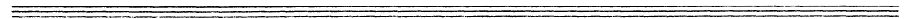


NORME  
INTERNATIONALE

ISO  
1070

Deuxième édition  
1992-06-15



**Mesure de débit des liquides dans les canaux  
découverts — Méthode de la pente de la ligne  
d'eau**

**iTeh STANDARD PREVIEW**

**(standards.iteh.ai)** *Liquid flow measurement in open channels -- Slope-area method*

ISO 1070:1992

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9da816ee-cc30-4a6a-8f09-a9f1c3c26f17/iso-1070-1992>



Numéro de référence  
ISO 1070:1992(F)

## 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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 1070 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*, sous-comité SC 1, *Méthodes d'exploration du champ des vitesses*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 1070:1973), dont elle constitue une révision technique.

Les annexes A et B de la présente Norme internationale sont données uniquement à titre d'information.

© ISO 1992

Droits de reproduction réservés. 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation  
Case Postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

# Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthode de la pente de la ligne d'eau

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale prescrit une méthode permettant de déterminer le débit des liquides dans les canaux découverts à partir d'observations de la pente de la ligne d'eau et de l'aire de la section mouillée du chenal. Cette méthode est utilisée dans des conditions plus ou moins particulières, lorsque la mesure directe de débit par des méthodes plus précises, comme celle de l'exploration du champ des vitesses, n'est pas possible.

La méthode de la pente de la ligne d'eau peut être utilisée avec une exactitude acceptable dans les canaux découverts dont les berges et le lit sont stables (formés, par exemple, par des rochers ou de l'argile cohésive) ou pourvus d'un revêtement, et dans les canaux découverts dont le lit est en matériaux assez grossiers. Elle peut également être utilisée dans des chenaux alluviaux, y compris des chenaux avec écoulement dans le lit majeur ou avec des sections qui ne sont pas uniformes, sous réserve d'accepter les grandes incertitudes provenant du choix de la valeur du coefficient de rugosité (tel que le coefficient de Manning  $n$  ou le coefficient de Chézy  $C$ ).

En général, la méthode peut être utilisée pour déterminer le débit

- a) au moment de la détermination des niveaux à partir d'une série de limnimètres;
- b) pour un débit de pointe qui a laissé des délaisés de crue sur une série de limnimètres ou là où les hauteurs de pointe ont été enregistrées par une série de limnimètres;
- c) pour un débit de pointe qui a laissé des délaisés de crue le long des rives du cours d'eau.

Toutefois, il convient de ne pas utiliser cette méthode dans les chenaux très larges ou à très faible

pente et d'une forte concentration en sédiments ou encore dans les chenaux avec des courbures significatives.

Bien que l'exactitude des résultats obtenus par mesurage de la pente de la ligne d'eau soit moindre que celle des résultats obtenus par la méthode d'exploration du champ des vitesses, il est parfois nécessaire d'utiliser la méthode de la pente de la ligne d'eau pour définir l'extrémité supérieure des courbes de tarage, dans les cas où l'importance des crues est telle qu'on ne peut utiliser d'autres méthodes de mesurage du débit.

## 2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 772:1988, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Vocabulaire et symboles.*

ISO 1100-2:1982, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Partie 2: Détermination de la relation hauteur-débit.*

ISO 4373:1979, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Appareils de mesure du niveau de l'eau.*

ISO 5168:1978, *Mesure de débit des fluides — Calcul de l'erreur limite sur une mesure de débit.*

### 3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions données dans l'ISO 772 s'appliquent.

### 4 Principe de la méthode de mesurage

Choisir un bief de mesurage dans lequel seront déterminées l'aire moyenne de la section mouillée et la pente de la ligne d'eau. Déterminer alors la vitesse moyenne grâce à des formules empiriques connues qui relient la vitesse au rayon hydraulique, et corriger la pente de la ligne d'eau pour tenir compte de l'énergie cinétique de l'écoulement et des caractéristiques du lit et des matériaux du lit. Calculer ensuite le débit comme le produit de la vitesse moyenne par l'aire moyenne de la section mouillée.

### 5 Choix et délimitation de l'emplacement

#### 5.1 Reconnaissance préalable de l'emplacement

Il est souhaitable de mesurer approximativement, au cours d'une reconnaissance préalable, la largeur, la profondeur et la pente de la ligne d'eau, de manière à vérifier que l'emplacement répond aussi bien que possible aux conditions indiquées en 5.2 et 5.3. Ces mesurages ne sont faits qu'à titre d'indication.

#### 5.2 Choix de l'emplacement

**5.2.1** La rivière ne doit pas avoir de tendance progressive à affouiller ou à déposer des sédiments.

**5.2.2** Autant que possible le bief doit être droit et ne doit pas contenir de courbures significatives ni de méandres. Le lit ne doit pas présenter, dans le bief de mesurage, de changements de pente abrupts comme cela peut se produire dans les chenaux à lit rocheux. La section transversale doit être uniforme et libre d'obstacles dans tout le bief. Il est préférable que la végétation soit réduite au minimum et répartie aussi uniformément que possible le long du bief.

**5.2.3** Le matériau du lit doit être de la même nature tout le long du bief.

**5.2.4** Partout où c'est possible, la longueur du bief doit être telle que la différence entre les niveaux d'eau aux limnimètres amont et aval soit au moins dix fois l'incertitude sur cette différence. Lorsque l'incertitude sur la mesure du niveau d'eau à cha-

que limnimètre est la même, la distance entre les limnimètres doit être suffisante pour que la dénivellation soit au moins vingt fois l'incertitude sur la mesure du niveau d'eau sur un limnimètre.

**5.2.5** L'écoulement dans le bief doit être exempt de perturbations notables dues à des affluents.

**5.2.6** L'écoulement dans le chenal doit rester dans des limites déterminées. Dans la mesure du possible, il faut éviter les biefs où existent des écoulements dans le lit majeur. Si cela est inévitable, on doit rechercher un bief où ne se produisent pas des écoulements très peu profonds à travers la plaine inondable. Des calculs supplémentaires seront néanmoins nécessaires pour déterminer le débit.

**5.2.7** Il ne doit pas se produire dans le bief de transitions du régime fluvial au régime torrentiel ou inversement (mais voir 10.6).

**5.2.8** Il vaut mieux choisir un bief convergent qu'un bief divergent et éviter les biefs présentant des élargissements trop rapides (voir 10.4).

**5.2.9** Les caractéristiques physiques du bief doivent être telles que le temps de propagation de l'écoulement dans le bief puisse être négligeable.

#### 5.3 Démarcation de l'emplacement

Une fois l'emplacement choisi, des sections transversales normales à l'écoulement doivent être définies et repérées sur les deux rives par des marquages visibles et facilement identifiables (voir aussi 9.1). Un limnimètre de référence lié à un système de nivellement normalisé doit y être fixé (voir 6.1).

L'emplacement doit être surveillé pour qu'il ne se produise pas de changements de nature physique qui le rendraient non conforme aux prescriptions ci-dessus. En cas de modification ne permettant pas de remettre le site en l'état, un nouvel emplacement doit être choisi.

### 6 Dispositifs pour le mesurage de la pente

#### 6.1 Limnimètre de référence

Le limnimètre de référence doit, si possible, être situé dans un puits et être de préférence à échelle verticale plutôt qu'à échelle inclinée. Le limnimètre à échelle verticale (ou le limnimètre à échelle inclinée) doit être conforme à l'ISO 4373. Les repères doivent être nets et précis et couvrir l'étendue des niveaux à mesurer.

Le limnimètre de référence doit être solidement fixé, dans le cours d'eau, à un support stable et rigide, et être relié à un repère de nivellement fixe ayant fait l'objet d'un relevé topographique précis par rapport au système national ou à un autre système normalisé.

## 6.2 Limnigraphe

Les limnigraphes (s'ils sont utilisés) doivent être conformes à l'ISO 4373.

## 6.3 Limnimètre à niveau maximal

Un limnimètre à niveau maximal convient lorsque l'on cherche seulement à déterminer le niveau maximal atteint au cours d'une crue. Les débits de pointe peuvent être calculés à partir de deux ou plusieurs limnimètres disposés dans un bief du cours d'eau à des emplacements permettant de définir les profils de section.

## 6.4 Délaiés de crue

La hauteur et la pente des débits de crue peuvent être déterminées à partir des délaissés de crue disséminés dans le bief de mesurage. Plusieurs types de repères existent: éboulis des rives, ligne de décapage, arrachement de végétation sur les arbres, traces de boue, échouage d'arbres ou de buissons. Une note d'évaluation doit être donnée à ces repères: excellent, bien, assez bien, ou médiocre. Cette information sera utile pour interpréter le profil et la pente de la ligne des hautes eaux.

## 7 Installation des limnimètres et relevé des observations

### 7.1 Installation

Les limnimètres doivent être installés en trois sections, au moins, sur chacune des rives, soit un total de six limnimètres au moins. Les limnimètres doivent être rattachés à un système de nivellement commun.

### 7.2 Relevé des observations

Les lectures sur les échelles doivent être faites en évitant les erreurs de parallaxe. Pour chaque mesurage, le limnimètre doit être observé en permanence, pendant 2 min au moins ou pendant une période complète d'oscillation si celle-ci dépasse 2 min; les lectures maximale et minimale doivent être relevées et leur moyenne calculée.

Lorsque des limnigraphes sont utilisés, un observateur doit vérifier l'heure indiquée sur chaque

limnigraphe avec celle d'une horloge précise avant et après la période de mesurage, et aussi durant la période de mesurage. Les appareils doivent être relevés aussi fréquemment que possible pour noter les changements significatifs du niveau intervenant pendant toute la période de mesurage.

## 7.3 Autres observations

La date, l'heure, les conditions météorologiques (spécialement la vitesse et la direction du vent), la direction de l'écoulement et l'état de la végétation au moment du mesurage doivent être notés.

## 8 Détermination de la pente de la ligne d'eau

### 8.1 Détermination de la pente de la ligne d'eau à partir des relevés des limnimètres

La pente de la ligne d'eau est calculée à partir des relevés des limnimètres aux deux extrémités du bief, le(s) limnimètre(s) intermédiaire(s) étant utilisé(s) pour contrôler si la pente est égale tout le long du bief. Les limnimètres doivent être lus à la plus petite division de l'échelle.

### 8.2 Détermination de la pente de la ligne d'eau à partir des délaissés de crue

Si l'on ne dispose pas de limnimètres précis ou s'ils ont été mis hors d'usage, une évaluation de la pente au moment du niveau maximal peut être obtenue par les délaissés de crue restés sur les rives. Plusieurs repères fiables de délaissés de crue doivent être utilisés sur chaque rive pour définir le profil de l'écoulement. Chaque repère doit être défini par sa position sur un profil en long et les repères devront être reliés par une courbe donnant une représentation visuelle du profil des hautes eaux. Un tel tracé permet de distinguer facilement les irrégularités de profil, ce qui aidera à l'interprétation du profil des hautes eaux et de la pente de la ligne d'eau.

## 9 Sections mouillées

### 9.1 Nombre de sections

Dans le bief de mesurage choisi, il est souhaitable d'utiliser au moins trois sections, qui doivent être nettement repérées sur les rives par des piliers de maçonnerie ou des marques faciles à identifier. Les sections mouillées doivent être numérotées comme suit: 1 pour la section la plus amont, 2 pour la suivante et ainsi de suite.

**9.2 Mesurage des sections**

Un mesurage de l'aire de chacune des sections choisies doit être fait pour chaque estimation de débit, au moment où les limnimètres sont relevés ou le plus près possible de ce moment. Il est souvent impossible de mesurer la section pendant la crue, et par conséquent, une erreur peut être introduite, provenant d'une modification non observée et temporaire de la section. Cependant, si la section est stable, il suffira de déterminer les sections mouillées avant et après les crues. Trois profils de section doivent être observés avant et après la crue, s'il existe une différence de vitesses aux deux extrémités du bief.

Si, pour une raison quelconque, il n'est pas possible de mesurer plus d'une section, seule celle du milieu sera retenue.

**10 Calcul du débit pour des sections non uniformes et composites**

Le débit d'un cours d'eau dans un bief donné doit être calculé par la formule suivante:

$$Q = KS^{1/2}$$

où

- $Q$  est le débit;
- $K$  est la débitance;
- $S$  est la pente.

**10.1 Calcul de la débitance**

**10.1.1 Section non uniforme**

Lorsque le bief présente un chenal unique mais de section non uniforme entre les sections 1 et 2 (le bief peut être convergent ou légèrement divergent), il faut calculer la débitance des sections amont  $K_1$  et aval  $K_2$ , respectivement. La débitance moyenne du bief sera alors la moyenne géométrique des deux valeurs, c'est-à-dire

$$K = (K_1 \times K_2)^{1/2} \dots (2)$$

où

$K_1$  est la débitance de la section amont (section 1)

$$K_1 = \frac{1}{n_1} A_1 R_{h1}^{2/3}$$

$K_2$  est la débitance de la section aval (section 2)

$$K_2 = \frac{1}{n_2} A_2 R_{h2}^{2/3}$$

$n_1$  et  $n_2$  sont les coefficients de rugosité de Manning aux sections 1 et 2, respectivement;

$A_1$  et  $A_2$  sont les aires des sections mouillées 1 et 2, respectivement;

$R_{h1}$  et  $R_{h2}$  sont les rayons hydrauliques aux sections 1 et 2, respectivement.

**10.1.2 Section composite**

Le lit majeur des rivières a généralement une section mouillée composite comme le montre la figure 1. Il faut donc évaluer la débitance de chaque partie et additionner les résultats pour déterminer la débitance de la section totale, c'est-à-dire

$$K = K_a + K_b + K_c \dots (3)$$

ITeH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)  
ISO 1070:1992  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9da816ee-ce30-4a6a-8f09-a9f1c3c26f17/iso-1070-1992>

$$K_a = \frac{1}{n_a} A_a R_{ha}^{2/3}$$

$$K_b = \frac{1}{n_b} A_b R_{hb}^{2/3}$$

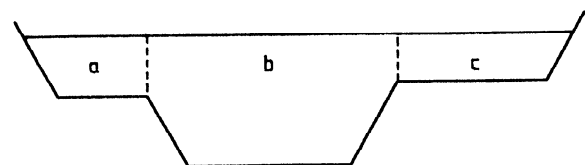
$$K_c = \frac{1}{n_c} A_c R_{hc}^{2/3}$$

$A_a$ ,  $A_b$  et  $A_c$  sont les aires des trois composantes de la section composite;

$R_{ha}$ ,  $R_{hb}$  et  $R_{hc}$  sont les rayons hydrauliques des trois composantes de la section composite;

$n_a$ ,  $n_b$  et  $n_c$  sont les coefficients de rugosité de Manning des trois composantes de la section composite.

Si la forme de la section composite varie entre la section 1 et la section 2, il faut évaluer la débitance dans chacune des deux sections séparément, puis calculer la débitance moyenne de la manière indiquée en 10.1.1.



**Figure 1 — Section composite d'un chenal**



## 10.2 Calcul du rayon hydraulique

Le rayon hydraulique  $R_h$  d'une section est le quotient de l'aire de la section de passage  $A$  par le périmètre mouillé  $P$ :

$$R_h = \frac{A}{P} \quad \dots (4)$$

L'aire de la section de passage, c'est-à-dire l'aire de la section mouillée, et le périmètre mouillé, se calculent comme suit (voir aussi figure 2).

Si  $d_1, d_2, d_3, \dots, d_{n-1}$  sont les profondeurs du chenal mesurées par sondage en différents points de la section, et  $d_0 = d_n = 0$  (voir figure 2), l'aire de la section mouillée peut se calculer comme suit:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n b_i (d_{i-1} + d_i) \quad \dots (5)$$

et le périmètre mouillé peut être calculé comme suit:

$$P = \sum_{i=1}^n \sqrt{b_i^2 + (d_i - d_{i-1})^2} \quad \dots (6)$$

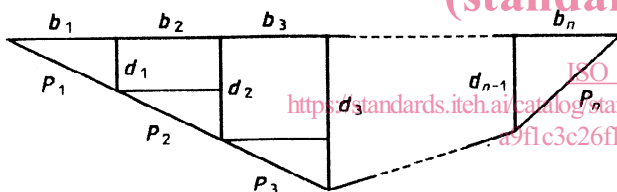


Figure 2 — Section mouillée d'un chenal

## 10.3 Valeurs du coefficient de Manning

Si une valeur raisonnable du coefficient de rugosité de Manning peut être obtenue par extrapolation de mesurages de débit faits dans le bief de mesurage par des méthodes plus précises, on pourra utiliser les valeurs ainsi obtenues, pourvu que des changements de caractéristiques du chenal ne soient pas survenus. Il convient de noter que plus l'extra-

polation des données est importante, moins le résultat obtenu est fiable.

En l'absence de données expérimentales, on pourra admettre les valeurs du tableau A.1 pour les canaux découverts dont le lit, constitué de matériaux relativement grossiers, ne comporte pas d'ondulations. Les valeurs du tableau A.2 sont des ordres de grandeur utilisables dans le cas de canaux découverts dont le lit est constitué de matériaux non grossiers et dans le cas de canaux découverts dont les rives ont de la végétation, sont argileuses, rocheuses, etc. Dans le cas des chenaux alluviaux à lit de sable, il peut se former des ondulations, des dunes, etc. Une estimation approximative des valeurs des coefficients de Manning  $n$  et de Chézy  $C$  peut être faite sur la base de la géométrie de la forme du lit, en appliquant les équations prédictives correspondantes.

## 10.4 Évaluation de la pente de la ligne de charge

La pente de la ligne de charge  $S$  du bief entre les sections 1 et 2 (voir figure 3) peut se calculer d'après la formule

$$S = \frac{(z_1 - z_2) + \left( \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) (1 - K_e)}{L} \quad \dots (7)$$

$z_1 - z_2$  est la dénivellation mesurée;

$\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont les coefficients d'énergie cinétique;

$K_e$  est le coefficient de perte de charge;

$v_1$  et  $v_2$  sont les vitesses moyennes aux sections 1 et 2, respectivement, données dans chaque section par le rapport  $Q/A$ ;

$L$  est la longueur du bief du chenal.

Dans la figure 3, le numérateur de la formule (7) est indiqué par  $h_f$ .

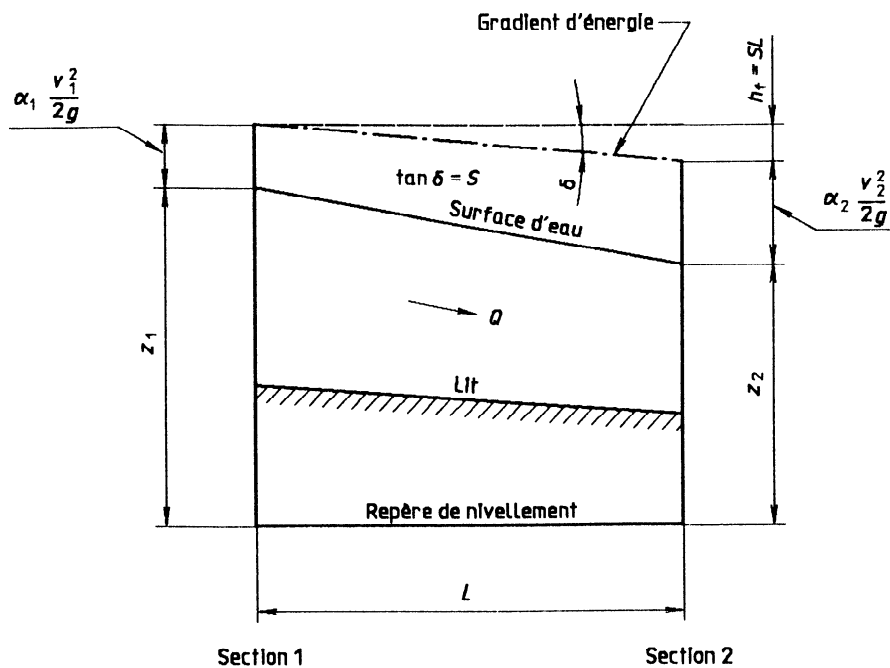


Figure 3 — Section longitudinale d'un bief

iTeh STANDARD PREVIEW

Étant donné le caractère non uniforme de la répartition des vitesses dans une section, la hauteur dynamique d'un écoulement en canal découvert est généralement supérieure à  $v^2/2g$ . Si l'on applique dans le calcul le principe de la conservation de l'énergie, la hauteur dynamique vraie s'exprimera sous la forme  $\alpha v^2/2g$ , où la valeur de  $\alpha$  peut être supérieure à 1 et les valeurs de  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  dans des sections composites peuvent être calculées d'après la formule

$$\alpha_1 \text{ ou } \alpha_2 = \frac{\sum (K_i^3 / A_i^2)}{K^3 / A^2} \quad \dots (8)$$

où

$K$  est la débitance de la section mouillée totale;

$K_i$  est la débitance de la composante  $i$ , où  $i = 1$  à  $n$ ;

$A$  est l'aire de la section mouillée totale;

$A_i$  est l'aire de la composante  $i$ , où  $i = 1$  à  $n$ .

Le coefficient d'énergie cinétique peut aussi se calculer à l'aide de l'équation empirique suivante:

$$\alpha = 1 + 0,88 \left( 0,34 + \frac{1 + \sqrt{g/C}}{2,3 + 0,3C/\sqrt{g}} \right)^2 \quad \dots (9)$$

où  $C$  est le coefficient de Chézy.

La perte de charge due à la contraction ou à l'élargissement du chenal dans le bief de mesure est supposée être égale à la différence des hauteurs dynamiques aux deux sections extrêmes, multipliée par un coefficient  $(1 - K_e)$ . La valeur de  $K_e$  est considérée égale à 0 pour les biefs uniformes ou convergents et à 0,5 pour les biefs divergents. Le coefficient de perte de charge de 0,5 pour les biefs divergents est une valeur approchée et les biefs s'élargissant rapidement doivent être évités lors du choix des emplacements pour les mesurages de la pente de la ligne d'eau.

Dans les biefs convergents, la pente de la ligne de charge pour le calcul du débit est donc donnée par la formule

$$S = \frac{(z_1 - z_2) + \left( \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right)}{L} \quad \dots (10)$$

et dans les biefs divergents, par la formule

$$S = \frac{(z_1 - z_2) + 0,5 \left( \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right)}{L} \quad \dots (11)$$

La pente de la ligne de charge  $S$ , entre deux sections adjacentes, peut être déterminée par approximations successives. D'abord, supposons une valeur pour le débit  $Q$ . Une hypothèse raisonnable peut être faite en utilisant la pente de la surface de l'eau au lieu de la pente de la ligne de charge dans l'équation (1). Ensuite,  $v_1$  et  $v_2$  sont calculées sous forme de  $Q/A_1$  et de  $Q/A_2$  respectivement. Toutes les



autres valeurs dans l'équation (7) sont calculées à partir des propriétés de la section et des cotes de la surface de l'eau aux sections 1 et 2. La pente de la ligne de charge  $S$  est calculée en utilisant l'équation (7). Le débit  $Q$  est calculé en utilisant la valeur de  $S$  calculée et la débitance moyenne géométrique  $K$ . Si cette valeur calculée de  $Q$  correspond à la valeur supposée de  $Q$  dans des limites raisonnables, dans ce cas les valeurs calculées de  $S$  et de  $Q$  sont exactes.

### 10.5 Calcul du débit à partir de trois sections ou plus

Dans les biefs comprenant trois sections de mesure ou plus, il convient de calculer le débit pour chaque paire de sections adjacentes. Ces débits calculés ont des chances d'être différents et il convient donc de définir une moyenne pour satisfaire au principe d'équilibre énergétique dans le bief. On procède généralement par itération. La procédure par itération peut également être remplacée par une équation de calcul. Dans un bief comprenant trois sections, l'équation est la suivante:

$$Q = K_3(z_1 - z_3)^{1/2} \left\{ \frac{K_3}{K_2} \left( \frac{K_3}{K_1} L_{1-2} + L_{2-3} \right) + \frac{K_3^2}{2gA_3^2} \left[ -\alpha_1 \left( \frac{A_3}{A_1} \right)^2 (1 - K_{e1-2}) + \alpha_2 \left( \frac{A_3}{A_2} \right)^2 (K_{e2-3} - K_{e1-2}) + \alpha_3 (1 - K_{e2-3}) \right] \right\}^{-1/2} \quad \dots (12)$$

### 10.6 Régime d'écoulement

Une fois obtenue la valeur finale du débit, la valeur du nombre de Froude  $Fr$  doit être calculée pour chaque section de mesure, de façon à définir le régime d'écoulement:

$$Fr = \frac{\bar{v}}{\sqrt{g\bar{d}}} \quad \dots (13)$$

où

$\bar{v}$  est la vitesse moyenne;

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

$\bar{d}$  est la profondeur moyenne de la section, quotient de l'aire de la section par la largeur du plan d'eau.

NOTE 1 Si  $Fr = 1$ , l'écoulement est dit critique.

Bien que la méthode de la pente de la ligne d'eau soit utilisable en régime fluvial ( $Fr < 1$ ) comme en

régime torrentiel ( $Fr > 1$ ), si l'écoulement dans le bief passe d'un régime fluvial à un régime torrentiel ou l'inverse, il convient de réexaminer les données de base.

Le passage d'un régime torrentiel à un régime fluvial crée un ressaut hydraulique dans le bief avec la perte d'énergie incertaine qui en résulte. Le passage d'un régime fluvial à un régime torrentiel peut être le signe d'une contraction brusque (dont les pertes ne sont pas évaluées) ou d'une «dénivellation libre» de la surface de l'eau (la pente d'une ligne d'eau discontinue n'est plus liée au débit par l'équation de Manning). Lorsqu'on dispose de profils des hautes eaux, ces dénivellations brusques peuvent se voir et attirer l'attention sur les erreurs de calcul du débit. Si la transition entre régimes fluvial et torrentiel est graduelle et peut être vérifiée par observation d'un profil continu de la ligne d'eau, le débit calculé peut être considéré comme valable.

### 11 Calcul du débit lorsque les sections sont uniformes

Le débit d'un cours d'eau dont la section mouillée est uniforme est le produit de l'aire moyenne de la section par la vitesse moyenne de l'écoulement dans le bief:

$$Q = \bar{v}_{1-m} \bar{A} \quad \dots (14)$$

où  $\bar{v}_{1-m}$  est la vitesse moyenne dans le bief.

#### 11.1 Détermination de l'aire moyenne de la section et du périmètre mouillé moyen dans le bief

Dans les cours d'eau naturels, il est très difficile de trouver un bief ayant une section uniforme sur toute sa longueur. Si le bief est assez uniforme et s'il existe des différences faibles mais significatives des aires des sections  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , déterminées comme indiqué en 10.2, on peut calculer l'aire moyenne  $\bar{A}$  de la section du bief comme suit:

$$\bar{A} = \frac{A_1 + 2A_2 + \dots + 2A_{m-1} + A_m}{2(m-1)} \quad \dots (15)$$

où  $m$  est le nombre de sections choisies.

Les périmètres mouillés correspondants doivent alors être déterminés et le périmètre mouillé moyen  $\bar{P}$  doit être calculé comme suit:

$$\bar{P} = \frac{P_1 + 2P_2 + \dots + 2P_{m-1} + P_m}{2(m-1)} \quad \dots (16)$$

NOTE 2 Lorsque les sections ne sont pas d'aire uniforme, les équations (15) et (16) ne donneront pas de résultats corrects. Dans ce cas, il convient de calculer la