
Hydrométrie — Relations hauteur- dénivelée-débit

Hydrometry — Stage-fall-discharge relationships

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 9123:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4782c7dd-6a6f-40c8-aecf-fc229a281cb9/iso-9123-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4782c7dd-6a6f-40c8-aecf-fc229a281cb9/iso-9123-2017>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 9123:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4782c7dd-6a6f-40c8-aecf-fc229a281cb9/iso-9123-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4782c7dd-6a6f-40c8-aecf-fc229a281cb9/iso-9123-2017>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2017

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
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et abréviations	1
4.1 Symboles.....	1
4.2 Abréviations.....	3
5 Considérations générales	3
5.1 Importance des remous.....	3
5.2 Conditions de remous.....	3
5.3 Exigences relatives au jaugeage.....	4
5.4 Types de relations hauteur-dénivelée-débit.....	5
6 Méthode de la dénivelée unitaire	5
6.1 Généralités.....	5
6.2 Méthode d'analyse.....	6
6.3 Calcul du débit.....	6
6.4 Exemple de méthode de la dénivelée unitaire.....	6
7 Méthode de la dénivelée constante	8
7.1 Généralités.....	8
7.2 Méthode d'analyse.....	8
7.3 Calcul du débit.....	8
7.4 Exemple de méthode de la dénivelée constante.....	9
8 Méthode de la dénivelée variable	11
8.1 Généralités.....	11
8.2 Méthode de la dénivelée normale.....	12
8.3 Méthode de la dénivelée limite.....	12
8.3.1 Généralités.....	12
8.3.2 Méthode d'analyse.....	12
8.3.3 Calcul du débit.....	12
8.3.4 Exemple de méthode de la dénivelée limite.....	13
9 Courbes et barèmes de tarage	17
10 Méthode de calcul	18
11 Vérification périodique des courbes hauteur-dénivelée-débit	18
12 Extrapolations	18
13 Évaluation de l'incertitude associée à la relation hauteur-dénivelée-débit	18
13.1 Généralités.....	18
13.2 Mise en œuvre de la procédure du Guide GUM pour l'évaluation de l'incertitude associée à la relation hauteur-dénivelée-débit et aux estimations qui en découlent.....	19
13.2.1 Généralités.....	19
13.2.2 Propagation de l'incertitude pour les estimations de hauteur-dénivelée-débit.....	19
13.2.3 Incertitude associée à la courbe de tarage.....	20
13.2.4 Incertitude associée à la hauteur mesurée.....	23
13.2.5 Incertitude associée à la dénivelée mesurée.....	23
13.2.6 Intervalles de prédiction du débit estimé.....	23
13.2.7 Incertitude due à l'omission de tous les autres paramètres physiques.....	24
13.3 Exemple.....	24
13.3.1 Généralités.....	24
13.3.2 Erreur-type de l'estimation.....	25
13.3.3 Incertitude de la réponse moyenne.....	25

13.3.4	Incertitude associée à la hauteur et à la dénivelée mesurées.....	26
13.3.5	Incertitude due à l'omission de tous les autres paramètres physiques	26
13.3.6	Propagation de l'incertitude dans l'estimation du débit.....	27
13.3.7	Incertitude du débit prédit.....	27
Annexe A (informative) Régression multiple par la méthode des moindres carrés — Représentation matricielle.....		29
Bibliographie.....		31

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 9123:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4782c7dd-6a6f-40c8-aecf-fc229a281cb9/iso-9123-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4782c7dd-6a6f-40c8-aecf-fc229a281cb9/iso-9123-2017>

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).

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).

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.

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 deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 9123:2001), qui a fait l'objet d'une révision technique. Les principales modifications ont consisté à améliorer le texte relatif à la méthode hauteur-dénivelée-débit et à réviser l'article précédent sur l'incertitude conformément aux HUG/GUM et normes connexes similaires relatives à l'estimation de l'incertitude de mesure du débit.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 9123:2017](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4782c7dd-6a6f-40c8-aecf-fc229a281cb9/iso-9123-2017>

Hydrométrie — Relations hauteur-dénivelée-débit

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie des méthodes permettant de déterminer les relations hauteur-dénivelée-débit pour un bief de cours d'eau dans lequel des remous variables se produisent de façon intermittente ou continue. Deux stations hydrométriques, une échelle principale et une échelle auxiliaire sont requises pour les mesurages de la hauteur d'eau à l'échelle. De nombreux mesurages du débit sont requis pour calibrer la courbe de tarage à double échelle avec l'exactitude requise par le présent document.

La préparation des courbes de tarage n'est pas décrite de manière détaillée dans le présent document.

NOTE Pour une description plus détaillée de la préparation des courbes de tarage, voir les méthodes décrites dans l'ISO 1100-2.

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 772, *Hydrométrie — Vocabulaire et symboles*

ISO 1100-2, *Hydrométrie — Mesurage du débit des liquides dans les canaux découverts — Partie 2: Détermination de la relation hauteur-débit*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4782c7dd-6a6f-40c8-aecf-fc229a281cb9/iso-9123-2017>

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 772 s'appliquent.

Noter toutefois qu'il convient que l'application de la définition de «remous» donnée dans l'ISO 772 à la détermination du débit dans des conditions de remous intermittents ou continus tienne compte du fait qu'une plus grande hauteur à l'échelle prévaudrait pour un débit donné que dans le cas où les remous variables ne seraient pas présents.

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/>

4 Symboles et abréviations

4.1 Symboles

Symbole	Signification	Unités
H	niveau d'eau mesuré ou hauteur au niveau d'une station hydrométrique	m
H_{1e}	charge totale effective en amont	m

H_{2e}	charge totale effective en aval	m
H_{1max}	charge totale maximale en amont au-dessus de la hauteur de la crête	m
h	dénivelée mesurée (différence entre la hauteur au niveau d'une station hydrométrique principale et la hauteur au niveau d'une échelle secondaire en amont ou en aval)	m
h_c	dénivelée de référence ou dénivelée unitaire pour la méthode de la dénivelée constante	m
h^*_r	dénivelée de référence ou dénivelée d'étalonnage pour la méthode de la dénivelée limite	m
h_p	hauteur du compartiment de séparation	m
H_0	mesure de la hauteur/du niveau d'eau au niveau de débit nul	m
$H_{u/s}$	hauteur/niveau d'eau en amont	m
$H_{d/s}$	hauteur/niveau d'eau en aval	m
$H_{u/s} - H_{d/s}$	dénivelée effective	m
N	nombre de jaugeages	sans dimension
P	nombre de paramètres de la courbe de tarage estimés à partir des N jaugeages	sans dimension
Q	débit mesuré	m^3s^{-1}
Q_c	débit déduit de l'étalonnage pour la méthode de la dénivelée constante et la méthode de la dénivelée unitaire	m^3s^{-1}
Q^*_r	débit déduit de l'étalonnage pour la méthode de la dénivelée limite	m^3s^{-1}
S^2	variance estimée	
u_H	incertitude de mesure de la hauteur/du niveau d'eau	m ou sans dimension
$u(h)$	incertitude associée à la dénivelée mesurée	m ou sans dimension
$u(H)$	incertitude-type associée à la valeur enregistrée de la hauteur	m
$u(H_0)$	incertitude-type associée au zéro de l'échelle	m
$u(H_{u/s})$	incertitude associée à la valeur enregistrée de la hauteur en amont	m
$u(H_{d/s})$	incertitude associée à la valeur enregistrée de la hauteur en aval	m
$u(H_{u/s} - H_{d/s})$	incertitude associée à la dénivelée effective	m ou sans dimension
$U(Q_e)$	incertitude associée au débit estimé (calculé)	
$u_{HC}(Q)$	incertitude due à l'omission de tous les autres paramètres physiques ayant une incidence sur le débit	

$u_{RC}(Q)$	incertitude associée à la relation hauteur-dénivelée-débit, principalement liée à une méconnaissance des processus hydrauliques, à la forme de la fonction supposée et à des erreurs dans les estimations paramétriques	
$u(\theta)$	incertitude en pourcentage due à l'omission de tous les autres paramètres physiques	sans dimension
$U \ln(Q_{pr})$	incertitude-type de la prédiction	sans dimension
α	facteur d'échelle qui est numériquement égal au débit lorsque le rapport profondeur effective d'écoulement/hauteur ($H - H_0$) est égal à 1	
β	pente de la courbe de tarage lorsque celle-ci est tracée sur des échelles logarithmiques	
p	paramètre de puissance	

Indices

u/s	désigne la valeur en amont
d/s	désigne la valeur en aval

4.2 Abréviations

HUG	Lignes directrices relatives à l'incertitude en hydrométrie
GUM	Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure
SFD	Hauteur-dénivelée-débit

5 Considérations générales

5.1 Importance des remous

La plupart des stations de mesure de débit de cours d'eau sont fondées sur le fait qu'une relation relativement simple existe entre la hauteur à l'échelle et le débit, de sorte qu'en enregistrant simplement la hauteur à l'échelle et en déterminant la relation hauteur-débit, il est possible de calculer un enregistrement continu du débit. Plusieurs facteurs peuvent toutefois provoquer une dispersion des mesures de débit par rapport à la relation hauteur-débit sur certaines stations. Les remous sont l'un de ces facteurs et sont définis comme une condition par laquelle l'écoulement est ralenti de sorte que la hauteur à l'échelle nécessaire pour maintenir un débit donné est plus élevée que celle qui serait nécessaire en l'absence de remous. Les remous sont provoqués par un étranglement, tel que des biefs étroits dans le chenal d'un cours d'eau, ou des structures en aval, telles que des barrages/ponts, des affluents en aval ou l'influence de la marée. Tous ces facteurs peuvent augmenter ou diminuer le gradient énergétique pour un débit donné et provoquer des conditions de remous variables. Par exemple, dans les cours d'eau influencés par la marée, le gradient énergétique pendant les marées montantes est inférieur au gradient énergétique pendant les marées descendantes.

5.2 Conditions de remous

Les remous constants, tels que ceux provoqués par des régulations de section par exemple, n'auront pas d'incidence négative sur la relation hauteur-débit. Par contre, la présence de remous variables ne permet pas d'utiliser des relations hauteur-débit simples pour déterminer avec exactitude le débit. Les cours d'eau régulés peuvent présenter des remous variables pratiquement en permanence, alors

que les autres cours d'eau ne présenteront que des remous occasionnels dus aux affluents en aval, à la croissance des végétaux, au retour de crues débordantes ou aux remous provenant de la mer.

En fait, la méthode est valable pour des écoulements stables graduellement variés. Des erreurs importantes apparaissent lorsque l'écoulement est instable et/ou varie rapidement. La dénivelée calculée entre les deux échelles peut donc être inutile d'un point de vue hydraulique. Dans de telles situations, d'autres techniques, y compris des bilans de volume d'eau, peuvent être utilisées, mais pas la méthode hauteur-dénivelée-débit. De plus, cette méthodologie semble supposer une relation linéaire constante en termes de gradient hydraulique entre les stations auxiliaire et de référence. Il se peut que cette relation soit compromise, par exemple, par une croissance variable des mauvaises herbes entre les sites. Par conséquent, il convient que les jaugeages soient réalisés simultanément au niveau de ces stations ou au moins pendant que les conditions d'écoulement sont identiques au niveau des deux stations.

5.3 Exigences relatives au jaugeage

De nombreux sites affectés par des remous peuvent être utilisés comme stations de hauteur-dénivelée-débit en utilisant une échelle principale au niveau de laquelle la hauteur à l'échelle est mesurée en continu et des mesures du débit à l'aide d'un moulinet sont effectuées occasionnellement. Une échelle auxiliaire, située à une certaine distance de l'échelle principale, de préférence en aval, est utilisée pour mesurer en continu la hauteur à l'échelle.

Il convient que l'échelle auxiliaire soit située en aval de l'échelle principale car:

- a) il est préférable d'installer la station principale aussi loin que possible de la cause des remous variables et
- b) lorsque l'échelle amont n'est plus soumise à des remous variables (c'est-à-dire des conditions d'écoulement libre), la dénivelée mesurée n'est pas représentative de la pente de l'écoulement autour de chaque échelle et l'échelle aval est encore soumise à des remous: l'échelle amont peut donc être étalonnée en utilisant une courbe hauteur-débit, mais pas l'échelle aval. Choisir l'échelle aval comme échelle principale n'offre généralement aucun avantage.

Lorsque les deux échelles sont réglées par rapport au même plan de référence, la différence entre les deux hauteurs à l'échelle enregistrées est la dénivelée de la surface de l'eau et fournit une mesure de la pente de la surface de l'eau. Il convient que les apports entre ces échelles soient minimaux. Les emplacements de l'échelle principale et de l'échelle auxiliaire sont fondés sur les caractéristiques de la pente du bief. Il convient que la longueur du bief soit telle que les erreurs courantes se produisant lors de la détermination des hauteurs à l'échelle dans les stations hydrométriques n'entraînent qu'une erreur mineure dans le calcul de la dénivelée du bief. Des enregistrements fiables du débit peuvent généralement être calculés lorsque la dénivelée dépasse environ 0,15 m. Une synchronisation temporelle précise entre les échelles principale et auxiliaire est très importante lorsque la hauteur à l'échelle varie rapidement ou lorsque la dénivelée est faible. Les erreurs de synchronisation et de hauteur à l'échelle qui sont insignifiantes à des débits élevés deviennent significatives à un débit très faible^[16].

Il est également essentiel que les deux échelles soient mises à niveau exactement par rapport au même plan de référence afin de réduire les erreurs non seulement des lectures de hauteur individuelles, mais aussi de la dénivelée estimée correspondante. Par conséquent, les échelles doivent être réglées au même zéro en s'appuyant sur des techniques précises de relevé.

Dans le bief, il convient que la pente du chenal soit aussi uniforme que possible. Plus la pente du bief est courte, plus la relation entre la dénivelée mesurée et la pente de la surface de l'eau est proche. En revanche, plus la pente du bief est longue, plus le pourcentage d'erreur de la dénivelée enregistrée est faible. Il convient que le bief soit aussi éloigné que possible en amont de la source de remous et que les apports entre les deux échelles soit négligeables. Il convient, si possible, d'éviter les biefs présentant des débordements fréquents ou notables, ainsi que les biefs présentant des coudes prononcés ou des conditions instables du chenal.

Il sera rare de trouver une pente de bief respectant toutes les conditions ci-dessus, mais il convient de prendre en compte ces conditions pour faire un choix entre les biefs disponibles pour le mesurage de la pente.

5.4 Types de relations hauteur-dénivelée-débit

5.4.1 Dans des conditions de remous variables, la dénivelée mesurée entre l'échelle principale et l'échelle auxiliaire est utilisée comme troisième paramètre, et la courbe de tarage devient une relation hauteur-dénivelée-débit. Les méthodes de hauteur-dénivelée-débit sont classées dans les deux grandes catégories suivantes:

- a) méthode de la dénivelée constante, dont la méthode de la dénivelée unitaire constitue un cas particulier;
- b) méthode de la dénivelée variable.

La méthode applicable pour un bief de cours d'eau dépend dans une large mesure de la présence intermittente ou permanente de remous.

5.4.2 La méthode de la dénivelée constante est plus efficace lorsque des remous sont toujours présents à toutes les hauteurs à l'échelle, mais peut parfois être adaptée pour des conditions de remous intermittents.

5.4.3 La méthode de la dénivelée unitaire est la plus simple et nécessite la plus faible quantité de données pour le calage. Il convient d'utiliser la méthode de la dénivelée unitaire comme point de départ avant de tenter des méthodes plus complexes.

5.4.4 Les méthodes de la dénivelée variable sont les plus complexes et nécessitent la plus grande quantité de données pour le calage. La méthode de la dénivelée variable est plus efficace pour des conditions de remous intermittents.

NOTE La méthode de la dénivelée unitaire, la méthode de la dénivelée constante et la méthode de la dénivelée variable sont également désignées dans le présent document en tant que courbe de tarage avec une dénivelée unitaire, courbe de tarage avec une dénivelée constante et courbe de tarage avec une dénivelée variable.

6 Méthode de la dénivelée unitaire

6.1 Généralités

La méthode de la dénivelée unitaire est un cas particulier de la méthode de la dénivelée constante, dans lequel la dénivelée constante est égale à l'unité (1 m). La méthode de la dénivelée unitaire est utilisée en prenant pour hypothèse que la relation entre le rapport de débit (Q/Q_c) et le rapport de dénivelée (h/h_c) est exactement une relation en racine carrée, comme indiqué dans les formules suivantes:

$$Q/Q_c = (h/h_c)^{0,5} = (h/1)^{0,5} = h^{0,5} \quad (1)$$

$$Q = Q_c h^{0,5} \quad \text{ou} \quad Q_c = Q/h^{0,5} \quad (2)$$

où

- Q est le débit mesuré, exprimé en mètres cubes par seconde;
- h est la dénivelée mesurée, exprimée en mètres;
- Q_c est le débit, exprimé en mètres cubes par seconde, déduit à partir de la courbe de tarage correspondant à la dénivelée constante et à la hauteur à l'échelle principale;
- h_c est la dénivelée constante, exprimée en mètres (1 m pour la méthode de la dénivelée unitaire).

Noter que la valeur 0,5 de l'exposant de (h/h_c) est justifiée par un contrôle du chenal tel que modélisé par l'équation de Chézy ou l'équation de Manning-Strickler.

6.2 Méthode d'analyse

Le calage avec une dénivelée unitaire doit être établi en reportant sur un graphique chaque débit mesuré divisé par la racine carrée de la dénivelée mesurée en fonction de la hauteur à l'échelle principale correspondant au débit mesuré. La courbe de tarage doit ensuite être ajustée par rapport aux points reportés sur le graphique.

6.3 Calcul du débit

Le calage doit être utilisé pour calculer le débit en déterminant la valeur de Q_c à partir du calage pour une hauteur à l'échelle principale donnée, et en multipliant ce débit par la racine carrée de la dénivelée mesurée. Ce type d'étalonnage sera généralement satisfaisant lorsque des remous sont présents en permanence, la dénivelée est supérieure à environ 0,15 m et les plans de référence des deux échelles se situent dans un intervalle de 0,01 m.

Si les remous sont intermittents, il est également nécessaire d'établir une courbe de tarage à dénivelée variable ou une courbe de tarage en l'absence de remous. Les jaugeages non affectés par les remous seront normalement ceux qui ont tendance à se situer dans la partie droite de la courbe hauteur-débit. Si les points hauteur-débit sont reportés sur un graphique, il est possible d'en déduire une courbe hauteur-débit enveloppe extérieure qui devrait en principe refléter les jaugeages non affectés par les remous. La [Figure 4](#) peut aider à illustrer ce point.

Une courbe de tarage à dénivelée variable doit toujours être utilisée, excepté pendant les périodes où des remous sont suspectés, durant lesquelles il convient de calculer à la fois le débit à partir des courbes de tarage à dénivelée variable et à dénivelée unitaire. Le plus faible des deux débits doit être considéré comme la valeur vraie.

6.4 Exemple de méthode de la dénivelée unitaire

La [Figure 1](#) et le [Tableau 1](#) illustrent le calage avec une dénivelée unitaire pour un site présentant de forts remous dus à un barrage hydroélectrique. Les remous sont présents à toutes les hauteurs à l'échelle et à tout moment.

Tableau 1 — Mesures pour un calage avec une dénivelée unitaire

Mesure n°	Hauteur à l'échelle m	h m	Q m ³ /s	$Q\sqrt{h}$	Q_c m ³ /s	Différence %
327	5,907	1,917	1 160	838	840	-0,2
328	7,105	2,182	1 520	1 030	1 030	0
332	5,026	1,597	889	703	700	0,4
373	7,013	2,225	1 490	1 000	1 000	0
384	11,558	2,880	2 830	1 670	1 700	-1,8