

---

# NORME INTERNATIONALE



# 1100

---

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

---

## Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Établissement et fonctionnement d'une station de jaugeage et détermination de la relation hauteur-débit

Première édition — 1973-12-01

---

CDU 532.57 : 532.543 : 627.133

Réf. No : ISO 1100-1973 (F)

**Descripteurs** : écoulement liquide, écoulement d'eau, chenal, écoulement de liquide en canal, rivière, mesure d'écoulement, limnigraphe.

Prix basé sur 29 pages

## AVANT-PROPOS

ISO (Organisation Internationale de Normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (Comités Membres ISO). L'élaboration de Normes Internationales est confiée aux Comités Techniques 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.

Avant 1972, les résultats des travaux des Comités Techniques étaient publiés comme Recommandations ISO; maintenant, ces documents sont en cours de transformation en Normes Internationales. Compte tenu de cette procédure, la Norme Internationale ISO 1100 remplace la Recommandation ISO/R 1100-1969, établie par le Comité Technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*.

Les Comités Membres des pays suivants avaient approuvé la Recommandation :

Afrique du Sud, Rép. d'	Inde	Royaume-Uni
Allemagne	Irlande	Suisse
Australie	Israël	Tchécoslovaquie
Belgique	Italie	Thaïlande
Brésil	Japon	Turquie
Chili	Pays-Bas	U.S.A.
Corée, Rép. de	Portugal	
France	Roumanie	

Le Comité Membre du pays suivant avait désapprouvé la Recommandation pour des raisons techniques :

Canada

## SOMMAIRE

	Page
<b>1</b> Objet et domaine d'application . . . . .	1
<b>2</b> Références . . . . .	1
<b>3</b> Définitions . . . . .	1
<b>4</b> Unités de mesure . . . . .	1
<b>5</b> Principe de la méthode de mesurage . . . . .	1
<b>6</b> Choix de l'emplacement . . . . .	1
<b>7</b> Conception et réalisation d'une station de jaugeage . . . . .	2
<b>8</b> Vérification de la station – Prescriptions générales . . . . .	4
<b>9</b> Étalonnage de la station . . . . .	4
<b>10</b> Fonctionnement de la station de jaugeage et regroupement des résultats . . . . .	6
<b>11</b> Erreurs de mesurage et validité de la courbe hauteur-débit . . . . .	6
 <b>Annexes</b>	
<b>A</b> Conception, réalisation et fonctionnement d'une station de jaugeage . . . . .	8
<b>B</b> Correction du débit en écoulement non permanent . . . . .	19
<b>C</b> Famille de courbes donnant la relation hauteur-débit . . . . .	20
 <b>Figures</b>	
<b>1</b> – Détermination du nombre de mesures nécessaires pour établir une relation hauteur-débit valable . . . . .	21
<b>2</b> – Essai des courbes hauteur-débit . . . . .	22
<b>3</b> – Détermination de $G_0$ – Lecture du limnimètre pour un débit nul . . . . .	23
<b>4</b> – Relation $Q_n = f(z_0)$ pour une dénivellation de référence $H_n = 1$ . . . . .	24
<b>5</b> – Relation entre $\frac{Q}{Q_n}$ et $\frac{H}{H_n}$ . . . . .	25
<b>6</b> – Relation entre le niveau et le débit ramené à la dénivellation de référence . . . . .	26
<b>7</b> – Méthode de la dénivellation normale – Courbe d'étalonnage simple . . . . .	27
<b>8</b> – Relation entre la dénivellation normale et le niveau . . . . .	28
<b>9</b> – Relation entre le débit et la dénivellation mesurée . . . . .	29
 Liste des symboles utilisés . . . . .	 30

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

ISO 1100:1973

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2b8dc3c7-aa3f-4524-8965-52a752993f56/iso-1100-1973>

# Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Établissement et fonctionnement d'une station de jaugeage et détermination de la relation hauteur-débit

## 1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme Internationale spécifie des méthodes pour le mesurage continu du niveau de l'eau, pour la détermination de la relation hauteur-débit en établissant une corrélation entre les niveaux de l'eau et les débits et pour le regroupement des résultats de débit d'une station de jaugeage. Elle traite aussi de l'établissement et du fonctionnement de la station de jaugeage sur une rivière ou sur un chenal.

Les mesurages d'un débit donné peuvent être effectués selon l'une des méthodes acceptées pour le mesurage du débit des liquides dans les canaux découverts, conformément aux Normes Internationales y relatives. La présente Norme Internationale ne concerne que les éléments supplémentaires nécessités par un élargissement du domaine d'application.

Les chenaux ont été classés en types stables et instables, car les courbes caractéristiques hauteur-débit de l'un et de l'autre type diffèrent.

La présente Norme Internationale ne s'applique pas aux cas où

- a) les conditions d'écoulement, au cours des crues, varient brusquement et rapidement sous l'action d'une onde abrupte;
- b) les conditions d'écoulement sont considérablement entravées, durant certaines périodes, par la formation ou la présence de glace.

L'Annexe A donne un plan et une méthode facilitant l'application de la présente Norme Internationale; elle indique également les essais et les procédés statistiques permettant d'établir les courbes hauteur-débit.

Les Annexes B et C traitent, respectivement, des corrections à effectuer en écoulement non permanent et de la famille de courbes traduisant la relation hauteur-débit.

## 2 RÉFÉRENCES

ISO 555, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthodes de dilution pour le mesurage du débit en régime permanent – Méthode d'injection à débit constant.*

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

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

ISO 1438, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthode de déversoirs, déversoirs à échancrure et canaux jaugeurs à ressaut.*<sup>1)</sup>

## 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 la seconde et le mètre (ou le foot).

## 5 PRINCIPE DE LA MÉTHODE DE MESURAGE

Le principe de la méthode est d'établir une relation univoque liant le débit dans un chenal soit au niveau de l'eau dans une section de l'écoulement, soit aux deux valeurs de ce niveau aux extrémités d'un bief. La connaissance de cette relation hauteur-débit permettra, dans la période d'exploitation de la station, d'obtenir le débit par de simples mesurages du niveau.

Pour établir cette relation, il est nécessaire de procéder, à la station de jaugeage choisie, à un nombre suffisant de mesurages simultanés du débit et du niveau correspondant. Chaque mesurage du débit doit être fait selon l'une des méthodes acceptées.

## 6 CHOIX DE L'EMPLACEMENT

### 6.1 Prospection préalable

Une prospection préalable doit être effectuée pour s'assurer que les caractéristiques physiques et hydrauliques de l'emplacement prévu soient conformes aux prescriptions relatives à l'application des méthodes de mesurage du débit que l'on envisage d'utiliser.

1) Actuellement au stade de projet.

## 6.2 Choix de l'emplacement

Un emplacement doit être choisi de façon qu'il soit possible d'y mesurer la gamme entière et les différents types d'écoulement pouvant y être rencontrés ou devant être mesurés. L'ensemble des mesurages, par rapport à un limnimètre de référence, peut être effectué dans une section unique ou, pour certaines gammes de débit, dans deux sections ou davantage. De même, différentes méthodes de mesurage peuvent être utilisées pour diverses parties de la gamme, les conditions particulières relatives à chacune des méthodes de mesurage étant spécifiées dans les Normes Internationales relatives à la mesure de débit des liquides dans les chenaux.<sup>1)</sup>

Selon les circonstances, on peut utiliser soit une station de jaugeage simple, soit une station double, mais la première solution doit être préférée.

Le fonctionnement d'une station de jaugeage simple repose sur l'hypothèse que le niveau de la surface libre est réellement une fonction unique du débit. Dans le cas de stations affectées d'hystérésis, la crue et la décrue doivent être étalonnées séparément par mesurage du débit.

### 6.2.1 Station de jaugeage simple

a) Il est préférable de choisir un emplacement où la relation entre la hauteur et le débit est essentiellement uniforme et stable. Toutefois, cela n'est pas toujours possible pour les rivières alluviales. Pour de telles rivières, la relation hauteur-débit n'est généralement applicable que pendant la période où elle a été déterminée.

b) Il ne doit y avoir aucun effet résultant d'un courant de retour variable.

### 6.2.2 Station de jaugeage de tout type (simple ou double)

a) L'emplacement doit être sensible, c'est-à-dire que toute variation appréciable du débit doit s'accompagner, même au plus faible débit,

— dans le cas d'une station de jaugeage simple, d'une modification appréciable du niveau;

— dans le cas d'une station de jaugeage double, d'une modification appréciable du niveau (à l'une ou l'autre des échelles) et de la chute (entre les deux échelles).

En cas contraire, de petites erreurs sur le relevé du niveau au cours de l'étalonnage d'une station non-sensible peuvent se traduire par d'importantes erreurs sur les débits indiqués par la courbe.

Une comparaison doit être établie entre la variation du débit et la variation minimale du niveau correspondant pour s'assurer que la sensibilité de la station est suffisante pour répondre aux exigences des mesurages.

b) Il faut éviter les emplacements où poussent particulièrement les herbes.

c) il ne doit y avoir ni vortex, ni eau morte, ni d'autres anomalies dans l'écoulement.

d) Les accès à l'emplacement, quels que soient le niveau ou l'époque, doivent être aussi praticables que possible.

## 7 CONCEPTION ET RÉALISATION D'UNE STATION DE JAUGEAGE

### 7.1 Généralités

Une station de jaugeage comprend une ou plusieurs sections transversales de mesurage, naturelles ou artificielles (c'est-à-dire déversoir ou canal jaugeur), ainsi qu'un limnimètre de référence.

Dans le cas où il existe un dispositif général de limnimètres sur la rivière, il n'est pas absolument nécessaire que la position de la section transversale de mesurage coïncide avec la position du limnimètre, pourvu que le débit soit le même aux deux endroits, pour tous les niveaux. Dans tous les autres cas, il est préférable d'installer le limnimètre à la section transversale choisie ou à proximité immédiate.

Si l'emplacement souhaité ne satisfait qu'à une partie des exigences stipulées dans les Normes Internationales concernant la mesure de débit<sup>1)</sup> et en 6.2 de la présente Norme Internationale, on peut faire en sorte qu'il réponde à ces exigences en apportant quelques modifications appropriées (voir Annexe A). En général, de telles modifications ne se justifient que pour de petites rivières.

Dans le cas d'une station de jaugeage double, la longueur du bief doit être suffisante pour que toute erreur d'observation soit négligeable par rapport à la baisse du niveau entre les deux limnimètres. Par ailleurs, il ne doit y avoir ni augmentation ni diminution du débit entre les deux limnimètres.

### 7.2 Appareils de mesurage du niveau

#### 7.2.1 Limnimètre de référence

Le limnimètre de référence doit être un limnimètre à échelle verticale ou à échelle inclinée. Les repères doivent être nets et suffisamment précis pour répondre aux exigences des mesurages; le repère inférieur et le repère supérieur du limnimètre de référence doivent se situer respectivement au-dessous et au-dessus des niveaux d'eau les plus bas et les plus hauts qui soient prévus.

Le limnimètre de référence doit être solidement amarré, dans le courant, à un support fixe et rigide, et être lié à un repère de nivellement fixe raccordé par un relevé topographique précis au système national de nivellement. Il doit comporter un dispositif de stabilisation, partout où

1) Voir ISO 555, ISO 748 et ISO 1438

cela s'impose, de façon que le niveau de l'eau puisse être lu avec précision.

S'il est indispensable d'avoir un enregistrement continu des niveaux de l'eau, un limnigraphe doit être installé. Toutefois, il est essentiel de toujours associer un tel limnigraphe à un limnimètre normal de rivière, situé à proximité du point où le limnigraphe effectue ses mesurages. Dans les autres cas, un limnimètre normal de rivière suffira.

NOTE — Lorsque cela est possible, une estimation des valeurs extrêmes doit être effectuée à l'aide d'une étude statistique. Il faut absolument s'assurer que l'on a bien tenu compte des valeurs aussi extrêmes que l'exige le but de la station. Un affouillement possible du lit doit aussi être pris en considération.

#### 7.2.1.1 LIMNIMÈTRE À ÉCHELLE VERTICALE

Ce limnimètre doit être absolument vertical et de forme telle qu'il ne provoque aucune surélévation sensible de l'écoulement.

#### 7.2.1.2 LIMNIMÈTRE À ÉCHELLE INCLINÉE

L'échelle limnimétrique inclinée doit être parfaitement adaptée et solidement amarrée à la pente de la berge naturelle du cours d'eau. Elle peut être étalonnée sur place à l'aide d'un relevé topographique précis.

### 7.2.2 Limnigraphe

Il peut être constitué par un limnigraphe à flotteur installé dans un puits de mesurage communiquant avec le lit du chenal ou par un limnigraphe pneumatique ou tout autre dispositif. Toutefois, il est essentiel de toujours associer un tel limnigraphe à un limnimètre de référence situé à proximité du point où le limnigraphe effectue ses mesurages. Dans le cas d'un limnigraphe à flotteur, un limnimètre supplémentaire doit, à titre de contrôle, être associé au flotteur.

#### 7.2.2.1 PUIITS DE MESURAGE

Le puits de mesurage destiné à l'installation du flotteur du limnigraphe doit répondre aux conditions suivantes :

- a) Il doit être vertical et avoir une hauteur et une profondeur suffisantes pour permettre au flotteur d'évoluer dans toute la gamme des niveaux.
- b) Dans les cours d'eau qui contiennent beaucoup de limon en suspension (eaux chargées), des conduits d'admission doivent être aménagés à différents niveaux.
- c) Les raccords de chaque conduit d'admission doivent être étanches.
- d) Les dimensions du conduit d'admission ou du chenal doivent être suffisamment grandes pour que le niveau de l'eau de puits suive sans délai l'élévation et la baisse de niveau, et aussi pour que soit évitée son obstruction par des sédiments.

- e) Si la lecture du niveau sur le graphique ne peut se faire avec une précision suffisante en raison de la fréquence des rides de surface, un étrangleur doit être installé dans le conduit d'admission pour amortir l'oscillation.

#### 7.2.2.2 LIMNIGRAPHE PNEUMATIQUE

- a) Ce limnigraphe mesure le niveau par l'intermédiaire de la pression exercée sur une prise immergée, solidement fixée à une cote connue.
- b) Le limnigraphe doit comporter une source de gaz comprimé (air ou azote) et un dispositif de réglage et de visualisation du débit d'air sous la forme « bulle à bulle ».
- c) Un dispositif de chasse de gaz doit être prévu pour déboucher, si nécessaire, la prise de pression.
- d) La tuyauterie reliant le manomètre à la prise de pression doit avoir une longueur inférieure à la limite fixée par le constructeur. Elle ne doit pas comporter de points bas risquant d'accumuler les eaux de condensation du gaz.
- e) le dispositif de mesurage de la pression doit être suffisamment sensible, précis et fidèle. Dans le cas d'emploi d'un manomètre à liquide tampon, la densité de ce liquide aux différentes températures doit être éventuellement prise en compte, le constructeur devant indiquer la valeur des erreurs encourues.

#### 7.2.2.3 EREGISTREUR

L'enregistreur doit fournir soit un enregistrement graphique continu de la variation du niveau d'eau, soit un enregistrement des niveaux d'eau par un procédé numérique à des intervalles de temps judicieusement espacés.

Les résultats enregistrés dépendront directement des variations du niveau d'eau. Si d'autres phénomènes les affectent (amortissement du puits de mesurage du limnigraphe à flotteur, influence de la perte de charge due au débit de gaz ou de la densité du liquide tampon du manomètre, dans un limnigraphe pneumatique) l'utilisateur doit en connaître les effets, afin de pouvoir, si nécessaire, effectuer les corrections.

Dans le cas d'un limnigraphe donnant un relevé graphique, la feuille d'enregistrement doit être parfaitement placée sur le tambour. Les échelles choisies pour les temps et les niveaux seront fonction des caractéristiques de la rivière et elles doivent permettre des lectures suffisamment précises pour traduire les différentes phases de l'hydrogramme.

Toute liaison mécanique entre les organes du limnigraphe doit être aussi courte et aussi directe que possible et il ne doit y avoir aucun contact entre une partie mobile quelconque du mécanisme et une partie fixe du châssis.

Le mécanisme d'horlogerie doit permettre de donner le temps avec une bonne fidélité.

L'enregistreur doit être soustrait aux risques d'inondation et protégé des éléments et des interventions de personnes non qualifiées.

Des précautions doivent être prises contre d'éventuelles erreurs des enregistrements dues à

- a) un retard du style par rapport au déplacement du flotteur;
- b) une modification de l'immersion du flotteur dans l'eau;
- c) une immersion du contrepoids et du câble du flotteur.

### 7.3 Procédé de lecture des limnimètres

Le limnimètre doit être lu à partir d'un emplacement qui permette d'éviter les erreurs du parallaxe. Le limnimètre doit être observé sans discontinuité pendant une durée minimale de 2 min ou pendant la durée d'une oscillation complète, suivant que l'une ou l'autre de ces durées est plus longue, et les lectures maximale et minimale seront relevées pour en faire la moyenne.

## 8 VÉRIFICATION DE LA STATION – PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

Après l'installation d'une station de jaugeage, il doit être procédé à une vérification définitive.

La vérification définitive doit comprendre la détermination précise des hauteurs et des positions relatives des limnimètres de référence et du zéro des échelles, la vérification des conduits d'admission ou des chenaux, de la base du puits dans le cas d'un limnigraphe à flotteur, de la fixation de la prise de pression, des étanchéités de la tuyauterie de gaz et de tous les organes sous pression, dans le cas d'un limnigraphe pneumatique, des jalons de section transversale et de tous autres points clés ou particularités importantes de l'emplacement.

Une vérification périodique, au minimum une fois par an et à l'occasion de tout déplacement du limnimètre, doit également être effectuée en ce qui concerne les hauteurs et les positions relatives déterminées au moment de la vérification définitive.

## 9 ÉTALONNAGE DE LA STATION

### 9.1 Généralités

Le but d'une station de jaugeage est de permettre de connaître le débit d'une rivière ou d'un canal découvert. Dès que l'on dispose de la courbe hauteur-débit, le débit sera connu par lecture du limnimètre ou du limnigraphe. Les opérations nécessaires pour obtenir cette relation sont dites «étalonnage de la station».

#### 9.1.1 Mesurage du débit pour l'étalonnage

Le débit doit être mesuré conformément aux Normes Internationales y relatives<sup>1)</sup>. Les écarts peuvent également être déterminés à partir de ces Normes Internationales.

La prospection de l'emplacement doit être conduite de manière plus détaillée que s'il ne s'agissait que de simples mesures de débit. Une attention particulière doit être apportée à l'éventualité de variations du lit du chenal pouvant affecter la courbe hauteur-débit.

### NOTES

1 Très peu de rivières ont des caractéristiques qui sont parfaitement stables. Pour cela, l'étalonnage ne peut donc être établi une fois pour toutes, mais il doit être répété à des intervalles dépendant de l'importance des variations de la courbe hauteur-débit. Il est recommandé d'effectuer les mesurages aussi souvent que possible aux niveaux les moins fréquemment atteints.

2 Dans le cas d'une rivière instable, la relation hauteur-débit varie plus souvent, surtout après les crues. Les mesurages du débit doivent donc être faits à des intervalles plus rapprochés pendant ces périodes.

#### 9.1.2 Déversoirs à échancrure, déversoirs et canaux jaugeurs

Dans le cas de déversoirs à échancrure, de déversoirs et de canaux jaugeurs, les opérations prescrites ci-dessus ne sont normalement pas nécessaires car la relation hauteur-débit peut avoir été déterminée par des essais de laboratoire.

Cependant, leurs conditions de fonctionnement doivent être contrôlées de temps en temps

- a) par des mesurages du débit, afin de s'assurer que l'étalonnage supposé est applicable et qu'ils rendent réellement compte de tout le débit passant par la section;
- b) par des mesurages directs des dimensions afin de contrôler la stabilité.

### 9.2 Établissement de la courbe hauteur-débit et de la table d'étalonnage

#### 9.2.1 Station de jaugeage simple

##### 9.2.1.1 COURBE HAUTEUR-DÉBIT – CHENAUX STABLES

Les débits doivent figurer en abscisses et les hauteurs correspondantes en ordonnées et la courbe hauteur-débit doit être tracée régulièrement en reliant les points obtenus. La hauteur inscrite sur le graphique doit être la hauteur moyenne correspondant à la période de mesurage du débit.

La courbe doit être construite à partir d'un nombre suffisant de mesures convenablement réparties sur toute la gamme des niveaux, chacune étant obtenue de préférence à un niveau stable. Le nombre de mesures nécessaires pour construire la courbe dépend de la gamme à considérer, de la forme de la courbe hauteur-débit et de la précision souhaitée (voir A.5.3 de l'Annexe A).

Les mesures doivent être plus rapprochées dans la partie basse de la courbe et le tracé de la courbe doit être vérifié par l'une des méthodes décrites dans l'Annexe A. Quand les mesurages obtenus sont à niveaux montants et descendants, ils doivent être affectés de symboles appropriés et il doit y

1) Voir ISO 555, ISO 748 et ISO 1438.

avoir à peu près le même nombre de chacun d'eux à des niveaux correspondants, de façon à permettre le tracé d'une courbe moyenne convenable.

Afin d'avoir au moins une mesure à la pointe de la crue ou à proximité de cette pointe, il est souhaitable d'accroître la fréquence de mesurage lorsque la pente de l'hydrogramme s'atténue de façon caractérisée à la pointe ou à proximité de cette pointe.

### 9.2.1.2 COURBE HAUTEUR-DÉBIT - CHENAUX INSTABLES

Dans le cas de chenaux instables, la relation hauteur-débit ne demeure pas stable et de fréquentes modifications du «contrôle hydraulique» se produisent pendant et après les périodes de crues. De même dans le cas de chenaux instables, les relations hauteur-débit particulières qui prévalent pendant les différentes périodes peuvent être utilisées pour estimer les débits à partir des niveaux enregistrés durant les périodes pour lesquelles aucune mesure de débit n'est disponible. Les débits pendant l'année hydraulique doivent être portés en abscisses et les niveaux correspondants en ordonnées; chaque point doit être indiqué par ordre chronologique. La position des points doit être examinée pour déceler des variations du contrôle hydraulique, en fonction de leur ordre chronologique. Des courbes régulières doivent être tracées séparément pour chaque période ne comportant aucune variation du contrôle hydraulique. C'est ainsi que l'on peut avoir plus d'une courbe pour les périodes de crue et de décrue de la même année hydraulique, ceci pour un chenal instable affecté par des envasements et par des affouillements.

### 9.2.1.3 MÉTHODES DE CONTRÔLE DES COURBES HAUTEUR-DÉBIT

Les courbes doivent toujours exprimer objectivement la relation hauteur-débit et l'on doit donc contrôler l'absence d'erreurs systématiques et la validité de l'ajustement durant les périodes comprises entre les variations du contrôle hydraulique, ainsi que les variations de ce contrôle. Les méthodes pour déceler les variations du contrôle hydraulique des courbes hauteur-débit, résultant soit de transformations physiques des caractéristiques du chenal, soit de changements fortuits au cours du temps, ont été également indiquées en A.5.8 de l'Annexe A.

Pour les chenaux stables, lorsque le contrôle hydraulique est uniforme et demeure inchangé, il est possible d'établir une courbe mathématique. Celle-ci peut être tracée comme indiqué en A.5.10 de l'annexe A. Mais le plus fréquemment, même pour les chenaux stables, lorsque la courbe a été tracée à l'estime, par exemple, lorsque la section n'est pas uniforme, les essais décrits pour les chenaux instables deviennent également nécessaires.

Dans le cas de chenaux naturels instables, on procède à des contrôles variés aux différents niveaux de différentes années, de sorte que non seulement les courbes relatives aux crues et aux décrues sont différentes les unes des autres et d'une année à l'autre, mais elles présentent encore des inflexions et des discontinuités résultant des variations du contrôle hydraulique correspondant à un même niveau. Le travail démesuré impliqué par l'établissement de courbes complexes de degré élevé interdit pratiquement leur utilisation. Les courbes de crue et de décrue les mieux établies sont donc tracées à l'estime et doivent, par conséquent, être vérifiées au point de vue de l'absence de

déviations et de l'exactitude du tracé, et ceci séparément pour chaque portion de courbe entre les variations du contrôle hydraulique.

Pour l'absence de déviation, il y a deux épreuves. Dans l'une, on vérifie si la courbe satisfait cette exigence de base qu'un nombre sensiblement égal de points doivent être situés au-dessus et au-dessous de toute courbe sans déviation, de sorte qu'il n'y ait plus d'écarts que ceux dus à des variations fortuites (Épreuve 1, A.5.6.1). Dans l'autre épreuve, on vérifie la condition que la somme algébrique des écarts en pourcentage entre les débits observés et la courbe sans déviation ne soit pas significativement différente de 0 en comparant la moyenne des écarts en pourcentage avec l'erreur-type (Épreuve 3, A.5.6.3).

Pour l'exactitude du tracé, l'épreuve consiste à vérifier qu'un changement de signe des écarts (c'est-à-dire la valeur observée moins celle donnée par la courbe) est aussi vraisemblable qu'un non changement de signe. Cette épreuve permet également de déceler les variations du contrôle hydraulique pour différents niveaux (Épreuve 2, A.5.6.2).

Les épreuves indiquées ci-dessus sont décrites en détail en A.5.6 de l'Annexe A avec des exemples expliquant leur application.

### 9.2.1.4 TABLE D'ÉTALONNAGE

Une table d'étalonnage doit être établie à partir de la courbe hauteur-débit, ou de son équation, de manière à indiquer, dans l'ordre croissant, les hauteurs et les débits correspondants; leur nombre est fonction de la précision souhaitée.

## 9.2.2 Stations de jaugeage doubles

### 9.2.2.1 COURBE HAUTEUR-DÉBIT

L'installation d'une station de jaugeage simple est impossible dans tous les cas où l'écoulement dans le bief est fonction de conditions existant dans un autre bief (amont ou aval), que l'écoulement y varie sous l'effet de causes naturelles (élévation du niveau de l'eau d'un affluent, obstruction, etc.) ou sous l'effet de causes artificielles (barrage de navigation à vannes mobiles, installations hydro-électriques, etc.). Il est toutefois possible d'obtenir une mesure du débit au moyen de deux limnimètres placés dans le même bief par la méthode de la pente de la ligne d'eau. Pour toute paire de valeurs des niveaux,  $z_0$  et  $z_1$ , lues sur chacune des échelles, il n'existe qu'une seule valeur de débit  $Q$  correspondante, à condition qu'entre-temps la topographie et la rugosité du lit n'aient pas varié dans ce même bief, entre les échelles.

Le report des mesures hauteur-débit, avec la valeur de la dénivellation correspondant à chaque mesure, indique si le rapport est modifié par la variation de la pente pour tous les niveaux ou s'il est seulement modifié lorsque la dénivellation descend au-dessous d'une valeur déterminée. En l'absence de tout contrôle hydraulique, le débit est fonction, à chaque instant, de la dénivellation, et la correction est effectuée comme indiqué dans la méthode de dénivellation constante définie dans l'Annexe C. Quand le débit n'est modifié que pour des dénivellations inférieures à une valeur déterminée, on applique la méthode de la dénivellation normale qui est aussi donnée dans l'Annexe C.

### 9.2.2.2 TABLE D'ÉTALONNAGE

La complexité de la relation ne permet pas, en général, de s'en servir facilement pour dresser une table d'étalonnage et l'on recommande de déduire les valeurs des graphiques correspondants.

### 9.3 Vérification de la relation hauteur-débit

Si l'on se conforme aux prescriptions de A.5.1, il n'est pas nécessaire de procéder à une vérification effective. Dès que l'on dispose, après une ou plusieurs années, d'un nombre suffisant de mesures pour toute la gamme des débits, on trace la courbe. En utilisant à nouveau le procédé, il sera possible, après une certaine période, de tracer une nouvelle courbe. Lorsqu'une variation est décelée, par ce moyen, dans un chenal instable, on trace une nouvelle courbe qui sert de référence pour la période précédant la détection d'une autre variation. Chaque courbe est la courbe d'étalonnage qui sert de référence durant la période de mesurage suivante. En comparant les courbes successives et en notant les variations il est possible de déterminer, pour l'avenir, la fréquence des mesurages à faire et les périodes durant lesquelles une certaine courbe hauteur-débit peut être considérée comme valable.

Dans les cas où l'on ne peut obtenir les mesures régulières requises pour l'application de la méthode ci-dessus, la méthode de vérification suivante est recommandée. La courbe de la relation hauteur-débit doit être vérifiée au moyen de mesurages de débit effectués de temps en temps à bas niveau et à niveau moyen ou haut, et toujours pendant et après les crues importantes. Si l'on observe une différence importante avec la courbe hauteur-débit établie précédemment, de nouveaux contrôles doivent être effectués. Si la différence se confirme, un nombre suffisant de mesurages de débit doivent être effectués pour déterminer la zone dans laquelle la relation hauteur-débit s'est modifiée et une nouvelle courbe hauteur-débit doit être tracée.

Si une variation particulière de la courbe hauteur-débit peut être imputée à un incident déterminé dans la vie de la station, la nouvelle courbe doit être considérée comme devant être d'application à partir de la date de cet incident.

Les méthodes de contrôle de la comptabilité des jaugeages sont décrites dans l'Annexe A.

Pour les chenaux instables, une nouvelle série de mesurages du débit doit être réalisée chaque année et de nouvelles courbes doivent être tracées, correspondant aux périodes où le contrôle hydraulique ne varie pas.

## 10 FONCTIONNEMENT DE LA STATION DE JAUGEAGE ET REGROUPEMENT DES RÉSULTATS

### 10.1 Fonctionnement de la station de jaugeage

Des précautions doivent être prises pour s'assurer que la station soit maintenue, à tout moment, en état de bon fonctionnement. Tous les instruments doivent être en état de marche et conformes à leurs normes respectives; ils doivent être étalonnés soigneusement et régulièrement.

### 10.2 Regroupement des résultats

Les mesures enregistrées doivent être regroupées régulièrement.

Quand le niveau de l'eau varie au cours d'une journée, le débit peut être évalué à partir d'un nombre suffisant de points en vue de permettre le calcul des débits moyens journaliers. Quand la différence des débits instantanés correspondant aux niveaux supérieur et inférieur d'une journée, divisé par le plus faible débit instantané du même jour, dépasse 20 %, un graphique du débit doit être tracé. Les ordonnées relevées suffiront à déterminer les caractéristiques du débit de la journée. Le volume total du débit doit être donné, pour la journée, par l'aire sous la courbe et la valeur moyenne du débit s'obtiendra en divisant le volume total par le temps.

Les valeurs obtenues par extrapolation de la courbe hauteur-débit doivent être indiquées par la lettre «e» et les limites au-delà desquelles l'extrapolation a eu lieu doivent être définies et indiquées dans une note appropriée qui doit accompagner les données. Les débits, déterminés par interpolation dans le cas d'une défaillance du limnigraphe ou d'une absence des lectures de l'observateur, doivent être indiqués par la lettre «i».

La précision (nombre de décimales) des chiffres fournis ne doit jamais dépasser la précision avec laquelle ils ont été déterminés. La journée d'enregistrement doit s'étendre à partir d'un instant donné, dans la matinée d'un jour, jusqu'au même instant du jour suivant; les valeurs mesurées pendant cette période doivent être attribuées au jour du début d'enregistrement.

### 10.3 Extrapolation de la courbe hauteur-débit

On doit éviter d'extrapoler la courbe hauteur-débit. Que l'extrapolation soit permise pour un cas particulier, et dans quelle mesure, dépend de l'exactitude de la courbe (nombre de mesurages, dispersion naturelle) et des caractéristiques du chenal (voir chapitre A.6 de l'Annexe A).

## 11 ERREURS DE MESURAGE ET VALIDITÉ DE LA COURBE HAUTEUR-DÉBIT

La courbe hauteur-débit obtenue par les observations donne la relation moyenne entre la hauteur et le débit. La courbe hauteur-débit idéale pourrait être obtenue si les mesurages étaient effectués sans erreurs et si le contrôle restait constant. Tous les points seraient alors exactement sur la courbe. Comme ces conditions idéales ne peuvent être obtenues en pratique, il y aura des écarts de mesures par rapport à la courbe. Ces écarts des débits mesurés par rapport à la courbe donnent, dans les limites de validité de la courbe, une estimation de l'erreur provenant des mesurages. La validité de la courbe moyenne et celle des écarts des débits mesurés par rapport aux débits estimés à partir de la courbe, peuvent généralement être évaluées selon l'une ou plusieurs des méthodes indiquées dans les paragraphes suivants : «Écart-type sur la moyenne (courbe hauteur-débit)», «Limites d'acceptation des mesures» et «Limites de confiance de la courbe hauteur-débit moyenne».

### 11.1 Erreur-type sur la courbe hauteur-débit

Parmi les points qui ont servi à définir la courbe hauteur-débit, il est nécessaire d'en choisir la totalité, ou un certain nombre, bien répartis le long de la courbe. Pour les mesures relatives à de petits intervalles de niveau autour des points pris comme valeur centrale, il faut calculer l'écart-type  $s_D$  par rapport à la courbe (c'est-à-dire la racine carrée de la moyenne des carrés des écarts des points expérimentaux par rapport à la courbe). Les intervalles doivent être choisis de façon que

- il y ait un nombre suffisant de mesures dans chaque intervalle;
- l'erreur de mesurage, dans chaque intervalle, puisse être considérée comme indépendante du débit.

L'erreur-type de la moyenne (courbe hauteur-débit) est

$$s_E = \frac{s_D}{\sqrt{m}} \quad \dots (1)$$

où

$m$  est le nombre de mesures utilisées pour déterminer la courbe hauteur-débit;

$s_D$  est l'écart-type.

L'erreur-type  $s_E$  est généralement exprimée en pourcentage du débit estimé à partir de la courbe hauteur-débit. Il convient de noter que l'erreur-type est obtenue seulement pour l'intervalle où le contrôle hydraulique reste invariant.

Si l'écart-type  $s_D$  ne peut être calculé en raison de l'insuffisance de nombre de mesures, la valeur de  $s_D$  peut être prise égale à  $X_Q$ , c'est-à-dire à l'erreur-type en pourcentage sur la mesure de débit seul, conformément à ISO 748.

NOTE – Tous les calculs d'écarts-types s'appliquent rigoureusement, à condition de faire en sorte que les erreurs systématiques résultent du hasard, en changeant aussi souvent que possible d'instruments de mesurage et en changeant l'observateur.

### 11.2 «Limites d'acceptation» des mesures de hauteur-débit

Deux courbes, de part et d'autre de la courbe hauteur-débit, à une distance de deux fois la valeur de l'écart-type, sont appelées «courbes de contrôle» et définissent les *limites d'acceptation à 95 %* des débits pour les niveaux correspondants.

En moyenne, pour dix-neuf mesures sur vingt, les résultats doivent rester dans ces limites.

Tout point très extérieur (soit à plus de trois fois l'écart-type) peut être considéré comme résultant d'une erreur de mesurage, sauf si plusieurs points consécutifs, soit chronologiquement, soit pour une même gamme de

niveaux, apparaissent être du même côté de l'une des limites. Lorsque cela se produit, une modification de la courbe hauteur-débit est probable, ce qui signifie qu'il faut procéder à un nouvel étalonnage de la station, ou bien qu'une autre courbe hauteur-débit est nécessaire en raison d'une modification du contrôle hydraulique.

Habituellement, les deux conditions imposées pour une estimation correcte de l'écart-type en 11.1 ne sont pas remplies; en effet, il n'y a pas suffisamment de mesures correspondant à de petits intervalles de niveau, et l'on sait que les erreurs varient avec le débit pour une gamme où le contrôle hydraulique est invariant. En conséquence, une évaluation d'ensemble de l'écart-type relatif peut être faite à partir des écarts-types relatifs sur le débit (c'est-à-dire  $\frac{\text{débit mesuré} - \text{débit estimé}}{\text{débit estimé}} \times 100 \%$ ),

en considérant l'ensemble des mesures. A partir de cet écart-type relatif global, la «limite d'acceptation à 95 %» peut être déterminée pour toute la gamme du contrôle hydraulique.

### 11.3 Limites de confiance à 95 % de la moyenne (courbe hauteur-débit)

Lorsque les deux courbes tracées passent par des points situés à la distance correspondant à deux fois l'erreur-type  $s_E$  de la courbe moyenne, (et NON PAS à deux fois l'écart-type sur les mesures), de part et d'autre de la courbe hauteur-débit, l'ensemble des deux courbes s'appelle *limites de confiance à 95 %* de la courbe. L'erreur-type doit être calculée à partir d'un certain nombre de points bien répartis le long de la courbe et l'erreur doit être considérée comme représentative pour la partie correspondante de la courbe hauteur-débit.

Ces limites déterminent la largeur de la bande à l'intérieur de laquelle la courbe vraie a une probabilité de se trouver égale à 95 %.

### 11.4 Autre méthode de détermination des «limites d'acceptation des mesures» et des «limites de confiance de la courbe hauteur-débit»

Une seconde méthode pour déterminer les «limites d'acceptation» pour les débits et les «limites de confiance de la moyenne (courbe hauteur-débit)» consiste à inscrire les données sur papier log-log. Les débits figureront en abscisses et les niveaux en ordonnées (en prenant le niveau  $G_0$  à débit nul comme niveau de référence – voir A.5.10 de l'Annexe A). Les points représentatifs dans une zone ayant le même contrôle hydraulique, sont généralement en ligne droite. Les «limites d'acceptation» basées sur l'écart-type et les «limites de confiance» basées sur l'erreur-type de la moyenne doivent être déduites des distances horizontales des points considérés à cette ligne.

## ANNEXE A

## CONCEPTION, RÉALISATION ET FONCTIONNEMENT D'UNE STATION DE JAUGEAGE

## A.1 PROSPECTION PRÉALABLE

La prospection topographique doit comprendre l'élaboration d'un plan du site où figurent la largeur du plan d'eau pour un niveau donné, les bords des rives naturelles du chenal (des chenaux), le profil de toute discontinuité déterminée de la pente de ces rives, ainsi que la base et la crête de toute digue artificielle. Tous les obstacles du chenal (des chenaux) ou d'un défluent de crue, doivent être indiqués. Une coupe en long du chenal doit être tracée, s'étendant de l'aval d'un point de contrôle, s'il en existe un, jusqu'aux limites amont du bief et indiquant le niveau à l'endroit le plus profond du lit et les pentes de la ligne d'eau aux niveaux bas et haut. Les sections transversales doivent être étudiées dans le bief envisagé pour les mesurages, ou à la section envisagée pour les mesurages, ainsi qu'en amont et en aval de cette section. Au moins cinq sections transversales doivent être prises dans le bief de mesurage, ou deux sections en amont de la section de mesurage et autant en aval de ce point, recouvrant au moins une fois la largeur du chenal, de rive à rive, dans chaque direction. La section de contrôle doit être définie, partout où cela est possible, par le relevé d'un quadrillage serré de niveaux topographiques sur la surface ou par un nombre suffisant de sections transversales. Toutes les sections transversales doivent être prises perpendiculairement à la direction du courant et doivent atteindre, de part et d'autre du lit majeur, une hauteur très supérieure au niveau d'eau qu'on présume le plus élevé. L'espacement des relevés de niveau ou des sondages doit être suffisamment serré pour relever toute modification brusque du profil du chenal. Le lit doit être soigneusement examiné pour déceler la présence de rochers ou de gros galets entre les sections transversales, en particulier dans le voisinage de la section de mesurages.

Là où les vitesses doivent être mesurées au moyen d'un moulinet, on doit procéder à des mesurages de vitesse pour explorer la section envisagée pour les mesurages et les sections transversales situées immédiatement en amont et en aval. Lorsque cela est possible, la méthode de distribution des vitesses doit être utilisée pour ces mesurages. Lorsque des flotteurs doivent être utilisés pour les mesurages de vitesse, des parcours d'essais de flotteurs doivent être effectués de façon rapprochée à travers la largeur du chenal, afin de s'assurer qu'il n'existe aucune anomalie dans le courant. Ces mesures doivent être répétées pour plus d'une valeur du débit.

## A.2 CONCEPTION DE LA STATION

La conception de la station doit être basée sur les caractéristiques révélées au cours de la reconnaissance préalable.

La section de contrôle qui détermine les niveaux d'eau pour de faibles débits à l'endroit du point de jaugeage doit être située à l'extrémité aval du bief de mesurage, et la section transversale utilisée la plus proche du contrôle hydraulique (c'est-à-dire la section de mesurage dans le cas de mesurage par moulinet ou la dernière section dans le cas de toute autre méthode) doit en être suffisamment éloignée pour éviter toute distorsion de l'écoulement qui pourrait se produire dans ce voisinage, mais suffisamment près pour que l'on soit assuré qu'une variation de la relation hauteur-débit ne sera pas introduite sous l'effet du vent ou d'herbes poussant dans le chenal.

Les débits plus importants sont généralement régis par les caractéristiques générales du chenal à une très grande distance en aval.

Le limnimètre de référence et le limnigraphe doivent être situés aussi près que possible de la section de mesurage dans le cas d'une station à moulinets ou à proximité du milieu du bief de mesurage dans le cas de toute autre méthode de mesurage.

Les importantes exigences indiquées comme indispensables à un emplacement de jaugeage convenable doivent naturellement être satisfaites, par exemple : une longueur suffisante d'un chenal assez droit et régulier sans courant de retour anormal. Si d'autres caractéristiques souhaitables n'existent pas, les conditions peuvent être améliorées dans une certaine mesure par un travail de rectification.

La perte d'eau par débordement du chenal principal peut être évitée par la construction de digues pour maintenir l'écoulement dans un lit déterminé. Toutefois, cela n'est possible que pour de petits chenaux.

Il est recommandé de protéger les rives instables et une telle protection doit, dans le cas de sections de mesurage par moulinet, s'étendre en amont et en aval de la section, à une distance au moins égale au quart de la largeur du chenal de rive à rive dans chaque direction, ou, dans le cas de mesurage par flotteur, sur toute la distance du bief de mesurage.