^2} = \pm 0,58 \%$$

L'erreur limite aléatoire totale sur la mesure du débit est

$$\begin{aligned} X'_Q &= \pm (X'_c{}^2 + X'_b{}^2 + 1,5^2 X'_h{}^2)^{1/2} \\ &= \pm (0,5^2 + 0 + 2,25 \times 0,15^2)^{1/2} \\ &= \pm 0,55 \% \end{aligned}$$