



Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes d'exploration du champ des vitesses

Liquid flow measurement in open channels — Velocity-area methods

iTeh STANDARD PREVIEW

Deuxième édition — 1979-04-01 (standards.iteh.ai)

Corrigée et réimprimée — 1979-04-15

ISO 748:1979

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c42a7407-efa4-4734-a2c5-fc13d10a4006/iso-748-1979>

CDU 532.57.082.25 : 532.543 : 627.133

Réf. n° : ISO 748-1979 (F)

Descripteurs : écoulement de liquide, écoulement en canal découvert, mesurage de débit, mesurage de vitesse.

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 confiée aux comités techniques de l'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.

La Norme internationale ISO 748 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*, et a été soumise aux comités membres en août 1977.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée :

Afrique du Sud, Rép. d'	France	Suisse
Allemagne, R. F.	Inde	Tchécoslovaquie
Australie	Italie	Turquie
Canada	Mexique	URSS
Chili	Norvège	USA
Égypte, Rép. arabe d'	Pays-Bas	Yougoslavie
Espagne	Roumanie	
Finlande	Royaume-Uni	

Aucun comité membre ne l'a désapprouvée.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 748-1973).

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes d'exploration du champ des vitesses

1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme internationale spécifie des méthodes de détermination de la vitesse et de l'aire de la section droite d'un écoulement d'eau en chenal (couvert ou non par la glace), et des méthodes de calcul du débit à partir des données.

Elle couvre les méthodes faisant usage de moulinets et de flotteurs pour la mesure des vitesses. Bien que, dans la plupart des cas, ces mesures soient entreprises pour déterminer la relation hauteur-débit au moyen de lectures à plusieurs niveaux, la présente Norme internationale ne traite que de simples mesures du débit; l'enregistrement continu des débits durant une certaine période fait l'objet de l'ISO 1100.

NOTE — Les mesurages ayant pour but la détermination du débit dans les essais de rendement des turbines hydrauliques sont spécifiés dans la Publication CEI 41, Code international concernant les essais de réception sur place des turbines hydrauliques.

2 RÉFÉRENCES

ISO 31, *Grandeurs, unités et symboles*.

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

ISO 1000, *Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités*.

ISO 1088, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes d'exploration du champ des vitesses — Recueil des données pour la détermination des erreurs de mesure*.

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

ISO 2537, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Moulinets à coupelles et à hélices*.

ISO 3454, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Matériel de sondage et de suspension*.

ISO 3455, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Étalonnage des moulinets à élément rotatif en bassins découverts rectilignes*.

ISO 4366, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Sondeurs à écho*.

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

ISO 5168, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Calcul de l'erreur-limite d'une mesure de débit*.

ISO/DATA n° 2, *Recherche de l'erreur totale dans le mesurage du débit par les méthodes d'exploration du champ des vitesses*.

3 TERMINOLOGIE

Dans le cadre de la présente Norme internationale, et en plus des définitions données dans l'ISO 722, les définitions suivantes sont applicables :

3.1 glace de fond : Cristaux fins ou plaques de glace en suspension dans l'eau, généralement formés par surfusion des remous d'eaux. La glace de fond peut flotter sous une couverture de glace et s'accumuler comme une boue.

3.2 glace givrée : Masse blanche de minuscules cristaux de glace ou de touffes de glace granulaire qui se forme sur les objets exposés par suite de l'humidité atmosphérique.

4 UNITÉS DE MESURE

Les unités de mesure utilisées dans la présente Norme internationale sont les unités SI.

5 PRINCIPE DES MÉTHODES DE MESURAGE

5.1 Le principe de ces méthodes est de mesurer la vitesse de l'écoulement et l'aire de la section. Un emplacement de mesurage est choisi conformément aux spécifications requises; la largeur, selon sa grandeur, est mesurée soit à l'aide d'un ruban d'acier, soit par d'autres méthodes topographiques, et la profondeur est mesurée sur un certain nombre de verticales réparties sur la largeur, nombre suffisant pour déterminer la forme de l'aire de la section.

Des relevés de vitesse sont effectués à chaque verticale en même temps que les mesurages de profondeur, spécialement dans le cas des lits instables; ils sont faits par l'une des méthodes normalisées mettant en œuvre des moulinets. Le principe en cause est basé sur la proportionnalité entre la vitesse locale d'écoulement et la vitesse de rotation de la partie tournante du moulinet. Dans certaines circonstances, les relevés de vitesse sont également faits à l'aide de

flotteurs de surface et de bâtons lestés. On calcule généralement la vitesse moyenne à partir de chacune de ces observations; cependant, dans certaines méthodes telles que la méthode d'intégration, on obtient directement la vitesse moyenne.

5.2 On calcule le débit en faisant la somme, soit arithmétiquement, soit graphiquement, des produits de la vitesse et de l'aire correspondante pour une série de relevés dans une section transversale.

6 CHOIX ET DÉLIMITATION DE L'EMPLACEMENT

6.1 Reconnaissance préliminaire de l'emplacement

Il est souhaitable d'effectuer les mesurages approximatifs de la largeur, de la profondeur et des vitesses au cours d'une reconnaissance préliminaire, afin de décider si l'emplacement choisi convient et s'il répond aussi bien que possible aux conditions données en 6.2. Ces mesurages ont pour seul but de vérifier que les profils longitudinal et transversal du lit et la distribution des vitesses sont acceptables en vue d'un mesurage du débit.

6.2 Choix de l'emplacement

La précision dans la détermination du débit par la méthode d'exploration du champ des vitesses se trouve accrue si :

- a) les conditions de l'écoulement ne varient pas durant la période de mesurage;
- b) les vitesses en tous points sont parallèles entre elles et à angle droit à la section de mesurage;
- c) les courbes de répartition des vitesses le long des verticales ou des horizontales de mesurage sont régulières;
- d) les dimensions géométriques de la section du chenal ouvert sont nettement définies.

Par conséquent, les conditions les plus favorables à des mesurages précis seront réunies si la section est située dans un bief rectiligne. Sur cette base, l'emplacement doit donc être choisi de telle sorte que les prescriptions citées en 6.2.1 et 6.2.2 soient, autant que possible, observées.

6.2.1 L'emplacement choisi doit répondre, autant que possible, aux conditions suivantes :

- a) à l'emplacement du mesurage, le chenal doit, autant que possible, être rectiligne et de section et de pente uniformes, afin d'éviter une distribution anormale des vitesses. Lorsque la longueur du canal rectiligne est limitée, il est recommandé, pour les mesurages au moulinet, que la longueur droite à l'amont de la section de mesure soit égale au double de la longueur droite à l'aval;
- b) la profondeur de l'eau dans le bief choisi doit être suffisante pour assurer l'immersion effective des appareils utilisés, soit des moulinets, soit des flotteurs;

- c) l'emplacement de mesurage doit être bon et ne pas être obstrué par des arbres ou autres obstacles.

6.2.2 Outre les prescriptions spécifiées en 6.2.1, les points suivants doivent être pris en considération lors du choix de l'emplacement de mesurage :

- a) le degré d'accessibilité;
- b) le lit du bief ne doit pas être sujet à des variations pendant la durée des mesurages;
- c) quel que soit le débit, l'écoulement doit être contenu dans un ou plusieurs chenaux déterminés ayant des limites suffisamment stables, et des dimensions géométriques bien définies;
- d) l'emplacement doit être éloigné de tout coude ou de tout obstacle, naturel ou artificiel, susceptible d'engendrer une perturbation de l'écoulement;
- e) l'emplacement de jaugeage doit être débarrassé de toute végétation aquatique pendant la durée de mesurage;
- f) les sites où ont tendance à se produire des vortex, des courants de retour, ou des zones d'eau morte, doivent être évités;
- g) les mesurages dans un écoulement convergent, et encore plus dans un écoulement divergent sur une section de mesurage oblique, doivent être évités, en raison de la difficulté d'évaluer l'erreur systématique pouvant en résulter;
- h) l'orientation du bief sera telle que le sens de l'écoulement soit, dans la mesure du possible, normal par rapport à celui du vent dominant.

Lorsque ces prescriptions ne peuvent pas être respectées (par exemple lorsque dans les rivières alluviales, le lit varie pendant la durée des mesurages, ou bien lorsque, en cas d'inondation, la rivière n'est pas confinée dans un chenal unique entre des digues), on doit choisir un emplacement de jaugeage tel que le changement de lit et/ou le débordement soient le plus faible possible. Les emplacements qui sont sujets à des remous variables doivent dans la mesure du possible être évités. Les terrains inondables, lorsqu'on ne peut les éviter, doivent être de largeur minimale, aussi lisses que possible, sans chenal distinct et dépourvus de buissons et d'arbres.

Dans le cas où il serait nécessaire de faire des mesurages à proximité d'un pont, il est préférable que l'emplacement de mesurage soit en amont du pont. Cependant, dans les cas spéciaux et lorsqu'une accumulation de glace, de bois flottants ou d'épaves diverses peut se produire, il est préférable que l'emplacement de mesurage soit en aval du pont.

NOTES

- 1 Si, après que l'emplacement ait été choisi, des modifications inacceptables surviennent dans les caractéristiques du chenal, il faudra choisir un autre emplacement de mesurage.
- 2 En plus des caractéristiques physiques de l'emplacement, il faudra aussi accorder une certaine considération au personnel et au matériel dont on dispose pour effectuer les mesures de débit.

6.2.3 Pour les cours d'eau sujets à formation de couverture de glace, les conditions suivantes sont également souhaitables, en plus de celles énumérées ci-dessus :

- a) La glace doit être assez résistante pour supporter le poids des personnes ainsi que leur équipement pendant une durée de temps acceptable durant laquelle la rivière est gelée; par conséquent, des méthodes sûres doivent être utilisées pour déterminer la résistance de la glace lorsqu'elle se forme, et particulièrement lorsqu'elle fond.
- b) L'emplacement de mesurage sera choisi de telle manière que la présence de boue ou de glace de fond sur l'emplacement soit minimisée, car il y a la possibilité d'y avoir un certain débit non mesurable au travers de la couche de boue. Cela veut en général dire que les emplacements de mesurage doivent être choisis de manière qu'ils soient plutôt en amont des biefs d'eau ouverte qu'en aval.
- c) On choisira l'emplacement de mesurage de telle manière que l'on puisse éviter la présence de plusieurs couches de glace. Ce phénomène peut se produire sur les emplacements qui sont sujets à de nombreuses fluctuations dans le niveau de l'eau, telles que celles qui se produisent en aval des usines hydroélectriques. Les effets de couches ont également lieu dans les petits cours d'eau qui gèlent jusqu'au fond.

Lorsqu'on ne peut pas se conformer à ces prescriptions faute d'avoir un autre bon emplacement de jaugeage, on pourra utiliser un emplacement différent pour l'hiver à condition que l'influx local entre les deux emplacements soit négligeable. Il peut être nécessaire, dans certains cas, d'utiliser plus d'un emplacement pour les mesurages d'hiver. Il faut évaluer les emplacements de mesurage d'hiver pendant la saison des eaux ouvertes afin d'estimer leur acceptabilité par rapport à 6.2.1 et 6.2.2.

6.3 Repérage de l'emplacement

L'emplacement, une fois choisi, doit être équipé de moyens de repérage de la section et de détermination du niveau.

6.3.1 La position de chaque section, perpendiculaire à la direction moyenne de l'écoulement, doit être définie sur les deux rives par des repères clairement visibles et immédiatement identifiables. Lorsqu'un emplacement peut être couvert par une importante couche de neige, les repères de la ligne de section peuvent être référencés par rapport à d'autres objets, tels que des tumuli de pierres.

6.3.2 Pendant la durée des mesurages, le niveau doit être lu de temps à autre sur un limnimètre et le zéro de l'échelle doit être relié par un nivellement précis à un plan de référence.

6.3.3 Lorsqu'il y a lieu de craindre une différence du niveau de l'eau entre les deux rives, on doit installer un limnimètre auxiliaire sur la rive opposée; ceci est particulièrement important dans le cas de très larges rivières. On doit adopter alors la moyenne des lectures faites aux deux limnimètres comme niveau du plan d'eau et comme base du profil de la section du cours d'eau.

7 MESURAGE DE L'AIRE DE LA SECTION

Le profil de la section du chenal à l'emplacement de jaugeage doit être déterminé en mesurant, dans la section, la profondeur par rapport à la surface de l'eau en un nombre de points suffisant pour établir la forme du fond.

L'emplacement de ces points doit être déterminé en mesurant leur distance horizontale à un point fixe de référence situé dans la section. En pratique, ces mesurages sont effectués pour déterminer l'aire de la section des éléments de section individuels entre les verticales successives du mesurage des vitesses.

7.1 Mesurage des largeurs

Les valeurs de la largeur du chenal et des largeurs des éléments de section individuels doivent être obtenues en mesurant les distances à partir ou jusqu'à un point de référence qui doit être dans le même plan que la section de l'emplacement de mesurage.

7.1.1 Lorsque la largeur du chenal le permet, ou lorsque la surface est couverte de glace, ces distances doivent être mesurées directement, par exemple à l'aide d'un ruban d'acier ou d'un câble marqué de manière appropriée, en prenant soin d'effectuer les corrections nécessaires données dans l'annexe A. Les intervalles entre les verticales, c'est-à-dire les largeurs des éléments de section, doivent être mesurés de la même manière.

7.1.2 Lorsque le chenal est trop large pour permettre l'application des méthodes de mesurage ci-dessus, les distances doivent être déterminées à l'aide d'appareils optiques ou électriques de mesurage des distances ou par l'une des méthodes topographiques données dans l'annexe B.

7.2 Mesurage de la profondeur

7.2.1 Les mesurages de profondeur doivent être faits à des intervalles suffisamment rapprochés pour définir avec précision le profil de la section. En général, les intervalles ne doivent pas être supérieurs à 1/15 de la largeur dans le cas où le profil du lit est régulier et à 1/20 de la largeur dans le cas où il est irrégulier.

NOTE — Pour les petits chenaux ayant un profil de lit régulier, le nombre d'intervalles peut être réduit. Ceci peut cependant affecter la précision de la détermination du profil du lit (voir chapitre 10).

7.2.2 La profondeur doit être mesurée en employant des perches ou des câbles de sondage, ou tout autre dispositif approprié. Lorsque le chenal a une profondeur suffisante, on peut utiliser un sondeur acoustique. Si la vitesse est importante, il est préférable d'utiliser un sondeur acoustique ou tout autre dispositif n'exigeant pas de corrections importantes.

7.2.3 Lorsqu'une perche ou un câble de sondage est utilisé, deux lectures au moins doivent être faites en chaque point et la valeur moyenne doit être adaptée pour les calculs, à moins que la différence entre ces deux valeurs ne dépasse 5 %, auquel cas deux nouvelles lectures doivent être

faites. Si celles-ci diffèrent de moins de 5 %, elles doivent être acceptées comme mesure et les deux premières lectures sont ignorées. Si elles diffèrent à nouveau de plus de 5 %, on ne fera pas de nouvelle lecture, mais on adoptera comme valeur mesurée la moyenne des quatre lectures, en notant que la précision de ce mesurage se trouve réduite.

Lorsqu'on utilise un sondeur acoustique, la moyenne de plusieurs lectures doit être de préférence toujours prise en chaque point, et des étalonnages réguliers de l'appareil sont nécessaires dans les mêmes conditions de salinité et de température de l'eau.

Lorsqu'il est impossible de faire plus d'une seule lecture de la profondeur, l'erreur de mesurage peut être augmentée (voir chapitre 10).

NOTES

1 Lorsque les mesurages de profondeur sont faits indépendamment des mesurages de vitesse et que le niveau de l'eau n'est pas constant, on relèvera le niveau de l'eau au moment de chaque mesurage de profondeur. Si cela est impossible, le niveau de l'eau doit être relevé à des intervalles de 15 min, et la valeur du niveau à l'instant de chaque mesurage de profondeur doit être obtenue par interpolation.

2 Lorsque, pendant le mesurage du débit, le profil du lit change d'une manière appréciable, les mesurages de profondeur devront être effectués en prenant une lecture de profondeur à chacun des points au commencement et une autre à la fin de chaque mesurage de vitesse sur une verticale, et la valeur moyenne de ces deux mesurages sera adoptée comme étant la profondeur effective. Il faut faire très attention en prenant des mesurages répétés de ne pas affouiller le lit du cours d'eau.

3 Les inexactitudes pouvant survenir au cours des sondages sont le plus souvent dues aux causes suivantes :

- a) perche ou câble de sondage s'écartant de la verticale, particulièrement en eau profonde lorsque la vitesse est élevée;
- b) pénétration du poids ou de la perche de sondage dans le lit de la rivière;
- c) nature du fond, lorsqu'on utilise un sondeur acoustique.

Les erreurs dues à a) peuvent être réduites par l'emploi, lorsque cela est possible, d'un sondeur acoustique ou d'un dispositif de mesurage de la pression. Les effets de la traînée sur le câble de sondage peuvent être réduits en employant un plomb profilé (saumon) à l'extrémité d'un câble fin. Une correction devra être appliquée à la longueur mouillée du câble si celui-ci n'est pas normal au plan d'eau. Il est recommandé de ne pas dépasser un angle de 30° (0,52 rad) en raison de l'imprécision qui en résulte. Les modalités d'exécution de cette correction sont données dans l'annexe C.

Les erreurs dues à b) peuvent être diminuées en montant une plaque à l'extrémité inférieure de la perche de sondage ou en fixant un disque à l'extrémité du câble de sondage, lorsque ceci ne risque pas de provoquer un affouillement des matériaux fins du fond par suite des vitesses élevées.

Les erreurs dues à c) peuvent être réduites en choisissant pour le sondeur acoustique une fréquence qui décrive d'une manière adéquate l'interface du lit de la rivière.

4 Dans certains cas, par exemple dans le cas d'inondations, il peut être impossible de déterminer un profil convenable de la section pendant le mesurage. En pareil cas, le profil entier doit être déterminé par une méthode topographique, soit avant, soit après le mesurage; on notera cependant que cette méthode peut conduire à des erreurs du fait de l'érosion ou d'apports toujours possibles dans la section entre le moment où le profil est déterminé et le moment du mesurage.

7.2.4 Lorsqu'il existe une couverture de glace, il est nécessaire de calculer la profondeur effective, c'est-à-dire la profondeur de l'eau au-dessous de la couverture de glace. La profondeur totale doit être mesurée dans des trous découpés dans la glace à l'aide d'un ciseau à glace, d'une scie à chaîne ou d'une perceuse à glace. Mesurer ensuite la distance entre la surface de l'eau et le fond de la couche de glace à l'aide de dispositifs spéciaux tels que piges ayant un profil en équerre. La profondeur effective est calculée en soustrayant ces deux valeurs. Lorsqu'il existe au-dessous de la surface de la glace une épaisse couche de boue, l'épaisseur est déterminée en abaissant l'appareil de mesure au travers de la boue jusqu'à ce qu'il tourne librement et ensuite en soulevant cet appareil de mesure jusqu'à ce que l'élément rotatif s'arrête. La distance entre la surface de l'eau et ce point est ensuite soustraite de la profondeur totale de l'eau.

8 MESURAGE DE LA VITESSE

8.1 Mesurage de la vitesse à l'aide des moulinets

8.1.1 Moulinets

Les moulinets doivent être construits, étalonnés et entretenus conformément à l'ISO 2537 et l'ISO 3455.

8.1.2 Méthodes de mesurage

Les mesurages de vitesse sont normalement faits en même temps que les mesurages de profondeur. Cette procédure sera utilisée dans le cas de fonds instables. Si, cependant, les deux mesurages sont faits à des moments différents, les relevés de vitesse doivent être effectués pour un nombre suffisant de positions et la distance horizontale entre les mesurages doit être mesurée comme spécifié en 7.1.1 et 7.1.2.

Il est recommandé d'utiliser au moins 20 verticales et que le débit dans l'un quelconque des segments n'excède pas 10 % du total. Il est en outre recommandé que l'emplacement des verticales soit choisi après étude préalable de ces emplacements. Lorsque le chenal est suffisamment uniforme, il peut être possible d'allouer une distance égale entre chaque verticale sans dévier des prescriptions ci-dessus.

NOTE — Dans des circonstances telles que l'eau s'écoule à la fois au-dessus et au-dessous de la glace, on doit effectuer le mesurage du débit dans les deux parties séparées par la glace.

8.1.2.1 Le moulinet doit être maintenu à la position voulue sur chaque verticale soit à l'aide d'une perche support si le chenal est peu profond, soit par suspension à un câble ou à une perche à partir d'un pont, d'une taille ou d'un bateau lorsque les chenaux sont plus profonds. Lorsqu'on utilise un bateau, il faut disposer le moulinet de telle sorte qu'il ne soit pas affecté par les turbulences causées par le bateau. Après avoir placé le moulinet sur sa verticale au point choisi, on doit pouvoir l'orienter dans le sens de l'écoulement avant de commencer les lectures.

NOTES

1 Il faut veiller à ce que les relevés faits au moulinet ne soient pas

affectés par les rides accidentelles de la surface de l'eau ou par le vent.

2 Lorsque plusieurs éléments de section ayant sensiblement le même débit d'eau doivent être explorés, on peut utiliser, pour mesurer simultanément les vitesses correspondantes, une batterie de plusieurs moulinets fixés sur la même perche, en faisant très attention qu'ils n'interfèrent pas les uns sur les autres.

3 S'il se produit un fléchissement appréciable du câble auquel est suspendu le moulinet, on doit appliquer une correction à la profondeur du point de mesurage. Aucun facteur de correction de validité générale ne peut être donné, mais il doit être déterminé par l'utilisateur en fonction de son propre appareillage et des conditions de mesurage. Cependant, les valeurs indiquées dans l'annexe C peuvent servir de guide.

8.1.2.2 La vitesse à chaque point choisi doit être relevée en exposant le moulinet durant au moins 30 s. Lorsque la vitesse de l'eau est sujette à des pulsations périodiques importantes, le temps d'exposition devra être augmenté proportionnellement. (Voir ISO/DATA no 2.)

8.1.2.3 Le moulinet doit, de temps à autre, être sorti de l'eau pour être examiné, généralement lorsqu'on passe d'une verticale à l'autre.

8.1.2.4 On peut utiliser plusieurs moulinets pour déterminer les vitesses sur chacune des verticales, différents moulinets étant employés pour des verticales consécutives. En moyenne, ceci peut réduire l'erreur systématique de mesurage.

8.1.2.5 Dans les chenaux où l'écoulement n'est pas stable, il est utile d'apporter une correction de variation de débit total pendant la période de mesurage, non seulement en observant les changements du niveau mais aussi en mesurant de façon continue la vitesse en un point approprié. L'expérience a montré que, tant que les variations de débit sont faibles, la répartition des vitesses n'est pas sensiblement modifiée. On peut placer un moulinet de référence dans le courant principal et mesurer la vitesse en ce point, si possible à l'instant où l'on effectue chaque mesurage de vitesse en un point dans la section. Toutes les mesures individuelles durant l'essai peuvent alors être rapportées à la mesure de référence correspondante. La vitesse moyenne de référence, définie comme étant la moyenne de toutes les lectures au moulinet de référence, peut être calculée avec précision. Chaque mesure de vitesse en un point peut alors être corrigée en la multipliant par le rapport de la vitesse *moyenne de référence*, à l'instant considéré. Si les mesurages au moulinet de référence ne sont pas faits au même moment que les mesurages individuels, ils doivent être faits à des intervalles réguliers, aussi fréquemment que possible, pendant toute la durée du jaugeage, et la valeur de la vitesse de référence correspondante à chaque mesurage de la vitesse en un point sera obtenue par interpolation.

8.1.2.6 Lorsque les relevés de vitesse sont effectués à partir d'une couverture de glace, l'appareil de mesure peut être suspendu à des perches ou à un câble. Dans les deux cas, on peut utiliser un appareil de mesure modifié spécialement n'ayant aucune ailette de queue; de plus, dans le cas d'un câble de suspension on peut utiliser un ensemble poids spécial pour l'hiver. L'objet de ces modifications est

de permettre à l'appareil de mesure d'être abaissé au travers du trou que l'on aura percé à l'aide d'un outil de forage pour la glace, ayant normalement entre 150 et 200 mm de diamètre.

En déplaçant l'appareil de mesure d'une verticale à l'autre, il faut faire très attention de n'exposer cet appareil aux températures de l'air que pendant le minimum de temps possible afin d'empêcher la formation de glace sur les parties mobiles. S'il se forme une couche de glace, il faudra laisser tremper l'appareil pendant quelques minutes avant de commencer le comptage. Lorsque les températures de l'air sont très basses, utiliser un bain d'eau chaude ou un caisson contenant de l'air chaud pour empêcher la formation de glace givrée lorsqu'on passe d'une verticale à l'autre.

NOTES

1 On fabrique maintenant certains moulinets à axe vertical ayant des ailettes au lieu de coupelles pour mesurer les vitesses lorsqu'il y a de la boue ou de la glace de fond.

2 Certains ensembles saumon pour l'hiver sont instables lorsque les vitesses sont élevées. L'utilisateur doit s'assurer que l'ensemble saumon utilisé convient aux conditions du cours d'eau.

8.1.3 Écoulement oblique

Si l'on ne peut éviter un écoulement oblique, on doit mesurer l'angle que fait le sens de l'écoulement avec la perpendiculaire à la section et corriger la vitesse mesurée. Des instruments spéciaux ont été mis au point pour mesurer simultanément l'angle et la vitesse en un point. Cependant, si l'on ne dispose pas de ceux-ci et s'il n'y a pratiquement pas de vent, on peut admettre que l'angle de l'écoulement le long d'une verticale est égal à celui que l'on observe en surface. Si le chenal est très profond ou si le profil de son lit varie rapidement, cette hypothèse ne doit pas être admise sans vérifications.

Si γ est l'angle mesuré avec la normale, on aura alors

$$V_{\text{corrigée}} = V_{\text{mesurée}} \cos \gamma$$

NOTE — Certains moulinets du type à hélice peuvent être équipés d'hélices ayant une réponse cosinus. Cette correction n'est donc pas nécessaire, à condition toutefois que le moulinet soit maintenu perpendiculairement à la section de mesurage et que l'angle γ soit inférieur à environ 30° ($0,52$ rad).

8.1.4 Méthode de mesurage de la vitesse moyenne sur chaque verticale

La vitesse moyenne de l'eau sur chaque verticale peut être déterminée par l'une des méthodes suivantes, dont le choix sera fonction du temps disponible et tiendra compte de la largeur et de la profondeur de l'eau, des conditions du lit, des variations de niveau et de l'existence éventuelle d'une couche de glace, ainsi que de la précision que l'on cherche à obtenir.

- Méthode de distribution des vitesses (voir 8.1.4.1).
- Méthodes utilisant un nombre réduit de points (voir 8.1.4.2).

- c) Méthode d'intégration (voir 8.1.4.3).
- d) Autres méthodes (voir 8.1.4.4).

Au voisinage de la vitesse minimale de réponse, l'incertitude dans la détermination de la vitesse est grande. Avec les moulinets fabriqués conformément à l'ISO 2537, la vitesse minimale permettant d'obtenir des mesurages faibles est de 0,15 m/s, mais les circonstances peuvent nécessiter leur usage à des vitesses inférieures à celle-ci.

L'axe horizontal du moulinet ne doit pas être situé à une distance de la surface de l'eau inférieure à une fois et demie la hauteur du rotor, ni à une distance du fond du chenal inférieure à trois fois la hauteur du rotor. De plus, aucune partie du moulinet ne doit affleurer la surface de l'eau.

8.1.4.1 MÉTHODE DE DISTRIBUTION DES VITESSES

Avec cette méthode, la valeur de la vitesse moyenne est obtenue par des relevés de la vitesse en un certain nombre de points le long de chaque verticale entre la surface de l'eau et le fond du chenal. L'espacement des points doit être tel que la différence des vitesses entre deux points adjacents ne dépasse pas 20 % de la plus forte des deux. Les points extrêmes seront situés respectivement aussi près que possible de la surface de l'eau et du fond compte tenu des prescriptions de 8.1.4 (Voir ISO 1088.) Les relevés de vitesse en chaque position doivent être rapportés sur un graphique et la vitesse moyenne déterminée à l'aide d'un planimètre, d'un indicateur ou de toute autre méthode équivalente.

NOTES

1 Cette méthode peut ne pas convenir pour des mesurages courants de débit, du fait que le gain apparent de précision peut être amplement compensé par les erreurs résultant de la variation du niveau durant la longue période exigée pour les mesurages.

2 La courbe des vitesses peut être extrapolée à partir du dernier point de mesurage jusqu'au fond ou jusqu'à la paroi, en calculant v_x par l'équation

$$v_x = v_a \left(\frac{x}{a} \right)^{1/m}$$

où

v_x est la vitesse ponctuelle de la zone d'extrapolation à une distance x du lit;

v_a est la vitesse du dernier point de mesurage, à la distance a du lit.

La vitesse moyenne \bar{v}_x entre le fond (ou une paroi verticale) du chenal et le point de mesurage le plus proche (où la vitesse mesurée est v_a) peut être calculée directement par l'équation

$$\bar{v}_x = \frac{m}{m+1} v_a$$

Généralement, m varie entre 5 (parois rugueuses) et 7 (parois lisses).

3 Une autre méthode pour obtenir la vitesse dans la zone située au-delà du dernier point de mesurage repose sur l'hypothèse que, jusqu'à une certaine distance du fond, la vitesse est proportionnelle au logarithme de la distance x à cette paroi. Si l'on porte les vitesses observées aux points voisins du fond en fonction de $\log x$, la droite ajustée passant par ces points peut être prolongée jusqu'à la paroi. Les vitesses au voisinage de la paroi peuvent alors se lire sur le graphique.

8.1.4.2 MÉTHODES UTILISANT UN NOMBRE RÉDUIT DE POINTS

a) Méthode des deux points

Les relevés de la vitesse doivent être faits sur chaque verticale en plaçant le moulinet à 0,2 et 0,8 fois la profondeur au-dessous de la surface. On prendra la moyenne de ces deux valeurs comme vitesse moyenne sur la verticale.

NOTE — Cette méthode est applicable sans correction pour les profondeurs supérieures à 1 m lorsque les mesurages sont faits sous une couverture de glace.

b) Méthode du point unique

Les relevés de la vitesse doivent être effectués sur chaque verticale en plaçant le moulinet à 0,6 fois la profondeur au-dessous de la surface. On prendra la valeur mesurée comme vitesse moyenne sur la verticale.

NOTE — Cette méthode est applicable moyennant une correction pour des profondeurs inférieures à 1 m lorsque les mesurages sont faits sous une couverture de glace, le facteur de correction étant considéré égal à 0,92. On peut également faire un mesurage à la moitié de la profondeur se trouvant sous la couverture de glace, mais en appliquant un facteur de correction de 0,88.

8.1.4.3 MÉTHODE D'INTÉGRATION

Avec cette méthode, on déplace le moulinet sur chaque verticale, à une vitesse uniforme, de haut en bas et de bas en haut, sur la totalité de la profondeur. La vitesse de déplacement du moulinet ne doit pas être supérieure à 5 % de la vitesse moyenne de l'écoulement dans la section, et en tout cas, ne doit pas excéder 0,04 m/s. Deux cycles complets doivent être réalisés sur chaque verticale et, si les résultats diffèrent de plus de 10 %, le mesurage doit être répété.

Pour calculer la vitesse moyenne sur la verticale, il faut déterminer le nombre moyen de tours par seconde et l'on porte celui-ci dans l'équation d'étalonnage du moulinet. L'erreur introduite en appliquant à la mesure obtenue près du fond du chenal l'équation normale d'étalonnage n'est pas significative, à condition qu'on ne laisse pas le moulinet à sa position la plus basse pendant une durée appréciable. Cette méthode est utilisée uniquement dans les eaux de profondeur supérieure à 1 m.

8.1.4.4 AUTRES MÉTHODES

a) Méthode des six points

Cette méthode peut être utilisée dans des conditions difficiles, par exemple lorsqu'il y a de la végétation aquatique ou une couverture de glace. Les relevés de vitesse

sont effectués sur chaque verticale en plaçant le moulinet à 0,2 – 0,4 – 0,6 et 0,8 fois la profondeur à partir de la surface et aussi près que possible de la surface et du fond, compte tenu des prescriptions de 8.1.4. Les relevés de la vitesse en chaque point sont portés sur un graphique et la vitesse moyenne est déterminée à l'aide d'un planimètre.

La vitesse moyenne peut aussi être calculée algébriquement à partir de l'équation

$$\bar{v} = 0,1 (v_{\text{surface}} + 2 v_{0,2} + 2 v_{0,4} + 2 v_{0,6} + 2 v_{0,8} + v_{\text{fond}})$$

b) Méthode des cinq points

Lorsque le chenal est exempt de glace et de végétation aquatique, une méthode utilisant un nombre réduit de points consiste à effectuer des mesurages sur chaque verticale à 0,2 – 0,6 et 0,8 fois la profondeur à partir de la surface et aussi près que possible de la surface et du fond. La vitesse moyenne peut être déterminée en planimétrant une représentation graphique du profil des vitesses ou à partir de l'équation

$$\bar{v} = 0,1 (v_{\text{surface}} + 3 v_{0,2} + 3 v_{0,6} + 2 v_{0,8} + v_{\text{fond}})$$

c) Méthode des trois points

Les relevés de vitesse sont effectués sur chaque verticale en plaçant le moulinet à 0,2 – 0,6 et 0,8 fois la profondeur à partir de la surface. La moyenne de ces trois valeurs peut être considérée comme étant la vitesse sur la verticale.

On peut aussi pondérer le mesurage à 0,6 et obtenir la vitesse moyenne à partir de l'équation

$$\bar{v} = 0,25 (v_{0,2} + 2 v_{0,6} + v_{0,8})$$

Lorsqu'il y a une couche de glace, les mesurages peuvent être faits à 0,15 – 0,5 et 0,85 fois la profondeur à partir de la surface et l'on peut adopter comme vitesse moyenne la moyenne des mesures obtenues.

d) Variante de la méthode du point unique

Les relevés de vitesse doivent être effectués sur chaque verticale en plaçant le moulinet à 0,5 fois la profondeur à partir de la surface. Les valeurs mesurées multipliées par un coefficient doivent être prises comme donnant la vitesse moyenne sur la verticale. Ce coefficient doit être vérifié en analysant les résultats de la méthode de distribution des vitesses, mais il est approximativement de 0,95.

NOTE – Cette méthode est applicable moyennant une correction pour des profondeurs inférieures à 1 m lorsque les mesurages sont faits sous une couverture de glace; le facteur de correction est considéré comme étant 0,88 [voir 8.1.4.2 b)].

e) Méthode du point unique en surface

En période de crue subite ou lorsque les méthodes ci-dessus ne sont pas praticables, on doit mesurer la vitesse

en un point situé immédiatement au-dessous de la surface. La profondeur d'immersion du moulinet doit être uniforme pour toutes les verticales et l'on doit s'assurer que les relevés faits au moulinet ne sont pas affectés par les rides accidentelles de la surface ou par le vent. Cette vitesse «superficielle» peut être convertie en vitesse moyenne sur la verticale en la multipliant par un coefficient prédéterminé, particulier à la section et au débit.

Ce coefficient doit être calculé pour tous les niveaux par corrélation de la vitesse «superficielle» et de la vitesse à la profondeur 0,6 ou, si l'on désire une plus grande précision, avec la vitesse moyenne obtenue par la méthode d'intégration.

Lorsqu'il n'est pas possible de vérifier directement ce coefficient, on peut noter, à titre indicatif, qu'il varie généralement entre 0,84 et 0,90 selon la forme du profil des vitesses. On obtient généralement les valeurs les plus élevées, de 0,88 à 0,90, lorsque le fond est lisse, mais, dans des conditions particulières, on peut rencontrer des valeurs se trouvant en dehors de cette plage.

8.1.5 Erreurs et limites d'emploi

Une estimation des erreurs qui peuvent se produire lorsqu'on utilise les diverses méthodes détaillées en 8.1.4 est donnée au chapitre 9. Il faut noter que cette estimation concerne les erreurs accidentelles qui peuvent survenir même si toutes les précautions signalées ci-dessus ont été prises. Si le mesurage n'est pas effectué dans ces conditions optimales, il faudra ajouter une tolérance supplémentaire dans l'évaluation de la précision du mesurage.

Il peut y avoir des erreurs :

- si l'écoulement n'est pas stable et si les matériaux en suspension perturbent la rotation du moulinet;
- si le sens de l'écoulement n'est pas parallèle à l'axe du moulinet à hélice ou s'il n'est pas dans le plan du moulinet à coupelles, et si les facteurs de correction convenables ne sont pas connus avec précision;
- si l'on utilise le moulinet pour mesurer des vitesses situées en dehors de la gamme pour laquelle il a été étalonné;
- si le dispositif utilisé pour le mesurage (tel que perche ou câble de suspension du moulinet, bateau, etc.) est différent de celui que l'on a employé pour l'étalonnage du moulinet; et dans ce cas, on introduit une erreur systématique;
- s'il y a une perturbation sensible de la surface de l'eau due au vent;
- si le moulinet ne reste pas à la position convenable durant le mesurage, ce qui est le cas si le bateau dérive (voir annexe D), ou s'il se produit une oscillation transversale. Dans ce dernier cas, on mesure la résultante de la vitesse de l'écoulement et de la vitesse transversale, ce qui, pour de fortes valeurs de celle-ci, donne naissance à d'importantes erreurs positives.

8.2 Mesurage de la vitesse au moyen de flotteurs

Cette méthode ne doit être utilisée que s'il est impossible d'employer un moulinet en raison de vitesses ou de profondeurs excessives, ou de la présence de matériaux en suspension ou de vitesses trop faibles pour être mesurées au moulinet.

8.2.1 Choix de l'emplacement

Trois sections doivent être choisies le long d'un bief du chenal tel qu'il est décrit au chapitre 6, au début, au milieu et à la fin du bief. Les sections doivent être suffisamment éloignées pour que le temps mis par les flotteurs pour aller d'une section à la suivante puisse être mesuré avec précision. La section médiane doit servir uniquement à vérifier la mesure de la vitesse entre les sections initiale et finale du bief. Il est recommandé que la course des flotteurs ait une durée de 20 s au moins.

8.2.2 Méthode de mesurage

Le flotteur doit être largué suffisamment loin avant la section en amont pour qu'il ait atteint une vitesse constante avant son passage à la première section. On notera l'instant auquel le flotteur franchit chacune des trois sections. Ce processus doit être répété avec plusieurs flotteurs à des distances variables de la rive. Les distances du flotteur à la rive, au passage de chaque section, peuvent être déterminées par des moyens optiques appropriés, par exemple un théodolite.

L'augmentation du nombre de flotteurs utilisés pour déterminer la vitesse dans chaque élément de section accroîtra la justesse de la mesure.

La largeur du chenal doit être divisée en un certain nombre d'éléments de section d'égale largeur. Cependant, si le chenal est très irrégulier, chaque élément de section doit avoir approximativement le même débit. Le nombre de ces éléments de section ne doit pas être inférieur à trois, mais si possible, on doit en utiliser au moins cinq, le nombre exact d'éléments de section étant fonction du temps disponible pour ces relevés, au niveau considéré de la rivière.

8.2.3 Types de flotteurs

La vitesse de l'eau dans chaque élément de section peut être déterminée par :

- a) des flotteurs de surface;
- b) des flotteurs doubles;
- c) d'autres types de flotteurs.

NOTE — Des blocs de glace flottant isolément, s'ils sont de petite taille, peuvent être utilisés comme flotteurs de surface pendant la dérive des glaces.

Les coefficients permettant d'obtenir la vitesse moyenne à partir des mesures faites avec les divers types de flotteurs sont donnés en 8.2.4.

8.2.3.1 FLOTTEURS DE SURFACE

Ils peuvent être utilisés en période de crue, lorsque les mesurages de vitesse doivent être faits rapidement. On ne doit pas les employer si leur mouvement risque d'être affecté par le vent.

8.2.3.2 FLOTTEURS DOUBLES

Ils peuvent être utilisés pour les mesurages des vitesses en rivière profonde. L'élément situé au-dessous de la surface doit être placé à 0,6 fois la profondeur à partir de la surface ou à d'autres profondeurs pour obtenir directement la valeur de la vitesse à ces profondeurs (par exemple celles indiquées en 8.1.4).

8.2.3.3 AUTRES TYPES DE FLOTTEURS

Si le profil du lit est régulier le long du bief de mesurage, on peut utiliser d'autres méthodes pour obtenir la vitesse moyenne dans chaque élément de section :

a) Flotteurs profonds

On peut les utiliser pour les mesurages de vitesse en rivières très profondes. Le flotteur profond, parfois appelé «flotteur multiple», se compose d'éléments séparés convenablement reliés afin de permettre la flexion de l'ensemble et supportés par un flotteur de surface; sa longueur doit être approximativement égale à la profondeur de l'eau, mais il ne doit en aucun cas toucher le fond.

b) Bâtons lestés

On peut les utiliser pour les mesurages de vitesses dans le cas de chenaux artificiels ou d'autres chenaux réguliers dont la section est uniforme, le lit exempt de toute végétation et la profondeur de l'eau constante. Le bâton lesté (appelé parfois «bâton flotteur») doit être long d'au moins 0,95 fois la profondeur du chenal, mais il ne doit pas toucher le fond.

8.2.4 Évaluation de la vitesse

La vitesse du flotteur doit être déterminée en divisant la distance séparant les sections de mesurage par le temps mis par le flotteur pour parcourir cette distance. Plusieurs mesurages de vitesse du flotteur doivent être faits et la moyenne de ces mesures doit être multipliée par le coefficient approprié pour obtenir la vitesse moyenne de l'élément de section. On peut convertir la vitesse du flotteur en vitesse moyenne en utilisant le coefficient déduit des mesurages au moulinet faits au même emplacement, à un niveau aussi voisin que possible de celui que l'on a durant les mesurages au flotteur.

Il est évident que cette méthode ne donne qu'une évaluation approximative du débit.

8.2.4.1 FLOTTEURS DE SURFACE

Lorsqu'il n'est pas possible de déterminer directement le coefficient relatif aux flotteurs de surface on peut noter, à titre indicatif, qu'il varie généralement entre 0,84 et 0,90

selon la forme du profil des vitesses. Les valeurs les plus élevées sont obtenues habituellement lorsque le fond est lisse, mais, dans des conditions particulières, on peut avoir des valeurs extérieures à cet intervalle.

8.2.4.2 FLOTTEURS DOUBLES

Lorsqu'il n'est pas possible de déterminer directement le coefficient, on peut noter à titre indicatif que si l'élément situé sous la surface se trouve à 0,6 fois la profondeur, le coefficient est approximativement égal à 1,0 et que si cet élément se trouve à 0,5 fois la profondeur, le coefficient est approximativement égal à 0,96.

8.2.4.3 AUTRES TYPES DE FLOTTEURS

Lorsqu'il n'est pas possible de déterminer directement le coefficient, on peut noter que, pour les flotteurs profonds et les bâtons lestés, il varie généralement entre 0,8 et 1,0.

8.2.5 Principales sources d'erreur

Durant les mesurages de débit à l'aide de flotteurs, certaines erreurs peuvent se produire. Les principales sources d'erreur sont énumérées ci-dessous. On doit les prendre en considération lorsqu'on évalue l'erreur globale comme indiqué au chapitre 10.

Des erreurs peuvent intervenir :

- a) si le coefficient par lequel on obtient la vitesse moyenne à partir de la vitesse du flotteur n'est pas connu avec précision;
- b) si un très petit nombre d'éléments de section est utilisé pour obtenir la distribution des vitesses;

c) si l'on emploie un flotteur profond ou un bâton lesté et si la profondeur du chenal n'est pas uniforme tout le long du bief de mesurage;

d) si, en raison des courants obliques, le flotteur ne parcourt pas le centre de l'élément de section;

e) s'il y a du vent, mais il faut noter que cette erreur est généralement négligeable par rapport aux précédentes.

9 CALCUL DU DÉBIT

9.1 Généralités

La détermination de la vitesse moyenne sur chaque verticale a été indiquée en 8.1 et 8.2. En 9.2 et 9.3 est donnée la détermination du débit à partir des mesurages au moulinet et au flotteur. Les méthodes de calcul dans le cas des moulinets données en 9.2.1 et 9.2.2, sont généralement les plus employées, celles données en 9.2.2 étant particulièrement utiles pour les calculs effectués sur place. Les méthodes données en 9.2.3 et 9.2.4 sont applicables dans des cas spéciaux : par exemple, la méthode indiquée en 9.2.4 s'applique lorsque le chenal est de section rectangulaire.

9.2 Détermination du débit à partir des mesurages au moulinet

9.2.1 Méthode graphique (intégration des courbes profondeur-vitesse ou méthode de la section médiane)

La valeur du produit de la vitesse moyenne \bar{v} sur chaque verticale par la profondeur correspondante, soit $\bar{v}d$, doit être reportée à partir de la ligne du plan d'eau et une courbe doit être tracée par les points $\bar{v}d$, comme indiqué à la figure 1.

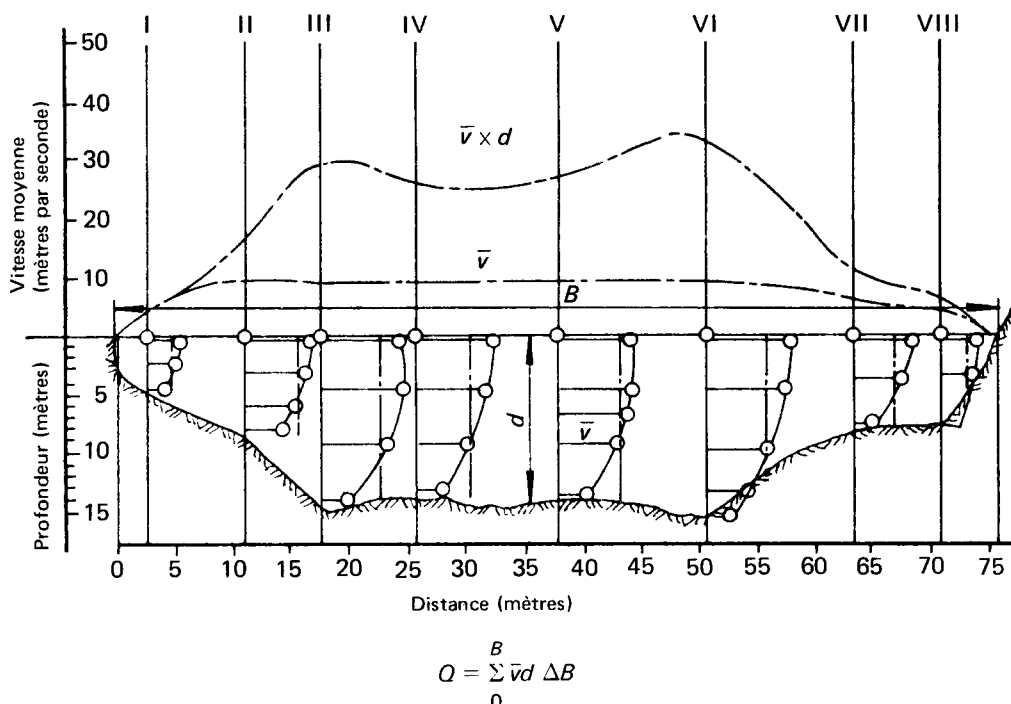


FIGURE 1 – Calcul du débit par mesure au moulinet – Méthode d'intégration des courbes profondeur-vitesse