

---

---

## Hydrométrie — Mesurage du débit des cours d'eau — Détermination de la relation hauteur-débit

*Hydrometry — Measurement of liquid flow in open channels —  
Determination of the stage-discharge relationship*

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

[ISO 18320:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/681cb2c1-69dc-4a4c-81d8-880dd563b08f/iso-18320-2020)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/681cb2c1-69dc-4a4c-81d8-880dd563b08f/iso-18320-2020>



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

ISO 18320:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/681cb2c1-69dc-4a4c-81d8-880dd563b08f/iso-18320-2020>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2020

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office

Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8

CH-1214 Vernier, Genève

Tél.: +41 22 749 01 11

E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)

Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes, définitions et symboles</b> .....	<b>1</b>
3.1 Termes et définitions.....	1
3.2 Symboles.....	2
<b>4 Principe de la relation hauteur-débit</b> .....	<b>3</b>
4.1 Généralités.....	3
4.2 Contrôles hydrauliques.....	3
4.3 Principales formules hydrauliques.....	4
<b>5 Calage hauteur-débit d'une station hydrométrique</b> .....	<b>5</b>
5.1 Généralités.....	5
5.2 Préparation d'une relation hauteur-débit.....	6
5.2.1 Généralités.....	6
5.2.2 Liste des jaugeages.....	6
5.2.3 Échelles arithmétiques.....	7
5.2.4 Échelles logarithmiques.....	9
5.2.5 Logiciels disponibles à la vente.....	11
5.2.6 Forme de la courbe de tarage.....	11
5.3 Calage de la courbe.....	12
5.3.1 Généralités.....	12
5.3.2 Courbes relatives aux formules hydrauliques.....	12
5.3.3 Courbes de tarage mathématiques.....	13
5.3.4 Progiciels d'aide à la détermination de la courbe de tarage.....	13
5.4 Relations hauteur-débit pour contrôle composé.....	13
5.5 Relations hauteur-débit stables.....	14
5.6 Relations hauteur-débit instables.....	14
5.7 Détarages.....	15
5.8 Effets liés à un remous variable.....	16
5.8.1 Généralités.....	16
5.8.2 Influences liées aux remous en aval.....	16
5.8.3 Effets de l'hystérésis ou courbes de tarage en boucle.....	16
5.9 Extrapolation de la relation hauteur-débit.....	19
<b>6 Méthodes de vérification des relations hauteur-débit</b> .....	<b>19</b>
<b>7 Incertitude de la relation hauteur-débit</b> .....	<b>20</b>
7.1 Généralités.....	20
7.2 Définition de l'incertitude.....	21
7.3 Analyse statistique de la relation hauteur-débit.....	21
7.3.1 Généralités.....	21
7.3.2 Erreur-type d'estimation.....	21
7.3.3 Incertitude-type.....	22
7.4 Incertitude d'une prévision de débit.....	23
<b>Annexe A (informative) Types de contrôles</b> .....	<b>25</b>
<b>Annexe B (informative) Difficultés liées aux relations hauteur-débit</b> .....	<b>26</b>
<b>Annexe C (informative) Progiciels disponibles pour l'évaluation de la relation hauteur-débit</b> .....	<b>27</b>
<b>Annexe D (informative) Exemples de courbes de tarage hypothétiques</b> .....	<b>31</b>
<b>Annexe E (informative) Exemple de variation des propriétés hydrauliques d'un chenal de rivière en fonction de la hauteur</b> .....	<b>33</b>
<b>Annexe F (informative) Utilisation des décalages de contrôles</b> .....	<b>39</b>

<b>Annexe G</b> (informative) <b>Extrapolation d'une relation hauteur-débit</b> .....	<b>41</b>
<b>Annexe H</b> (informative) <b>Incertitude dans la relation hauteur-débit et dans un mesurage continu du débit</b> .....	<b>43</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>46</b>

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

[ISO 18320:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/681cb2c1-69dc-4a4c-81d8-880dd563b08f/iso-18320-2020)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/681cb2c1-69dc-4a4c-81d8-880dd563b08f/iso-18320-2020>

## 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 en général 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. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir [www.iso.org/avant-propos](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 113, *Hydrométrie*, sous-comité SC 1, *Méthodes d'exploration du champ des vitesses*.

Cette première édition de l'ISO 18320 annule et remplace l'ISO 1100-2:2010, dont elle constitue une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- l'[Article 5](#) a fait l'objet d'une révision importante, avec l'inclusion d'un nouveau chiffre pour la relation hauteur-débit et les courbes filles;
- l'[Article 7](#) a été révisé pour s'aligner sur les nouvelles normes relatives à l'incertitude.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/fr/members.html](http://www.iso.org/fr/members.html).

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

ISO 18320:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/681cb2c1-69dc-4a4c-81d8-880dd563b08f/iso-18320-2020>

# Hydrométrie — Mesurage du débit des cours d'eau — Détermination de la relation hauteur-débit

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie des méthodes permettant de déterminer la relation hauteur-débit pour des stations hydrométriques. Un nombre suffisant de jaugeages, complétés par des mesurages de hauteur correspondants, est nécessaire afin de définir une relation hauteur-débit selon l'exactitude requise par le présent document.

Le présent document étudie les chenaux, qu'ils soient stables ou instables, et comporte une brève description des effets hydrauliques sur la relation hauteur-débit de la transition entre l'écoulement sans débordement et l'écoulement avec débordement, des détarages, du remous variable et des effets d'hystérésis. Les méthodes de détermination du débit pour les stations à double échelle, les stations vélocimétriques par ultrasons et les autres courbes de tarage complexes ne sont pas décrites en détails.

NOTE Ces types de courbes de tarage sont répertoriés séparément dans d'autres Normes internationales, Spécifications techniques et Rapports techniques, listés dans la Bibliographie.

## 2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 748, *Hydrométrie — Mesurage du débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de moulinets ou de flotteurs*

ISO 772, *Hydrométrie — Vocabulaire et symboles*

## 3 Termes, définitions et symboles

### 3.1 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

### 3.2 Symboles

Pour les besoins du présent document, les symboles décrits dans l'ISO 772 ainsi que les suivants s'appliquent:

Symbole	Définition
$A$	surface mouillée de la section transversale
$B$	largeur de la section transversale
$\beta$	exposant (pente sur une courbe logarithmique) de la courbe de tarage
$C_D$	coefficient de débit
$C$	coefficient de rugosité de Chézy pour le chenal
$e$	hauteur à l'échelle efficace du débit nul
$f$	coefficient de frottement de Darcy-Weisbach
$g$	accélération due à la gravité
$h$	hauteur à l'échelle de la surface de l'eau
$(h - e)$	profondeur efficace, il s'agit essentiellement de la différence entre le niveau d'arrêt de l'écoulement et le relevé sur l'échelle. Par exemple, pour un contrôle hydraulique horizontal avec une échelle nulle au même niveau que le seuil du contrôle, la valeur efficace de $e$ sera nulle
$H$	charge totale (charge hydraulique)
$k$	hauteur de rugosité au-dessus de la surface lisse
$k_s$	taille de rugosité (en équivalent sable) de Nikuradse
$n$	coefficient de rugosité de Manning pour le chenal
$N$	nombre de mesurages de hauteur-débit (jaugeages) utilisés pour définir la courbe de tarage
$p$	nombre de paramètres de la courbe de tarage ( $Q_1, \beta, e$ ) estimés à partir des $N$ jaugeages
$P_w$	périmètre mouillé
$Q$	débit total <a href="https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/681cb2c1-69dc-4a4c-81d8-880dd563b08f/iso-18320-2020">https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/681cb2c1-69dc-4a4c-81d8-880dd563b08f/iso-18320-2020</a>
$Q_0$	débit stationnaire
$Q_1$	facteur d'échelle à loi exponentielle de la courbe de tarage, égal au débit lorsque la profondeur efficace de l'écoulement ( $h - e$ ) est égale à 1
$r_h$	rayon hydraulique, égal à la surface efficace de section transversale divisée par le périmètre mouillé, $A/P_w$ (convient uniquement aux écoulements sans débordement)
$Re$	nombre de Reynolds ( $= 4\bar{V}/\nu$ ) <sup>a</sup>
$S$	erreur-type d'estimation
$S_f$	pente de frottement
$S_0$	pente du fond
$S_w$	pente de la surface de l'eau correspondant à un débit permanent
$t$	temps
$u$	incertitude-type
$\bar{V}$	vitesse moyenne du cours d'eau ( $= Q/A$ )
$U$	incertitude élargie
$V_w$	vitesse d'une onde de crue
$\nu$	viscosité cinématique

<sup>a</sup> Certains textes de référence utilisent une dimension caractéristique de quatre fois le rayon hydraulique, car  $Re$  adopte alors la même valeur pour le début des turbulences que pour l'écoulement en charge<sup>[16]</sup>. D'autres textes utilisent le rayon hydraulique en tant qu'échelle de longueur caractéristique, avec par conséquent des valeurs de  $Re$  différentes pour l'écoulement de transition et l'écoulement turbulent.

## 4 Principe de la relation hauteur-débit

### 4.1 Généralités

La relation entre la hauteur et le débit pour une station hydrométrique donnée est généralement appelée relation hauteur-débit, courbe de tarage ou barème. Une relation hauteur-débit est établie afin de permettre la production future d'une série temporelle de débit (hydrogramme), basée sur des mesurages continus de la hauteur (limnigramme) à la station hydrométrique. Il est généralement plus aisé de mesurer en continu la hauteur que le débit. L'élaboration d'une chronique de débit est donc grandement facilitée dès lors qu'une relation hauteur-débit stable a été établie à une station hydrométrique.

### 4.2 Contrôles hydrauliques

La relation hauteur-débit pour un cours d'eau à une station hydrométrique est régie par les conditions, aussi appelées «contrôles hydrauliques», présentes au sein du chenal, au droit et en aval de l'échelle. Il peut exister deux types de contrôle, selon les conditions du chenal et les conditions d'écoulement. Les écoulements faibles, c'est-à-dire ceux rencontrés par temps sec, sont généralement contrôlés par un contrôle dit «par section», tandis que les écoulements importants, c'est-à-dire ceux rencontrés par temps pluvieux, sont habituellement contrôlés par un contrôle dit «par chenal». Les écoulements moyens peuvent être contrôlés par les deux types de contrôle. Pour certaines hauteurs, une combinaison de contrôles par section et par chenal peut être utilisée. Il s'agit de règles générales, mais certaines exceptions existent et peuvent survenir. La connaissance des caractéristiques du chenal qui contrôle la relation hauteur-débit est essentielle. L'interpolation entre les jaugeages et l'extrapolation au-delà des jaugeages les plus élevés ou les plus bas des courbes de hauteur-débit exigent un certain discernement, notamment en présence de plus d'un contrôle effectif, de caractéristiques de contrôle variables et d'un nombre de jaugeages limité. Cela s'avère particulièrement vrai lorsque les contrôles ne sont pas stables et tendent à varier, occasionnant des changements dans le positionnement des segments de la relation hauteur-débit.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/681cb2c1-69dc-4a4c-81d8->

Les écoulements importants peuvent entraîner le débordement du cours d'eau ou de la rivière et l'inondation de tout lit majeur adjacent. Dans ces circonstances, une partie du débit sera contenue dans le lit mineur de la rivière et une autre partie envahira le lit majeur. Par conséquent, il convient d'établir une distinction entre la situation où le débit est entièrement contenu dans le lit mineur et celle où le débit excède cette capacité de plein bord. Le changement de conditions hydrauliques découlant de cette transition d'un écoulement sans débordement vers un écoulement avec débordement affectera la relation hauteur-débit. Une description des types de contrôles est donnée dans l'[Annexe A](#).

### 4.3 Principales formules hydrauliques

La relation hauteur-débit peut être définie en fonction du type de contrôle existant. Les contrôles par section, d'origine naturelle ou humaine, sont régis par certaines formes de formules liées aux déversoirs ou aux canaux jaugeurs. Sous une forme très générale et basique, ces formules sont exprimées comme indiqué dans la [Formule \(1\)](#):

$$Q = C_D B H^\beta \quad (1)$$

où

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

$C_D$  est un coefficient de débit et inclut plusieurs facteurs;

$B$  est la largeur de la section transversale perpendiculaire à la direction de l'écoulement, en mètres;

$H$  est la charge hydraulique, en mètres;

$\beta$  est un exposant dépendant de la forme de la section transversale de la section de contrôle.

Les relations hauteur-débit pour les contrôles par chenal avec écoulement uniforme sont habituellement régies par les formules de Manning (parfois appelée «formule de Manning-Strickler» en Europe), de Chézy et de Darcy-Weisbach dans la mesure où elles s'appliquent au tronçon du chenal de contrôle situé en amont et en aval d'une échelle.

La formule de Manning est donnée dans la [Formule \(2\)](#).  
ISO 18320:2020  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/681cb2c1-69dc-4a4c-81d8-880dd563b08f/iso-18320-2020>

$$Q = (A r_h^{0,67} S_f^{0,5}) / n \quad (2)$$

où

$A$  est la surface mouillée, en mètres carrés;

$r_h$  est le rayon hydraulique, en mètres;

$S_f$  est la pente de la ligne de charge;

$n$  est la rugosité de Manning pour le chenal.

NOTE Le coefficient de Strickler est exactement l'inverse du « $n$ » de Manning.

La formule de Chézy est donnée dans la [Formule \(3\)](#):

$$Q = C A r_h^{0,5} S_f^{0,5} \quad (3)$$

où  $C$  est le coefficient de rugosité de Chézy.

La formule de Darcy-Weisbach est donnée dans la [Formule \(4\)](#):

$$Q = \{8g/f\}^{0,5} A r_h^{0,5} S_f^{0,5} \quad (4)$$

où

$g$  est l'accélération due à la gravité;

$f$  est le coefficient de frottement, donné par la formule de Colebrook-White,

qui peut être utilisée pour les cours d'eau, voir la [Formule \(5\)](#):

$$f^{-0,5} = -2 \log_{10} \left\{ k_s / (140,8 r_h) + 2,51 / (4 \bar{v} r_h / \nu) f^{0,5} \right\} \quad (5)$$

où

$\bar{v}$  est la vitesse moyenne du cours d'eau;

$k_s$  est la taille de rugosité de Nikuradse;

$\nu$  est la viscosité cinématique.

La variation de  $f$  avec une rugosité relative ( $= k_s / 4 r_h$ ) et le nombre de Reynolds est souvent représentée sous la forme d'une courbe appelée «diagramme de Moody». La rugosité de toute surface est alors caractérisée par  $k_s$ , aussi appelé taille de rugosité (en équivalent sable) de Nikuradse. La formule de Colebrook-White dispose de bases physiques solides. Elle tend en effet vers deux cas limites théoriques, l'un concernant les surfaces hydrauliquement lisses et l'autre les surfaces hydrauliquement rugueuses, et la forme du chenal est prise en compte grâce à l'utilisation de coefficients appropriés.

Les formules ci-dessus sont généralement applicables aux écoulements sans débordement permanents ou quasi-permanents. Dans le cas d'écoulements extrêmement instationnaires, tels que ceux liés aux marées ou à une rupture de barrage, des formules telles que les formules de Saint-Venant pour écoulements transitoires sont nécessaires. Toutefois, ces dernières ne sont que rarement utilisées dans l'élaboration des relations hauteur-débit et ne sont pas décrites dans le présent document. Les écoulements avec débordement nécessitent en principe une attention particulière en raison de la forte interaction entre les écoulements de différentes régions du chenal, donnant lieu à d'importants effets de transfert latéral de quantité de mouvement. Pour les écoulements avec débordement, le rayon hydraulique adopté dans les [Formules \(2\) à \(4\)](#) n'est plus approprié pour caractériser la section transversale du chenal, dans la mesure où  $P_w$  va augmenter bien plus rapidement avec la hauteur que  $A$  en raison du périmètre mouillé supplémentaire lié au lit majeur à mesure que l'écoulement dépasse la capacité de plein bord. Cela peut alors entraîner une réduction considérable de  $r_h$  au niveau de débordement, ainsi qu'une apparente diminution consécutive du coefficient de résistance pour la section entière, bien que la rugosité hydraulique réelle augmente. Dans ces conditions, il est également nécessaire de redéfinir les coefficients de résistance individuels pour le lit mineur et les lits majeurs, comme expliqué plus en détail dans l'[Annexe E](#) et la [Formule \(6\)](#).

Une description complète des aspects les plus complexes des relations hauteur-débit est donnée dans l'[Annexe B](#).

## 5 Calage hauteur-débit d'une station hydrométrique

### 5.1 Généralités

Le principal objectif d'une station hydrométrique à relation hauteur-débit est d'obtenir un enregistrement du débit du cours d'eau par l'intermédiaire de la mesure de hauteur d'eau au droit de

l'échelle de référence. Pour ce faire, la hauteur est mesurée, puis convertie en débit à l'aide d'une relation hauteur-débit qui met en corrélation le débit et la hauteur d'eau à l'échelle. Dans certains cas, d'autres paramètres, comme la vitesse témoin, la dénivelée de la ligne d'eau entre deux échelles ou le taux de variation de la hauteur, peuvent également être utilisés lors du calage de la courbe de tarage, comme indiqué dans l'ISO 15769 et l'ISO 9123. Les relations hauteur-débit sont généralement étalonnées en mesurant le débit et la hauteur à l'échelle correspondante. Des calculs théoriques peuvent également être utilisés afin de contribuer à la création et au positionnement de la courbe de tarage. Il convient en outre de tenir compte des relations hauteur-débit de périodes précédentes pour aider à l'élaboration de la courbe.

## 5.2 Préparation d'une relation hauteur-débit

### 5.2.1 Généralités

La relation entre la hauteur et le débit est définie en réalisant le tracé des jaugeages avec les observations de hauteur correspondantes, en tenant compte de la stabilité, de l'augmentation ou de la diminution du débit et en notant le taux de variation de la hauteur. Cela peut être réalisé manuellement en traçant sur papier, ou automatiquement en ayant recours à des techniques de traçage informatisées (voir [Annexe C](#)). Le tracé peut utiliser une échelle arithmétique ou logarithmique. Chacune présente des avantages et des inconvénients, comme décrit dans les paragraphes [5.2.3](#) et [5.2.4](#). La plupart des services hydrologiques nationaux utilisent la hauteur en ordonnées (axe y) et le débit en abscisse (axe x). Toutefois, lorsque la relation hauteur-débit est utilisée pour obtenir le débit à partir du mesurage d'une valeur de hauteur, la hauteur est traitée comme la variable indépendante.

Pour les sites hydrométriques présentant un écoulement significatif en lit majeur, dû à de nombreux chenaux ou à des structures immergées, la détermination de la relation hauteur-débit composite peut s'avérer difficile. Le débit de crue peut ne pas être mesuré de façon appropriée en raison d'un accès insuffisant ou dangereux. Par ailleurs, un écoulement traversant un lit majeur peut être complexe et est affecté par des variations de stockage à mesure qu'une crue se forme ou se retire. Ces difficultés peuvent avoir une ampleur telle qu'il convient d'utiliser des considérations théoriques en association avec les mesurages limités lors de la détermination de la relation hauteur-débit.

### 5.2.2 Liste des jaugeages

La première étape préalable au traçage d'une relation hauteur-débit est la préparation d'une liste des jaugeages qui seront utilisés pour la courbe. Il convient de vérifier les jaugeages afin de s'assurer que les hauteurs enregistrées soient associées à une date commune et que les calculs de débit soient exacts. En règle générale, cette première liste doit comprendre au moins 15 jaugeages, tous réalisés durant la période d'analyse. Davantage de jaugeages sont requis pour une courbe de tarage composée, c'est-à-dire une courbe représentée par plusieurs contrôles hydrauliques, dans le cas où le site serait soumis à un marnage important, dans le cas où des techniques de détarages seraient utilisés en raison de la sédimentation, de l'érosion ou de la croissance saisonnière de la végétation, ou encore dans le cas d'un site hydrométrique posant tout autre problème pouvant entraîner des incertitudes de jaugeage élevées. Pour une station hydrométrique d'usage général, il convient que ces jaugeages soient harmonieusement répartis sur toute la gamme de hauteur à l'échelle rencontrée. Sinon, lorsque l'observation porte sur une gamme d'écoulement spécifique, il convient que les jaugeages couvrent cette gamme. Par exemple, à débit réduit pour un site destiné à informer un système de gestion de faible débit, ou à débit important lorsque des débits de crue doivent être surveillés et gérés. Il convient que les jaugeages soient effectués pour toute la gamme de débits attendus, notamment si une extrapolation de la courbe de tarage doit être réalisée.

Il convient d'entreprendre une analyse de l'incertitude (voir [Article 7](#)) lors de l'élaboration et de l'analyse de la relation hauteur-débit de manière à reconnaître convenablement la qualité des données de jaugeage et la performance du barème. S'il apparaît que les incertitudes potentielles sont relativement élevées, c'est-à-dire supérieures à 10 % à 15 % à un niveau de confiance de 95 %, il peut être nécessaire d'effectuer des jaugeages plus fréquents ciblant la ou les gamme(s) de hauteur critique(s) posant problème.

Pour chaque jaugeage figurant sur la liste, les éléments suivants sont requis (voir [Tableau 1](#)):

- un nom unique identifiant le site, ainsi qu'un numéro de jaugeage;
- la date de jaugeage, ainsi que l'heure de début et l'heure de fin du jaugeage;
- le nom de la personne réalisant ou dirigeant le jaugeage, ainsi que le type d'instruments utilisé pour mesurer le débit, la hauteur à l'échelle moyenne basée au minimum sur les relevés au début et à la fin de l'opération de jaugeage complète;
- le débit total;
- une indication de l'incertitude vraisemblable du jaugeage, telle que déterminée par la personne dirigeant le jaugeage. Par exemple, si le chenal était envahi de végétation aquatique, si le motif d'écoulement présentait de nombreux tourbillons, si la section transversale était uniforme, si l'écoulement était permanent, etc. Des documents attestant des conditions du chenal et d'écoulement au moment de chaque jaugeage doivent également être établis au moyen d'enregistrements photographiques ou vidéo.

**Tableau 1 — Liste des jaugeages effectués par un technicien d'hydrométrie utilisant des instruments et des mesures de profondeur**

Numéro d'identification	Date (jj/mm/aaaa)	Réalisé par	Largeur m	Surface m <sup>2</sup>	Vitesse moyenne m/s	Hauteur à l'échelle moyenne m	Profondeur efficace m	Débit m <sup>3</sup> /s	Méthode	Nombre de verticales de mesure	Changement de hauteur à l'échelle m/h	Qualité
12	78/04/08	MEF	36,27	77,94	1,272	2,682	2,080	99,12	0,2/0,8	22	-0,082	BON
183	85/02/06	GTC	33,53	78,41	1,405	2,786	2,186	110,2	0,6/0,2/0,8	22	-0,047	BON
201	87/02/04	AJB	28,96	21,92	1,511	1,832	1,402	33,13	0,6/0,2/0,8	21	-0,013	MAUVAIS
260	93/03/13	GMP	26,52	21,46	1,400	1,981	1,381	30,02	0,6	22	-0,020	BON
313	96/08/24	HFR	30,18	42,08	1,602	2,374	1,774	67,40	0,6/0,2/0,8	22	+0,006	BON
366	03/08/21	MAF	28,96	14,86	0,476	1,557	0,957	7,080	0,6	21	0	BON
367	03/10/10	MAF	28,96	13,66	0,361	1,490	0,890	4,928	0,6	21	0	BON
368	03/11/26	MAF	29,26	14,21	0,373	1,509	0,909	5,296	0,6	18	0	BON
369	04/02/19	MAF	29,87	16,26	1,291	1,838	1,238	20,99	0,6	21	0	BON
370	04/04/09	MAF	29,26	21,27	0,805	1,780	1,180	17,13	0,6/0,2/0,8	21	0	BON
371	04/05/29	MAF	29,57	19,69	0,688	1,710	1,110	13,54	0,6	21	0	BON
372	04/07/10	MAF	28,96	16,81	0,458	1,573	0,973	7,703	0,6	21	0	BON
373	04/08/22	MAF	29,26	15,79	0,481	1,570	0,970	7,590	0,6	21	0	BON
374	08/10/01	MAF	29,26	13,19	0,264	1,414	0,814	3,483	0,6	21	0	BON
375	09/11/11	MAJ	28,96	11,71	0,283	1,396	0,796	3,313	0,6	21	0	BON
382	10/10/01	MAF	30,48	43,76	1,598	2,432	1,832	69,95	0,2/0,8	21	+0,017	BON

NOTE 1 Les jaugeages effectués à l'aide de profileurs de courant à effet Doppler nécessitent des paramètres supplémentaires, dont le nombre de transects et la gamme de débits mesurée pendant les transects (voir ISO/TR 24578).

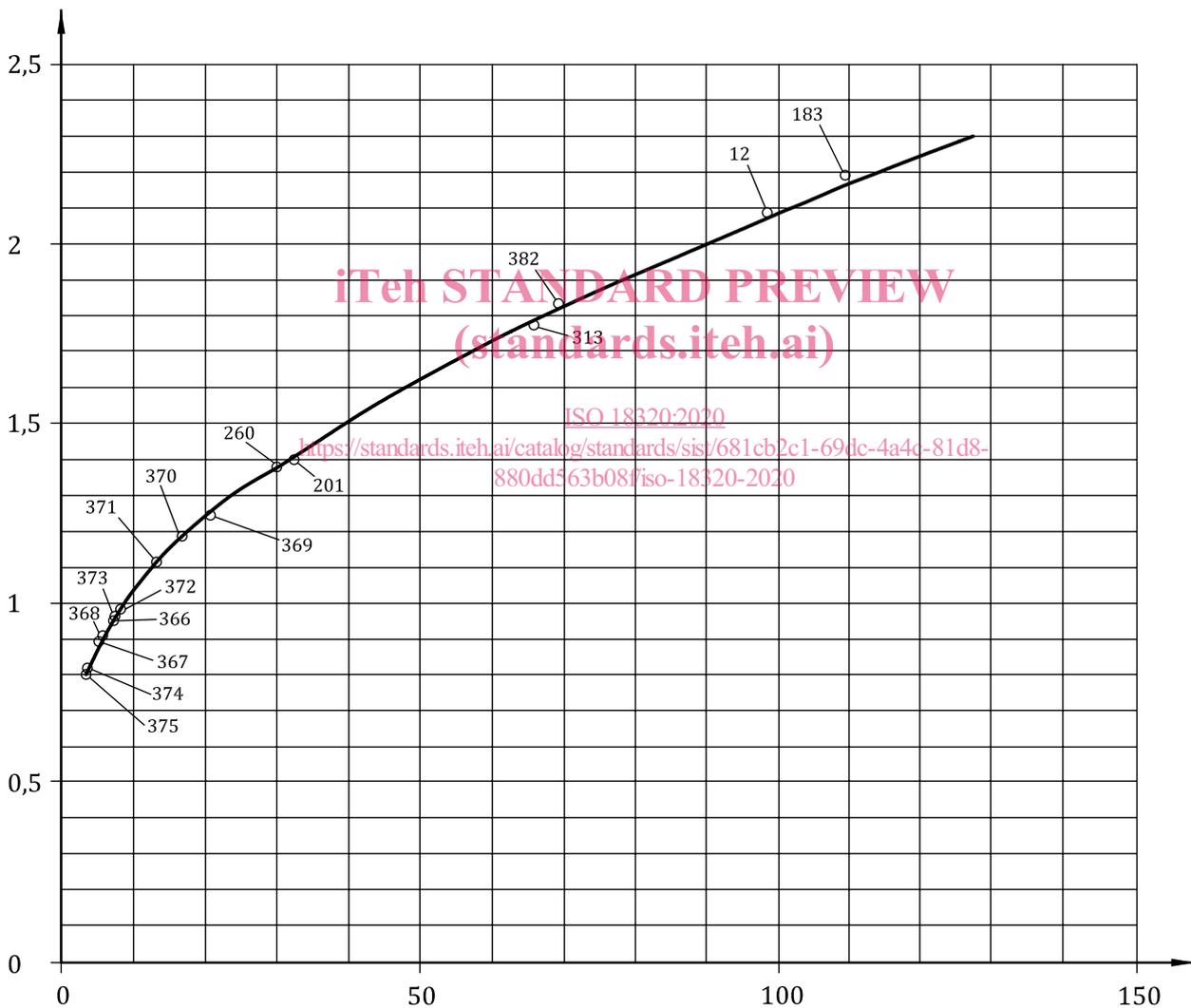
NOTE 2 En termes d'incertitude de la relation hauteur-débit, une relation est considérée comme «mauvaise» lorsque son incertitude est > 15 %. L'incertitude d'une «bonne» relation est de ± 5 %.

### 5.2.3 Échelles arithmétiques

Le type de courbe le plus simple utilise une échelle de traçage divisée arithmétiquement, comme indiqué en [Figure 1](#). Il convient que l'emplacement et la graduation des échelles soient choisis de manière à couvrir l'ensemble de la gamme des hauteurs d'eau et des débits attendus au niveau de la station hydrométrique. Il convient que les échelles soient subdivisées en incréments réguliers afin de faciliter la lecture et l'interpolation. Il convient que le choix de l'échelle produise une courbe de tarage qui ne soit pas exagérément abrupte ou plate. Si la gamme de hauteur à l'échelle ou de débit est importante,

il peut être nécessaire d'adapter l'échelle du graphique de la courbe de tarage (deux segments ou plus) pour obtenir des courbes facilement lisibles et disposant de la précision requise. Cette procédure peut se traduire par des courbes séparées pour des eaux basses, moyennes et hautes.

S'il s'avère nécessaire d'obtenir une relation réalisée à la main, le papier millimétré à échelles arithmétiques est à la fois pratique à utiliser et à lire. De telles échelles sont idéales pour représenter une courbe de tarage et, contrairement aux échelles logarithmiques, ont pour avantage de permettre le traçage des valeurs nulles de la hauteur à l'échelle et/ou du débit. Toutefois, les échelles arithmétiques ne présentent pratiquement aucun avantage lorsqu'elles sont utilisées à des fins analytiques. Une relation hauteur-débit sur échelle arithmétique est habituellement représentée par une ligne courbe, concave vers le bas, difficile à former correctement lorsque seuls quelques jaugeages sont disponibles. À l'inverse, les échelles logarithmiques présentent une grande valeur analytique, comme décrit en 5.2.4. De manière générale, une relation hauteur-débit est tout d'abord tracée sur papier millimétré logarithmique à des fins de mise en forme et d'analyse, puis transférée sur papier millimétré arithmétique si une représentation graphique est nécessaire.



**Légende**

- Y profondeur efficace,  $(h - e)$ , en mètres
- X débit,  $Q$ , en mètres cubes par seconde

NOTE Les chiffres indiqués le long du tracé correspondent aux numéros d'identification spécifiés dans le [Tableau 1](#).

**Figure 1 — Tracé arithmétique d'une relation hauteur-débit**

### 5.2.4 Échelles logarithmiques

La plupart des relations hauteur-débit, ou des segments qui en sont issus, peuvent être analysé(e)s graphiquement à l'aide d'un tracé logarithmique. Deux méthodes peuvent être employées afin d'exploiter pleinement cette procédure: en réalisant un tracé de la profondeur d'écoulement efficace (également appelée charge hydraulique) en fonction du débit, ou en appliquant des offsets d'échelle à l'axe de la hauteur à l'échelle, puis en traçant la courbe de hauteur à l'échelle en fonction du débit. La profondeur d'écoulement efficace sur le contrôle, ou charge hydraulique, pour un contrôle par section est calculée en retranchant la hauteur à l'échelle du débit nul (également appelée hauteur à l'échelle d'arrêt de l'écoulement) de la hauteur à l'échelle associée au débit mesuré. En théorie, il est possible d'obtenir une relation en ligne droite dans l'espace logarithmique en traçant la courbe de la profondeur efficace en fonction du débit. De la même manière, la hauteur à l'échelle du débit nul d'un contrôle par section peut être utilisée comme offset d'échelle pour l'axe de hauteur à l'échelle dans l'espace logarithmique, afin d'obtenir un segment en ligne droite. Grâce à l'approche par offset, il est possible de tracer la courbe réelle de hauteur à l'échelle en fonction du débit, ce qui permet de simplifier le processus car les données réelles n'ont alors pas besoin d'être transformées.

Les approches mentionnées ci-dessus sont facilement applicables pour la catégorie des contrôles par section. Le cas des contrôles par chenal est cependant plus complexe. Lorsqu'un tronçon de cours d'eau est soumis à un contrôle par chenal, la hauteur de l'eau au niveau de l'échelle n'est pas contrôlée par une unique section transversale du chenal. Au lieu de cela, ce sont les caractéristiques du tronçon de cours d'eau, dont la géométrie, la pente et la rugosité, qui contrôlent la hauteur de l'eau à l'emplacement de l'échelle. Pour cette raison, le mesurage et la détermination de la hauteur à l'échelle du débit nul du contrôle par chenal ne sont pas réalisables. Sans cette détermination, il est impossible de tracer la courbe de la profondeur efficace en fonction du débit dans l'espace logarithmique. Pour l'approche par offset, la détermination de l'offset approprié doit résulter d'une approche par tâtonnement. L'approche par tâtonnement est appliquée en ajustant l'offset de manière itérative sur l'axe de la hauteur à l'échelle et en examinant visuellement la courbe de la hauteur à l'échelle réelle en fonction du débit pour les jaugeages réalisés en contrôle par chenal jusqu'à observer une relation en ligne droite. Pour les échelles soumises à plusieurs contrôles hydrauliques, tels que par section ou par chenal, différents offsets sont nécessaires pour obtenir des segments de courbe droits pour chaque contrôle.

Indépendamment de l'approche choisie, le tracé d'un segment de courbe de tarage d'un contrôle donné aura alors tendance à représenter une ligne droite. Il convient que la pente de la ligne droite soit conforme au type de section de contrôle, afin de fournir les précieuses informations qui permettront de former correctement le segment de courbe de tarage. Cette caractéristique permet en outre à l'opérateur d'étalonner la relation hauteur-débit avec un nombre réduit de jaugeages. La pente d'une courbe de tarage est le ratio de la distance horizontale par rapport à la distance verticale. Cette méthode de mesure de la pente est utilisée car la variable dépendante (le débit) est toujours représentée en abscisse.

La [Figure 2](#) est un tracé logarithmique d'une courbe de tarage réelle qui représente la profondeur efficace (et non la hauteur à l'échelle) en fonction du débit, en utilisant les jaugeages figurant dans le [Tableau 1](#). Cette courbe de tarage correspond à un écoulement contrôlé par section sur toute la gamme des débits y compris les plus importants. La hauteur à l'échelle efficace du débit nul,  $e$ , est de 0,6 m pour ce cours d'eau. Elle est soustraite de la hauteur à l'échelle des jaugeages afin de définir la profondeur d'écoulement efficace au contrôle. Au-dessous de 1,4 m, la pente de la courbe de tarage est d'environ 4,3. Ce résultat est supérieur à 2 et conforme à un contrôle par section. Au-dessus de 1,5 m, la pente est de 2,8 et est également conforme à un contrôle par section. La variation de la pente de la courbe de tarage au-delà de 1,5 m environ résulte d'un changement de forme de la section transversale du contrôle ou d'un autre contrôle par section en aval du contrôle par section en basses eaux.