
Norme internationale



4371

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 — Méthode d'évaluation du débit par détermination de la profondeur en bout des chenaux non rectangulaires à déversement dénoyé (méthode approximative)

Measurement of liquid flow in open channels by weirs and flumes — End depth method for estimation of flow in non-rectangular channels with a free overfall (approximate method)

Première édition — 1984-12-15

[ISO 4371:1984](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/55261dd4-f6f5-4950-bcb6-8e2e51b32eae/iso-4371-1984>

CDU 532.532

Réf. n° : ISO 4371-1984 (F)

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

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 4371 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*

[ISO 4371:1984](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/55261dd4-f6f5-4950-bcb6-8e2e51b32eae/iso-4371-1984)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/55261dd4-f6f5-4950-bcb6-8e2e51b32eae/iso-4371-1984>

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs — Méthode d'évaluation du débit par détermination de la profondeur en bout des chenaux non rectangulaires à déversement dénoyé (méthode approximative)

0 Introduction

Dans de nombreuses constructions hydrauliques il se produit un déversement dénoyé lorsque le fond du chenal horizontal (ou en légère pente) s'interrompt brusquement. Un tel déversement constitue une section de contrôle et offre un moyen approximatif d'évaluation du débit. L'écoulement au bord est curviligne et, par conséquent, la profondeur à la chute n'est pas égale à la profondeur critique calculée d'après le principe fondé sur l'hypothèse d'un écoulement parallèle. Cependant le rapport entre la profondeur en bout et la profondeur critique (comme dans le cas de l'hypothèse d'un écoulement parallèle) a une valeur presque constante. Il est donc possible d'évaluer le débit à partir de la profondeur mesurée à la chute.

1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie une méthode d'évaluation du débit d'eau propre s'écoulant en régime fluvial dans les chenaux découverts lisses, rectilignes et sensiblement horizontaux, offrant une chute verticale à déversement libre. De légères pentes positives ne dépassant pas 1 pour 2 000 sont tolérées. La présente Norme internationale s'applique aux canaux ayant des sections des types suivants, pour lesquels la lame déversante est libre:

- a) trapézoïdale;
- b) triangulaire;
- c) parabolique;
- d) circulaire.

Le débit peut donc être estimé à l'aide de la profondeur mesurée en bout.

2 Références

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

ISO 1438/1, *Mesure de débit de l'eau dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux venturi — Partie 1: Déversoirs en mince paroi.*

ISO 3846, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs — Déversoirs à largeur de crête finie et à déversement dénoyé (déversoirs rectangulaire à seuil épais).*

ISO 3847, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs — Méthode d'évaluation du débit par détermination de la profondeur en bout des chenaux rectangulaires à déversement dénoyé.*

3 Définitions

Dans le cadre de la présente Norme internationale, outre les définitions données dans l'ISO 772, la définition suivante est applicable:

lame déversante non confinée: Jet formé par un écoulement lorsque les parois de la structure s'arrêtent au niveau du seuil (ou arête) et permettent ainsi l'élargissement latéral de la lame; ce jet est suffisamment ventilé pour qu'il règne sous la lame une pression égale à la pression atmosphérique.

4 Unités de mesure

Les unités de mesure utilisées dans la présente Norme internationale sont les unités SI.

5 Choix de l'emplacement

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 pour effectuer un mesurage selon la méthode de la profondeur en bout.

On doit faire particulièrement attention aux conditions suivantes dans le choix de l'emplacement et dans la réalisation des conditions d'écoulement nécessaires:

- a) il doit exister en amont de la chute une longueur suffisante de chenal ($20 h_e$ au moins, où h_e est la profondeur en bout correspondant au débit maximal prévu), à section droite régulière;

b) la répartition des vitesses observées par examen ou par mesurage, doit être normale;

c) le fond du chenal doit être horizontal. De légères pentes positives ne dépassant pas 1 pour 2 000 peuvent être tolérées;

d) les parois latérales et le fond doivent être lisses dans toute la mesure du possible (aux termes de la présente spécification, une surface lisse correspondra à un revêtement en ciment lissé);

NOTE — L'état de surface du dispositif doit être bien entretenu; des modifications dans la rugosité des parois dues à l'érosion et à diverses formes de dépôts entraîneront une modification de la formule du débit.

e) l'extrémité du chenal doit être découpée perpendiculairement à son axe et on doit laisser l'eau se déverser librement au-delà de ce point;

f) l'écoulement doit être de type fluvial et normal en amont de la chute;

g) la lame déversante doit être complètement aérée et libre latéralement de façon à pouvoir s'étaler sans aucune restriction.

6 Mesurage de la profondeur

La profondeur doit être mesurée au centre du courant, exactement au bout du chenal (au droit de la chute), au moyen d'une pointe limnimétrique ou de tout autre dispositif de mesurage.

NOTE — À la chute, l'écoulement est entièrement curviligne et une faible erreur dans l'emplacement du limnimètre peut entraîner une erreur importante dans le mesurage du débit.

7 Calcul du débit

7.1 Profondeur critique, h_c

À partir de la valeur mesurée de la profondeur en bout h_e on calcule la profondeur critique h_c en utilisant la relation applicable à la forme de la section transversale du chenal; le débit en fonction de la profondeur critique est donné par l'équation suivante (pour une section transversale du chenal):

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{B_c} = \frac{f_1(h_c)}{f_2(h_c)} \quad \dots (1)$$

où

Q est le débit;

g est l'accélération due à la pesanteur;

A_c est l'aire de la section à la section critique;

B_c est la largeur à la surface de l'écoulement à la section critique.

Si l'on connaît la profondeur critique h_c et la géométrie du chenal, A_c et B_c peuvent être obtenus et on peut calculer le débit à l'aide de l'équation (1).

7.2 Chenaux trapézoïdaux

7.2.1 La géométrie de la section transversale du chenal est indiquée sur la figure 1.

7.2.2 Le rapport de h_e/h_c (c'est-à-dire profondeur en bout sur profondeur critique) est une fonction du paramètre

$$\frac{m h_e}{B_o}$$

où

m est la pente des parois;

B_o est la largeur du fond;

h_e est la profondeur d'écoulement en bout;

et la valeur de h_e/h_c peut être obtenue à partir de la figure 2. Si l'on connaît la valeur de h_e , la valeur de h_c peut être calculée et utilisée pour calculer le débit à partir de l'équation (1).

7.2.3 En variante de l'équation (1), le débit en fonction de h_c peut être donné par l'équation suivante:

$$Q = \frac{\sqrt{g/2} \left(\frac{B_o}{2m} \right)^{5/2}}{m^{3/2} \left[\left\{ \frac{h_c^2}{\left(\frac{B_o}{2m} \right)^2} + \frac{2h_c}{\left(\frac{B_o}{2m} \right)} \right\}^{3/2} + \left\{ 1 + \frac{h_c}{\left(\frac{B_o}{2m} \right)} \right\}^{1/2} \right]} \quad \dots (2)$$

Afin de simplifier les calculs, on peut utiliser directement la figure 3 pour calculer le débit sur la base de l'équation (2).

7.3 Chenaux triangulaires

7.3.1 La géométrie de la section transversale du chenal est indiquée sur la figure 4.

7.3.2 Le rapport h_e/h_c (c'est-à-dire profondeur en bout sur profondeur critique) est 0,795.

7.3.3 Pour un chenal triangulaire ayant un demi-angle au sommet θ , le débit en fonction de h_c est donné en variante avec l'équation (1) par:

$$Q = \sqrt{g/2} \times h_c^{5/2} \times \tan \theta \quad \dots (3)$$

7.4 Chenaux paraboliques

7.4.1 La géométrie de la section transversale est indiquée sur la figure 5.

7.4.2 Le rapport h_e/h_c (c'est-à-dire profondeur en bout sur profondeur critique) est 0,772.

7.4.3 Avec un chenal parabolique de forme

$$x^2 = 4ay \quad \dots (4)$$

en variante de l'équation (1), le débit en fonction de h_c est donné par:

$$Q = 2,175 \sqrt{g} \times h_c^2 \times \sqrt{a} \quad \dots (5)$$

7.5 Chenaux circulaires

7.5.1 La géométrie de la section transversale du chenal est indiquée sur la figure 6.

7.5.2 Le rapport h_e/h_c (c'est-à-dire profondeur en bout sur profondeur critique) est 0,756.

7.5.3 Pour le chenal circulaire dont la forme est donnée sur la figure 6, le débit en fonction de h_c est donné en variante avec l'équation (1) par:

$$Q = 1/4 \sqrt{g} r^{5/2} \frac{\{2 \cos^{-1}(1-\alpha) - 2(2\alpha - \alpha^2)^{1/2} (1-\alpha)\}^{3/2}}{(2\alpha - \alpha^2)^{1/4}} \quad \dots (6)$$

où r est le rayon du chenal et $\alpha = h_c/r$.

Afin de simplifier les calculs, on peut utiliser la figure 7, qui représente l'équation (6) sous forme d'un graphique adimensionnel, pour calculer le débit.

8 Limites

Pour l'application de ces méthodes, on doit observer les limites générales suivantes:

- la chute au niveau d'eau aval, d , doit être égale ou supérieure à h_e ;
- les limites suivantes fondées sur des expériences doivent être respectées:
 - dans le cas des chenaux trapézoïdaux, le rapport $\frac{m h_e}{B_0}$ doit se situer entre 0,5 et 7,0;
 - dans le cas des chenaux triangulaires, le demi-angle au sommet θ doit se situer entre 25° et 45° ;
 - dans le cas des chenaux paraboliques, la longueur de la demi-corde " $2a$ " doit se situer entre 0,019 et 0,033 m;
 - dans le cas des chenaux circulaires, le rapport h_e/r (c'est-à-dire la profondeur en bout sur le rayon du chenal) doit se situer entre 0,19 et 1,0;
- la méthode est recommandée lorsque h_e est supérieur à 0,05 m;
- la largeur d'écoulement au sommet doit être supérieure à 0,3 m.

9 Erreurs limites sur le mesurage de débit

9.1 Généralités

9.1.1 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 le mesurage de débit.

9.1.2 L'erreur peut être définie comme étant la différence entre le débit réel et celui calculé à partir de la formule applicable au type de chenal employé à un emplacement choisi 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 (niveau de confiance de 95 %).

9.2 Sources d'erreur

9.2.1 On peut identifier les sources d'erreur sur le mesurage de débit en considérant la formule du débit appropriée.

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

- le rapport h_e/h_c ;
- le mesurage des dimensions du chenal (par exemple « B_0 » dans le cas des chenaux trapézoïdaux, « θ » dans le cas des chenaux triangulaires, « a » dans le cas des chenaux paraboliques et « r » dans le cas des chenaux circulaires);
- le mesurage de la profondeur en bout, h_e .

9.2.3 Les erreurs limites sur les mesurages des dimensions et sur h_e doivent être évaluées par l'utilisateur. L'erreur limite sur le mesurage des dimensions dépendra de la précision avec laquelle on peut mesurer le chenal une fois construit; en pratique, cette erreur peut s'avérer négligeable devant les autres erreurs. L'erreur limite sur le mesurage de la profondeur en bout dépendra de la précision de l'appareil de mesurage de cette profondeur, de la détermination du zéro du dispositif de mesurage et de la méthode employée, ainsi que de la précision avec laquelle est positionné le dispositif.

9.3 Type d'erreur

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

9.3.2 L'écart-type d'un ensemble de n mesures d'une grandeur Y obtenues dans des conditions stables peut être évalué à partir de la formule:

$$s_Y = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad \dots (7)$$

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

$$s_{\bar{Y}} = \frac{s_Y}{\sqrt{n}} \quad \dots (8)$$

et l'erreur limite de la moyenne est égale à $t s_{\bar{Y}}$ (pour un niveau de confiance de 95 %) ¹⁾. Cela constitue la part des observations de Y dans l'erreur limite totale.

9.3.3 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 fond 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.

9.4 Erreurs limites sur le rapport h_e/h_c

9.4.1 Les valeurs du rapport h_e/h_c 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. Cependant, lorsque les mesurages sont faits sur d'autres installations, 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.

9.4.2 Les erreurs limites sur les rapports indiqués dans les paragraphes précédents de la présente Norme internationale, sont fondées sur l'examen de l'écart entre les données expérimentales et les formules de calcul données. Les valeurs suggérées pour les erreurs représentent donc la compilation des constatations et des expériences disponibles.

9.4.3 L'erreur limite systématique maximale sur le rapport h_e/h_c peut être de $\pm 5\%$ des valeurs spécifiées, au niveau de confiance de 95 %.

9.5 Erreurs limites sur les grandeurs mesurées par l'utilisateur

9.5.1 Les mesures faites par l'utilisateur présentent des erreurs aléatoires et systématiques.

9.5.2 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 prise en considération de la méthode de mesurage de la largeur du chenal permet à l'utilisateur de déterminer l'erreur limite sur cette grandeur.

9.5.3 L'erreur limite sur la profondeur 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 aléatoire résiduelle sur la moyenne d'une série de mesures, etc. L'erreur limite sur la mesure de la profondeur est égale à la racine carrée de la somme des carrés des erreurs limites individuelles.

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

9.6.1 L'erreur limite totale est la résultante de plusieurs erreurs limites, qui peuvent elles-mêmes être des erreurs limites composées.

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.

ISO 4371:1984

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/51a114-85/iso-4371-1984>

9.6.2 Il ne faut pas oublier que l'erreur limite sur le débit X_Q n'a pas une valeur unique pour un dispositif donné, mais qu'elle varie avec le débit. Il peut alors être nécessaire de tenir compte de l'erreur limite pour plusieurs débits couvrant la gamme de mesures demandées.

9.7 Exemple

Ce qui suit est un exemple de la détermination de l'erreur limite d'une détermination unique du débit selon la méthode de la profondeur en bout dans un chenal trapézoïdal, en régime fluvial dans le chenal. La largeur du fond B_o est égale à 1 m avec une erreur limite aléatoire de $\Delta' B_o = \pm 1$ mm; la pente des parois m est égale à 1 sans erreur limite et la profondeur en bout h_e est égale à 0,3 m, mesurée avec une erreur limite aléatoire de $\Delta' h_e = \pm 12$ mm. Donc, le pourcentage d'erreurs limites aléatoires est de:

$$X_{B_o} = \pm 0,1 \%$$

$$X'_m = 0 \%$$

$$X'_{h_e} = \pm 4 \%$$

La profondeur critique h_c découle de la figure 2; $m h_e / B_o = 0,3$ donne $h_e / h_c = 0,717$ et donc $h_c = 0,418$ m avec une erreur

$$\text{limite aléatoire } \Delta' h_c = \frac{0,418}{0,3} \times 12 = 16,74 \text{ mm.}$$

1) Lorsque n a une valeur élevée, $t = 2$. Pour $n = 6$, le facteur devrait être 2,6; $n = 8$ exige 2,4; $n = 10$ exige 2,3; $n = 15$ exige 2,1.

L'équation utilisée est

$$Q = \sqrt{g} \frac{A_c^{3/2}}{B_c^{1/2}}$$

Dans ce cas les valeurs numériques de A_c et de B_c sont

$$A_c = h_c B_o + m h_c^2 = 0,593 \text{ m}^2$$

$$B_c = B_o + 2 m h_c = 1,836 \text{ m}$$

Leur pourcentage d'erreurs limites aléatoires est:

$$\begin{aligned} X'_{A_c} &= \frac{1}{A_c} [(B_o \Delta' h_c)^2 + (h_c \Delta' B_o)^2 + (2 m h_c \Delta' h_c)^2]^{1/2} \times 100 \\ &= \frac{1}{0,593 \text{ m}^2} [(1 \times 0,016 \text{ m})^2 + (0,418 \times 0,001 \text{ m})^2 + (2 \times 0,418 \times 0,016 \text{ m})^2]^{1/2} \times 100 \\ &= \pm 3,68 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X'_{B_c} &= \frac{1}{B_c} [(\Delta' B_o)^2 + (2 m \Delta' h_c)^2]^{1/2} \times 100 \\ &= \frac{1}{1,836 \text{ m}} [0,001^2 + (2 \times 0,016 \text{ m})^2]^{1/2} \times 100 \\ &= \pm 1,82 \% \end{aligned}$$

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

L'erreur limite aléatoire sur Q peut être calculée comme suit:

$$\begin{aligned} X'_Q &= \left[\left(\frac{3}{2} X'_{A_c} \right)^2 + \left(\frac{1}{2} X'_{B_c} \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= \left[\left(\frac{3}{2} \times 3,68 \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \times 1,82 \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= \pm 5,6 \% \end{aligned}$$

ISO 4371:1984

https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/55261dd4-f6f5-4950-bcb6-8e2e51b32eae/iso-4371-1984

L'erreur limite systématique sur Q est calculée d'une manière similaire. On suppose que la seule source d'erreur limite systématique est dans le rapport de h_e/h_c . Selon 9.4.3 $X''_{h_c} = \pm 5 \%$, donc $\Delta'' h_c = 20,92 \text{ mm}$.

Le pourcentage d'erreurs limites systématiques de A_c et B_c est

$$\begin{aligned} X''_{A_c} &= \frac{1}{0,593 \text{ m}^2} [(1 \times 0,020 \text{ m})^2 + (2 \times 0,418 \times 0,020 \text{ m})^2]^{1/2} \times 100 \\ &= \pm 4,59 \% \\ X''_{B_c} &= \frac{1}{1,836 \text{ m}} [(2 \times 0,020 \text{ m})^2]^{1/2} \times 100 \\ &= \pm 2,28 \% \end{aligned}$$

Le pourcentage d'erreur limite systématique sur Q est

$$\begin{aligned} X''_Q &= \left[\left(\frac{3}{2} \times 4,59 \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \times 2,28 \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= \pm 7,0 \% \end{aligned}$$

En vue d'obtenir une valeur globale pour l'erreur limite sur Q , l'erreur limite aléatoire et l'erreur limite systématique peuvent être combinées pour donner

$$\begin{aligned} X_Q &= [X_Q'^2 + X_Q''^2]^{1/2} \\ &= [5,6^2 + 7,0^2]^{1/2} \\ &= \pm 9,0 \% \end{aligned}$$

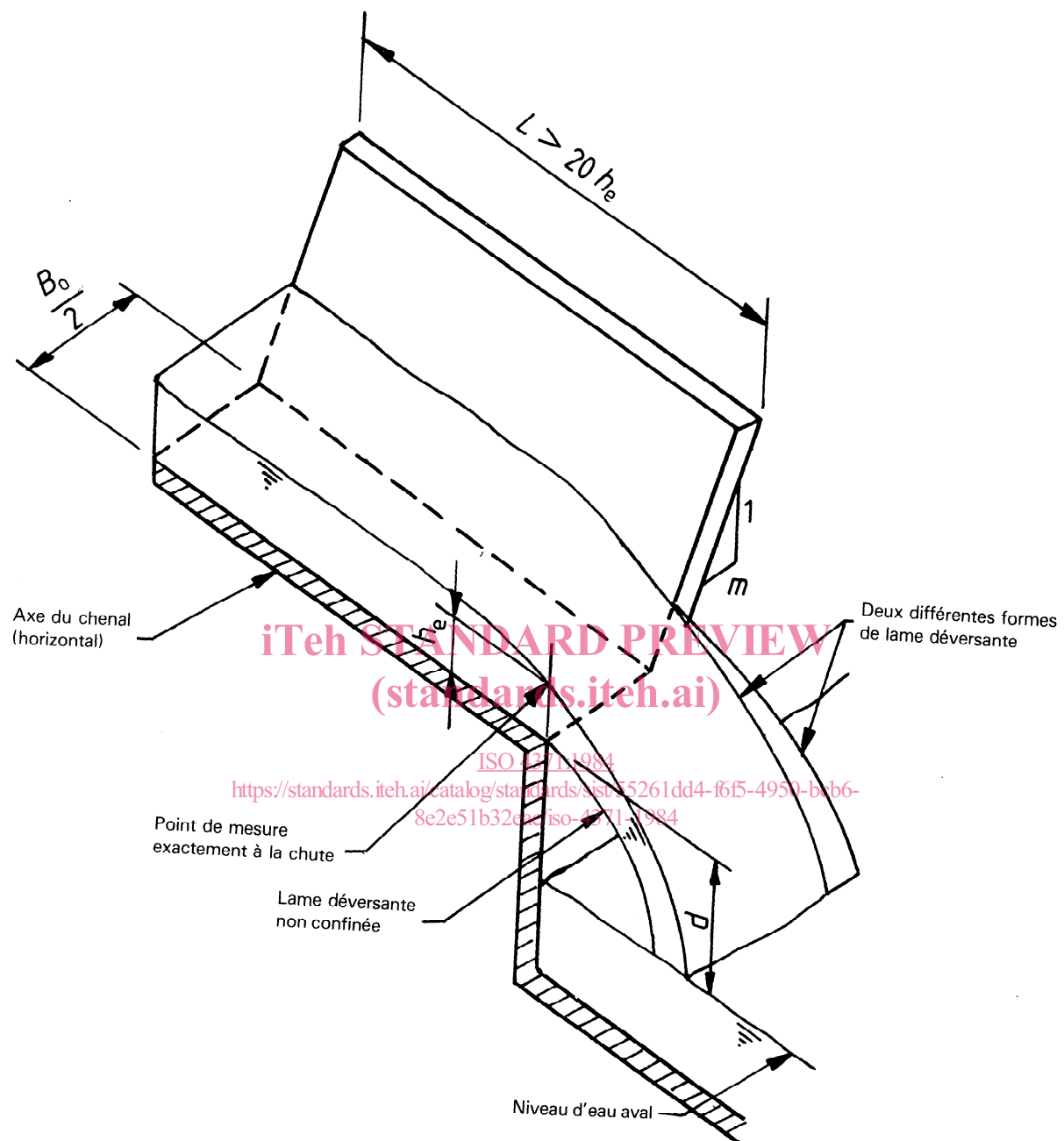


Figure 1 — Schéma de définition du chenal trapézoïdal

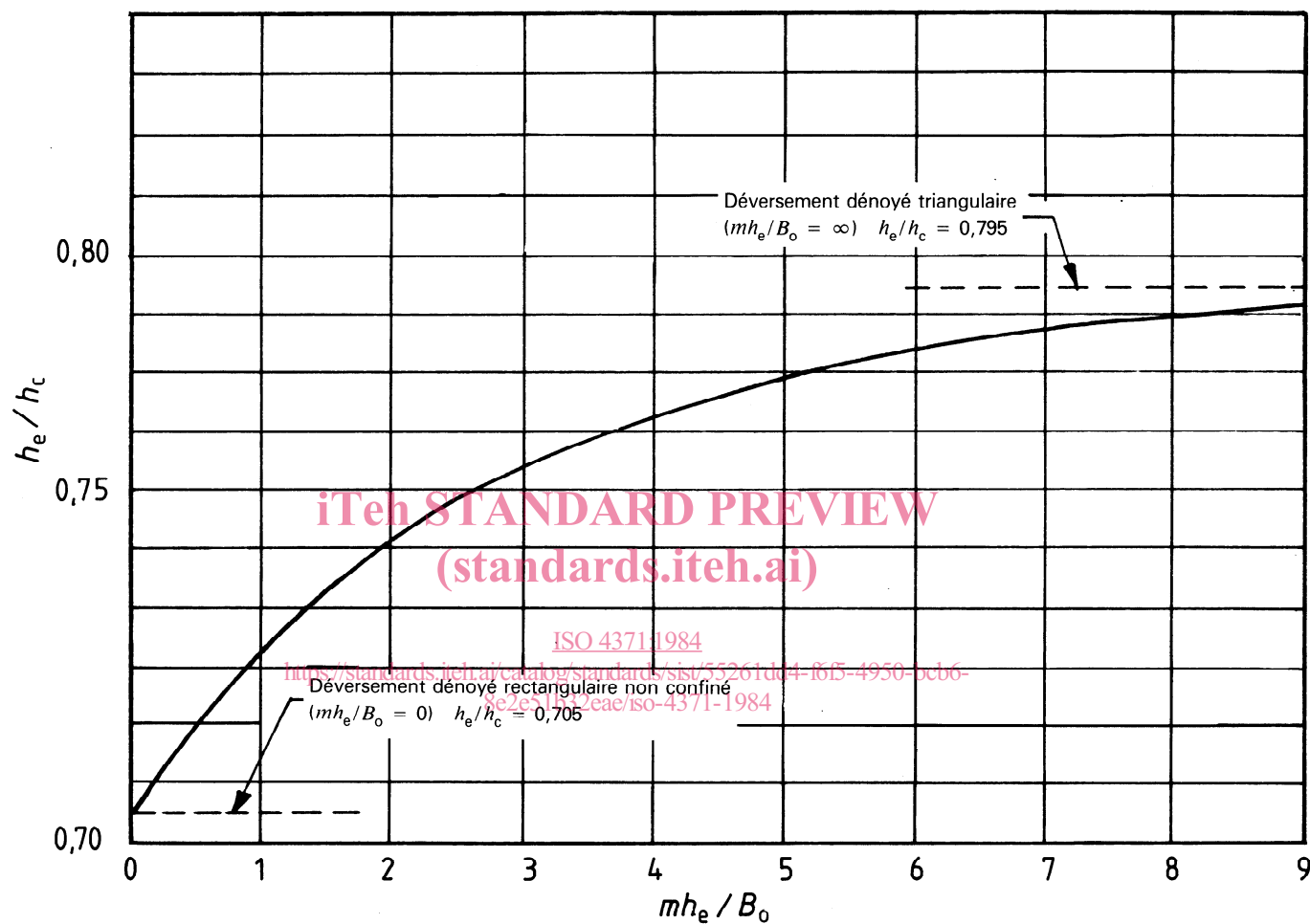


Figure 2 — Valeurs du rapport de la profondeur en bout à la profondeur critique pour les chenaux trapézoïdaux