
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

Première édition — 1979-04-15

CDU 532.572 : 532.532

Réf. n° : ISO 4360-1979 (F)

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

Prix basé sur 9 pages

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 correspondant. 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.

La Norme internationale ISO 4360 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*, et a été soumise aux comités membres en avril 1977.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée :

Afrique du Sud, Rép. d'	France	Pays-Bas
Allemagne, R. F.	Finlande	Portugal
Australie	Inde	Roumanie
Autriche	Irlande	Suisse
Canada	Italie	Tchécoslovaquie
Chili	Mexique	Turquie
Espagne	Norvège	USA

Le comité membre du pays suivant l'a désapprouvée pour des raisons techniques :

Royaume-Uni

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.

Elle ne traite pas des écoulements noyés qui dépendent à la fois des niveaux amont et aval.

Les avantages et les inconvénients de ces dispositifs, comparativement aux autres types de déversoirs et de canaux jaugeurs, ainsi que la précision relative de chacun d'eux, sont donnés dans l'annexe.

2 RÉFÉRENCES

ISO 31, *Principes généraux concernant les grandeurs, les unités et les symboles.*

ISO 748, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes d'exploration du champ des vitesses.*¹⁾

ISO 772, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Vocabulaire et symboles.*¹⁾

ISO 1000, *Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités.*

3 DÉFINITIONS

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

4 UNITÉS DE MESURE

Les unités de mesure utilisées dans la présente Norme internationale sont les unités SI conformes à l'ISO 31 et à l'ISO 1000.

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 existante;
- 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 de remblayer les berges pour contenir la crue au débit maximal du 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 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'aban-

1) En révision.

donner, à moins qu'il soit possible d'y apporter les améliorations nécessaires.

Si un examen du courant montre que la répartition des vitesses existantes 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 employées 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 ont une influence importante sur le fonctionnement du déversoir, ces facteurs étant déterminés par les caractéristiques mentionnées précédemment.

Lorsque l'installation a été déterminée, 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 au moins égale à dix fois sa largeur.

Si l'entrée du chenal d'approche se trouve dans un coude ou si le chenal est alimenté par une conduite, par une section transversale plus petite, ou en 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.

Aucune chicane ne doit être placée à une distance des points de mesure inférieure à dix 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 au moins égale à 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.

Si un ressaut se produit à une distance inférieure, les conditions d'approche et/ou le dispositif de jaugeage doivent être modifiés.

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 généralement sans importance, à condition que le déversoir ait été conçu de façon à ne pas pouvoir être noyé dans les conditions d'emploi.

Les changements apportés au régime d'écoulement par la construction du déversoir peuvent faire naître des dépôts immédiatement en aval du dispositif de mesurage, ce qui, à la longue, pourrait faire suffisamment monter le niveau de l'eau pour noyer le déversoir. Par conséquent, il faut supprimer toute accumulation de matériaux en aval du dispositif de mesurage.

Un limnimètre doit être placé en aval pour vérifier les conditions d'écoulement dénoyé.

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 qui est 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 à flotteur lorsqu'il faut un enregistrement continu, et 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. D'autres méthodes de mesurage de la hauteur de lame (par exemple tube à bulle) peuvent être utilisées, à condition qu'il soit possible d'obtenir une précision suffisante.

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. Cela s'imposera, par exemple, si le tracé de l'enregistreur ne peut pas être lu à ± 6 mm.

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 s'y décante.

7.3 Repérage du zéro

Il faut prévoir, pour vérifier la position du zéro du dispositif de mesurage de la hauteur de lame, un index ayant ses pointes placées exactement au niveau du seuil du déversoir et fixé de manière permanente soit dans le chenal d'approche, soit dans le puits de mesurage ou du flotteur, s'il y en a un.

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 DÉVERSOIRS À PROFIL TRIANGULAIRE

8.1 Spécifications relatives au déversoir normalisé

8.1.1 Description

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. Le seuil peut être fait de blocs de béton précontraint soigneusement alignés et joints ou avoir une arête en métal non corrosif rapportée en variante d'une construction complète *in situ*.

8.1.2 Dimensions

Les dimensions du réservoir et de ses butées doivent être conformes aux exigences de 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 une station 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 trois ou quatre fois la hauteur de lame maximale ($3 \text{ à } 4 h_{max}$), en amont de la face amont du déversoir.

8.3 Condition pour un écoulement dénoyé

L'écoulement est dénoyé lorsqu'il est indépendant des variations du niveau aval. Quelles que soient les conditions de débit, la hauteur totale à l'aval ne doit pas être supérieure à 75 % de la hauteur totale amont, H , au-dessus du seuil pour que l'écoulement ne soit pas affecté pour plus de 1 % dans des conditions d'écoulement fluvial à l'aval.

9 FORMULE DE DÉBIT

9.1 Formule

La formule du débit est donnée ci-après :

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

où

Q est le débit du déversoir;

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 $\left(\frac{H}{A}\right)^{3/2}$;

H est la hauteur totale;

b est la largeur du déversoir;

g est l'accélération due à la pesanteur;

h est la hauteur de lame mesurée.

9.2 Coefficients

9.2.1 Le coefficient C_v est donné par la figure 2. Dans cette figure, A représente la surface de la section mouillée en amont du déversoir.

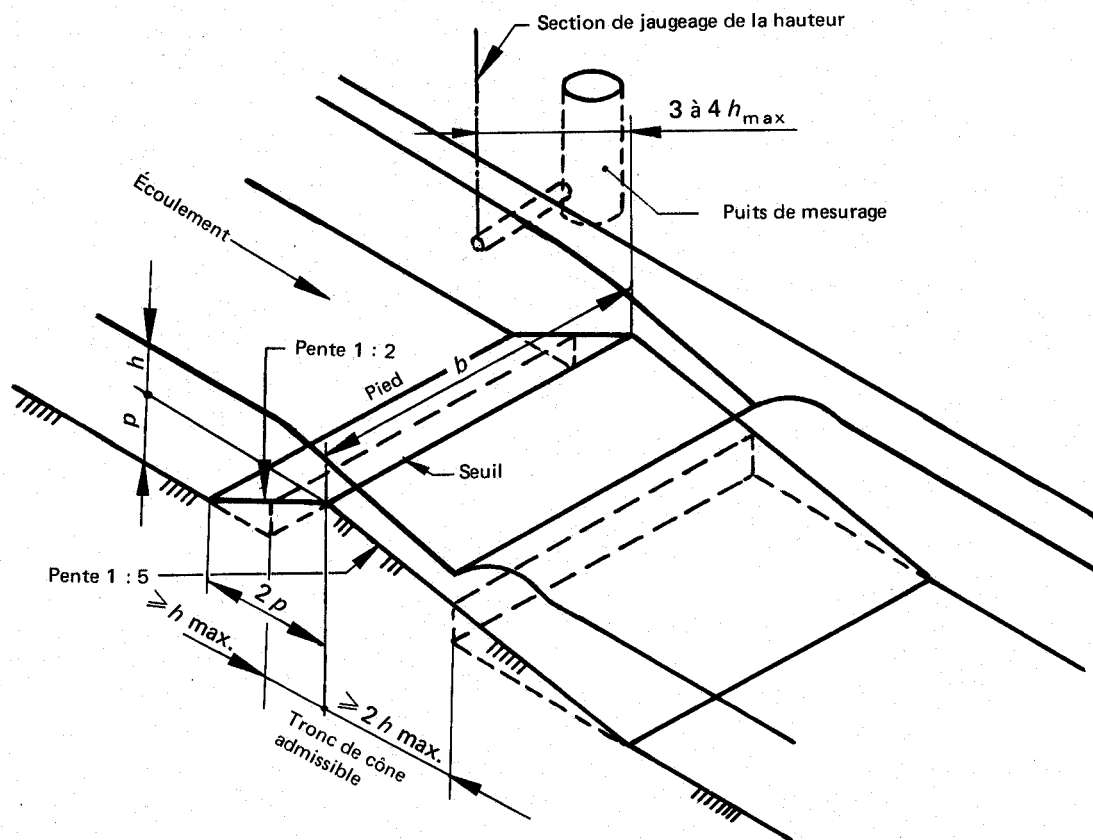


FIGURE 1 — Seuil à profil triangulaire
Déversoir

9.2.2 Pour une eau à température ordinaire, C_D est indépendant de h , sauf à des hauteurs très faibles où les propriétés du fluide influent sur le coefficient. Pour $h \geq 0,15$ m, C_D est constant et égal à 1,150. Pour $h < 0,15$ m, C_D est donné par l'équation suivante :

$$C_D = 1,150 \left(1 - \frac{0,0003}{h} \right)^{3/2}$$

où h est en mètres.

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;

$h/p \leq 3,0$;

$b/h \geq 2,0$.

9.4 Erreur limite du mesurage

L'erreur limite globale des mesurages de débit, effectués avec des déversoirs, dépend de l'erreur limite des mesurages de la hauteur de lame, des dimensions du déversoir et des coefficients qui s'appliquent au déversoir utilisé.

En construisant et en installant le déversoir à profil triangulaire avec le plus grand soin, on peut déduire l'erreur limite sur le coefficient combiné $C_D C_V$ de l'équation :

$$X_C = \pm (10 C_V - 9) \%$$

La méthode, selon laquelle l'erreur limite sur le coefficient peut se combiner à d'autres sources d'erreurs, se trouve expliquée dans le chapitre 10.

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.

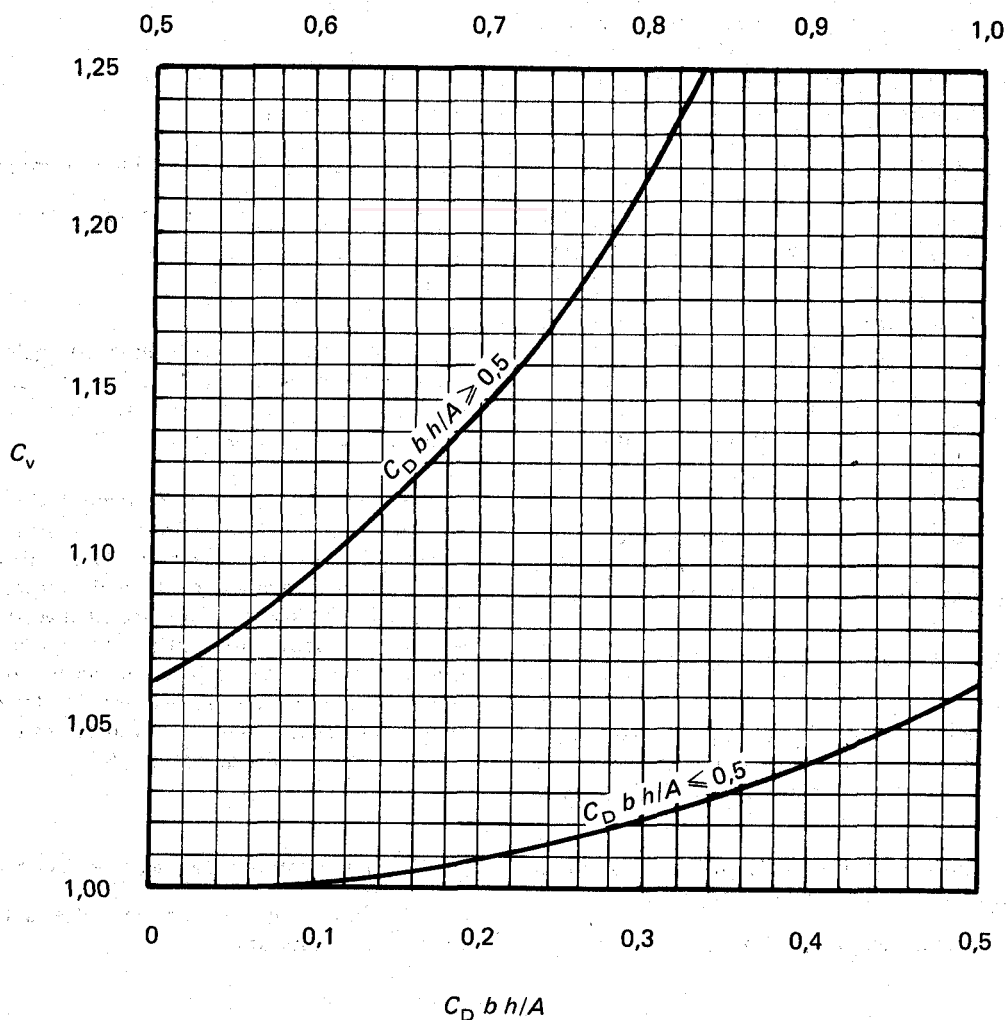


FIGURE 2 — Coefficient de vitesse d'approche, C_V

10 ERREURS LIMITES DE MESURAGE DE DÉBIT

10.1 Généralités

10.1.1 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.

10.1.2 L'erreur peut être définie comme étant la différence entre le débit réel et celui calculé à partir de la formule pour un déversoir construit et installé conformément à la présente Norme internationale.

Le terme « erreur limite » sera employé pour désigner l'écart par rapport à la valeur réelle du débit, à l'intérieur duquel la mesure doit se trouver environ dix-neuf fois sur vingt (probabilité de 95 %).

L'erreur limite devrait être calculée selon la méthode spécifiée dans le présent chapitre et être désignée par ce nom chaque fois qu'une mesure est prétendue être obtenue conformément à la présente Norme internationale.

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 :

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

où

$\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2}$ 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 en général sa variation est suffisamment faible pour être négligée dans la mesure du débit.

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

- 1) le coefficient de débit, C_D , et le coefficient de vitesse d'approche, C_V . Les estimations numériques des erreurs limites sur le coefficient combiné $C_D C_V$ sont données en 9.4;
- 2) le mesurage des dimensions du dispositif de mesurage, par exemple la largeur du déversoir, b ;
- 3) le mesurage de la hauteur de lame, h .

10.2.3 Les erreurs limites pour b et h doivent être évaluées par l'utilisateur. L'erreur limite sur la mesure des dimensions dépendra de la précision avec laquelle on peut mesurer le dispositif une fois construit; en pratique, cette erreur peut s'avérer négligeable devant les 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 accidentelles 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 mesures 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 de n mesures.

L'écart-type de la moyenne est donc donné par :

$$S_{\bar{y}} = \frac{S_y}{\sqrt{n}}$$

et l'erreur limite de la moyenne est égale à deux fois $S_{\bar{y}}$ (pour une probabilité de 95 %)¹⁾. Cela constitue la part des erreurs accidentelles dans l'erreur limite totale pour toute série de mesurages expérimentaux.

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 de la crête, 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 limites sur les valeurs des coefficients

10.4.1 Toutes les erreurs de cette catégorie sont des erreurs systématiques.

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.

10.4.2 Les valeurs des coefficients C_D et C_V indiquées dans la présente Norme internationale sont basées sur les résultats d'expériences, qui, on peut le supposer, ont été faites soigneusement, avec un nombre suffisant de lectures pour obtenir une moyenne de grande fidélité. Cependant, lorsque les mesurages sont faits sur d'autres installations semblables, il peut survenir des écarts systématiques entre les coefficients de débit, 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.

10.4.3 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 diverses indications obtenues à partir des formules de calcul données. Les valeurs suggérées pour les erreurs 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 mesures faites par l'utilisateur présentent des erreurs accidentelles et systématiques.

10.5.2 Puisque ni les méthodes de mesurage, ni la manière de les effectuer ne sont précisées, il est impossible de donner 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 individuelles, c'est-à-dire : l'erreur de repérage du zéro, la sensibilité du dispositif de mesurage, le jeu dans le mécanisme de mesurage, l'erreur limite accidentelle résiduelle sur la valeur moyenne, etc. L'erreur limite sur la mesure de la hauteur de lame est égale à la racine carrée de la somme des carrés des erreurs limites individuelles.

10.6 Combinaison des erreurs limites pour donner l'erreur limite totale sur le débit

10.6.1 L'erreur limite totale est la résultante de plusieurs erreurs limites, qui peuvent elles-mêmes être des erreurs limites composées (voir 10.5.3).

Lorsque les erreurs limites partielles, dont la combinaison donne l'erreur limite totale, sont indépendantes les unes des autres, faibles et nombreuses, et qu'elles suivent une loi de Gauss, il y a une probabilité de 95 % que l'erreur réelle soit plus petite que l'erreur limite totale.

10.6.2 L'erreur systématique sur le débit doit être calculée à partir de la formule :

$$X = \pm \sqrt{X_C^2 + X_b^2 + 1,5^2 X_h^2}$$

où

X_C est l'erreur limite, en pourcentage, sur $C_D C_V$;

X_b est l'erreur limite, en pourcentage, sur b ;

X_h est l'erreur limite, en pourcentage, sur h .

Dans ce qui précède, $X_b = \pm 100 \times \frac{\epsilon_b}{b}$

et

$$X_h = \frac{\pm 100 (\epsilon_h^2 + \epsilon_h'^2 + \dots + 4 S_F^2)^{1/2}}{h}$$

où

ϵ_b est l'erreur limite sur la mesure de la largeur;

$\epsilon_h, \epsilon_h', \dots$ etc., sont les erreurs limites sur les mesures de la hauteur de lame (voir 10.5.3);

$2S_F$ est l'erreur limite de la valeur moyenne des lectures de la mesure de la hauteur de lame (voir 10.3.2, y compris la note de bas de page).

10.6.3 Il faut reconnaître que l'erreur limite X ne saurait avoir une seule et unique valeur pour un dispositif donné, mais varie selon le débit. Il peut alors être nécessaire de tenir compte de l'erreur limite pour plusieurs débits couvrant la gamme de mesures demandées.

10.6.4 Exemple

Ce qui suit est un exemple de l'application de la formule à une détermination unique du débit avec un déversoir à profil triangulaire ayant une hauteur de seuil au-dessus du lit du chenal d'approche, p , de 1 m et fonctionnant à une hauteur de lame de 0,67 m avec une largeur de seuil du déversoir, b , et une largeur du chenal d'approche, B , de 10 m.

L'erreur limite sur le coefficient combiné $C_D C_V$ est donnée en 9.4 :

$$X_C = \pm (10 C_V - 9) \%$$

$$\frac{C_D b h}{A} = 1,15 \times 10 \times \frac{0,67}{10 (0,67 + 1)} = 0,461$$

En reportant cette valeur sur la figure 2, on obtient $C_V = 1,051$.

D'où $X_C = \pm 1,51 \%$.

Un dispositif numérique de mesure de la hauteur est utilisé. Il est censé fonctionner à intervalles de 1 mm, mais avec une précision réelle de ± 3 mm, le réglage du zéro ayant une précision de ± 5 mm.

Donc :

$$X_h = \pm 100 \times \frac{(0,003^2 + 0,005^2)^{1/2}}{0,67}$$
$$= \pm 0,87 \%$$

Si la largeur totale du seuil, b , est mesurée à 0,01 m près, sur une largeur totale de 10 m,

$$X_b = \pm 100 \times \frac{0,01}{10} = \pm 0,10 \%$$

Donc :

$$X = \pm (1,51^2 + 0,10^2 + 1,5^2 \times 0,87^2)^{1/2}$$
$$= \pm 2,0 \%$$