
NORME INTERNATIONALE



1070

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

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

Première édition — 1973-06-01

CDU 532.57 : 532.543 : 627.133

Réf. N° : ISO 1070-1973 (F)

Descripteurs : écoulement liquide, écoulement de liquide en canal, mesure d'écoulement, pente.

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 Recommandation ISO; maintenant, ces documents sont en cours de transformation en Normes Internationales. Compte tenu de cette procédure, la Norme Internationale ISO 1070 remplace la Recommandation ISO/R 1070-1969, 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 :

Allemagne	Espagne	Japon
Argentine	France	Pays-Bas
Australie	Grèce	Roumanie
Belgique	Inde	Royaume-Uni
Canada	Irlande	Suisse
Corée, Rép. de	Israël	Thaïlande
Egypte, Rép. arabe d'	Italie	

Les Comités Membres des pays suivants avaient désapprouvé la Recommandation pour des raisons techniques :

Tchécoslovaquie
U.S.A.

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

1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme Internationale spécifie la méthode permettant de déterminer la pente de la ligne d'eau et la surface de la section mouillée et de calculer ainsi le débit. Cette méthode donne une valeur approchée du débit de l'écoulement dans des conditions plus ou moins particulières; elle est utilisée lorsque l'évaluation 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 ne peut être utilisée avec quelque précision que dans les chenaux dont les berges et le lit sont stables, formés, par exemple, par des rochers (ou de l'argile cohésive) et dans les chenaux dont le lit est en matériaux assez grossiers; elle peut également être utilisée dans d'autres cas, celui de chenaux alluviaux, par exemple, y compris des chenaux dont le lit majeur est bien défini ou des sections qui ne sont pas uniformes, sous réserve d'accepter de plus grandes erreurs provenant de la valeur choisie pour le coefficient de Manning n ou le coefficient de Chezy C . Toutefois, il convient de ne pas utiliser cette méthode dans le cas de chenaux très larges ou à très faible pente ou dans le cas d'une forte concentration en sédiments ou encore dans le cas de chenaux avec des courbures significatives.

La présente Norme Internationale ne traite que des mesures de débit elles-mêmes et ne doit pas être utilisée pour établir des courbes de tarage. Bien que la précision des résultats obtenus avec le mesurage par la pente de la ligne d'eau soit moindre que celle des résultats du mesurage des champs de vitesses, il est parfois essentiel d'utiliser la méthode de la pente de la ligne d'eau pour définir l'extrémité du niveau maximal des courbes de tarage, parce que la grandeur de très rares crues est telle qu'on ne peut pas utiliser d'autres méthodes de mesurage.

2 RÉFÉRENCES

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 1100, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Etablissement et fonctionnement d'une station de jaugeage et détermination de la relation hauteur-débit.*

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

Choisir un bief de mesurage dans lequel sera déterminé la surface de la section mouillée moyenne 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, à la pente de la ligne d'eau corrigée pour tenir compte de l'énergie cinétique de l'écoulement, et aux caractéristiques du lit et de ses matériaux constitutifs. Le débit est ensuite calculé comme le produit de la vitesse moyenne par la surface de la section mouillée moyenne.

6 CHOIX ET DÉLIMITATION DE L'EMPLACEMENT

6.1 Reconnaissance préalable du site

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 6.2 et 6.3. Ces mesurages ne doivent être faits qu'à titre d'indication.

6.2 Choix de l'emplacement

6.2.1 La précision de la détermination d'un débit par la méthode de la pente de la ligne d'eau est améliorée si les berges et le lit du cours d'eau sont sensiblement stables et si le bief est droit, de section uniforme, et exempt d'obstacles et de perturbations.

6.2.2 La longueur du bief dépend de la pente du cours d'eau à très faible niveau et au niveau de crue. La pente doit être telle que la différence de hauteur dans le bief utilisé à chaque emplacement soit au moins dix fois l'erreur qu'on peut attendre dans le mesurage de cette différence.

6.2.3 L'écoulement dans le bief doit être exempt de perturbations notables dues à des affluents situés en amont ou en aval ou à des aménagements. Le tronçon ne doit pas comporter d'importants élargissements.

6.2.4 L'orientation du bief doit être telle que la direction du courant soit la plus voisine possible de la perpendiculaire à la direction des vents dominants.

6.2.5 Quel que soit le niveau auquel la méthode est utilisée, le cours d'eau doit autant que possible rester dans ses berges, car sinon il faudrait effectuer séparément le mesurage du débit déversé.

6.2.6 L'emplacement ne doit pas être trop exposé aux vents.

6.2.7 À tout moment, l'emplacement doit être facilement accessible.

6.3 Démarcation de l'emplacement

Après qu'il a été choisi, l'emplacement doit être équipé des accessoires nécessaires à la délimitation de la section et à la détermination du niveau.

L'emplacement de chaque section, perpendiculaire à la direction générale de l'écoulement, doit être marqué sur les deux rives de façon très visible et facile à identifier.

6.4 Changement après le choix de l'emplacement

Si, après qu'un emplacement ait été choisi, des changements surviennent qui infirment les conditions ci-dessus, il faudra faire le nécessaire pour corriger ces modifications afin de rendre l'emplacement conforme à ces conditions. Si cela n'est pas possible, un autre emplacement doit être choisi.

7 DISPOSITIFS POUR LE MESURAGE DE LA PENTE

7.1 Limnimètre de référence

Le limnimètre de référence doit être 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 ayant fait l'objet d'un relevé topographique national exact.

7.1.1 Limnimètre à échelle verticale

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

7.1.2 Limnimètre à échelle inclinée

Le limnimètre à échelle inclinée doit être parfaitement adapté et solidement amarré à la pente de la berge naturelle du cours d'eau. Il peut être étalonné sur place à l'aide d'un relevé topographique précis.

7.2 Limnigraphe¹⁾

Cet appareil est particulièrement utile lorsque des variations importantes de débit surviennent dans de courts délais, comme dans le cas des torrents et de cours d'eau irréguliers. Il peut être constitué par un limnigraphe à flotteur ou un limnigraphe pneumatique. Le limnigraphe à flotteur doit être installé au-dessus d'un puits vertical de tranquillisation du niveau, communiquant avec le lit du chenal. Le limnigraphe pneumatique pourra être installé à distance, en un lieu facile d'accès et d'exploitation. Toutefois, il est essentiel de toujours associer le limnigraphe à un limnimètre de référence situé à proximité du point où le limnigraphe effectue ses mesurages.

7.3 Limnimètre à niveau maximal

Ce limnimètre 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 limnimètres de ce type disposés dans un bief du cours d'eau, à condition que la propagation de la crue dans le bief de mesurage puisse être considérée comme instantanée.

8 INSTALLATION DES LIMNIMÈTRES ET RELEVÉ DES OBSERVATIONS

8.1 Installation

Des limnimètres doivent être installés à trois sections, au moins, sur chacune des rives, soit un total de six limnimètres. Les zéros de leurs échelles doivent être rattachés à un système de nivellement normalisé.

8.2 Relevé des observations

Les lectures sur les échelles doivent être faites en évitant les erreurs de parallaxe. 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 sont relevées et leur moyenne est calculée.

8.3 Enregistrement

Avant le début de ces opérations, on relèvera toutes informations concernant la date, l'heure, les conditions météorologiques, la direction du vent, l'écoulement, etc.

Tous les limnimètres doivent être observés à des intervalles de temps convenables; les relevés doivent être faits pendant la période de mesurage, et également avant et après cette période.

1) En ce qui concerne les détails du puits tranquillisateur, de l'enregistreur, etc., on peut se référer aux paragraphes 7.2.2 et A.3 de l'ISO 1100.

9 DÉTERMINATION DE LA PENTE DE LA LIGNE D'EAU

9.1 Détermination de la pente par limnimètre

La pente est calculée à partir des relevés des limnimètres à chaque extrémité du bief, un (ou des) limnimètre(s) intermédiaire(s) étant installé(s) pour contrôler si la pente est égale tout le long du bief. Les limnimètres doivent être observés au repère inférieur, qui est généralement à 2 mm dans le cas des limnimètres métriques (0,01 ft pour les limnimètres gradués en unités FPS), et doivent être stables au moment de l'observation.

NOTE — Si l'on ne dispose pas de limnimètres précis ou s'ils ont été mis hors d'usage et si l'on ne peut recourir à aucune autre méthode, une évaluation grossière de la pente au moment du niveau maximal peut être obtenue par les délaissés de crue restés sur les rives. Le niveau d'eau doit être calculé en se servant de plusieurs délaissés de crue pour chaque rive.

10 SURFACE DE LA SECTION MOUILLÉE ET PÉRIMÈTRE MOUILLÉ

10.1 Nombre de sections

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

10.2 Mesurage des sections

Ces sections doivent être mesurées pour chaque calcul de débit au moment, ou au moment le plus voisin possible de celui où les limnimètres sont relevés. Il est souvent impossible de mesurer la section pendant la crue et par conséquent, dans ces conditions, une erreur peut être introduite, provenant d'une modification non observée et temporaire de la section. Cependant si l'emplacement ne subit pas d'érosion, il suffira de déterminer les sections avant et après les crues.

Le mesurage de la surface de la section doit se faire conformément au chapitre 6 de l'ISO 748.

10.3 Détermination de la surface moyenne de la section mouillée

Si le bief est sensiblement uniforme et que les surfaces A_1, A_2, \dots, A_m , déterminées suivant 10.2, dans les diverses sections choisies présentent de faibles différences, la surface moyenne \bar{A} de la section mouillée peut être prise égale à

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

10.4 Détermination de la surface moyenne de la section mouillée

Pour chaque section choisie, dont on mesure la surface

d'après 10.2, le périmètre mouillé correspondant doit être déterminé et, si ces périmètres sont P_1, P_2, \dots, P_m respectivement, le périmètre mouillé moyen \bar{P} peut se calculer d'après la formule

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

11 VITESSE DU COURS D'EAU

11.1 Évaluation de la vitesse

La vitesse moyenne entre deux sections ($A_0 \neq A_1$, voir Figure) est donnée dans la formule de Manning ci-dessous, lorsque l'écoulement s'écarte très peu d'un écoulement uniforme :

$$\bar{v} = \frac{R_h^{2/3} S^{1/2}}{n} \text{ (en unités SI)}$$

$$\bar{v} = \frac{1,5 R_h^{2/3} S^{1/2}}{n} \text{ (en unités FPS)}$$

où

\bar{v} est la vitesse moyenne;

R_h est le rayon hydraulique;

n est le coefficient de rugosité de Manning, dont la valeur est donnée en 11.2;

S est la pente corrigée de la différence d'énergie cinétique entre les deux extrémités, donnée par la formule

$$S = \frac{z_1 - z_0 + \left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} \right)}{L}$$

Le bief doit, dans la mesure du possible, être uniforme. Si aucun bief uniforme n'est disponible, le bief doit, de préférence, être convergent plutôt que divergent, afin de faciliter une correction appropriée pour une variation de l'énergie cinétique. Cependant, s'il y a un élargissement du bief, la correction de la pente devrait comprendre une tolérance pour les pertes dues aux remous ainsi que la correction pour la variation de l'énergie cinétique entre les extrémités.

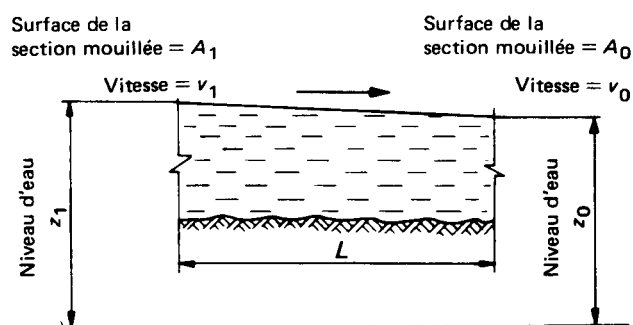


FIGURE — Section longitudinale du bief

Dans les mêmes conditions que ci-dessus, la vitesse

moyenne est donnée, par la formule de Chezy, comme suit :

$$v = C \sqrt{R_h S}$$

où C est le coefficient de Chezy, et v, R_h, S sont les mêmes grandeurs que celles données pour la formule de Manning.

11.2 Valeurs du coefficient n de Manning et du coefficient C de Chezy

Si une valeur raisonnable du coefficient de rugosité peut être obtenue par extrapolation de mesures de débit faites par une méthode plus précise (par exemple par moulinets ou flotteurs) et de mesures de la pente à des niveaux moins élevés, le plus élevé de ceux-ci étant aussi proche que possible du niveau mesuré, on pourra utiliser la valeur ainsi obtenue, pourvu que des changements de caractéristiques du chenal ne soient pas survenus. La précision de ce coefficient extrapolé va en diminuant à mesure que la différence entre le niveau mesuré et le plus haut des niveaux moins élevés augmente.

En l'absence de données expérimentales, on pourra admettre les valeurs du Tableau 1 de l'Appendice pour les chenaux dont le lit, constitué de matériaux relativement grossiers, ne comporte pas d'ondulations.

Dans le cas de chenaux alluvionnaires, dont le lit est constitué de matériaux non grossiers et dans le cas de chenaux dont les rives ont de la végétation, sont argileuses, rocheuses, etc., les valeurs du Tableau 2 de l'Appendice peuvent servir d'indication.

12 CALCUL DU DÉBIT

Le débit sera calculé en multipliant la vitesse moyenne, obtenue conformément au paragraphe 11.1, par la surface moyenne de la section mouillée obtenue conformément à 10.3.

Lorsque la surface de la section mouillée n'est pas uniforme dans le bief, les valeurs moyennes de la surface A , du périmètre mouillé P et du rayon hydraulique R_h ne donneront pas des résultats corrects. Dans de tels cas, calculer la débitance pour chaque partie de la section et les ajouter pour obtenir la débitance de la section toute entière. La débitance du bief est obtenue en calculant la moyenne géométrique des débitances aux deux extrémités.

Dans le cas d'une section mixte, les valeurs du coefficient de rugosité sur diverses parties de la section peuvent être différentes. La section doit être fractionnée en éléments de section relativement homogènes et les vitesses et débits pour ces éléments de section doivent être séparément calculés et ajoutés.

13 ERREURS

La précision de mesurage dépend de la détermination correcte de la pente et du coefficient de rugosité. Ce coefficient variera probablement suivant les divers niveaux de crues. S'il n'a pas été déterminé expérimentalement, il faut une grande expérience pour choisir une valeur correcte du coefficient de rugosité.

On introduira également une erreur si les surfaces des sections mouillées choisies ne sont pas à peu près égales.

APPENDICE

VALEURS DES COEFFICIENTS n ET C POUR LES CHENAUX À SURFACE LIBRE

Les Tableaux 1 et 2 indiquent des coefficients pouvant être utilisés, compte tenu des observations suivantes :

- 1 Les valeurs des coefficients données dans les tableaux ci-dessous ne couvrent pas tous les cas possibles et ne doivent être utilisées *qu'à titre indicatif*; une erreur notable pourra être introduite si R_h est petit et si la dimension des matériaux du lit est grande.
- 2 Dans les tableaux ci-dessous, les valeurs de C sont en unités SI et elles doivent être multipliées par 1,811 pour conversion en unités FPS.
- 3 Les coefficients de Chezy et de Manning, dans les tableaux ci-dessous, sont en corrélation pour les caractéristiques du lit mentionnées. Avec le coefficient de Nikuradse, les caractéristiques du lit peuvent être définies plus explicitement, mais il faudra des études supplémentaires avant qu'il ne soit généralement accepté.
- 4 Il est souhaitable de déterminer la gamme de la rugosité de certains cours d'eau naturels par des mesures et d'établir un catalogue de photographies stéréoscopiques en couleurs de ces cours d'eau avec les coefficients effectivement vérifiés correspondants, afin d'être guidé dans le choix des coefficients pouvant s'appliquer à un bief considéré. Des valeurs convenables peuvent ainsi être choisies par comparaison visuelle.

TABLEAU 1 – Coefficients pour des chenaux découverts dont le lit, constitué de matériaux relativement grossiers, ne comporte pas d'ondulations

Nature du lit	Dimension du matériau constituant le lit mm	Coefficient de Manning n	Coefficient de Chezy C			
			$R_h = 1$ m	$R_h = 2,5$ m	$R_h = 5$ m	$R_h = 10$ m
Gravier	4 à 8	0,019 à 0,020	53 à 50	61 à 58	69 à 65	77 à 73
	8 à 20	0,020 à 0,022	50 à 45	58 à 53	65 à 59	73 à 67
	20 à 60	0,022 à 0,027	45 à 37	53 à 43	59 à 48	67 à 54
Cailloux et galets	60 à 110	0,027 à 0,030	37 à 33	43 à 39	48 à 44	54 à 49
	110 à 250	0,030 à 0,035	33 à 29	39 à 33	44 à 37	49 à 42