



Government
of Canada

Gouvernement
du Canada

Canadian General
Standards Board

Office des normes
générales du Canada

Series 157
Série des 157

WITHDRAWAL

October 2011

Selected standards in the series Measurement of liquid flow in open channels

These National Standards of Canada are hereby withdrawn.

The Standards Council of Canada requires that accredited Standards Development Organizations, such as the CGSB, regularly review a consensus Standard to determine whether to re-approve, revise or withdraw. The review cycle is normally five years from the publication date of the latest edition of the Standard.

The information contained in these Standards was originally developed pursuant to a voluntary standards development initiative of the CGSB. The information contained therein may no longer represent the most current, reliable, and/or available information on these subjects. CGSB hereby disclaims any and all claims, representation or warranty of scientific validity, or technical accuracy implied or expressed respecting the information therein contained. The CGSB shall not take responsibility nor be held liable for any errors, omissions, inaccuracies or any other liabilities that may arise from the provision or subsequent use of such information. These Standards are to be referred to for archival purposes only as their content has been repealed as of

RETRAIT

Octobre 2011

Sélection de normes de la série Mesurage du débit des liquides dans les canaux découverts

Ces Normes nationales du Canada sont retirées par le présent avis.

Le Conseil canadien des normes exige que les organismes accrédités d'élaboration de normes, tel que l'ONGC, effectue régulièrement un examen des normes consensuelles afin de déterminer s'il y a lieu d'en renouveler l'approbation, de les réviser ou de les retirer. Le cycle d'examen d'une norme est généralement de cinq ans à partir de la date de publication de la dernière édition de celle-ci.

L'information contenue dans ces normes a été élaborée initialement en vertu d'une initiative volontaire d'élaboration de normes de l'ONGC. Elle peut ne plus représenter l'information disponible et/ou l'information la plus actuelle ou la plus fiable à ce sujet. L'ONGC décline par la présente toute responsabilité à l'égard de toute affirmation, déclaration ou garantie de validité scientifique ou d'exactitude technique implicite ou explicite relative à l'information contenue dans ces normes. L'ONGC n'assumera aucune responsabilité et ne sera pas tenu responsable quant à toute erreur, omission, inexactitude ou autre conséquence pouvant découler de la fourniture ou de l'utilisation subséquente de cette information. Ces normes doivent être consultées à des fins archivistiques seulement puisque leur contenu a été

the date on this withdrawal notice.

Archived copies of withdrawn standards for historic or archival purposes are still available from the CGSB Sales Centre by telephone at 819-956-0425 or 1-800-665-2472, by fax at 819-956-5740, by Internet at www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/ongc-cgsb/, by e-mail at ncr.CGSB-ONGC@tpsgc-pwgsc.gc.ca or by mail at Sales Centre, Canadian General Standards Board, 11 Laurier Street, Gatineau, Canada K1A 1G6.

CAN/CGSB-157.1-M91

Liquid Flow Measurement in Open Channels — Vocabulary and Symbols (ICS 17.120.20)

CAN/CGSB-157.2-M91/ISO 748 :1979

Liquid Flow Measurement in Open Channels — Velocity-Area Methods (ICS 17.120.20)

CAN/CGSB-157.3-M91

Liquid Flow Measurement in Open Channels — Establishment and Operation of a Gauging Station (ICS 17.120.20)

CAN/CGSB-157.4-M91/ISO 1100-2:1982

Liquid Flow Measurement in Open Channels — Part 2: Determination of Stage-Discharge Relation (ICS 17.120.20)

CAN/CGSB-157.6-M91/ISO 1088:1985

Liquid Flow Measurement in Open Channels — Velocity-Area Methods — Collection and Processing of Data for Determination of Errors in Measurement (ICS 17.120.20)

révoqué à la date du présent avis de retrait.

Des copies archivées des normes retirées peuvent être obtenues à des fins historiques ou archivistiques auprès du Centre des ventes de l'ONGC. Il suffit d'en faire la demande par téléphone au 819-956-0425 ou 1-800-665-2472, par télécopieur au 819-956-5740, par Internet à: www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/ongc-cgsb/, par courriel à ncr.CGSB-ONGC@tpsgc-pwgsc.gc.ca, ou par courrier adressé au Centre des ventes, Office des normes générales du Canada, 11, rue Laurier, Gatineau, Canada K1A 1G6.

CAN/CGSB-157.1-M91

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Vocabulaire et symboles (ICS 17.120.20)

CAN/CGSB-157.2-M91/ISO 748 :1979

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes d'exploration du champ des vitesses (ICS 17.120.20)

CAN/CGSB-157.3-M91

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Établissement et exploitation d'une station de jaugeage (ICS 17.120.20)

CAN/CGSB-157.4-M91/ISO 1100-2:1982

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Partie 2 : Détermination de la relation hauteur-débit (ICS 17.120.20)

CAN/CGSB-157.6-M91/ISO 1088:1985

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes d'exploration du champ des vitesses — Recueil et traitement des données pour la détermination des erreurs de mesurage (ICS 17.120.20)

**Mesure de débit des liquides
dans les canaux découverts
— Établissement et
exploitation d'une station de
jaugeage**



QUALITÉ

La présente norme a été élaborée sous les auspices de l'OFFICE DES NORMES GÉNÉRALES DU CANADA (ONGC), qui est un organisme fédéral relevant du ministère des Approvisionnements et Services. L'ONGC participe à la production de normes facultatives dans une gamme étendue de domaines, par l'entremise de ses comités des normes qui se prononcent par consensus. Les comités des normes sont composés de représentants des groupes intéressés aux normes à l'étude, notamment les fabricants, les consommateurs et autres utilisateurs, les détaillants, les gouvernements, les institutions d'enseignement, les associations techniques, professionnelles et commerciales ainsi que les organismes de recherche et d'essai. Chaque norme est élaborée avec l'accord de tous les représentants. Le Conseil consultatif du Ministre pour l'ONGC passe en revue les décisions prises par consensus.

Le Conseil canadien des normes a conféré à l'ONGC le titre d'organisme rédacteur de normes nationales. En conséquence, les normes que l'Office élabore et soumet à titre de Normes nationales du Canada se conformeront aux critères et procédures établis à cette fin par le Conseil canadien des normes. Outre la publication de normes nationales, l'ONGC rédige également des normes visant des besoins particuliers, à la demande de plusieurs organismes tant du secteur privé que du secteur public. Les normes de l'ONGC et les normes nationales établies par cet organisme sont conformes aux politiques énoncées dans le Manuel des politiques pour l'élaboration et la mise à jour des normes de l'ONGC.

Étant donné l'évolution technique, les normes de l'ONGC font l'objet de révisions périodiques. Toutes les suggestions susceptibles d'en améliorer la teneur sont accueillies avec grand intérêt et portées à l'attention des comités des normes concernés. Les changements apportés aux normes font l'objet de modificatifs distincts ou sont incorporés dans les nouvelles éditions des normes.

Une liste à jour des normes de l'ONGC comprenant des renseignements sur les normes récentes et les derniers modificatifs parus, et sur la façon de se les procurer figure au Catalogue de l'ONGC publié chaque année. Cette publication peut également être obtenue sur demande, sans frais.

Même si l'objet de la présente norme précise l'application première que l'on peut en faire, il faut cependant remarquer qu'il incombe à l'utilisateur, au tout premier chef, de décider si la norme peut servir aux fins qu'il envisage.

Plusieurs des tests requis aux termes des normes de l'ONGC sont dangereux. L'ONGC n'assume ni n'accepte aucune responsabilité pour les blessures ou les dommages qui pourraient survenir pendant les essais, peu importe l'endroit où ceux-ci sont effectués.

L'ONGC ne se prononce pas quant à la validité de la propriété industrielle de chaque article assujéti à la présente norme. Les utilisateurs de la norme sont informés de façon personnelle qu'il leur revient entièrement de déterminer la validité de la propriété industrielle.

Pour de plus amples renseignements sur l'ONGC, ses services et les normes en général, prière de communiquer avec:

Le Secrétaire
Office des normes générales du Canada
Ottawa, Canada
K1A 1G6

Le CONSEIL CANADIEN DES NORMES est l'organisme de coordination du Système de normes nationales, une fédération d'organismes indépendants et autonomes qui travaillent au développement et à l'amélioration de la normalisation volontaire dans l'intérêt national.

Les principaux buts du Conseil sont d'encourager et de promouvoir la normalisation volontaire comme moyen d'améliorer l'économie nationale, d'améliorer la santé, la sécurité et le bien-être du public, d'aider et de protéger le consommateur, de faciliter le commerce national et international et de favoriser la coopération internationale dans le domaine de la normalisation.

Une Norme nationale du Canada est une norme, approuvée par le Conseil canadien des normes, qui reflète une entente raisonnable parmi les points de vue d'un certain nombre de personnes compétentes dont les intérêts réunis forment, au degré le plus élevé possible, une représentation équilibrée des producteurs, utilisateurs, consommateurs et d'autres personnes intéressées, selon le domaine envisagé. Il s'agit généralement d'une norme qui peut apporter une contribution appréciable, en temps opportun, à l'intérêt national.

L'approbation d'une norme en tant que Norme nationale du Canada indique qu'elle est conforme aux critères et méthodes établis par le Conseil canadien des normes. L'approbation ne porte pas sur l'aspect technique de la norme; cet aspect demeure la responsabilité de l'organisme rédacteur de normes accrédité.

Il est recommandé aux personnes qui ont besoin de normes de se servir des Normes nationales du Canada lorsque la chose est possible. Ces normes font l'objet d'examen périodiques; c'est pourquoi il est recommandé aux utilisateurs de se procurer l'édition la plus récente de la norme auprès de l'organisme qui l'a préparée.

La responsabilité d'approuver les Normes nationales du Canada incombe au:

Conseil canadien des normes
350, rue Sparks
Ottawa, Ontario
K1P 6N7

Comment commander des publications de l'ONGC:

par téléphone — (819) 956-0425 ou
— (819) 956-0426

par télécopieur — (819) 956-5644

par la poste — ONGC, Section des ventes
Ottawa, Canada
K1A 1G6

en personne — Place du Portage III, 9C1
11, rue Laurier
Hull, Québec

MESURE DE DÉBIT DES LIQUIDES DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS — ÉTABLISSEMENT ET EXPLOITATION D'UNE STATION DE JAUGEAGE

Préparée par

l'Office des normes générales du Canada



Approuvée par le

Conseil canadien des normes



Publiée, août 1991, par
l'Office des normes générales du Canada
Ottawa, Canada K1A 1G6

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada — 1991

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite d'aucune manière sans la permission préalable de l'éditeur.

OFFICE DES NORMES GÉNÉRALES DU CANADA
COMITÉ DE MESURE DE DÉBIT DES LIQUIDES
DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS

(Composition à la date d'approbation)

Anderson, J.E.	Ministère des Affaires municipales et de l'Environnement, Nouveau-Brunswick
Austford, M.	Ministère des Ressources naturelles, Manitoba
Belore, H.S.	Cumming Cockburn Ltd.
Burn, D.	Université du Manitoba
Chee, S.P.	Université de Windsor
Chu, V.	Université McGill
Coles, G.	Ministère de l'Environnement, Alberta
Gordon, J.L.	Monenco Ltée
Graham, S.	Ministère de l'Environnement et des Terres, Terre-Neuve
Halliday, R.A.	Ministère de l'Environnement
Hodgson, J.	Stanley Group
James, W.	Université de Guelph
Jonys, C.K.	Hydro-Ontario
Kartha, C.V.	Hydro-Colombie-Britannique
Kouwen, N.	Université de Waterloo
Leutheusser, H.J.	Université de Toronto
Logan, L.A.	Ministère de l'Environnement, Ontario
Manz, D.H.	Université de Calgary
Martin, F.	Prairie Farm Rehabilitation Administration
Miron, M.	Ministère de l'Environnement, Québec
Nelson, L.	Transalta Utilities Corp.
Quick, M.C.	Université de la Colombie-Britannique
Rajaratnam, N.	Université de l'Alberta
Satish, M.G.	Technical University of Nova Scotia
Spitzer, M.O.	Ministère de l'Environnement
Wiebe, K.	Ministère de l'Environnement
Wilson, K.W.	Ministère de l'Environnement, Colombie-Britannique
Bideshi, D. <i>Secrétaire</i>	Office des normes générales du Canada

Nous remercions le Bureau des traductions du Secrétariat d'État de la traduction française de la présente Norme nationale du Canada.

OFFICE DES NORMES GÉNÉRALES DU CANADA**Préface de la Norme nationale du Canada**

La présente Norme nationale renferme les exigences et les recommandations concernant l'établissement et l'exploitation d'une station de jaugeage, dans le but de mesurer le niveau, le débit ou ces deux paramètres. Elle a été préparée par le Comité de l'ONGC de mesure de débit des liquides dans les canaux découverts. Elle est semblable du point de vue contenu et présentation à la norme internationale ISO 1100/1, «Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Partie 1: Établissement et exploitation d'une station de jaugeage» publiée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO).

La norme ISO 1100/1, a été revue par le Comité des normes afin de déterminer si elle répondait aux besoins du Canada dans le domaine. Un astérisque (*) indique les sections qui diffèrent de celles de la norme ISO 1100/1. De plus, le Comité de l'ONGC a modifié le style de certaines sections afin qu'elles soient plus faciles à comprendre par les utilisateurs au Canada.

OFFICE DES NORMES GÉNÉRALES DU CANADA

MESURE DE DÉBIT DES LIQUIDES DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS — ÉTABLISSEMENT ET EXPLOITATION D'UNE STATION DE JAUGEAGE

1. OBJET

- 1.1 La présente norme renferme les exigences et les recommandations concernant l'établissement et l'exploitation d'une station de jaugeage sur un lac, un réservoir, une rivière ou un chenal artificiel découvert dans le but de mesurer le niveau ou le débit ou ces deux paramètres. La présente norme s'inspire de la Norme internationale ISO 1100/1 et porte le même titre que celle-ci. Un astérisque (*) indique les sections qui diffèrent de la norme ISO 1100/1.
- 1.2 Les exigences relatives à une station de mesure de niveau sont prescrites à la section 5. Les exigences concernant une station de mesure de débit sont classées sous deux rubriques, soit:
 - a. Mesures individuelles — Ces mesures comprennent les méthodes permettant d'effectuer une seule mesure de débit ou un nombre limité de mesures souvent employées pour l'étalonnage d'une station.
 - b. Mesures régulières — Ces mesures comprennent les méthodes permettant d'effectuer des mesures relativement fréquentes, le plus souvent, pendant de nombreuses années.
- 1.3 La mise à l'essai et l'évaluation d'un produit en regard de la présente norme peuvent nécessiter l'emploi de matériaux ou d'équipement pouvant être dangereux. Le présent document n'entend pas traiter de tous les aspects liés à la sécurité de son utilisation. Il appartient à l'utilisateur de la norme de se renseigner auprès des autorités compétentes et d'adopter des pratiques d'hygiène et de sécurité conformes aux règlements en vigueur avant de l'utiliser.

*2. PUBLICATIONS APPLICABLES

- 2.1 Les publications suivantes s'appliquent à la présente norme:
 - 2.1.1 Office des normes générales du Canada (ONGC)

CAN/CGSB-88.21-M — Graduations et marques des instruments de mesure linéaire pour la construction, l'arpentage et d'autres applications particulières

CAN/CGSB-157.1-M — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Vocabulaire et symboles

CAN/CGSB-157.2-M — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes d'exploration du champ des vitesses

CAN/CGSB-157.4-M/ISO 1100/2 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Partie 2: Détermination de la relation hauteur-débit.
 - 2.1.2 Association canadienne de normalisation (ACNOR)

CAN/CSA-Z234.1 — Guide canadien de familiarisation au système métrique.
 - 2.1.3 Organisation internationale de normalisation (ISO)

ISO 555/1 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes de dilution pour le mesurage du débit en régime permanent — Partie 1: Méthode d'injection à débit constant

ISO 555/2 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes de dilution pour le mesurage du débit en régime permanent — Partie 2: Méthode par intégration

ISO 1070 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthode de la pente de la ligne d'eau

ISO 1088 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthodes d'exploration du champ des vitesses — Recueil et traitement des données pour la détermination des erreurs de mesurage

- ISO 1100/1 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Partie 1: Établissement et exploitation d'une station de jaugeage
- ISO 1438/1 — Mesure de débit de l'eau dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux Venturi — Partie 1: Déversoirs en mince paroi
- 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 pour le mesurage direct de la profondeur
- ISO 3455 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Étalonnage des moulinets à élément rotatif en bassins découverts rectilignes
- ISO 3846 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs — Déversoirs à largeur de crête finie et à déversement dénoyé (déversoirs rectangulaires à seuil épais)
- ISO 3847 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs — Méthode d'évaluation du débit par détermination de la profondeur en bout des chenaux rectangulaires à déversement dénoyé
- ISO 4359 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Canaux jaugeurs à col rectangulaire, à col trapézoïdal et à col en U
- ISO 4360 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs — Déversoirs à profil triangulaire
- ISO 4366 — Mesure de la profondeur de l'eau — Sondeurs à écho
- ISO 4369 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthode du canot mobile
- ISO 4373 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Appareils de mesure du niveau de l'eau
- ISO 4375 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Systèmes de suspension par câbles aériens pour le jaugeage en rivière
- ISO 4377 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Déversoirs plats en V
- ISO 5168 — Mesure de débit des fluides — Calcul de l'erreur limite sur une mesure de débit
- ISO/TR 7178 — Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Méthode d'exploration du champ des vitesses — Recherche de l'erreur globale.

2.2 Sauf indication contraire de l'autorité appliquant la présente norme, ces publications s'entendent de l'édition la plus récente. La source de diffusion est indiquée dans la section intitulée Remarques.

3. TERMINOLOGIE

3.1 Aux fins de la présente norme, les définitions et les symboles donnés dans CAN/CGSB-157.1-M s'appliquent.

4. STATION DE JAUGEAGE DE NIVEAU D'EAU

4.1 Principe

4.1.1 Le niveau d'un cours d'eau ou d'un lac est la hauteur du plan d'eau au-dessus d'un plan de référence établi. Les niveaux d'eau des rivières, des lacs et des réservoirs sont utilisés directement dans les prévisions hydrologiques pour délimiter les zones où il existe un danger d'inondation et pour concevoir les structures situées dans les cours d'eau ou à proximité de ceux-ci. Employés en corrélation avec le débit des cours d'eau ou le volume de stockage des réservoirs et des lacs, les niveaux d'eau servent de base aux calculs des relevés de débit ou des changements concernant le stockage. Les relevés de niveaux d'eau sont obtenus au moyen d'observations systématiques sur un limnimètre de référence ou à partir des valeurs indiquées par un limnigraphe.

4.2 Relevé préliminaire

4.2.1 Il convient de procéder à un relevé préliminaire concernant les caractéristiques physiques et hydrauliques de l'emplacement proposé pour s'assurer que ce dernier satisfait aux exigences nécessaires pour la mesure du niveau d'eau conformément à la norme ISO 4373.

4.3 Choix de l'emplacement

*4.3.1 Le choix de l'emplacement pour l'observation du niveau doit être fonction du but en vue duquel les relevés sont effectués, de l'accessibilité de l'emplacement et de la disponibilité d'un observateur si le limnimètre ne comporte pas de dispositif enregistreur. En général, les limnimètres sur les lacs et réservoirs sont situés près de l'exutoire, mais en amont de la zone où l'accroissement de la vitesse entraîne un abaissement du niveau d'eau. Dans le cas de plans d'eau très étendus, il convient également d'installer les limnimètres de manière à réduire le fetch résultant de vents violents qui risque de causer des dommages ou de fausser les lectures. Les conditions hydrauliques, comme la pente du chenal, la rugosité, la section mouillée et la rectitude ainsi que l'existence de remous provenant de lacs, d'affluents ou d'obstacles en aval constituent des facteurs importants lors du choix d'un emplacement, notamment lorsque les niveaux d'eau sont utilisés pour calculer les relevés de débit.

4.3.2 Les stations de jaugeage doivent satisfaire aux exigences des sections pertinentes de la norme ISO 4373 qui comprend des recommandations relatives à la conception d'un limnimètre de référence, d'un limnigraphe et d'un puits de mesurage.

4.4 Conception et construction

4.4.1 Une station de jaugeage de niveau d'eau doit se composer essentiellement d'un ou de plusieurs limnimètres de référence. Dans les cas où il n'est pas nécessaire d'avoir un relevé continu du niveau, voir l'al. 6.1.7.2. Toutefois, il est en général nécessaire d'obtenir un relevé continu de niveau et, à cette fin, on installe un limnigraphe en plus du limnimètre de référence (voir l'al. 6.1.7.3).

4.4.2 **Limnimètre de référence (voir la norme ISO 4373)** — Les limnimètres de référence peuvent être du type direct ou indirect et les appareils de mesure peuvent être du type fixe ou mobile, comme les échelles limnimétriques verticales et inclinées, les pointes limnimétriques, les limnimètres à flotteur et les sondes limnimétriques visuelles qui entrent dans la catégorie des appareils à lecture directe. Ce groupe d'indicateurs de niveau d'eau se distinguent surtout par le fait que la lecture peut être effectuée directement en unités de longueur, sans l'intervention d'autres facteurs susceptibles d'influer sur la mesure. Les indicateurs de niveau d'eau indirects comprennent les systèmes de jaugeage qui convertissent une pression ou un signal électrique de manière à fournir une sortie proportionnelle au niveau d'eau. Parmi les appareils de mesure indirecte offerts, les instruments basés sur la pression, comme le servomanomètre et la servobalance à fléau, sont les plus répandus.

4.4.2.1 **Échelles limnimétriques verticales et inclinées** — Ces échelles comprennent une graduation marquée ou fixée sur une surface appropriée.

a. Exigences fonctionnelles — Les échelles limnimétriques doivent satisfaire aux exigences fonctionnelles suivantes:

- i. Elles doivent présenter une graduation précise et bien nette;
- ii. Elles doivent être durables et d'un entretien facile;
- iii. Elles doivent être faciles à installer et à utiliser.

b. Matériau — Le matériau constitutif des échelles limnimétriques doit être durable, notamment dans des conditions humides et sèches qui alternent, et également en raison de la résistance à l'usure ou de l'altération de couleur graduelle des marquages. Le matériau doit présenter un faible coefficient de dilatation compte tenu des effets de la température ou du mouillage.

c. Graduation

- i. Les traits de graduation d'une échelle limnimétrique verticale doivent être marqués clairement et de manière indélébile sur une surface lisse ou sur un panneau d'échelle. Les nombres doivent être distincts et placés de manière que le bord inférieur du nombre soit très rapproché du trait de graduation auquel il se rapporte.
- ii. Les traits de graduation d'une échelle limnimétrique inclinée peuvent être marqués directement sur une surface lisse ou sur un panneau d'échelle de la manière décrite en a. ci-dessus, ou ils peuvent être portés sur des plaques limnimétriques fabriquées et conçues pour être placées selon des pentes particulières. Les échelles limnimétriques inclinées doivent être étalonnées sur place au moyen d'un nivellement précis d'après le repère de référence de la station, sauf dans les cas où l'on utilise des plaques limnimétriques fabriquées qui sont conçues pour être placées selon une pente précise.

- iii. Les plaques limnimétriques doivent être fabriquées en longueur appropriée et la largeur de la face de l'échelle ne doit pas être inférieure à 50 mm.
- *iv. Le marquage de l'échelle limnimétrique doit se lire en multiples du millimètre. Le plus petit trait de graduation doit être fonction de l'exactitude requise, mais peut en général correspondre à 5 mm.
- v. Les marquages des subdivisions doivent avoir une exactitude de ± 0.5 mm, et l'erreur cumulative en longueur ne doit pas dépasser 0.1% ou 0.5 mm, suivant la plus élevée de ces valeurs.

d. Installation et utilisation

- i. Généralités — Il est recommandé de placer l'échelle limnimétrique à proximité de la rive de manière à pouvoir lire directement le niveau d'eau. Si cela est impossible en raison de remous excessifs, de l'effet du vent ou de l'inaccessibilité, les mesures peuvent être relevées au moyen d'une baie ou d'un puits de mesurage permanent et approprié où l'effet des vagues se trouve amorti et où le niveau de la surface de l'eau suit de très près les fluctuations du niveau d'eau dans le chenal. Pour s'en assurer, il faut faire en sorte que les prises d'eau des puits de mesurage soient correctement conçues et placées au bon endroit.

L'échelle limnimétrique doit être placée le plus près possible de la section de jaugeage sans influencer sur les conditions d'écoulement à cet endroit. Il ne faut pas placer l'échelle là où l'eau est perturbée par des remous et là où il existe des risques de dommages causés par la dérive. En général, les culées de pont ou les jetées sont des endroits qui ne conviennent pas. Quel que soit l'endroit où l'échelle limnimétrique est placée, il faut que l'échelle soit d'accès facile et pratique de sorte qu'un observateur puisse relever les indications de l'échelle pratiquement au niveau de ses yeux. S'il y a lieu, il est recommandé de construire des marches pour faciliter l'accès à l'échelle. La plaque ou le panneau d'échelle doit être solidement fixé au support, mais il doit être possible de déposer la plaque ou le panneau aux fins d'entretien ou de réglage. Les bords du panneau d'échelle doivent être protégés.

- ii. Échelles limnimétriques verticales — La surface d'un mur qui a une face verticale, ou presque verticale, et parallèle au sens d'écoulement constitue un support convenable pour une échelle limnimétrique verticale. La plaque de support ou le panneau d'échelle doit être fixé à la surface de manière à présenter une face parfaitement verticale sur laquelle seront apposés les traits de graduation. Le panneau d'échelle et la plaque de support doivent être solidement fixés au mur. Les échelles limnimétriques peuvent être fixées à des pieux qui doivent être enfoncés solidement dans le lit ou dans les rives ou encore être fixés dans le béton de manière à ne pas s'enfoncer, s'incliner ou être entraînés par l'eau. Dans tous les cas, l'ancrage doit se prolonger au-dessous de la surface du sol jusqu'à un niveau où il ne risque pas d'être altéré par le gel. Afin d'éviter les effets de vitesse qui peuvent influencer sur l'exactitude des mesures, un pieu peut présenter une forme effilée en amont et en aval ou on peut installer l'échelle limnimétrique dans une baie où elle ne sera pas exposée à la force du courant. Lorsque la plage des niveaux d'eau dépasse la capacité d'une seule échelle limnimétrique verticale, on peut installer des sections supplémentaires sur l'axe de la section mouillée perpendiculaire au sens d'écoulement. Les échelles d'une série d'échelles disposées en gradins doivent présenter un chevauchement adéquat. De plus, les échelles limnimétriques en gradins doivent être installées à des intervalles permettant la mesure du niveau d'eau quel que soit l'écoulement.
- iii. Échelles limnimétriques inclinées — Les échelles limnimétriques inclinées doivent être installées de manière à suivre de très près le profil de la rive de la rivière. Le profil de la rive peut être tel qu'il soit possible d'installer une échelle comportant une seule pente; toutefois, il est souvent nécessaire de construire une échelle limnimétrique en plusieurs sections comportant chacune une pente différente. Les exigences générales concernant l'installation prescrite à l'al. 4.4.2.1 s'appliquent.

4.4.2.2 Pointes limnimétriques

- a. Généralités — Les pointes limnimétriques se composent d'une tige à pointe et d'un dispositif quelconque permettant de déterminer leur position exacte dans le plan vertical par rapport à un niveau de référence. Ces pointes sont surtout utilisées pour vérifier ou étalonner d'autres échelles limnimétriques ou limnigraphes. Il existe deux types de pointes limnimétriques, soit:
 - i. La pointe limnimétrique droite dont la tige est descendue jusqu'à ce qu'elle touche à la surface libre de l'eau;
 - ii. La pointe limnimétrique recourbée vers le haut dont la tige, après immersion, est remontée jusqu'à ce qu'elle entre en contact avec la surface libre de l'eau.

La position dans le plan vertical peut être déterminée à l'aide d'une échelle graduée, d'un ruban à mesurer comportant un vernier quelconque ou d'un indicateur à affichage numérique. L'échelle est mobile et graduée de

manière que l'on puisse lire les indications de haut en bas. Pour utiliser les pointes limnimétriques, il faut placer la tige de la pointe près de la surface de l'eau et déceler le moment où la pointe de la tige touche à peine la surface libre de l'eau et semble vouloir la perforer. On peut utiliser des dispositifs électriques pour faciliter le positionnement de la pointe exactement sur la surface de l'eau.

Les pointes limnimétriques offrent l'avantage de mesurer suivant un degré élevé d'exactitude. Elles présentent, toutefois, le désavantage d'offrir une faible plage de mesure qui est habituellement d'environ 1 m. On peut, toutefois, éliminer cet inconvénient en installant une série de plaques de référence à différents niveaux.

b. Exigences fonctionnelles

- i. Les pointes limnimétriques installées doivent permettre d'effectuer la mesure de niveau à tous les niveaux au-delà des extrêmes (niveaux maximal et minimal) prévus.
 - ii. L'endroit où la pointe touche à la surface du liquide à l'état libre doit être bien éclairé.
 - iii. La pointe recourbée ou la tige doit être constituée de matériau suffisamment robuste pour résister à toute déformation en transit et dans les conditions de service. La tige doit être effilée de manière à se terminer par une pointe qui a un angle inclus d'environ 60° et qui est arrondie selon un rayon d'environ 0.25 mm.
- c. Matériau — Les pointes limnimétriques recourbées ou droites et les pièces auxiliaires doivent être entièrement constituées de matériaux durables qui résistent à la corrosion.
- d. Graduation — La graduation des pointes limnimétriques droites ou recourbées doit être en millimètres et doit être indiquée clairement avec précision. Un vernier ou un micromètre permettant la lecture à 0.1 mm près peut être fourni; toutefois, un tel degré d'exactitude n'est en général requis que pour les mesures effectuées en laboratoire.

e. Installation et utilisation

- i. Les pointes limnimétriques droites ou recourbées peuvent être montées au-dessus d'une surface d'eau à écoulement libre au bord d'un chenal, si les conditions le permettent. Si cela est impossible en raison de remous excessifs, de l'effet du vent ou de l'inaccessibilité, une baie ou un puits de mesurage permanent et approprié doivent être installés.
- ii. Les pointes limnimétriques droites ou recourbées doivent être placées le plus près possible de la section de jaugeage et doivent être d'accès facile pour l'observateur.
- iii. Les pointes limnimétriques ne doivent pas être installées à un endroit où la surface de l'eau est perturbée par des remous, l'effet du vent ou des remous d'exhaussement. En général, il ne convient pas d'installer les pointes limnimétriques à proximité des culées ou des jetées de pont.
- iv. Lorsque plusieurs supports ou plaques de référence sont installés à différents niveaux, il est préférable que ces derniers se trouvent dans le plan d'une seule section mouillée perpendiculaire au sens d'écoulement dans le chenal; si cela est impossible et s'il est nécessaire de décaler les pointes, ces dernières doivent toutes se trouver à moins de 1 m de distance de part et d'autre de la section mouillée.
- v. Les supports et les plaques de référence doivent être installés sur des fondations solides qui se prolongent au-dessous de la profondeur de gel.
- vi. Il faut établir avec le plus grand soin l'altitude des plaques de référence par rapport à laquelle on détermine le niveau de la surface libre de l'eau. Cette altitude doit être vérifiée par comparaison avec le repère de nivellement de la station (voir l'al. 4.5.4) au moins une fois par année. L'incertitude relative au transfert de niveau entre le repère de nivellement de la station et chaque plaque de référence ne doit pas dépasser ± 1.0 mm.

4.4.2.3 Limnimètre à flotteur

- a. Généralités — Le limnimètre à flotteur est utilisé avant tout comme limnimètre de référence intérieur dans les mesures de niveau d'eau. Le limnimètre à flotteur type se compose d'un flotteur se déplaçant dans un puits de mesurage, d'un ruban gradué en acier, d'un contrepoids, d'une poulie et d'une aiguille. La poulie du flotteur, montée sur un support, présente une gorge sur son pourtour, prévue pour le ruban. Le ruban est fixé au-dessus du flotteur et passe sans patinage sur la poulie dans le blindage du limnimètre au-dessus du puits. Le ruban est maintenu sous tension par un contrepoids à l'extrémité libre ou par un ressort. Ainsi, les fluctuations du niveau sont décelées par le flotteur qui positionne le ruban par rapport à l'aiguille.

b. Exigences fonctionnelles

- i. Les limnimètres à flotteur installés doivent permettre d'effectuer la mesure de niveau à tous les niveaux au-delà des extrêmes (niveaux maximal et minimal) prévus.
 - ii. Les dimensions du flotteur et du contrepoids ainsi que la qualité des éléments du dispositif mécanique d'affichage à distance doivent être choisies de manière à obtenir une exactitude de lecture et une fiabilité opérationnelle suffisamment élevées.
 - iii. Le flotteur doit être constitué d'un matériau résistant à la corrosion et à l'encrassement. Le matériau doit être étanche et fonctionner dans un plan parfaitement vertical. Sa densité ne doit pas changer de manière appréciable.
 - iv. Le flotteur doit bien flotter et le ruban ou le fil doit être exempt de torsions ou d'entortillements.
- *c. Graduation — Sauf indication contraire (par. 9.1), les limnimètres à flotteur doivent être gradués en millimètres et les traits de graduation doivent être marqués de façon claire et précise.

4.4.2.4 Sonde limnimétrique visuelle

- a. Généralités — Une sonde limnimétrique visuelle type se compose d'un tambour sur lequel est enroulée une seule épaisseur de câble, d'un poids fixé à l'extrémité du câble, d'un disque gradué et d'un compteur installés dans un boîtier en aluminium fondu. Le disque est gradué et relié de manière permanente au compteur et à l'arbre du tambour. Le câble est guidé jusqu'à sa position sur le tambour au moyen d'une poulie à fileter. La bobine est munie d'un cliquet et d'un rochet qui servent à maintenir le poids à n'importe quelle hauteur. La sonde est réglée de manière que, lorsque la partie inférieure du poids se trouve à la surface de l'eau, les lectures combinées du compteur et du disque gradué indiquent le niveau.
- b. Exigences fonctionnelles
 - i. Les sondes limnimétriques visuelles installées doivent permettre d'effectuer la mesure de niveau à tous les niveaux au-delà des extrêmes (niveaux maximal et minimal) prévus.
 - ii. Le ruban ou le fil métallique doit être exempt de torsions ou d'entortillements.
 - iii. Le poids doit être constitué d'un matériau durable et résistant à la corrosion.
 - iv. L'installation doit comporter une barre de contrôle horizontale qui permet de vérifier les repères d'étalonnage du disque gradué ou du compteur.
- c. Installation et utilisation
 - i. La sonde limnimétrique visuelle est utilisée comme limnimètre de référence extérieur aux endroits où il est difficile d'employer d'autres limnimètres extérieurs. La sonde limnimétrique visuelle est habituellement installée là où il y a un pont, une plate-forme ou une autre structure au-dessus de l'eau.
 - ii. La tige de jaugeage ne doit pas être installée à un endroit où l'eau est perturbée par des remous, les effets du vent ou des remous d'exhaussement. En général, il n'est pas recommandé de la placer à proximité des culées de pont ou des jetées.
 - iii. Il faut lire souvent la cote d'altitude de la barre de contrôle de la sonde limnimétrique visuelle afin de garantir la fiabilité de l'altitude de base correcte.

4.4.2.5 *Limnimètre de crête* — Le limnimètre de crête est utilisé pour obtenir un relevé du niveau maximal atteint pendant une inondation lorsque les autres méthodes d'enregistrement des niveaux ne peuvent pas être employées. Il est possible de calculer les débits de pointe à partir des niveaux d'eau relevés à deux limnimètres installés à une certaine distance l'un de l'autre sur un tronçon de chenal, à condition que le délai entre les mesures soit négligeable. Les limnimètres de crête ne satisfont pas aux exigences d'exactitude prescrites au par. 4.6.

Ces limnimètres sont construits sur place suivant divers modèles. Ils se composent essentiellement d'un tube dont le diamètre intérieur est d'environ 50 mm et dans lequel se déplace une tige. Le tube est perforé de manière à permettre à l'eau qui monte d'y pénétrer, les perforations étant situées de manière à éviter que les remous d'abaissement ou la hauteur dynamique n'influe sur le niveau d'eau statique. La partie supérieure du tube doit être fermée pour éviter que la pluie n'y entre, mais doit comporter un évent pour permettre à l'eau de monter dans le tube sans retard important. Du liège en poudre placé à la partie inférieure du tube flotte à la surface de l'eau en crue et est déposé au centre de la tige à mesure que l'eau baisse. Une autre solution consiste à appliquer sur le centre de la tige une couche de peinture dont la couleur est altérée par l'eau en permanence.

4.4.2.6 *Manomètres* — On utilise souvent des manomètres aux endroits où l'installation de puits de mesurage serait trop onéreuse. Les manomètres sont également utilisés dans le cas des cours d'eau à chenal sableux parce que la canalisation de la prise d'eau peut être prolongée de manière à suivre un chenal de cours d'eau dont le cours est mouvant. De plus, si on utilise la méthode bulle à bulle, l'écoulement du gaz tend à empêcher l'obstruction de l'orifice par le sable.

- a. Généralités — L'une des méthodes couramment employées pour mesurer le niveau d'eau consiste à mesurer la hauteur d'une colonne d'eau par rapport à un certain plan de référence. On peut effectuer cette mesure indirectement en décelant la pression de l'eau à un point fixe au-dessous de la surface de l'eau, puis en utilisant le principe de l'hydrostatique selon lequel la pression d'un liquide est proportionnelle à la profondeur.
- b. Exigences fonctionnelles — La plage de mesure de l'appareil doit être adéquate compte tenu des plages prévues du niveau d'eau et, la réaction doit être suffisamment rapide pour suivre tout taux de changement prévu du niveau d'eau.

La méthode de transmission de la pression de la colonne d'eau au capteur peut être directe ou indirecte. Lorsque le capteur est monté au-dessous du point de mesure de la pression de la colonne d'eau, la pression de l'eau peut être transmise directement au capteur. Toutefois, si le capteur est installé au-dessus de la colonne d'eau, la méthode directe ne convient généralement pas parce que les gaz entraînés par l'eau peuvent engendrer des poches d'air dans la canalisation. De plus, si l'eau est très corrosive, il n'est pas souhaitable que celle-ci entre directement en contact avec le capteur.

- c. Méthode bulle à bulle — La méthode bulle à bulle constitue la méthode de transmission de la pression qui donne les meilleurs résultats et qui est la plus répandue. Cette technique peut être utilisée quelle que soit la cote d'altitude du manomètre par rapport à la colonne d'eau. De plus, étant donné que l'eau n'entre pas directement en contact avec le capteur de pression, cette méthode peut être utilisée pour les mesures effectuées dans l'eau fortement corrosive.

Dans la méthode bulle à bulle, un faible débit de gaz non corrosif ou d'air comprimé est envoyé par un tube dont l'extrémité libre a été immergée dans l'eau et fixée à une hauteur située au-dessous de la colonne d'eau à mesurer. L'azote sec, par exemple, est souvent utilisé. Le capteur, qui est situé à l'extrémité opposée, décele la pression du gaz requise pour faire déplacer le liquide dans le tube. Cette pression est directement proportionnelle à la charge du liquide au-dessus de l'orifice.

Lorsqu'on utilise la technique bulle à bulle, il faut tenir compte de certaines exigences relatives à l'installation et à l'exploitation. Les principales exigences sont les suivantes:

- i. Il faut prévoir un approvisionnement adéquat en gaz ou en air comprimé. On doit assurer un écoulement de gaz continu vers le tube pour empêcher le liquide d'y pénétrer lorsque le niveau d'eau monte. Un débit d'alimentation de gaz donné entraînera une augmentation de la pression dans le système à la même vitesse que la charge. Si le gaz est fourni à un débit inférieur, le liquide pénétrera dans le tube et, vice-versa, un débit supérieur entraînera un écoulement continu du gaz par l'ouverture prévue à la partie inférieure du tube. L'alimentation en gaz est habituellement assurée par une bouteille ou par un compresseur d'air. Dans un cas comme dans l'autre, la source d'alimentation doit avoir une pression de refoulement supérieure à celle de la plage à mesurer.
- ii. Il faut prévoir un détendeur qui permet de régler une pression dépassant en toute sécurité la pression de la plage maximale. Une soupape régulatrice de débit et un indicateur visuel de débit quelconque doivent être installés de manière que l'on puisse régler correctement le débit de gaz fourni au système. Il faut régler la pression de façon à empêcher l'eau de pénétrer dans le tube même dans le cas des plus rapides taux de changement prévus.
- iii. Il faut minimiser les lectures erronées qui résultent du frottement du gaz se déplaçant dans le tube. Les tubes longs ou ceux qui présentent un faible diamètre aggravent le problème du frottement. On résout souvent ce problème en raccordant deux tubes très près de l'orifice, un tube servant de canalisation d'alimentation en gaz et l'autre servant de canalisation de détection de pression. Ce montage restreint au minimum le déplacement du gaz dans la canalisation de détection de pression, ce qui a pour effet de minimiser le frottement.
- *iv. Le tube doit être installé selon une pente continue de haut en bas jusqu'à l'orifice afin d'empêcher qu'une contre-pression indésirable due à la condensation ou à l'infiltration d'eau provenant d'un cours d'eau ne soit engendrée.

- d. Capsule manométrique — Lorsqu'aucune source d'alimentation en gaz n'est disponible, on utilise parfois une capsule manométrique pour transmettre la pression au capteur. Cet appareil, que l'on appelle souvent «capsule manométrique élastique», se compose généralement d'un court cylindre creux en fonte comportant une extrémité ouverte. L'extrémité ouverte est scellée à l'aide d'un diaphragme très souple et peu tendu et le cylindre est relié au moyen d'un tube au capteur de pression. Le tout forme un circuit de gaz fermé, la pression étant au départ égale à la pression atmosphérique. Le cylindre est immergé dans l'eau et fixé à une altitude inférieure à celle de la colonne d'eau que l'on doit mesurer. Le diaphragme lâche permet à la pression d'eau de comprimer le gaz dans le cylindre jusqu'à ce que la pression dans le système soit proportionnelle à la hauteur de la colonne d'eau au-dessus. Le fait qu'une quantité de gaz excessive s'échappe du système entraînant ainsi l'étrépage de la membrane constitue l'un des principaux inconvénients de cet appareil. Lorsque cela se produit, la pression à l'intérieur du système n'est plus égale à celle de la charge de refoulement. Cet inconvénient peut être éliminé en renouvelant périodiquement le gaz à l'intérieur du circuit en ouvrant et en refermant hermétiquement sous l'effet de la pression atmosphérique et en vérifiant l'étalonnage. Avec cet appareil, il est difficile de conserver le degré d'exactitude prescrit au par. 4.6.
- e. Servomanomètre et servobalance à fléau — Ces deux types d'appareils sont des capteurs de pression qui convertissent la pression décelée en une position d'arbre rotatif proportionnelle à la hauteur de la colonne d'eau. La rotation de l'arbre sert à commander un limnigraphe et un indicateur de niveau d'eau. Comme son nom l'indique, le servomanomètre est essentiellement un manomètre muni d'un servosystème qui décèle et qui suit l'écart des liquides à l'intérieur du manomètre. La servobalance à fléau est une balance à fléau qui comporte, d'un côté du fléau, une balance de pression et, de l'autre, un poids. Dans ce cas, le servosystème place le poids de manière que le fléau soit en équilibre et décèle cette position.
- f. Compensation de la densité d'eau — Étant donné que la densité de l'eau dans laquelle le capteur fonctionne varie en fonction de la température et de la teneur en limon et en substances chimiques, des dispositifs automatiques ou manuels permettant de compenser ces changements doivent être prévus.
- g. Changements du poids du gaz — Si l'on utilise l'une des techniques faisant appel au gaz pour transmettre la pression, il faut prévoir des moyens permettant de compenser ces changements de densité du gaz, le volume de tous les gaz variant en fonction des changements de température et de pression.
- *h. Capteurs de pression divers — De nombreux capteurs de pression fonctionnant suivant plusieurs principes sont disponibles dans le commerce. La plupart de ceux-ci comportent une sortie électrique proportionnelle à la pression décelée. Le choix de l'appareil qui convient dépend de l'application prévue. L'emploi de ces capteurs se limite en général à des plages de mesure restreintes étant donné que les exigences concernant l'exactitude prescrites au par. 4.6 sont difficiles à satisfaire dans le cas des plages de mesure étendues.

4.4.3 Puits de mesurage

4.4.3.1 Exigences fonctionnelles des puits de mesurage

- a. Généralités — Les puits de mesurage remplissent les fonctions suivantes:
- Abriter l'instrument et protéger le système à flotteur.
 - Fournir dans le puits un niveau correspondant exactement au niveau d'eau dans le chenal.
 - Éliminer les oscillations de la surface de l'eau.
- b. Exigences particulières
- Le puits peut être circulaire, ovale, carré ou rectangulaire dans le plan et peut être constitué de n'importe quel matériau approprié.
 - Le puits peut être placé dans la rive d'un chenal ou directement dans le cours d'eau lorsqu'il est fixé à une culée de pont ou à une jetée. Toutefois, le puits ne doit pas être placé directement dans le chenal là où les conditions d'écoulement risquent d'entraîner des effets de séparation et de stagnation. Lorsque le puits est placé dans la rive, il doit être relié au chenal à l'aide d'un ou de plusieurs tuyaux de prise. Lorsque le puits est placé directement dans le chenal, les prises peuvent se présenter sous la forme de trous ou de fentes découpés dans le puits même.
 - Le puits ne doit pas gêner le mode d'écoulement dans le chenal d'approche et, s'il est placé à un endroit par rapport à une commande, il doit être placé assez loin en amont pour être à l'extérieur du tronçon associé à la commande.

- iv. Le puits doit reposer sur une fondation solide lorsqu'il est placé dans la rive et il doit être solidement ancré lorsqu'il est placé à la verticale dans le cours d'eau de manière à toujours rester stable.
- v. Le puits et tous les joints de construction du puits et des tuyaux de prise doivent être étanches de manière que l'eau ne puisse entrer ou sortir que par la prise elle-même.
- vi. Le puits doit être vertical, sous réserve de limites acceptables, et doit présenter une hauteur et une profondeur suffisantes pour que le flotteur puisse se déplacer librement sur la plage entière de niveaux d'eau.
- vii. Les dimensions du puits doivent être étudiées pour que tout le matériel qui y est installé puisse fonctionner sans aucune restriction. Un dégagement d'au moins 75 mm doit séparer les parois et le flotteur et, lorsque deux flotteurs ou plus sont utilisés à l'intérieur du puits, le dégagement entre ceux-ci doit être d'au moins 150 mm. Dans les rivières chargées de limon, il est utile d'avoir un puits suffisamment grand pour qu'on puisse y entrer et le nettoyer.
- viii. Lorsque le puits de mesurage est placé dans la rive du cours d'eau, il doit avoir un fond scellé pour empêcher le suintement vers l'intérieur de la chambre et les fuites en provenance de celle-ci.
- ix. Dans les puits à fond scellé, le fond du puits doit être situé à 300 mm au moins au-dessous du radier de la prise la plus basse, de manière qu'un espace soit prévu pour l'accumulation des sédiments et pour éviter que le flotteur ne touche le fond aux moments où l'écoulement est très faible.

4.4.3.2 Exigences fonctionnelles des prises d'eau

- a. Généralités — Les prises d'eau des puits de mesurage remplissent les fonctions suivantes:
 - i. Permettre à l'eau d'entrer dans le puits de mesurage ou d'y sortir de façon que l'eau dans le puits reste à la même hauteur que celle dans le courant dans toutes les conditions d'écoulement.
 - ii. Assurer un certain contrôle afin de limiter l'inertie et les effets oscillatoires à l'intérieur du puits.
- b. Exigences particulières
 - i. Les prises d'eau peuvent se présenter sous la forme d'un ou de plusieurs tuyaux reliant le puits à la rivière lorsque le puits est situé en retrait dans la rive, ou d'une série de trous ou de fentes pratiqués dans le puits même lorsque celui-ci est placé directement dans la rivière. Dans les rivières qui présentent toujours une forte teneur en limon, un puits placé dans le cours d'eau peut avoir un fond en forme de trémie qui sert de prise et de moyen d'autonettoyage.
 - ii. Les prises doivent présenter des dimensions suffisamment grandes pour que le niveau de l'eau dans le puits suive la montée et la baisse du niveau de la rivière sans retard appréciable.
 - iii. Les prises doivent présenter des dimensions suffisamment faibles pour amortir les oscillations causées par l'effet des vagues ou les remous.
 - iv. Deux prises d'eau ou plus peuvent être placées verticalement les unes au-dessus des autres pour que le système puisse fonctionner même si le tuyau le plus bas est obstrué.
 - *v. Selon les conditions de surface et les charges de sédiments prévues, la prise la plus basse d'un puits de mesurage placé dans la rive doit être située à 150 mm au moins au-dessous du niveau le plus bas prévu et la prise doit entrer dans le tuyau à 300 mm au moins au-dessus du fond du puits.
 - vi. Les tuyaux de prise doivent être placés selon une pente constante sur une fondation appropriée qui ne risque pas de s'affaisser.
 - vii. La prise doit être orientée dans le cours d'eau de manière à déceler le bon niveau d'eau. Lorsque les vitesses dans le cours d'eau au point de mesurage sont suffisamment importantes de sorte que la pression dynamique est élevée, la prise doit comporter un dispositif de détection de pression statique (piézomètre mural, piézomètre dans une plaque, surface parallèle à l'écoulement, tubes statiques, etc.).
 - viii. Les tuyaux de prise qui mesurent plus de 20 m de longueur doivent comporter un trou d'homme intermédiaire muni de déflecteurs intérieurs qui jouent le rôle de collecteur de limon et qui assurent l'accès pour le nettoyage.
 - ix. Des dispositifs doivent être prévus pour le nettoyage des prises, soit au moyen d'un système de rinçage où l'eau sous pression peut être envoyée à l'extrémité de la prise dans le puits de mesurage, soit en pompant de l'eau par l'intermédiaire de la prise, soit en nettoyant manuellement au moyen de tiges de curage d'égouts souples.

- x. Lorsque la vitesse en amont de l'extrémité rivière de la prise d'eau est élevée, un abaissement du niveau d'eau dans le puits peut se produire. On peut réduire l'abaissement en fixant un tube statique perforé, avec embout, à l'extrémité rivière de la prise d'eau.

4.4.3.3 *Protection dans les conditions de gel* — Pour les précautions à prendre dans les conditions de gel, voir la section 8.

4.4.4 *Limnigraphes (voir la norme ISO 4373)*

*4.4.4.1 *Limnigraphes mécaniques* — Les limnigraphes mécaniques peuvent être classés comme étant analogiques ou numériques, selon le mode employé pour l'enregistrement de la position de rotation de l'arbre d'entrée. Le limnigraphe analogique produit un relevé graphique des paramètres de montée et de baisse des eaux en fonction du temps, tandis que le limnigraphe numérique enregistre des paramètres codés à intervalles de temps présélectionnés. On peut, en outre, grouper les limnigraphes analogiques selon deux catégories, à savoir ceux qui enregistrent de manière continue ou selon différents intervalles pendant une période définie (tous les jours, toutes les semaines, tous les mois, etc.).

*4.4.4.2 *Limnigraphes actionnés par la pression* — Les limnigraphes actionnés par la pression sont d'une conception simple et d'une construction relativement robuste. Ils risquent, toutefois, de fournir des indications erronées et, par conséquent, ne sont pas utilisés souvent pour enregistrer le niveau d'eau.

Ce type de limnigraphe se compose en général d'un élément sensible à la pression (par ex., un transducteur de pression) relié à une cassette ou à un disque dur ou à un stylet et un support de diagramme. Le stylet est relié à l'élément de pression au moyen d'un dispositif à levier et le support de diagramme est entraîné par un mouvement d'horlogerie. L'ensemble stylet/support de diagramme, bien qu'il soit répandu, est remplacé de nos jours par les cassettes ou les disques durs.

4.4.4.3 *Limnigraphes électroniques* — Les limnigraphes électroniques se composent d'un boîtier, d'un mécanisme de commande, d'un stylet et d'un mécanisme assurant le déplacement du support de diagramme. Le mécanisme de commande a pour rôle de positionner le stylet au bon endroit sur le support de diagramme en réponse à un signal. Bien qu'une gamme très variée de limnigraphes électroniques soit offerte, il existe essentiellement seulement deux types de limnigraphes, soit ceux qui ont un mécanisme à commande directe et ceux qui ont un servomécanisme. En raison de leur couple faible et de leur mouvement de sortie relativement limité, les mécanismes à commande directe permettent de déplacer seulement un stylet léger et à faible friction sur une plage limitée, tandis que les limnigraphes à servomécanisme robustes possèdent suffisamment de puissance et assurent des déplacements beaucoup plus étendus.

Le mécanisme de commande constitue l'élément principal des limnigraphes électroniques. Sa qualité et les techniques sur lesquelles se fonde sa conception déterminent les caractéristiques du limnigraphe entier.

4.4.4.4 Quel que soit le type de limnigraphe utilisé, il doit satisfaire aux exigences prescrites dans la norme ISO 4373.

4.5 *Niveau de référence*

4.5.1 Le niveau de référence peut être un niveau reconnu, comme le niveau de la mer moyen, ou un plan de référence arbitraire choisi parce qu'il est pratique d'utiliser des lectures représentées par des nombres relativement bas. En général, il est souhaitable d'éviter que les lectures aient des valeurs négatives. Ainsi, le niveau de référence choisi aux fins d'exploitation doit être inférieur à l'altitude du débit nul sur la commande. Aux endroits qui sont soumis à un affouillement important, il faut s'assurer de choisir un niveau de référence suffisamment bas.

4.5.2 Si un niveau de référence arbitraire est utilisé, il faut le reporter à un repère de nivellement dont l'altitude est connue au moyen d'un nivellement précis afin que le niveau de référence arbitraire puisse être retrouvé au cas où ce dernier et les repères de référence seraient détruits. Un niveau de référence permanent doit être maintenu de manière qu'un seul niveau soit utilisé pour les relevés de niveau pendant la durée de service de la station.

4.5.3 *Zéro de l'échelle* — Il faut établir la corrélation entre le zéro de l'échelle et un niveau de référence national au moyen d'un repère de nivellement de station. Il faut vérifier au moins une fois par année la relation existant entre le zéro de l'échelle et le repère de nivellement de la station. Il faut vérifier de temps à autre le rapport existant entre le zéro de l'échelle et les autres sections de l'échelle. Dans la mesure du possible, le zéro de l'échelle doit rester le même. L'incertitude concernant le transfert du niveau du repère de nivellement de la station à l'échelle ne doit pas dépasser ± 1.0 mm.

4.5.4 **Repère de nivellement de la station** — Le repère de nivellement de la station doit être situé en un endroit offrant le maximum de sécurité contre toute perturbation. Il doit être solidement fixé dans un bloc de béton ou tout autre montage semblable qui se prolonge en dessous de la surface du sol jusqu'à un niveau non exposé aux perturbations (par ex., le gel). Il faut établir la corrélation entre le repère de nivellement de la station et un repère de nivellement topographique national au moyen d'un nivellement précis. Pour faciliter le nivellement précis entre le repère de nivellement de la station et le zéro de l'échelle, on doit positionner le repère de nivellement de manière à effectuer le transfert de niveau au moyen d'un nivellement réciproque ou de visées directes ou inverses équilibrées lors du réglage du niveau. Lorsqu'on ne peut pas établir la corrélation entre le repère de nivellement et le repère de nivellement topographique national, on doit établir plusieurs repères de nivellement de la station (trois de préférence) en des endroits très différents.

4.6 **Exactitude** — Pour la mesure des niveaux, une incertitude de ± 10 mm peut être admise dans certaines installations, alors que dans d'autres installations, une incertitude de ± 3 mm ou plus peut être exigée. Toutefois, l'incertitude ne doit en aucun cas être supérieure à ± 10 mm ou $\pm 0.1\%$ du calibre, suivant la moins élevée de ces deux valeurs.

5. STATION POUR LE MESURAGE DU DÉBIT — MESURES INDIVIDUELLES

Les méthodes suivantes sont celles qui conviennent le mieux à une seule mesure, à un nombre de mesures limité ou à des mesures de débit peu fréquentes.

5.1 Méthode d'exploration du champ des vitesses

5.1.1 **Principe de la méthode de mesure** — Le principe de la méthode consiste à mesurer la vitesse et l'aire de la section mouillée de l'écoulement dans un chenal découvert, le produit étant le débit. Les recommandations qui suivent limitent l'application de cette méthode aux cas où la vitesse est mesurée à l'aide de moulinets ou de flotteurs.

5.1.2 **Relevé préliminaire** — Un relevé préliminaire doit être effectué afin de s'assurer que les caractéristiques physiques et hydrauliques de l'emplacement proposé satisfont aux exigences de CAN/CGSB-157.2-M. Il se peut que l'on doive procéder à plusieurs relevés de ce genre dans des conditions d'écoulement différentes afin de garantir que l'emplacement n'est pas soumis, par exemple, à des ondes stationnaires lorsque l'écoulement est fort, à des conditions favorables à la végétation herbacée, à des conditions défavorables de gel et ainsi de suite.

5.1.3 Choix de l'emplacement

5.1.3.1 L'emplacement choisi doit permettre de mesurer l'étendue entière et tous les types d'écoulement qui peuvent se présenter ou qui doivent être mesurés.

5.1.3.2 Il faut prêter une attention particulière aux éléments suivants:

- a. Il faut éviter, dans la mesure du possible, les endroits encombrés de végétation herbacée;
- b. Il ne doit pas y avoir de vortex, d'eau morte ni d'autres anomalies d'écoulement;
- c. Il faut éviter, dans la mesure du possible, les endroits où des conditions médiocres règnent lorsque l'eau gèle;
- d. On doit pouvoir avoir accès à l'emplacement dans la plupart des conditions.

5.1.4 Relevé concernant une station de jaugeage permanente

5.1.4.1 Après avoir exécuté un relevé préliminaire, il faut procéder à un relevé topographique lors du choix d'un emplacement permanent pour une section de jaugeage appropriée. Ce relevé doit comprendre un plan de l'emplacement indiquant la largeur de la surface d'eau à une cote indiquée, les bords des rives naturelles des chenaux, la ligne de toute discontinuité définie de la pente de ces rives ainsi que le pied et la crête de toute digue artificielle.

5.1.4.2 Le relevé détaillé du bief doit être prolongé par l'entremise du défluent de crue jusqu'à une cote bien supérieure au niveau d'inondation le plus élevé qui est prévu. Les niveaux ou les sondages doivent être suffisamment rapprochés pour révéler tout changement brusque du profil du chenal.

5.1.4.3 Le lit du bief doit être examiné minutieusement pour déterminer si des roches ou de très grosses pierres sont présentes, notamment à proximité de la section de jaugeage.

- 5.1.4.4 Lorsque les vitesses doivent être mesurées au moyen d'un moulinet, il faut effectuer des mesures exploratoires de vitesses dans la section de jaugeage proposée et dans la section mouillée immédiatement en amont et en aval. Lorsque la chose est possible, on doit utiliser la méthode de répartition des vitesses décrite dans CAN/CGSB-157.2-M pour ces mesures afin de déterminer si l'on peut employer des méthodes de jaugeage à points réduits.
- 5.1.4.5 Lorsqu'on doit utiliser des flotteurs pour les mesures de vitesse, on doit répartir des séries de flotteurs d'essai très rapprochées les unes des autres sur toute la largeur du chenal.
- 5.1.5 **Conception et construction**
- 5.1.5.1 On doit définir sur les rives du cours d'eau les endroits où se trouve chaque section mouillée à l'aide de marqueurs permanents bien visibles et facilement distinguables et l'on doit établir un repère de nivellement de la station conformément à l'al. 4.5.4.
- 5.1.5.2 La station doit être conçue suivant les caractéristiques mises à jour par le relevé décrit à l'al. 5.1.4.
- 5.1.5.3 On doit installer une échelle limnimétrique permettant de vérifier les changements du niveau d'eau qui peuvent se produire pendant un jaugeage. L'échelle doit être située le plus près possible du bief de mesurage à moins que des flotteurs ne soient utilisés pour mesurer les vitesses, auquel cas l'échelle limnimétrique doit être installée en un point à peu près à mi-chemin du bief de mesurage.
- 5.1.5.4 Lorsque l'emplacement ne remplit pas les conditions principales requises pour constituer une station de jaugeage appropriée, on peut améliorer les conditions comme suit:
- a. On peut souvent éviter la perte d'eau provenant du chenal principal et due au débordement en construisant des digues de défense destinées à retenir l'écoulement dans un défluent de crue défini.
 - b. Lorsque la chose est possible, on peut éliminer les irrégularités secondaires de la rive ou du lit provoquant des remous localisés en régularisant la rive de manière à obtenir un tracé régulier et un talus stable et en enlevant du lit les gros cailloux ou les très grosses pierres.
 - c. Les rives instables doivent être protégées dans la mesure du possible. Cette protection doit se prolonger en amont et en aval d'une section de jaugeage sur une distance égale à un quart au moins de la largeur totale séparant les rives du chenal dans les deux sens. Si l'on utilise des limnimètres à flotteur, il faut protéger tout le bief de mesurage.
- 5.1.5.5 Lorsque la section de jaugeage normale est d'une profondeur insuffisante pour satisfaire aux prescriptions de CAN/CGSB-157.2-M ou lorsqu'il existe des vitesses très basses aux niveaux peu élevés, il est souvent possible de mesurer ces débits dans le même bief du chenal à une autre section qui convient mieux dans ces conditions, mais qui n'est peut-être pas satisfaisante pour des débits plus élevés.
- 5.1.5.6 Lorsque la chose est possible et sur prescription, il faut émonder ou enlever les arbres qui empêchent de voir clairement la section de jaugeage ou le bief de mesurage. Le champ visuel d'une section de jaugeage doit s'étendre suffisamment vers l'amont pour que l'on puisse voir assez tôt les débris flottants susceptibles d'endommager tout instrument de mesure et retirer l'instrument du cours d'eau.
- 5.1.5.7 Lorsqu'un accès approprié à l'emplacement n'est pas assuré, il faut construire, dans la mesure du possible, un accès approprié qui garantit un passage sûr, à tous les niveaux d'écoulement et par tous les temps, aux personnes et à tout véhicule transportant des instruments et du matériel.
- 5.1.5.8 Tous les points clés de l'emplacement doivent être marqués en permanence sur le sol au moyen de repères enfoncés jusqu'à la profondeur nécessaire pour les empêcher de se déplacer. Les repères de section mouillée doivent être placés dans l'alignement de la section mouillée afin de faciliter la répétition des niveaux ou des sondages lors de la vérification de la section.
- 5.1.5.9 *Limnimètre de référence* — Le limnimètre de référence doit être conforme à l'al. 4.4.2 et à la norme ISO 4373.
- 5.1.5.10 *Repère de nivellement de la station* — On doit établir un repère de nivellement de la station conformément à l'al. 4.5.4.

5.1.5.11 *Puits de mesurage* — Le puits de mesurage doit être conforme à l'al. 4.4.3 et à la norme ISO 4373.

5.1.5.12 *Limnigraphe* — Le limnigraphe doit être conforme à l'al. 4.4.4 et à la norme ISO 4373.

5.1.5.13 *Câbles aériens et matériel de suspension* — Les câbles aériens et les méthodes de suspension des moulinets doivent satisfaire aux exigences des normes ISO 4373 et ISO 3454.

5.1.6 *Relevé final*

5.1.6.1 Une fois que la station de jaugeage est construite, il faut effectuer un relevé final.

*5.1.6.2 Dans le cas des stations à moulinet, il faut tracer un profil standard de la section mouillée de mesurage et indiquer où se trouvent les repères de section mouillée. On peut noter sur ce croquis standard les positions choisies pour les verticales de mesurage (voir CAN/CGSB-157.2-M). Il faut vérifier souvent les niveaux du lit de la section mouillée et réviser le profil, s'il y a lieu.

5.1.6.3 Dans le cas des stations de jaugeage à flotteurs, il faut élaborer un plan standard sur lequel on indique les lignes des séries de flotteurs choisies et les points d'où sont lâchés les flotteurs. Un exemplaire de ce plan doit toujours être conservé dans le local des instruments de mesure.

5.1.6.4 Le relevé final, qui doit être effectué de nouveau conformément aux prescriptions et au moins une fois par année, doit comprendre la détermination exacte des cotes et les positions respectives de toutes les installations de la station et des autres points importants ou des éléments caractéristiques de l'emplacement. Il est recommandé d'établir la corrélation entre les cotes et le repère de nivellement topographique national par l'intermédiaire du repère de nivellement de la station.

5.1.6.5 Il faut déterminer avec soin la distance séparant les repères de section mouillée.

*5.1.6.6 Lorsque les conditions le permettent, on doit mesurer la largeur du chenal à l'aide d'un ruban à mesurer en acier, d'un fil marqué de manière appropriée ou de tout autre dispositif direct en s'assurant d'apporter les corrections nécessaires (voir CAN/CGSB-157.2-M).

5.1.6.7 Lorsque le mesurage direct n'est pas possible, on peut déterminer la largeur à l'aide de la tachéométrie, de la télémessure électronique ou de toute autre méthode de nivellement appropriée.

5.1.6.8 L'incertitude estimée de la mesure de la largeur ne doit pas dépasser 0.5% de la valeur réelle.

5.1.6.9 La distance entre les sections mouillées successives utilisées pour mesurer la vitesse au moyen de flotteurs doit être déterminée à l'aide de méthodes semblables à celles décrites ci-dessus et selon un degré d'exactitude semblable.

5.1.6.10 On doit déterminer avec soin le profil de lit du chenal le long de l'axe de chaque section mouillée, de préférence lorsque l'écoulement est à un faible niveau (voir CAN/CGSB-157.2-M et ISO 3454).

5.1.6.11 On doit relever à chaque point au moins deux lectures du niveau ou deux sondages à l'aide d'une perche ou d'une sonde et adopter la valeur moyenne, à moins que l'écart entre les deux valeurs soit supérieur à 5% (par rapport à la valeur la moins élevée) ou à 10 mm (selon la plus élevée de ces deux valeurs), auquel cas on doit effectuer une troisième lecture.

5.1.6.12 Lorsqu'on utilise un sondeur à écho, il faut l'étalonner à intervalles réguliers et fréquents dans les mêmes conditions de salinité d'eau et de température que celles dans lesquelles il est employé. Le profil du lit doit être déterminé au moyen de deux tracés polygonaux. Les profondeurs individuelles peuvent être obtenues à parti d'une seule lecture de l'instrument de mesure (voir ISO 4366).

5.1.6.13 Lorsque les profondeurs sont déterminées au moyen de sondages reliés à la surface de l'eau, il faut effectuer souvent des lectures du niveau d'eau à l'aide du limnimètre de référence afin de faire en sorte que toutes les mesures puissent être corrigées en fonction du même plan.

5.1.6.14 Les inexactitudes des sondages se produisent le plus souvent en raison des facteurs suivants:

- a. La perche ou la sonde s'écarte de la verticale, notamment en eau profonde. Une sonde peut s'écarter de la verticale en raison de la force exercée par le courant sur la sonde elle-même et le saumon (poisson). On peut

minimiser l'écart (dérive) en utilisant un câble en fil métallique fin (diamètre égal ou inférieur à 2.5 mm) et un poids profilé. Il faut apporter les corrections à la profondeur indiquée pour compenser cet écart (dérive) conformément aux prescriptions de CAN/CGSB-157.2-M.

- b. Le saumon (poisson) ou la perche pénètre dans le lit. On peut éviter cette difficulté en installant une plaque de base.
- c. De gros cailloux ou des pierres lourdes sont présents. On peut diminuer l'influence de ceux-ci en effectuant un certain nombre de sondages de la manière décrite ci-dessus.
- d. Lorsqu'un sondeur à écho est utilisé en présence de dépôts meubles, un double écho peut se produire. L'écho supérieur permet de déterminer habituellement la profondeur effective, mais il faut effectuer des enquêtes plus poussées pour en déterminer la cause. On peut résoudre ce problème en utilisant un sondeur à écho dont la fréquence de service est égale ou supérieure à 200 kHz.

5.1.6.15 Le profil doit être déterminé conformément aux prescriptions susmentionnées de manière à obtenir une exactitude de $\pm 2.5\%$ au plus pour la plage entière de profondeurs. Il est recommandé d'effectuer une évaluation d'exactitude au moment du mesurage.

5.1.7 *Mesurage au moyen d'un moulinet stationnaire*

5.1.7.1 On utilise un moulinet pour mesurer la vitesse de l'écoulement dans le chenal. On maintient le moulinet stationnaire à l'endroit voulu sur une verticale quelconque au moyen d'une perche de support dans le cas des chenaux peu profonds, ou en le suspendant à un câble ou à une tige à partir d'un pont, d'un chariot stationnaire sur un système de suspension par câbles aériens ou d'un bateau stationnaire dans le cas des chenaux plus grands (voir ISO 3454 et ISO 4375).

5.1.7.2 Le moulinet utilisé pour mesurer l'écoulement peut être un moulinet à élément rotatif (voir la norme ISO 2537), un moulinet ultrasonique (acoustique), un moulinet électromagnétique, un moulinet de type pendule, un tube de Pitot ou tout autre instrument de mesure approprié.

5.1.7.3 La norme CAN/CGSB-157.2-M décrit une méthode permettant de mesurer la largeur, la profondeur et la vitesse ainsi que de calculer le débit.

5.1.8 *Mesurage au moyen d'un bateau mobile*

5.1.8.1 On utilise un moulinet pour mesurer la vitesse de l'écoulement dans le chenal. Le moulinet est suspendu à un bateau qui traverse le chenal perpendiculairement au sens de l'écoulement. Pendant le cheminement, un sondeur à écho enregistre la géométrie de la section mouillée et un moulinet fonctionnant en continu décèle la résultante des vitesses du cours d'eau et du bateau. À différents intervalles, on mesure l'angle formé par le moulinet, qui s'aligne automatiquement dans un sens parallèle au mouvement de l'eau passant devant, et la trajectoire présélectionnée du bateau ou la distance jusqu'à un point fixe de la rive.

La composante de la vitesse dans le sens du cours d'eau en différents points situés en travers du chenal est calculée d'après la vitesse résultante mesurée et, soit l'angle de la résultante, soit la distance du bateau à partir d'un point fixe. Le débit est la somme des produits de la vitesse du cours d'eau, de la profondeur et de la distance entre les points d'observation.

5.1.8.2 Le moulinet doit être un moulinet à hélice suspendu à une tige comportant un dispositif qui permet de mesurer l'angle du moulinet par rapport au bateau ou à un câble lorsqu'on mesure la distance séparant le bateau et le moulinet d'un point fixe sur la rive à différents intervalles. Il n'est pas nécessaire d'utiliser un indicateur d'angle si l'on note à différents intervalles, à la fois, la distance à partir d'un point fixe et le moment d'observation.

5.1.8.3 La norme ISO 4369 décrit une méthode permettant de mesurer la largeur, la profondeur et la vitesse ainsi que de calculer le débit.

5.1.9 *Mesurage au moyen de flotteurs*

5.1.9.1 On mesure la vitesse du courant en enregistrant le temps que met un flotteur pour parcourir une distance connue le long du chenal. On effectue des observations en utilisant des flotteurs à différents endroits en travers du chenal. On mesure la largeur et la profondeur en même temps dans les chenaux peu profonds où l'on peut marcher, ou à tout autre moment qui convient dans le cas des chenaux plus profonds.

5.1.9.2 Les flotteurs utilisés peuvent être des flotteurs de surface, des flotteurs profonds, des flotteurs doubles ou des perches flottantes conformément à CAN/CGSB-157.2-M.

5.1.9.3 La norme CAN/CGSB-157.2-M décrit une méthode permettant de mesurer la largeur, la profondeur et la vitesse, et aussi de calculer le débit.

5.2 Méthode de jaugeage par dilution

*5.2.1 **Principe de la méthode de mesure** — Un liquide de traçage est injecté dans un cours d'eau et en un point situé plus loin en aval et, là où les remous ont mélangé uniformément la solution mère dans toute la section mouillée, on prélève des échantillons d'eau. Le changement de concentration entre la solution injectée et l'eau à la station d'échantillonnage permet de déterminer le débit. Le colorant choisi doit être approuvé pour un usage dans les cours d'eau par les autorités compétentes.

Le traceur peut être injecté graduellement (méthode d'injection à débit constant) ou tout d'un coup (méthode par dilution d'un seul coup, pulsation ou par intégration) et il peut s'agir d'un colorant chimique radioactif ou fluorescent. Le mode opératoire est décrit dans les parties 1 et 2 de la norme ISO 555.

5.2.2 **Relevé préliminaire** — Un relevé préliminaire doit être effectué pour déterminer les caractéristiques hydrauliques et celles de mélange de l'emplacement en prenant en considération la nécessité d'établir une relation hauteur-débit stable et d'obtenir un bief de mesurage satisfaisant afin d'assurer un bon mélange du traceur.

5.2.3 Choix de l'emplacement

5.2.3.1 L'emplacement choisi doit permettre de mesurer la plage entière et tous les types d'écoulement qui peuvent se présenter ou qui doivent être mesurés. Il faut procéder avec grand soin de manière à choisir judicieusement un emplacement qui convient au mesurage du débit par la méthode de dilution.

5.2.3.2 Il ne doit y avoir ni perte ni gain d'eau dans le bief de mesurage (par exemple, du fait d'un tributaire qui rejoint l'écoulement principal ou qui quitte celui-ci ou du fait du débordement au-dessus des rives d'un cours d'eau ou jusqu'à ces dernières). La longueur du bief de mesurage doit être telle que, compte tenu de l'effet de mélange naturel du cours d'eau, la solution injectée à son début se trouve diluée uniformément dans toute la section mouillée d'échantillonnage.

5.2.3.3 Outre les exigences de l'al. 5.2.3.2, il est souhaitable que la distance séparant les sections d'injection et les sections d'échantillonnage soit aussi courte que possible. Cela permet de réduire le temps requis pour obtenir une mesure et la quantité de traceur nécessaire.

5.2.3.4 Pour respecter les exigences prescrites aux al. 5.2.3.2 et 5.2.3.3, il faut choisir un bief où la rivière est aussi étroite et turbulente que possible, qui est exempt de zones d'eau morte et qui présente de nombreux courants transversaux pour favoriser le mélange latéral. Il faut éviter les zones herbeuses et envahies par la végétation ainsi que les zones de séparation où la rivière forme plusieurs bras. Le mélange peut être amélioré par des remous causés par des coudes, des étranglements, des corniches et saillies, des chutes, etc. Il convient d'éviter les chenaux très larges et il ne faut pas utiliser les biefs où le cours d'eau se divise en plusieurs branches.

5.2.3.5 Lorsqu'on examine un bief de mesurage possible, il est recommandé d'effectuer des essais préliminaires pour s'assurer que l'on pourra obtenir un mélange efficace dans la rivière, de choisir les sections mouillées d'injection et d'échantillonnage et, une fois que celles-ci ont été choisies, de déterminer la durée de la période d'injection. Dans la plupart des cas, on choisit la section mouillée d'échantillonnage destinée au limnigraphe.

*5.2.3.6 Pour déterminer la longueur du bief de mesurage, on peut injecter une solution concentrée de traceur pendant une période relativement courte en un point situé sur la section d'injection éventuelle. L'étude de la diffusion de la solution permet de démontrer s'il existe des zones mortes ou un traçage latéral semblable du traceur et d'estimer approximativement la distance minimale entre les sections mouillées d'injection et d'échantillonnage.

5.2.3.7 Les formules suivantes permettent de déterminer approximativement la longueur du bief de mesurage requis:

a. Si le taux d'injection en travers du chenal est proportionnel à l'écoulement par l'intermédiaire des éléments de surface libre constituant la section

$$l = 10 \times r \times d$$

où:

l est la longueur de mélange

r est le rapport de la vitesse moyenne au frottement ou à la vitesse de cisaillement

d est la profondeur moyenne.

- b. Si l'injection s'effectue en un point du chenal

$$l = \frac{0.13 \, b^2 C (0.7C + 2\sqrt{g})}{g \, d} \quad \text{en unités SI}$$

où:

b est la largeur moyenne de la section mouillée dans le bief de mesurage (mètres)

d est la profondeur moyenne de l'eau dans le bief (mètres)

C est le coefficient de Chezy

g est l'accélération due à la pesanteur (m/s^2).

5.2.4 Conception et construction

- 5.2.4.1 La station de jaugeage doit se composer d'un bief de mesurage et d'un limnimètre de référence.

- 5.2.4.2 Dans plusieurs cas, le matériel requis pour effectuer une mesure du débit est transporté entre le point de mesurage et l'installation permanente. Il est recommandé de se reporter aux parties 1 et 2 de la norme ISO 555 pour obtenir des détails concernant le matériel requis.

- 5.2.4.3 On doit établir un repère de nivellement de la station conformément à l'al. 4.5.4.

- 5.2.4.4 Le limnimètre de référence doit être conforme à l'al. 4.4.2 et à la norme ISO 4373.

- 5.2.4.5 Le puits de mesurage doit être conçu et construit conformément à l'al. 4.4.3 et à la norme ISO 4373.

5.3 Méthode de la pente de la ligne d'eau

- 5.3.1 **Principe de la méthode de mesure** — On mesure la pente du plan d'eau et l'aire moyenne de la section mouillée du chenal dans un bief choisi qui est aussi rectiligne et uniforme que possible. Un coefficient de rugosité est supposé et on calcule la vitesse moyenne en utilisant une formule de débit qui établit un rapport entre la vitesse, la rugosité, le rayon moyen hydraulique et la pente.

Le débit est alors le produit de la vitesse moyenne et de l'aire moyenne de la section mouillée d'écoulement. La méthode de la pente de la ligne d'eau ne permet pas d'obtenir une mesure exacte, mais seulement une estimation du débit. Cette méthode est décrite dans la norme ISO 1070.

- 5.3.2 **Relevé préliminaire** — Il faut effectuer un relevé préliminaire afin de s'assurer que les caractéristiques physiques et hydrauliques de l'emplacement proposé sont conformes aux exigences de la norme ISO 1070.

5.3.3 Choix de l'emplacement

- 5.3.3.1 Le cours d'eau doit être une section relativement rectiligne et uniforme et exempt d'obstructions et de végétation. Il ne doit manifester aucune tendance graduelle à l'affouillement ni à l'accrétion et ne doit pas être altéré par des tributaires.

- 5.3.3.2 La longueur du bief doit être telle que la différence de niveau d'eau n'est pas inférieure à dix fois l'incertitude de la différence des niveaux d'eau.

- 5.3.3.3 L'écoulement doit être contenu dans des limites définies.

5.3.4 Relevé concernant une station de jaugeage permanente

- 5.3.4.1 Après avoir exécuté un relevé préliminaire, il faut procéder à un relevé topographique lors du choix d'un emplacement permanent. Ce relevé doit comprendre un plan de l'emplacement indiquant la largeur de la surface

d'eau à une cote indiquée, les bords des rives naturelles du chenal, la ligne de toute discontinuité définie de la pente de ces rives ainsi que le pied et la crête de toute digue artificielle.

5.3.4.2 Tous les obstacles du chenal ou du défluent de crue doivent être indiqués.

*5.3.4.3 Dans la mesure du possible, une section longitudinale du chenal doit être tracée à partir d'un point situé en aval d'un contrôle jusqu'à la limite du bief en amont, le niveau de la partie la plus profonde du lit et les gradients du plan d'eau aux niveaux élevés et bas étant indiqués.

5.3.4.4 Il faut vérifier le bief contenant la section de jaugeage pour s'assurer qu'il ne comporte pas de discontinuités pouvant influencer sur les résultats du mesurage. On doit mesurer au moins cinq sections mouillées du bief de mesurage, deux sections en amont de la section de jaugeage et deux en aval, à des distances en amont et en aval qui correspondent à au moins la largeur totale du chenal d'une rive à l'autre.

5.3.4.5 Le relevé détaillé du bief doit être prolongé par l'entremise du défluent de crue jusqu'à une cote bien supérieure au niveau d'inondation le plus élevé qui est prévu. Les niveaux ou les sondages doivent être suffisamment rapprochés pour révéler tout changement brusque du profil du chenal.

*5.3.4.6 Lorsque la chose est possible, le lit du bief doit être examiné minutieusement pour déterminer si des roches ou des grosses pierres sont présentes, notamment à proximité de la section de jaugeage.

5.3.5 *Conception et construction*

5.3.5.1 La station de jaugeage doit se composer d'une section de mesurage naturelle ou artificielle et de deux limnimètres de référence.

5.3.5.2 Les endroits où se trouvent les sections mouillées doivent être marqués sur les rives et les sections doivent faire l'objet de relevés à intervalles réguliers ainsi qu'avant et après les inondations.

5.3.5.3 On peut souvent éviter la perte d'eau provenant du chenal principal et due au débordement en construisant des digues de défense destinées à retenir l'écoulement dans un défluent de crue défini.

*5.3.5.4 Lorsque la chose est possible, on peut éliminer les irrégularités secondaires de la rive ou du lit provoquant des remous localisés en régularisant la rive de manière à obtenir un tracé régulier et un talus stable et en enlevant du lit les gros cailloux ou les grosses pierres.

5.3.5.5 Lorsqu'un accès approprié à l'emplacement n'est pas assuré, il faut construire, dans la mesure du possible, un accès approprié qui garantit un passage sûr à tous les niveaux d'écoulement et par tous les temps, aux personnes et à tout véhicule transportant des instruments et du matériel.

5.3.5.6 Tous les points clés de l'emplacement doivent être marqués en permanence sur le sol au moyen de repères enfoncés jusqu'à la profondeur nécessaire pour les empêcher de se déplacer. Les repères de section mouillée doivent être placés dans l'alignement de la section mouillée afin de faciliter la répétition des niveaux ou des sondages lors de la vérification de la section.

5.3.6 *Relevé final*

5.3.6.1 Une fois que la station de jaugeage est construite, il faut effectuer un relevé final.

5.3.6.2 Il faut procéder au nivellement de précision des limnimètres et établir la corrélation entre les niveaux et les cotes de référence communes.

5.3.6.3 On doit mesurer la distance exacte qui sépare les limnimètres.

6. STATION POUR LE MESURAGE DU DÉBIT — MESURES RÉGULIÈRES

Les méthodes qui suivent conviennent le mieux aux mesures relativement fréquentes qui sont souvent effectuées au cours d'une période relativement longue.

6.1 Station hauteur-débit

6.1.1 **Principe de la méthode de mesure** — Dans un chenal stable où le niveau d'eau en aval est contrôlé de façon satisfaisante, il peut exister une relation unique entre le niveau et le débit. Dans les chenaux de ce genre, il est plus économique d'établir la relation entre le niveau et le débit et de déduire par la suite le débit à partir des mesures de niveau seulement. On peut étalonner la station à l'aide de la méthode d'exploration du champ des vitesses au moyen d'un moulinet stationnaire (CAN/CGSB-157.2-M), d'un bateau mobile (ISO 4369), de flotteurs (CAN/CGSB-157.2-M) ou à l'aide des méthodes de jaugeage par dilution (ISO 555, parties 1 et 2).

6.1.2 Relevé préliminaire

6.1.2.1 Un relevé préliminaire doit être effectué afin de s'assurer que les caractéristiques physiques et hydrauliques de l'emplacement proposé satisfont aux exigences de la méthode choisie pour mesurer le débit en vue de l'étalonnage de la station.

6.1.2.2 Le relevé doit établir que l'emplacement proposé se trouve dans un tronçon stable du cours d'eau et qu'il est exempt d'ondes stationnaires lorsque l'écoulement est fort ainsi que de végétation herbacée et qu'il n'est pas soumis à des conditions défavorables de gel.

6.1.3 Choix de l'emplacement

6.1.3.1 L'emplacement choisi doit permettre de mesurer la plage entière et tous les types d'écoulement qui peuvent se présenter ou qui doivent être mesurés. Il se peut que l'étendue entière de mesures se rapporte à un seul limnimètre de référence ou que certaines plages de débit se rapportent à différents limnimètres. Différentes méthodes d'étalonnage peuvent être utilisées pour les différentes parties de la plage.

6.1.3.2 L'exploitation d'une station se fonde sur l'hypothèse voulant que la cote de la surface libre soit, à toutes fins utiles, une fonction unique du débit. Dans le cas des stations soumises à l'hystérésis, on doit étalonner séparément la montée et la baisse des eaux au moyen des mesures du débit.

6.1.3.3 Il est recommandé de choisir un emplacement où la relation entre le niveau et le débit est essentiellement constante et stable. De plus, il ne doit pas y avoir d'effets de remous variables et le chenal doit être en soi stable. Toutefois, ces conditions ne peuvent pas être toutes respectées dans le cas des rivières alluviales. Pour ce type de rivières, la relation hauteur-débit n'est en général applicable que pour la période pour laquelle elle a été calculée.

6.1.3.4 L'emplacement doit être sensible de sorte qu'un changement important de débit, même dans le cas des débits les plus faibles, entraîne un changement important du niveau. Des erreurs mineures lors des lectures de niveau pendant l'étalonnage d'une station non sensible peuvent fausser considérablement les débits indiqués par la relation hauteur-débit.

6.1.3.5 Il faut comparer le changement du débit et le changement minimal correspondant du niveau afin de s'assurer qu'une station est suffisamment sensible selon l'objet en vue duquel les mesures sont requises.

6.1.3.6 Il faut éviter, dans la mesure du possible, les endroits encombrés de végétation herbacée.

6.1.3.7 Il ne doit pas y avoir de vortex, d'eau morte ni d'autres anomalies d'écoulement.

*6.1.3.8 Il faut éviter, dans la mesure du possible, les endroits où des conditions médiocres règnent lorsque l'eau gèle, à moins qu'il ne soit nécessaire de déterminer l'effet de ces conditions sur l'écoulement.

6.1.3.9 On doit pouvoir avoir accès à l'emplacement dans la plupart des conditions.

6.1.4 Relevé concernant une station de jaugeage permanente

6.1.4.1 Après avoir exécuté un relevé préliminaire, il faut procéder à un relevé topographique lors du choix d'un emplacement permanent pour une section de jaugeage appropriée. Ce relevé doit comprendre un plan de l'emplacement indiquant la largeur de la surface d'eau à une cote indiquée, les bords des rives naturelles des chenaux, la ligne de toute discontinuité définie de la pente de ces rives ainsi que le pied et la crête de toute digue artificielle.

- 6.1.4.2 Tous les obstacles du chenal ou du défluent de crue doivent être indiqués.
- 6.1.4.3 Dans la mesure du possible, une section longitudinale du chenal doit être tracée à partir d'un point situé en aval d'un contrôle jusqu'à la limite du bief en amont, le niveau de la partie la plus profonde du lit et les gradients du plan d'eau aux niveaux élevés et bas étant indiqués.
- 6.1.4.4 Il faut vérifier le bief contenant la section de jaugeage pour s'assurer qu'il ne comporte pas de discontinuités pouvant influencer sur les résultats du mesurage. On doit mesurer au moins cinq sections mouillées du bief de mesurage, deux sections en amont de la section de jaugeage et deux en aval, à des distances en amont et en aval qui correspondent au moins à la largeur totale du chenal d'une rive à l'autre.
- 6.1.4.5 Il faut définir le contrôle au moyen d'une ou de plusieurs sections mouillées ou au moyen d'un maillage serré des cotes couvrant tout le secteur.
- 6.1.4.6 Le relevé détaillé du bief doit être prolongé jusqu'à une cote bien supérieure au niveau d'inondation le plus élevé qui est prévu. Les niveaux ou les sondages doivent être suffisamment rapprochés pour révéler tout changement brusque du profil du chenal.
- 6.1.4.7 Le lit du bief doit être examiné minutieusement pour déterminer si des roches ou des grosses pierres sont présentes, notamment à proximité de la section de jaugeage.
- 6.1.4.8 Lorsque la station doit être étalonnée à l'aide de moulinets destinés à mesurer les vitesses, il faut effectuer des mesures exploratoires de vitesses dans la section de jaugeage proposée et dans la section mouillée immédiatement en amont et en aval. Lorsque la chose est possible, on doit utiliser la méthode de répartition des vitesses décrite dans CAN/CGSB-157.2-M afin de déterminer si on peut utiliser les méthodes de jaugeage à points réduits.
- 6.1.4.9 Lorsqu'on doit utiliser des flotteurs pour les mesures de vitesse, on doit répartir des séries de flotteurs d'essai très rapprochées les unes des autres sur toute la largeur du chenal.
- 6.1.4.10 Lorsqu'on doit utiliser les techniques de dilution pour étalonner la station, il faut effectuer des mesures d'essai pour vérifier l'efficacité du mélange (ISO 555, parties 1 et 2).
- 6.1.4.11 Les mesures de vitesse décrites aux al. 6.1.4.8, 6.1.4.9 et 6.1.4.10 doivent être répétées à plusieurs niveaux afin de détecter toute anomalie de l'écoulement.
- 6.1.5 Conception et construction**
- 6.1.5.1 La station de jaugeage doit se composer d'une ou de plusieurs sections de jaugeage naturelles ou artificielles et d'un limnimètre de référence. On installe habituellement un limnigraphe qui permet d'obtenir un relevé continu du niveau. Il est parfois souhaitable de placer des limnimètres sur les deux rives, notamment dans les cas où il risque d'y avoir un écart de niveau.
- 6.1.5.2 On doit définir sur les rives du cours d'eau les endroits où se trouve chaque section mouillée à l'aide de marqueurs permanents bien visibles et facilement distinguables et l'on doit établir un repère de nivellement de la station conformément à l'al. 4.5.4.
- 6.1.5.3 Si un contrôle règle le niveau de faible débit dans la section de jaugeage, il doit être situé à l'extrémité aval du bief et toute section de jaugeage doit être suffisamment éloignée du contrôle afin d'éviter que l'écoulement soit perturbé à cet endroit. Le contrôle doit être suffisamment rapproché pour faire en sorte qu'une relation hauteur-débit variable ne soit pas introduite par l'effet du vent ou de la croissance de la végétation dans le chenal. Les débits supérieurs sont le plus souvent contrôlés par les caractéristiques générales du chenal sur une distance considérable en aval.
- 6.1.5.4 Le limnimètre de référence et le limnigraphe doivent être installés le plus près possible du bief de mesurage, à moins que des flotteurs ne soient utilisés pour mesurer les vitesses, auquel cas le limnimètre de référence et le limnigraphe doivent être installés en un point à peu près à mi-chemin du bief de mesurage.
- 6.1.5.5 Lorsque l'emplacement ne remplit pas les conditions principales requises pour constituer une station de jaugeage appropriée, on peut améliorer les conditions comme suit:
- On peut souvent éviter la perte d'eau provenant du chenal principal due au débordement en construisant des digues de défense destinées à retenir l'écoulement dans un défluent de crue défini.

- b. Lorsque la chose est possible, on peut éliminer les irrégularités secondaires de la rive ou du lit provoquant des remous localisés en régularisant la rive de manière à obtenir un tracé régulier et un talus stable et en enlevant du lit les gros cailloux ou les grosses pierres.
 - c. Les rives instables doivent être protégées dans la mesure du possible. Cette protection doit se prolonger en amont et en aval de la section de jaugeage sur une distance égale à un quart au moins de la largeur totale séparant les rives du chenal dans les deux sens. Si l'on utilise des limnimètres à flotteur, il faut protéger tout le bief de mesurage.
 - d. On peut parfois corriger l'instabilité du lit en introduisant un contrôle artificiel (remarque 1) qui peut également servir à améliorer la relation hauteur-débit (sensibilité) ou créer des conditions dans la section de jaugeage qui permettent d'utiliser efficacement les appareils de mesure. Il arrive parfois que l'on puisse éliminer l'effet d'un remous variable en introduisant un contrôle artificiel. Toutefois, les contrôles artificiels ne sont pas praticables dans les grandes rivières alluviales.
- 6.1.5.6 Là où il n'existe pas, un accès approprié à l'emplacement devrait être construit dans la mesure du possible, afin de garantir un passage sûr à tous les niveaux d'écoulement et en toutes conditions atmosphériques, aux personnes et à tout véhicule transportant des instruments et du matériel.
- 6.1.5.7 Tous les points clés de l'emplacement doivent être marqués en permanence sur le sol au moyen de repères enfoncés jusqu'à la profondeur nécessaire pour les empêcher de se déplacer. Les repères de section mouillée doivent être placés dans l'alignement de la section mouillée afin de faciliter la répétition des niveaux ou des sondages lors de la vérification de la section.
- 6.1.5.8 Le limnimètre de référence doit être conforme à l'al. 4.4.2 et à la norme ISO 4373.
- 6.1.5.9 Le puits de mesurage doit être conforme à l'al. 4.4.3 et à la norme ISO 4373.
- 6.1.5.10 Le limnigraphe doit être conforme à l'al. 4.4.4 et à la norme ISO 4373.
- 6.1.6 **Relevé final**
- 6.1.6.1 Le relevé final, qui doit être effectué de nouveau conformément aux prescriptions et au plus une fois par année, doit comprendre la détermination exacte des cotes et les positions respectives de toutes les installations de la station et des autres points importants ou des éléments caractéristiques de l'emplacement. Il est recommandé d'établir la corrélation entre les cotes et le repère de nivellement topographique national par l'intermédiaire du repère de nivellement de la station.
- 6.1.6.2 Il faut vérifier les profils du lit après une inondation.

Remarque 1: Un contrôle artificiel est une simple structure construite dans un chenal. Il peut s'agir d'un barrage de faible hauteur ou d'une contraction qui sont rarement conçus pour jouer le rôle de contrôles sur la plage entière de niveaux. Les structures de contrôle artificiel doivent être conçues en fonction des conditions de l'emplacement où elles sont construites. Lors de la conception des contrôles, il faut tenir compte des principaux éléments suivants:

- a. La forme de la structure doit assurer le passage de l'eau en perturbant le moins possible le régime d'écoulement en amont ou en aval du contrôle;
- b. Afin d'assurer une sensibilité adéquate, le profil de la crête d'un contrôle doit être conçu de manière qu'un faible changement de débit aux niveaux bas entraîne un changement de niveau mesurable;
- c. Le contrôle doit présenter une stabilité structurale et être permanent;
- d. Si des modifications sont apportées aux conditions naturelles, le rétablissement ultérieur de la stabilité exige parfois un certain temps;
- e. Il faut prendre les précautions nécessaires pour surveiller l'effet de stabilité d'un contrôle en effectuant des relevés périodiques.

6.1.7 *Exploitation de la station*

- 6.1.7.1 Pour produire un relevé satisfaisant, la station doit être maintenue constamment en parfait état d'exploitation. Il faut donc que des préposés s'occupent efficacement du limnigraphe et assurent l'entretien et l'étalonnage appropriés de la station et de son matériel.
- 6.1.7.2 Lorsqu'une station est munie seulement d'un ou de plusieurs limnimètres de référence (échelles limnimétriques verticales ou inclinées, sondes limnimétriques visuelles ou pointes limnimétriques recourbées) et ne comporte pas de limnigraphe, l'observateur local doit être tenu de fournir des relevés à intervalles prescrits de tous les limnimètres qui lui sont confiés. Les relevés doivent être effectués à des heures fixes. Les intervalles entre les relevés doivent être fonction de la rapidité suivant laquelle le niveau d'eau change en général à l'emplacement, mais il faut prendre les mesures nécessaires pour que des relevés supplémentaires soient effectués lorsque le niveau d'eau change plus brusquement que d'ordinaire. Il est indispensable que l'observateur des limnimètres note l'heure exacte de chaque observation.
- 6.1.7.3 Lorsqu'un limnigraphe est installé, l'observateur peut faire des visites pendant toute la période pour s'assurer que le limnigraphe fonctionne bien. Il incombe à l'observateur de noter les observations du niveau d'eau selon le limnimètre de référence ainsi que l'heure exacte aux fins de comparaison avec l'horloge du limnigraphe. Pour établir la relation entre les relevés et le tracé d'un graphique, l'observateur peut marquer le graphique en relevant ou en abaissant légèrement le fil du flotteur dans le cas d'un limnigraphe actionné par flotteur. Pour toutes les stations, l'observateur doit noter la présence d'obstacles quelconques dans le chenal, comme la végétation herbacée ou la glace, et indiquer les obstructions fortuites du chenal, des tuyaux de prise, de la structure de mesurage ou des montages de transducteurs causées par les débris amenés par inondation ou tout autre phénomène. L'observateur doit également assurer la propreté et le bon état général de l'emplacement et du matériel en veillant tout particulièrement à la lisibilité du limnimètre de référence. L'observateur peut être tenu d'expédier tous les relevés, toutes les bandes ou tous les graphiques au bureau d'enregistrement aux fins de traitement, dès qu'ils sont obtenus, ainsi que les notes ou observations pertinentes, s'il y a lieu.
- 6.1.7.4 Il faut inspecter toutes les stations de jaugeage chaque fois que l'observateur signale un incident quelconque qui pourrait influencer sur l'exactitude de la station.
- 6.1.7.5 Il faut nettoyer et lubrifier tous les limnigraphes et toutes les horloges de limnigraphes conformément aux instructions du fabricant ou comme le démontre l'expérience dans les conditions d'exploitation de la station.
- 6.1.7.6 On doit vérifier la cote de tous les points importants (y compris notamment celle du zéro du limnimètre de référence) qui ont fait l'objet du relevé définitif (voir l'al. 6.1.6) par renvoi au repère de nivellement de la station au moins une fois par année ou à la suite de toute inondation au cours de laquelle le matériel a pu être endommagé par des débris ou par la glace. Il faut vérifier en même temps la verticalité de toute échelle limnimétrique verticale. Lorsque la chose est possible, on doit vérifier la corrélation entre le repère de nivellement de la station et le repère de nivellement topographique national à des intervalles de cinq ans au plus.

6.2 *Pente-hauteur-débit ou dénivellation-débit*

- 6.2.1 *Principe de la méthode de mesure* — Dans un chenal stable soumis à un contrôle du niveau d'eau variable en aval là où il n'existe pas de relation unique entre le niveau et le débit, il se peut qu'il existe une relation entre la pente de la ligne d'eau, la hauteur et le débit. Dans les chenaux de ce genre, il est économique de mesurer à la fois la pente de la ligne d'eau et le niveau d'eau à partir duquel on déduit le débit. La station peut être étalonnée à l'aide d'un moulinet stationnaire (voir CAN/CGSB-157.2-M), d'un bateau mobile (voir ISO 4369), de flotteurs (voir CAN/CGSB-157.2-M) ou des méthodes de jaugeage par dilution (voir parties 1 et 2 de ISO 555).
- 6.2.2 *Relevé préliminaire* — Voir l'al. 6.2.1, station hauteur-débit.
- 6.2.3 *Choix de l'emplacement*
- 6.2.3.1 L'emplacement choisi doit permettre de mesurer la plage entière et tous les types d'écoulement qui peuvent se présenter ou qui doivent être mesurés. Différentes méthodes d'étalonnage peuvent être utilisées pour les différentes parties de la plage.
- 6.2.3.2 Dans le cas de toute station hydrométrique double, l'emplacement doit être sensible de sorte qu'un changement important de débit, même dans le cas des débits les plus faibles, entraîne un changement important de dénivellation

entre les deux échelles limnimétriques. Des erreurs mineures lors des lectures de hauteur pendant l'étalonnage d'une station non sensible peuvent fausser considérablement les débits indiqués par la relation pente-hauteur-débit.

- 6.2.3.3 Il faut comparer le changement du débit et le changement minimal correspondant de la hauteur afin de s'assurer qu'une station est suffisamment sensible selon l'objet en vue duquel les mesures sont requises.
- 6.2.3.4 Il faut éviter, dans la mesure du possible, les endroits encombrés de végétation herbacée.
- 6.2.3.5 Il ne doit pas y avoir de vortex, d'eau morte ni d'autres anomalies d'écoulement.
- 6.2.3.6 Il faut éviter, dans la mesure du possible, les endroits où des conditions médiocres règnent lorsque l'eau gèle.
- 6.2.3.7 On doit pouvoir avoir accès à l'emplacement dans la plupart des conditions.
- 6.2.4 **Relevé concernant une station de jaugeage permanente** — Voir l'al. 6.1.4, station hauteur-débit.
- 6.2.5 **Conception et construction**
 - 6.2.5.1 La station de jaugeage doit se composer d'une ou de plusieurs sections de jaugeage naturelles ou artificielles et de deux limnimètres dont un qui est le limnimètre de référence. On peut installer des limnigraphes qui permettent d'obtenir un relevé du niveau continu ou intermittent.
 - 6.2.5.2 On doit définir sur les berges de la rivière les endroits où se trouve chaque section mouillée à l'aide de marqueurs permanents bien visibles et facilement distinguables et l'on doit établir un repère de nivellement de la station conformément à l'al. 4.5.4. Il est parfois souhaitable de placer des limnimètres sur les deux rives, notamment dans les cas où il risque d'y avoir un écart de niveau.
 - 6.2.5.3 La longueur du bief doit être suffisante de manière à rendre toute erreur d'observation négligeable par rapport à la chute de niveau entre les deux limnimètres. De plus, l'eau s'écoulant entre les deux limnimètres ne doit être soumise à aucune addition ni à aucun prélèvement.
 - 6.2.5.4 Si un contrôle règle le niveau de faible débit dans les sections de jaugeage, il doit être situé à l'extrémité aval du bief et toute section de jaugeage doit être suffisamment éloignée du contrôle afin d'éviter que l'écoulement soit perturbé à cet endroit. Le contrôle doit être suffisamment rapproché pour faire en sorte qu'une relation hauteur-débit variable ne soit pas introduite par l'effet du vent ou de la croissance de la végétation dans le chenal. Les débits supérieurs sont le plus souvent contrôlés par les caractéristiques générales du chenal sur une distance considérable en aval.
 - *6.2.5.5 Le limnimètre de référence et le limnigraphe doivent être installés le plus près possible de la section de jaugeage, à moins que des flotteurs ne soient utilisés pour mesurer les vitesses, auquel cas le limnimètre de référence, le limnimètre auxiliaire et le limnigraphe doivent être installés en un point à peu près à mi-chemin de la section de jaugeage.
 - 6.2.5.6 Lorsque l'emplacement ne remplit pas les conditions principales requises pour constituer une station de jaugeage appropriée, on peut améliorer les conditions conformément à l'al. 6.1.5.5.
 - 6.2.5.7 Là où il n'existe pas, un accès approprié à l'emplacement devrait être construit, dans la mesure du possible, afin de garantir un passage sûr à tous les niveaux d'écoulement et en toutes conditions atmosphériques, aux personnes et à tout véhicule transportant des instruments et du matériel.
 - 6.2.5.8 Tous les points clés de l'emplacement doivent être marqués en permanence sur le sol au moyen de repères enfoncés jusqu'à la profondeur nécessaire pour les empêcher de se déplacer. Les repères de section mouillée doivent être placés dans l'alignement de la section mouillée afin de faciliter la répétition des niveaux ou des sondages lors de la vérification de la section.
 - 6.2.5.9 Le limnimètre de référence doit être conforme à l'al. 4.4.2 et à la norme ISO 4373.
 - 6.2.5.10 Les puits de mesure doivent être conformes à l'al. 4.4.3 et à la norme ISO 4373.
 - 6.2.5.11 Les limnigraphes doivent être conformes à l'al. 4.4.4 et à la norme ISO 4373.

6.2.6 *Relevé final*

6.2.6.1 Le relevé final, qui doit être effectué de nouveau conformément aux prescriptions et au moins une fois par année, doit comprendre la détermination exacte des cotes et les positions respectives de toutes les installations de la station et des autres points importants ou des éléments caractéristiques de l'emplacement. Il est recommandé d'établir la corrélation entre les cotes et le repère de nivellement topographique national par l'intermédiaire du repère de nivellement de la station.

6.2.6.2 Il faut vérifier les profils du lit après une inondation.

6.2.7 *Exploitation de la station* — Voir l'al. 6.1.7, station hauteur-débit.

6.3 *Déversoirs à échancrure, déversoirs et canaux jaugeurs*

6.3.1 *Principe de la méthode de mesure* — La méthode de mesure consiste à établir une relation entre la charge et le débit, habituellement en laboratoire, et à appliquer cette relation à l'installation sur place. Ainsi, seule la mesure de la charge est requise à la station de jaugeage et cette valeur est introduite dans la formule appropriée pour obtenir une valeur de débit. La formule et les conditions d'application régissant chaque structure de mesurage sont prescrites dans les publications pertinentes mentionnées à la section 2. L'étalonnage en laboratoire doit être vérifié sur place, dans la mesure du possible.

6.3.2 *Relevé préliminaire* — Un relevé préliminaire doit être effectué afin de s'assurer que les caractéristiques physiques et hydrauliques de l'emplacement proposé satisfont (ou que l'emplacement peut être construit ou modifié de manière à satisfaire) aux exigences requises pour la mesure du débit au moyen de la structure conformément aux publications pertinentes mentionnées à la section 2.

6.3.3 *Choix de l'emplacement*

6.3.3.1 Il faut prêter une attention particulière aux éléments suivants lors du choix de l'emplacement:

- a. L'adéquation de la longueur de chenal disponible présentant une section mouillée régulière (voir l'al. 6.3.3.5)
- b. L'uniformité de la répartition des vitesses existante
- c. La nécessité de ne pas avoir un chenal abrupt (le nombre de Froude ne doit pas dépasser environ 0.5)
- d. Les effets des niveaux d'eau accrus en amont dus à la structure de mesurage
- e. Les conditions en aval (y compris diverses influences comme les marées, les confluences d'autres cours d'eau, les vannes registres, les barrages de minoterie et autres caractéristiques de contrôle, y compris la croissance saisonnière de la végétation herbacée) qui peuvent entraîner la noyade
- f. L'imperméabilité du sol sur lequel on doit établir les fondations de la structure et la nécessité d'assurer une palée, le jointement au mortier liquide ou tout autre moyen pour limiter le suintement
- g. La nécessité de digues pour garder le débit maximal dans le chenal
- h. La stabilité des rives et la nécessité de les régulariser ou de leur fournir un revêtement
- i. L'uniformité de la section mouillée dans le chenal d'approche.

6.3.3.2 Si l'emplacement ne possède pas les caractéristiques nécessaires pour fournir des mesures satisfaisantes, ou si une inspection du cours d'eau révèle que la répartition des vitesses dans le chenal d'approche s'écarte considérablement de l'uniformité, il se peut que l'on doive rejeter l'emplacement, à moins qu'il ne soit possible d'apporter à ce dernier les améliorations appropriées. Une autre solution consiste à vérifier le rendement de l'installation au moyen de mesures de débit indépendantes.

6.3.3.3 Les conditions d'écoulement en aval de la structure sont importantes en ce sens qu'elles contrôlent le niveau d'eau en aval, ce qui risque d'influer sur le fonctionnement de la structure. La structure doit être conçue de manière à ne pas se trouver noyée dans les conditions d'exploitation prescrites dans les publications pertinentes énumérées à la section 2. La construction d'une structure de mesurage dans une rivière ou un cours d'eau risque de modifier les conditions et d'entraîner un affouillement en aval de la structure.

6.3.3.4 Si l'écoulement dans le chenal d'approche est perturbé par les irrégularités des limites (par ex. un affleurement de roches ou des grosses pierres) ou par un coude, une vanne registre ou tout autre élément qui entraîne l'asymétrie du

débit en travers du chenal, cela risque d'influer sur l'exactitude du jaugeage. L'écoulement dans le chenal d'approche doit présenter une répartition des vitesses symétrique et la manière la plus facile de satisfaire à cette exigence consiste à fournir un chenal d'approche long et rectiligne présentant une section mouillée uniforme.

- 6.3.3.5 Il suffit en général d'avoir une longueur de chenal d'approche qui correspond à cinq fois la largeur du plan d'eau au débit maximal, à condition que l'eau n'arrive pas dans le chenal d'approche suivant une vitesse élevée par l'intermédiaire d'un coude très prononcé ou d'une vanne registre d'équerre.
- 6.3.3.6 On peut vérifier les conditions existant dans le chenal d'approche en effectuant une inspection ou des mesures à l'aide de plusieurs méthodes, comme les flotteurs, les bâtons lestés ou les concentrations de colorant, ce dernier moyen s'avérant utile pour vérifier les conditions existant au fond du chenal. On peut effectuer une évaluation exhaustive et quantitative de la répartition des vitesses au moyen d'un moulinet.
- 6.3.4 **Conception et construction**
- 6.3.4.1 La station de jaugeage doit se composer d'un chenal d'approche, d'une structure de mesurage comprenant les limnimètres afférents en amont, d'un chenal en aval et d'un limnimètre de référence. On installe habituellement un limnigraphe qui permet d'obtenir un relevé continu de la charge.
- 6.3.4.2 La structure doit être rigide, étanche et capable de supporter les conditions d'écoulement de crue sans subir de dégâts causés par un débordement ou l'érosion en aval. L'axe doit être dans l'alignement du sens de l'écoulement du chenal d'amont et la géométrie doit être conforme aux dimensions données dans les publications pertinentes (voir section 2).
- 6.3.4.3 Les surfaces du col du canal jaugeur et celles du chenal d'approche immédiat doivent être satisfaisantes. On peut les construire en béton avec un fini en ciment lisse ou les recouvrir d'un matériau lisse qui résiste à la corrosion. Dans les installations de laboratoire, le fini doit être l'équivalent d'une tôle de métal laminé ou d'un bois de charpente plané, poncé et peint.
- 6.3.4.4 Les parois verticales latérales qui doivent produire la contraction dans le plan doivent être placées symétriquement par rapport à l'axe médian du chenal et doivent, de préférence, être incurvées dans le plan suivant un rayon qui ne doit pas être inférieur à $2H_{\max}$, H étant la charge totale. Le point de tangence doit être au moins à $H_{\max}$ en amont de la section de jaugeage de la charge, et la section revêtue du chenal d'approche à partir de l'extrémité des murs latéraux incurvés jusqu'à la transition d'entrée de la structure doit avoir une section prismatique.
- 6.3.4.5 Dans un chenal où l'écoulement est exempt de débris flottants ou en suspension, on peut assurer de bonnes conditions d'approche au moyen de déflecteurs placés au bon endroit et constitués de lattes verticales, mais la distance séparant un déflecteur quelconque du point où l'on mesure la charge ne doit pas être inférieure à dix fois la charge maximale.
- 6.3.4.6 Dans certaines conditions, il se peut que l'on ait un ressaut hydraulique en amont de la structure de mesurage, par exemple, lorsque le chenal d'approche est en pente raide. À condition que cette onde se trouve à une distance en amont d'au moins quelque trente fois la charge maximale, on peut mesurer le débit, sous réserve de la confirmation de l'existence d'une répartition uniforme des vitesses à la station de jaugeage.
- 6.3.4.7 Afin d'obtenir une incertitude acceptable relative au débit, il faut respecter les tolérances de construction prescrites dans les publications pertinentes (voir section 2). Il faut donc mesurer la structure une fois terminée et calculer les valeurs moyennes des dimensions appropriées et leurs écarts-types concernant les limites de confiance de 95%. Les premières valeurs doivent servir au calcul du débit et les dernières valeurs doivent permettre d'obtenir l'incertitude globale lors de la détermination du débit.
- 6.3.4.8 Le limnimètre de référence doit être conforme à l'al. 4.4.2 et à la norme ISO 4373.
- 6.3.4.9 L'emplacement de la section de jaugeage de la charge est traité dans les publications pertinentes (voir section 2).
- 6.3.4.10 À mesure que les dimensions de la structure et la charge au-dessus de celle-ci diminuent, tout léger écart concernant la construction, le réglage du zéro et la lecture du dispositif de mesurage de charge, croît proportionnellement en importance.

- 6.3.4.11 Si l'on désire obtenir le degré d'exactitude global, il est indispensable de régler avec exactitude au départ le zéro du dispositif de mesure de charge par rapport au niveau du radier de la crête ou du col et de vérifier ce réglage par la suite périodiquement.
- 6.3.4.12 Un dispositif précis permettant de vérifier le zéro doit être fourni. On doit obtenir le zéro de l'appareil de mesure en se référant directement au niveau de la crête ou du radier du col. On doit également installer une plaque de référence sur le mur du chenal d'approche et dans le puits de mesurage nivelé avec exactitude par rapport à la crête ou au col.
- 6.3.4.13 Un repère de nivellement de la station doit être établi conformément à l'al. 4.5.4.
- 6.3.4.14 Le puits de mesurage doit être conçu et construit conformément à l'al. 4.4.3 et à la norme ISO 4373.
- 6.3.4.15 Le limnigraphe doit être conforme à l'al. 4.4.4 et à la norme ISO 4373.

6.4 Station de jaugeage par ultra-sons (acoustique)

- 6.4.1 **Principe de la méthode de mesure** — La méthode de jaugeage par ultra-sons (acoustique) consiste à mesurer la vitesse de l'écoulement à une certaine profondeur dans le chenal en émettant simultanément des impulsions dans les deux sens à travers l'eau au moyen de transducteurs installés dans les rives de chaque côté du cours d'eau. Les transducteurs peuvent être conçus de manière à émettre et à recevoir les impulsions. Ces derniers ne sont pas installés directement en face l'un de l'autre, mais sont décalés de manière que l'angle formé par la trajectoire des impulsions et le sens de l'écoulement soit compris entre 30° et 60° . L'écart entre le temps de déplacement des impulsions traversant la rivière d'aval en amont et celui des impulsions allant d'amont en aval est lié directement à la vitesse moyenne de l'eau et à la profondeur des transducteurs. On peut alors établir la relation entre cette vitesse et la vitesse moyenne de l'écoulement de toute la section mouillée et, si on le désire, obtenir une indication de débit fournie par le système en introduisant un facteur d'aire dans le processeur électronique.
- 6.4.2 **Relevé préliminaire** — Un relevé préliminaire doit être effectué afin de s'assurer que les caractéristiques physiques et hydrauliques de l'emplacement proposé satisfont aux exigences concernant l'application de la méthode.
- 6.4.3 **Choix de l'emplacement** — L'emplacement choisi doit satisfaire aux exigences de l'al. 5.1.3 et doit permettre de mesurer l'étendue entière et tous les types d'écoulement qui peuvent se présenter ou qui doivent être mesurés. Il faut tenir compte des facteurs suivants:
- *a. Une source d'alimentation de capacité suffisante doit être disponible.
 - b. L'emplacement doit être facile d'accès, de préférence jusqu'aux deux rives.
 - c. Le chenal ne doit pas présenter de coudes prononcés, si possible, mais ces derniers peuvent être acceptés si l'exigence mentionnée en d. est satisfaite.
 - d. Aux sections mouillées choisies dans la région entre les montages de transducteurs d'amont et d'aval, la répartition des vitesses doit être la même.
 - e. Le lit doit, de préférence, être stable. Dans le cas contraire, il faut effectuer des relevés périodiques du lit pour déterminer le changement d'aire afin de calculer le débit.
 - f. La section doit être exempte de toute végétation herbacée indésirable qui atténue le signal acoustique.
 - g. Le tableau 1 qui suit indique les profondeurs minimales approximatives requises pour l'écoulement des cours d'eau dans le cas de trois fréquences différentes. Les valeurs indiquées tiennent compte uniquement du problème de la réfraction et montrent que la profondeur d'eau requise croît au fur et à mesure que la longueur de la trajectoire augmente.

TABLEAU 1

**Profondeur d'écoulement requise
pour le jaugeage par ultra-sons**

Longueur de la trajectoire m	Fréquence, kHz		
	100	200	500
	Profondeur minimale requise m		
50	0.8	0.6	0.4
100	1.2	0.8	0.5
200	1.7	1.2	0.8
300	2.1	1.5	0.9
400	2.4	1.7	1.1
500	2.9	1.9	1.2
600	3.0	2.0	1.3

Le tableau se fonde sur la méthode de détection de signaux du «premier croisement au point nul» qui se base sur le temps (t) requis pour qu'une rafale d'énergie acoustique revienne à son point «nul» ou à son point de libération initial. On calcule ensuite la profondeur de l'eau (d) comme suit:

$$d = \frac{t}{2} \cdot c$$

où:

t = temps requis pour que l'énergie acoustique revienne à son point «nul», s

c = vitesse du son dans l'eau, m/s

d = profondeur de l'eau, m

Pour obtenir des renseignements supplémentaires sur le jaugeage par ultra-sons, voir la norme ISO 4366.

- h. La réfraction du signal acoustique peut être causée par des gradients de température de seulement 0.01°C par 30 mm de profondeur, et il arrive que le signal peut se perdre en raison de ce facteur seulement. Il faut donc effectuer des relevés de température d'eau à l'emplacement proposé, notamment pendant les périodes où règnent des températures extrêmes.
- i. L'atténuation du signal acoustique peut aussi être causée par la réflexion et la dispersion de l'onde de pression propagée qui provient des bulles d'air entraînées par l'eau. Il faut donc éviter les emplacements situés immédiatement en aval des barrages, des déversoirs ou des chutes d'eau.
- j. Les solides en suspension peuvent influencer considérablement sur l'atténuation des signaux résultant, à la fois, de la réflexion et de la dispersion causées par les particules de sédiments suspendues dans le cours d'eau. En général, il faut éviter les sections où la concentration est supérieure à 1000 mg/L pendant des périodes appréciables. Il faut tenir compte de la fréquence de service utilisée, des dimensions des sédiments, de la répartition, de la température de l'eau et de la longueur de la trajectoire acoustique.

6.4.4 Conception et construction

6.4.4.1 La station de jaugeage doit se composer:

- a. d'une ou de plusieurs paires de transducteurs installés sur chaque rive et fixés en permanence ou installés sur chaque rive et comportant un dispositif de déplacement dans le plan vertical ou selon un plan incliné;

*b. d'un pupitre de commande électronique contenant un processeur de données électronique et un enregistreur;

- c. d'un limnigraphe relié au processeur de données électronique lorsqu'une indication de niveau, de débit ou des deux est requise;
- d. d'un câble blindé qui transmet les signaux en provenance des transducteurs et du limnigraphe (là où il fait partie du système), habituellement installé dans le lit;
- e. d'un limnimètre de référence.

6.4.4.2 Dans le cas de la méthode des transducteurs fixes (voir l'al. 6.4.4.1 a.), on obtient un indice de vitesse de trajectoires associé au niveau et à l'aire pour obtenir le débit. Cette méthode exige l'étalonnage au moyen d'un moulinet.

6.4.4.3 Dans le cas de la méthode selon laquelle les transducteurs sont conçus pour se déplacer sur un ensemble vertical ou incliné (voir l'al. 6.4.4.1 a.), l'étalonnage du système se fait automatiquement. Pour ce faire, il faut établir des courbes de vitesses verticales en déplaçant les transducteurs selon diverses trajectoires et en obtenant une série de vitesses de trajectoires dans le plan vertical. On doit tracer ces courbes pour différentes valeurs de niveau et analyser les courbes résultantes pour déterminer le meilleur endroit pour fixer les transducteurs.

6.4.4.4 Dans le système à trajectoires multiples qui utilise plusieurs paires de transducteurs, il faut déterminer le meilleur emplacement de ceux-ci à partir d'un examen préliminaire des courbes de vitesses verticales obtenues à l'aide d'un moulinet. Les transducteurs doivent ensuite être fixés ou installés sur un ensemble conformément à l'al. 6.4.4.1 a.

6.4.4.5 Les transducteurs qui doivent être fixés en place de façon permanente doivent être installés sur un pieu rigide enfoncé à la verticale dans le lit de la rivière. Lorsque les transducteurs sont conçus pour glisser sur un ensemble, les montages et les glissières doivent être construits de manière à résister aux dommages causés par des débris ou des accumulations de limon. Les guides doivent être solidement fixés au lit ou aux rives et encastrés dans le béton de manière à ne pas s'enfoncer, basculer ni être entraînés par le courant. Les ancrages doivent se prolonger dans le sol au-delà de la profondeur maximale de pénétration du gel dans le sol.

Dans le cas de ces deux méthodes (voir l'al. 6.4.4.1 a.), la construction doit être suffisamment solide pour résister aux effets des inondations.

6.4.4.6 Il faut effectuer un nivellement détaillé du lit et des rives sur une distance correspondant à une largeur de chenal en amont du montage de transducteurs d'amont proposé et une largeur de chenal en aval du montage de transducteurs d'aval. Selon les résultats de ces nivellements, on doit considérer la possibilité d'améliorer le lit et les rives par nettoyage ou dragage, après quoi on doit effectuer de nouveau les nivellements localisés.

6.4.4.7 Lorsque les emplacements des montages de transducteurs ont été établis, il faut relever soigneusement l'angle formé par les montages en vue de la pose définitive des câbles dans le processeur électronique. On doit effectuer le nivellement du lit entre les montages de transducteurs le long de la trajectoire et obtenir le niveau moyen du lit en vue également de la pose des câbles dans le processeur électronique qui calcule sur place le débit. Ce nivellement doit être répété périodiquement et considéré comme faisant partie des travaux systématiques.

6.4.4.8 La sortie d'une station ultrasonique peut être enregistrée suivant l'un ou l'autre des modes suivants:

- a. La vitesse de la trajectoire (ou un indice numériquement proportionnel à la vitesse de trajectoire)
- b. La vitesse de trajectoire et le niveau
- c. Le débit et le niveau
- d. La vitesse et le débit
- e. La vitesse, le débit et le niveau.

Si le niveau n'est pas inclus dans le mode choisi, il doit être enregistré séparément au moyen d'un limnigraphe aux fins de traitement ultérieur à l'extérieur de l'emplacement.

*6.4.4.9 Dans le cas de l'exploitation en mode de débit, un clavier doit être fourni de concert avec le processeur électronique afin d'apporter les corrections qui s'imposent concernant les changements de niveaux du lit (voir l'al. 6.4.3 e.).

6.4.4.10 Le limnimètre de référence doit être conforme à l'al. 4.4.2 et à la norme ISO 4373.

6.4.4.11 Un repère de nivellement de la station doit être établi conformément à l'al. 4.5.4.

6.4.4.12 Le puits de mesurage, s'il y a lieu, doit être conçu et construit conformément à l'al. 4.4.3 et à la norme ISO 4373.

7. COMPILATION DES DONNÉES

- 7.1 La collecte des données sur place sous forme de rapports contenant les lectures limnimétriques, de graphiques ou de bandes provenant des limnigraphes et des mesures de vitesse ou de débit ne constitue que la première étape de la compilation des rapports d'une station. Bien qu'il soit important d'effectuer des observations exactes sur place, il est tout aussi important de réduire les données transcrites. Ces deux opérations doivent être effectuées avec le plus grand soin possible puisque toute négligence lors de l'une ou de l'autre de ces opérations risque de nuire au bien-fondé des rapports. Toutes les données recueillies sur place doivent être examinées d'un oeil critique et rapidement afin de déceler toute anomalie qui peut exister.
- 7.2 Aux endroits où des limnigraphes sont installés, il faut effectuer des relevés des niveaux d'eau à partir des graphiques ou des bandes des instruments suivant les intervalles requis pour définir l'hydrographe de manière adéquate. On doit effectuer la conversion du niveau d'eau en débit à l'aide de la courbe hauteur-débit et du tableau de tarage de la station dans le cas d'une station de calcul par intégration du champ des vitesses, et au moyen de l'équation de déversoir ou de canal jaugeur dans le cas d'une structure de mesurage, pour chaque niveau d'eau, en apportant toutes les corrections nécessaires. De plus, on doit calculer de manière indépendante le débit moyen quotidien en se fondant souvent sur l'hypothèse voulant que les changements du niveau d'eau qui se produisent entre les relevés, qu'il s'agisse de valeurs observées sur une échelle limnimétrique ou de lectures fournies par un graphique ou une bande d'instrument, varient de manière linéaire en fonction du temps. Ce n'est pas toujours le cas. Il faut donc effectuer des lectures à intervalles suffisamment fréquents pour s'assurer que l'hypothèse de linéarité est toujours valable.
- 7.3 Il faut éviter, dans la mesure du possible, l'extrapolation des débits d'après les courbes de tarage. Si cette exigence ne peut pas être respectée, on doit procéder de la manière indiquée dans l'annexe D de CAN/CGSB-157.4-M/ISO 1100/2. On doit établir une distinction entre les débits obtenus par extrapolation et ceux qui sont obtenus par interpolation. Néanmoins, un rapport peut être considéré comme un rapport type à condition que la somme des quantités estimées ne dépasse pas 5% de l'écoulement total pour l'année considérée.
- 7.4 Les commentaires faisant partie du rapport doivent également indiquer si un certain jour l'écoulement s'est trouvé perturbé par la végétation herbacée, la glace ou les débris accompagnant une inondation.
- 7.5 **Méthode de dénivellation-débit** — Pour la compilation des rapports concernant la méthode dénivellation-débit (station hydrométrique double), voir CAN/CGSB-157.4-M/ISO 1100/2.
- *7.6 **Station de jaugeage par ultra-sons** — Il faut suivre les instructions données dans le manuel d'exploitation du fabricant lorsqu'on vérifie l'afficheur du pupitre de commande électronique pour s'assurer que celui-ci affiche correctement la date, l'heure, le niveau, la vitesse ou le débit. Il faut également vérifier la bande de sortie de données pour s'assurer que la perforation ou les valeurs imprimées correspondent aux données indiquées par l'afficheur du pupitre de commande. On doit vérifier les voyants et noter tout signe de fonctionnement défectueux. Il faut vérifier le niveau d'eau conformément à l'al. 6.1.7.3.

8. MESURAGE ET CALCUL DU DÉBIT DANS LES CONDITIONS DE GEL

8.1 Conception et construction

- 8.1.1 **Puits de mesurage** — Le puits de mesurage et les tuyaux de prise doivent être construits de manière que le système continue de fonctionner pendant de longues périodes de gel. Les méthodes permettant de satisfaire à cette exigence comprennent:
- a. La construction du puits à partir de matériaux non conducteurs ou l'isolation visant à empêcher la pénétration du gel.
 - b. S'il y a lieu et lorsque cela est possible, le tuyau de prise inférieur doit être enveloppé d'un ruban chauffant électrique ou l'on doit placer un ruban chauffant à l'intérieur du tuyau de prise en utilisant une génératrice mobile ou un bloc d'alimentation commercial destiné à protéger le tuyau contre le gel. Pour dégeler un tuyau de prise, on peut également utiliser un système producteur de vapeur dont le flexible de vapeur est de la longueur requise.
 - c. Les tuyaux de prise doivent être placés de manière que le tuyau de prise inférieur se trouve en dessous du fond de la nappe de glace et le tuyau supérieur au-dessus de la nappe de glace. Ainsi, le limnigraphe fonctionne avec la

prise inférieure pendant la période de gel et, si l'entrée inférieure gèle, le tuyau de prise supérieure entre en fonction pendant la montée des eaux résultant de la fonte des neiges, le tuyau de prise inférieur dégélant.

- d. Les puits de mesurage qui sont construits assez loin dans la rive pour se trouver au-dessous de la profondeur maximale de pénétration du gel dans le sol peuvent être protégés contre la glace à l'aide d'un sous-plancher isolé et amovible. Le sous-plancher doit être placé au-dessous de la profondeur maximale de pénétration du gel dans le sol, mais au-dessus du niveau d'eau maximal prévu pendant la période de gel. Il faut prendre les dispositions nécessaires pour que le flotteur et les fils de contre-poids passent librement. On doit enlever le sous-plancher avant la montée des eaux accompagnant la fonte des neiges.
- e. Au lieu de procéder comme décrit en d., on peut fixer à la verticale dans le puits un cylindre étanche, ouvert à une extrémité et présentant un diamètre supérieur à celui du flotteur. On doit remplir en partie le cylindre d'un distillat pétrolier non volatil. Le cylindre doit être d'une longueur suffisante et installé de manière que l'extrémité inférieure soit nettement au-dessous du niveau d'eau prévu minimal et que l'extrémité supérieure soit au-dessus du niveau d'eau prévu maximal au cours de la période où risquent de régner des températures pouvant entraîner le gel. Il faut prendre les précautions nécessaires pour s'assurer que le flotteur se déplace librement dans le cylindre et que la course du contrepoids n'est pas gênée. On doit enlever le cylindre et le distillat pétrolier avant la montée des eaux au printemps. Si le distillat pétrolier s'échappe du cylindre, des erreurs se produiront concernant les relevés de niveau en raison de la différence de densité qui existe entre l'eau et le distillat.
- f. On peut chauffer les puits de mesurage à l'aide de réchauffeurs électriques ou de réchauffeurs au propane (gaz en bouteille). Dans certains cas, il se peut que l'on doive installer le réchauffeur sur un système flottant séparé, ou incorporer un thermoplongeur électrique dans le flotteur du limnigraphe pour empêcher le puits de geler. La quantité de chaleur fournie doit être la quantité minimale requise pour protéger le puits contre le gel. La surchauffe du puits entraînera la production de vapeur d'eau excessive qui se condensera sous forme de gelée dans l'abri du limnigraphe, ce qui risque de faire coincer les portes et de nuire au fonctionnement du limnigraphe et de l'horloge. Il peut être nécessaire de chauffer les instruments de mesure de niveau pour garantir leur fonctionnement continu lorsque les températures sont très basses, bien que certains appareils puissent fonctionner à des températures de -45°C si l'on utilise des lubrifiants spéciaux pour basses températures.

8.1.2 *Limnigraphe pneumatique*

- 8.1.2.1 L'orifice par lequel le gaz comprimé sort dans le cours d'eau doit être installé à une cote inférieure à celle du fond de la nappe de glace qui se forme habituellement à la station de jaugeage.
 - 8.1.2.2 L'orifice doit être situé à distance des endroits où la glace de fond se forme, comme au-dessus des rapides, pour éviter que l'orifice ne devienne obstrué.
 - 8.1.2.3 Lorsque l'orifice peut devenir gelé dans la glace, on doit réduire la pression d'alimentation du gaz jusqu'à une valeur inférieure à la pression correspondant à la pleine échelle de l'instrument. Ceci empêche l'appareil de subir des dommages causés par l'obstruction de l'orifice.
 - 8.1.2.4 La canalisation raccordée à l'orifice doit être enfouie dans la rive jusqu'à une profondeur suffisante pour prévenir les dommages causés par l'affouillement de la glace pendant la montée des eaux.
 - 8.1.2.5 Le mercure utilisé dans certains instruments de mesure se solidifie à environ -40°C , ce qui empêche la collecte de données relatives au niveau d'eau aux températures très basses. On doit chauffer les appareils jusqu'à la température de service minimale prescrite par le fabricant pour assurer un fonctionnement ininterrompu. Il est possible d'hydrofuger les batteries d'alimentation et de les placer dans le cours d'eau de manière à obtenir un rendement satisfaisant lors de l'exposition à des températures très basses.
- 8.1.3 *Déversoirs à échancrure, déversoirs et canaux jaugeurs* — La où cela est nécessaire et faisable, on doit chauffer ces structures pendant la période de gel pour faire en sorte que la relation charge-débit soit applicable pendant l'hiver. Il est possible d'y parvenir en suspendant un réseau de radiateurs chauffants électriques ou fonctionnant au propane à un capot recouvrant la structure ou en protégeant la structure entière dans une enceinte, laissant des ouvertures pour l'entrée et la sortie de l'eau. On peut alors chauffer l'espace protégé de cette façon. On doit vérifier la cote de la structure à l'aide d'un niveau à lunette pendant la période de gel afin de s'assurer qu'il n'y a pas eu soulèvement de la structure dû à la pénétration du gel dans le sol.

8.2 Compilation des données

8.2.1 Les relevés de débit quotidiens, calculés pour les périodes où les conditions de gel influent sur la relation hauteur-débit, présentent en général un coefficient d'erreur plus élevé que lorsque l'eau s'écoule librement. Toutefois, les effets de la glace pour une station de jaugeage donnée ont tendance à suivre une évolution semblable de sorte que l'on peut habituellement effectuer des calculs fiables en interprétant avec soin le type de régime de gel, les données hydrométriques, les données météorologiques et les effets de la glace connus au préalable.

8.2.2 **Méthodes de calcul pour les cours d'eau présentant une couche de glace permanente** — Il existe plusieurs méthodes, mais la plupart d'entre elles sont fonction du calcul, pour chaque mesure de débit, de la hauteur réelle à l'échelle, ou de la hauteur déterminée à partir de la relation hauteur-débit qui correspond au débit mesuré sous de la couche de glace. Le remous ou la différence entre la hauteur réelle à l'échelle et la hauteur enregistrée au moment de la mesure peut également être calculé. Les valeurs de la hauteur réelle à l'échelle ou du remous entre les mesures de débit sont obtenues par interpolation en utilisant les températures de l'air, l'épaisseur de la glace ou d'autres renseignements hydrologiques servant de guide et l'on peut ainsi calculer le débit quotidien.

8.2.3 **Méthodes de calcul pour les cours d'eau présentant une couche de glace intermittente** — Certains cours d'eau ne forment pas une couche de glace permanente et sont soumis à des cycles de formation et de dissipation de la couche de glace, du frasil et de la glace de fond pendant l'hiver entier. Ces cycles peuvent se produire tous les jours de manière que l'on obtient des relevés de niveau d'eau très irréguliers.

Il faut donc effectuer souvent des mesures de débit, notamment dans le cas des nouvelles stations de jaugeage, pour arriver à mieux comprendre les interactions hauteur-débit qui se produisent dans des conditions climatiques variables. On peut obtenir des renseignements utiles pour l'interprétation des relevés de niveau en installant un moulinet enregistreur fonctionnant en continu dans un point de la section mouillée ou en utilisant la photographie image par image.

9. REMARQUES

9.1 **Option** — L'option suivante doit être précisée lors de l'application de la présente norme:

a. Graduations d'un limnimètre à flotteur, si elles ne sont pas en millimètres (al. 4.4.2.3 c.).

9.2 Sources de diffusion des publications de référence

9.2.1 Les publications mentionnées à l'al. 2.1.1 sont diffusées par l'Office des normes générales du Canada, Section des ventes, Ottawa, Canada K1A 1G6. Téléphone (819) 956-0425 ou 956-0426. Télécopieur (819) 956-5644.

9.2.2 La publication mentionnée à l'al. 2.1.2 est diffusée par l'Association canadienne de normalisation, 178, boul. Rexdale, Rexdale (Toronto), Ontario M9W 1R3.

9.2.3 Les publications mentionnées à l'al. 2.1.3 sont diffusées par le Conseil canadien des normes, Direction de la vente des normes, 350, rue Sparks, pièce 1200, Ottawa, Ontario K1P 6N7.