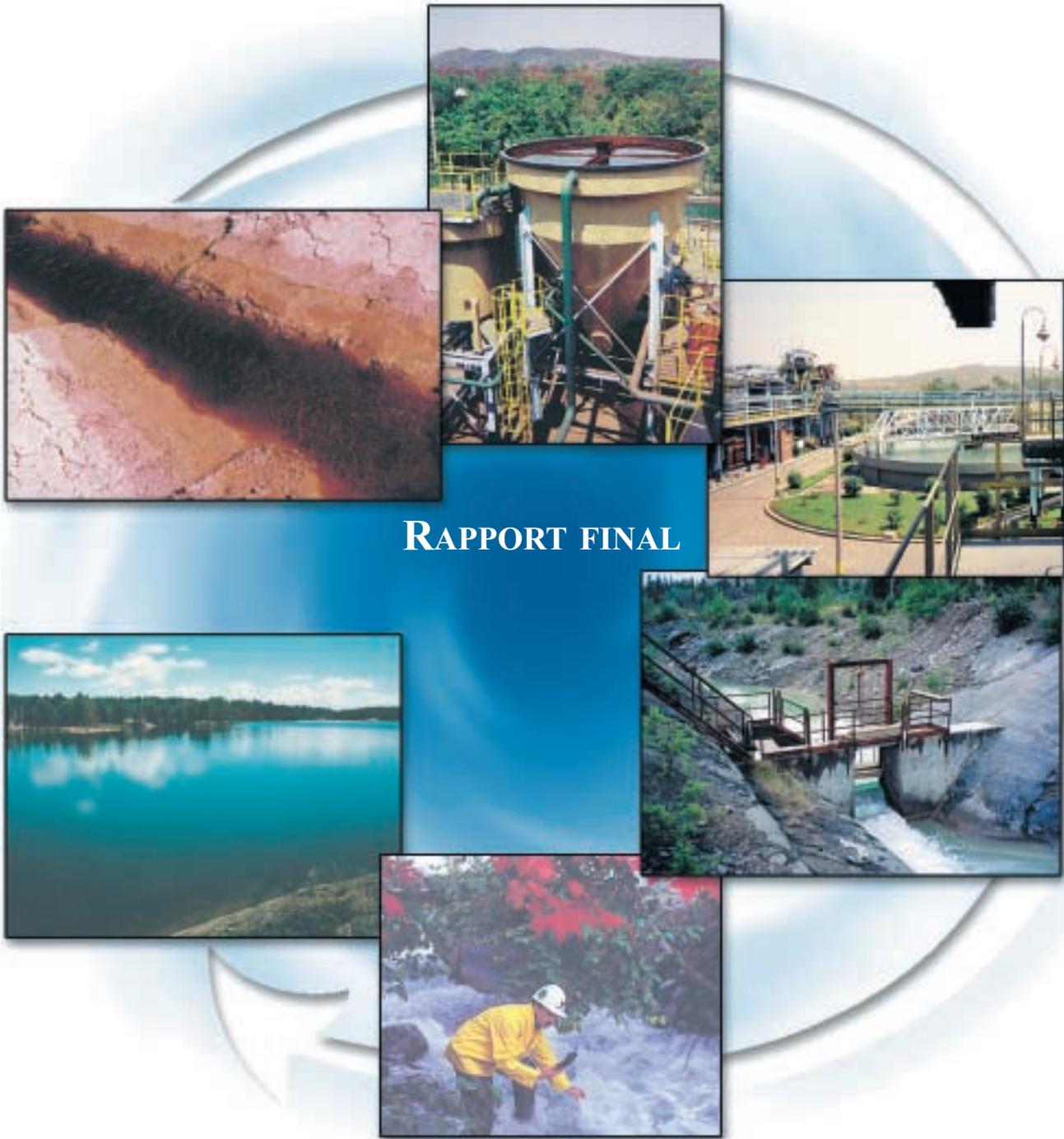


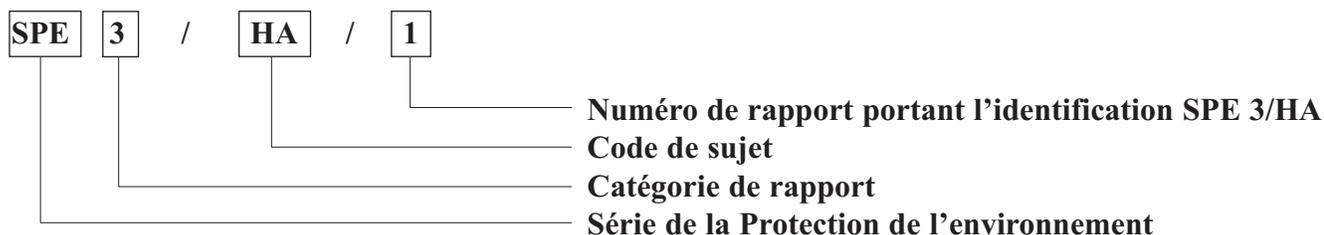
DOCUMENT D'ORIENTATION POUR LES MESURES DE DÉBIT DES EFFLUENTS DE MINES DE MÉTAUX



RAPPORT FINAL

SÉRIE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotation :



Catégories

- | | |
|---|---|
| 1 | Règlement/Lignes directrices/
Codes de pratiques |
| 2 | Évaluation des problèmes et options
de contrôle |
| 3 | Recherche et développement
technologique |
| 4 | Revue de la documentation |
| 5 | Inventaires, examens et enquêtes |
| 6 | Évaluations des impacts sociaux,
économiques et environnementaux |
| 7 | Surveillance |
| 8 | Propositions, analyses et énoncés de
principes généraux |
| 9 | Guides |

Sujets

- | | |
|------------|---|
| AG | Agriculture |
| AN | Technologie anaérobie |
| AP | Pollution atmosphérique |
| AT | Toxicité aquatique |
| CC | Produits chimiques commerciaux |
| CE | Consommateurs et environnement |
| CI | Industries chimiques |
| FA | Activités fédérales |
| FP | Traitement des aliments |
| HA | Déchets dangereux |
| IC | Produits chimiques inorganiques |
| MA | Pollution marine |
| MM | Exploitation minière et traitement des minéraux |
| NR | Régions nordiques et rurales |
| PF | Papier et fibres |
| PG | Production d'électricité |
| PN | Pétrole et gaz naturel |
| RA | Réfrigération et conditionnement d'air |
| RM | Méthodes de référence |
| SF | Traitement des surfaces |
| SP | Déversements de pétrole et de produits
chimiques |
| SRM | Méthodes de référence normalisées |
| TS | Transports |
| TX | Textiles |
| UP | Pollution urbaine |
| WP | Protection et préservation du bois |

Des sujets et des codes supplémentaires sont ajoutés au besoin. On peut obtenir une liste des publications de la SPE en s'adressant aux Publications de la Protection de l'environnement, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.





DOCUMENT D'ORIENTATION POUR LES MESURES DE DÉBIT DES EFFLUENTS DE MINES DE MÉTAUX



RAPPORT FINAL

Données de catalogage avant publication (Canada)

Vedette principale au titre :

Document d'orientation pour les mesures de débit des effluents de mines de métaux

(Rapport ; SPE 2/MM/4)

Publ. aussi en anglais sous le titre : Guidance document for flow measurement of metal mining effluents.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 0-660-96390-6

N° de cat. En49-24/1-38E

1. Eaux usées -- Qualité -- Mesure.
 2. Débit mètres.
 3. Mines -- Industrie -- Déchets -- Élimination.
 4. Mines -- Industrie -- Aspect de l'environnement.
- I. Canada. Environnement Canada.
- II. Coll.: Rapport (Canada. Environnement Canada) ; SPE 2/MM/4.

TD367.G84 2001

628.1'61

C00-980357-2

NOTE AUX LECTEURS

Prière d'envoyer vos commentaires et questions concernant ce document à :

Division des minéraux et des métaux
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Pour obtenir d'autres exemplaires de ce document, s'adresser à :

Publications de la protection de l'environnement
Direction générale pour l'avancement des technologies environnementales
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

AVERTISSEMENT

Le présent rapport a été examiné par des fonctionnaires de la Division des minéraux et des métaux d'Environnement Canada et approuvé en vue de sa publication. Cette approbation ne signifie pas nécessairement que le contenu reflète les vues et les politiques d'Environnement Canada.

La mention d'une marque de commerce ou d'un produit commercial dans ce document ne signifie pas qu'ils sont approuvés par Environnement Canada.

Ce document ne prétend pas couvrir tous les aspects de sécurité associés au sujet traité. Il incombe à toute personne de consulter les autorités compétentes et d'établir, avant de commencer, des pratiques d'hygiène et de sécurité appropriées, notamment celles exigées par la réglementation pertinente.

RÉSUMÉ

Ce document traite du contrôle du débit, du matériel et des procédés servant dans le cas des effluents de mines de métaux. Il met l'accent sur les méthodes axées sur le rendement et la façon de les appliquer dans l'industrie minière. Les sujets abordés comprennent la sélection, la conception et l'installation de systèmes de mesure, l'élaboration de méthodes d'exploitation et d'entretien, et la mise au point de protocoles de compte rendu. Il présente également des lignes directrices concernant l'étalonnage et le contrôle de la précision des systèmes et le choix du matériel de mesure.

L'information fournie vise à appuyer la mise en œuvre des dispositions du *Règlement sur les effluents des mines de métaux* (REMM) proposé par Environnement Canada en vertu de la *Loi sur les pêches*.

Pour de plus amples informations au sujet du *Règlement sur les effluents des mines de métaux* proposé et d'autres documents d'orientations pertinents, veuillez consulter la Voie verte d'Environnement Canada au www.ec.gc.ca/nopp/metals/francais/index.cfm .

REMERCIEMENTS

Ce document a été rédigé par :

Eric Luxon	Conor Pacific/WTI
Donald Weatherbe	Donald G. Weatherbe Associates Inc.
Robert Whyte	Aquafor Beech Limited

en collaboration avec :

Patrick Finlay	Environnement Canada
Bill Blakeman	Environnement Canada
Chris Doiron	Environnement Canada

Les personnes suivantes ont contribué à la préparation du présent document par leurs commentaires et en ont fait la révision :

Paul Rochon	Environnement Canada
Sam El-Gohary	Gouvernement de Terre-Neuve et du Labrador
Robert Phillips	Cameco Corporation
Jerry Fitchko	Beak International Incorporated
William Dainty	Aquafor Beech Limited
William Snodgrass	Snodgrass Consulting Services

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire	ix
1.0 Introduction.....	1
2.0 Caractéristiques des effluents miniers	2
2.1 Effluents miniers.....	2
2.2 Point(s) de rejet final	2
3.0 Mesure du débit	4
3.1 Unités de mesure du débit	4
3.2 Mesure du débit et rapports	4
3.3 Précision de mesure du débit	4
3.4 Fréquence d'étalonnage et de vérification des systèmes de mesure du débit	4
4.0 Critères de sélection du site et d'installation	5
4.1 Généralités	5
4.2 Choix du site.....	5
4.3 Choix et installation du matériel.....	5
4.4 Mesure du débit en zone éloignée	6
4.5 Décharges en lac/milieu marin	6
4.6 Décharges à source non ponctuelle	7
5.0 Installation, étalonnage et entretien des appareils de mesure	8
5.1 Considérations préliminaires	8
5.2 Installation et étalonnage <i>in situ</i> des appareils de mesure	8
5.3 Entretien et inspection	8
6.0 Documentation des mesures et données à recueillir	10
6.1 Élaboration des procédures normalisées d'exploitation	10
6.2 Enregistrement des données	10
6.3 Format des données et rapports	10
7.0 Documents de référence concernant les mesures de débit	12
Annexe 1 Mesure du débit à l'air libre	14
Annexe 2 Mesure du débit en conduite fermée.....	24
Annexe 3 Méthodes d'étalonnage des systèmes de mesure du débit	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Normes de l'ASTM et de l'ISO applicables aux mesures de débit des effluents de mines de métaux.....	13
------------------	--	-----------

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Exploitation minière type et flux d'effluents	3
Figure 2	Types de déversoirs courants	15
Figure 3	Canal Parshall	17
Figure 4	Canal Palmer-Bowlus	19
Figure 5	Jaugeurs à surface libre et jaugeur de type H	21

SOMMAIRE

Ce document vise à guider les personnes afin d'assurer avec efficacité le rendement des mesures de débit d'effluents de mines de métaux. Cette approche axée sur le rendement laisse à l'industrie entière latitude quant au choix des techniques et du matériel de mesure, la seule obligation étant de pouvoir assurer le niveau de précision des mesures exigé et d'en faire la preuve au moyen de données d'étalonnage et de contrôle appropriées. Les renseignements fournis dans ce document peuvent aider les exploitants de mines dans le choix des techniques de mesure, la conception et la mise en œuvre de systèmes de mesure des débits, l'élaboration des méthodes d'exploitation et d'entretien du matériel et la mise au point des protocoles de compte rendu. Ce document propose des lignes directrices concernant le choix des points et du matériel de mesure, la détermination de la précision des mesures, l'étalonnage des appareils et l'élaboration de procédures normalisées d'exploitation.

Il précise les éléments que devrait comporter un rapport d'homologation d'un système de mesure, présente des lignes directrices pour la détermination de la fréquence d'étalonnage des appareils de mesure et indique les activités qui devraient faire partie des procédures normalisées d'exploitation documentées. De plus, il aborde les points à considérer pour l'implantation, le choix, l'installation et l'étalonnage des systèmes de mesure des débits d'effluents aussi bien à l'air libre qu'en conduite. Il recommande trois méthodes d'étalonnage des appareils et de vérification de la précision des mesures de débits : la méthode de dilution (traceur), la méthode volumétrique et la modélisation hydraulique.

Le présent document dresse des lignes directrices concernant l'élaboration de programmes d'entretien et d'inspection, la mise au point de procédures normalisées d'exploitation, la consignation des données et l'établissement des comptes rendus de mesures. Une description des méthodes courantes de mesure du débit, à l'air libre et en conduite, est présentée en annexe.

1.0 INTRODUCTION

Ce document vise à guider les personnes afin d'assurer avec efficacité le rendement des mesures de débit d'effluents provenant d'exploitations minières et à appuyer les dispositions du *Règlement sur les effluents des mines de métaux* (REMM) qui sera adopté par Environnement Canada en vertu de la *Loi sur les pêches*.

L'approche axée sur le rendement permet aux organisations d'adapter des systèmes de mesure des débits aux particularités de chaque exploitation, la seule obligation étant de pouvoir assurer le niveau de précision des mesures exigé et d'en faire la preuve au moyen de données d'étalonnage appropriées. Les méthodes de mesure choisies devraient être conformes aux procédures normalisées d'exploitation et être utilisées de façon uniforme. Elles devraient pouvoir être examinées par un inspecteur sur demande en vertu de la *Loi sur les pêches* ou de toute autre loi fédérale ou provinciale applicable.

L'approche axée sur le rendement précise les normes de mesure à appliquer et les objectifs de qualité des données à atteindre. La planification, l'installation, l'exploitation et l'entretien des systèmes de mesure du débit devraient respecter les critères définis de précision, de conception, de fiabilité, d'étalonnage, de documentation et de compte rendu. Il incombe aux exploitants des mines de choisir des méthodes et des procédures à appliquer pour atteindre les normes et les objectifs de qualité mis de l'avant dans ce document d'orientation.

L'idée même de l'approche axée sur le rendement consiste à offrir aux exploitants une souplesse raisonnable dans le choix des méthodes et procédures de mesure à appliquer. Elle permet notamment d'exploiter les progrès techniques réalisés dans le domaine de la débitmétrie et d'adapter les techniques aux particularités d'une exploitation minière donnée, sans compter qu'elle facilite l'amélioration et le perfectionnement continus des procédures normalisées d'exploitation.

Ce document est destiné aux exploitants de mines et à leur personnel d'exploitation et de protection de l'environnement, au personnel d'inspection et d'application de la loi d'Environnement Canada, aux membres d'organismes provinciaux de protection de l'environnement ainsi qu'au personnel des commissions territoriales des eaux.

2.0 CARACTÉRISTIQUES DES EFFLUENTS MINIERES

2.1 Effluents miniers

Les effluents miniers déversés dans l'environnement peuvent provenir de diverses sources. Les principaux effluents sont décrits dans cette section et illustrés à la figure 1.

Les effluents issus d'installations de traitement sont des effluents qui entrent en contact avec les matériaux traités ou qui découlent de la production ou de l'utilisation d'une matière première, d'un produit intermédiaire, d'un produit fini, d'un sous-produit, d'un déchet ou d'eaux usées. Il peut également s'agir d'eau de purge, d'effluents issus des opérations de nettoyage ou d'entretien et d'effluents en contact avec des eaux de refroidissement ou des eaux de ruissellement.

Les effluents issus d'installations de traitement d'une exploitation minière peuvent se déverser dans l'environnement sous l'une ou plusieurs formes suivantes :

- effluent décanté d'un bassin-réservoir artificiel appelé « bassin de décantation et de stockage des résidus » ou « installation de gestion des résidus »;
- effluent décanté d'un étang de polissage ou de clarification généralement situé en aval d'un bassin de décantation et de stockage des résidus;
- effluent issu d'une installation de traitement.

Les eaux de mines comprennent les eaux pompées ou rejetées d'une mine souterraine ou d'une mine à ciel ouvert. Ces eaux sont généralement stockées dans des bassins de décantation puis déversées ou combinées avec des effluents issus d'installations de traitement. Elles peuvent également être rejetées directement dans l'environnement à partir de mines souterraines ou à ciel ouvert.

Les eaux de refroidissement servent comme leur nom l'indique à évacuer la chaleur produite par le matériel d'exploitation, les opérations de traitement et les matières elles-mêmes. En général, ces eaux sont combinées à d'autres flux d'effluents avant leur rejet dans l'environnement, par exemple aux boues de résidus déversées dans les bassins de décantation et de stockage des résidus (c.-à-d. effluents issus d'installations de traitement) ou aux eaux de mines.

Les eaux d'infiltration comprennent les eaux rejetées dans l'environnement par suintement à partir d'aires de gestion des déchets (ex. bassins de décantation et de stockage des résidus ou dépôts de stériles) ou de bassins de stockage d'eaux usées (ex. bassins de décantation et de stockage des résidus, bassins de clarification, bassins de retenue d'eaux de mines). Ces eaux d'infiltration peuvent être interceptées par des fossés de collecte périphériques ou peuvent s'écouler directement dans l'environnement.

Les eaux de ruissellement d'une exploitation minière comprennent les eaux de drainage superficiel (eaux de pluie, eaux de fonte des neiges et eaux de drainage naturel). Les eaux de ruissellement de sites miniers comprennent, sans toutefois s'y limiter, les eaux de drainage provenant des mines et des installations de traitement du minerai, des bassins de retenue des eaux de drainage, des zones de manutention, des sites de stockage de matières premières et des aires de stockage des déchets, dont les dépôts de stériles et de morts-terrains. En général, le ruissellement est diffus, car il comporte de nombreux points de rejet dans l'environnement.

Dans la catégorie « autres effluents », on retrouve, entre autres, les décharges sanitaires des bassins d'eaux usées, les déversements d'urgence des bassins de retenues des eaux usées et les eaux de lavage à contre-courant d'installations de traitement d'eau potable.

2.2 Point(s) de rejet final

Aux fins d'élaboration de ce document, un « point de rejet final » désigne le point de rejet indiqué par le propriétaire ou l'exploitant d'une mine conformément aux exigences du REMM proposé. Comme il est indiqué dans ce règlement, le propriétaire ou exploitant d'une mine doit mesurer le débit à chaque point de rejet final dans son plan d'exploitation.

4.0 CRITÈRES DE SÉLECTION DU SITE ET D'INSTALLATION

4.1 Généralités

Les effluents d'une exploitation minière peuvent atteindre les points de rejet final de diverses façons, soit par les cours d'eau ou les fossés naturels, les tuyaux ou les ponceaux et les canalisations de pompage.

Pour choisir la méthode appropriée de mesure du débit, il importe de vérifier les caractéristiques matérielles du chenal ou de la conduite et de s'assurer de la présence des conditions hydrauliques voulues pour une mesure précise du débit. Dans certains cas, il pourra être nécessaire de modifier les conditions en amont, en aval ou au point de mesure même.

Des structures et dispositifs hydrauliques artificiels ont été élaborés pour la mesure des débits aussi bien à l'air libre qu'en conduite. On les appelle communément les « appareils primaires ». Il s'agit entre autres de déversoirs et de canaux jaugeurs pour les écoulements à l'air libre et de plaques à orifice et tubes venturi pour les écoulements en conduite. L'écoulement à travers l'appareil primaire produit un signal mesurable, notamment la variation du niveau d'eau (hauteur) ou une différence de pression découlant des principes hydrauliques. Un « appareil secondaire » mesure l'intensité de ce signal au moyen d'un capteur approprié et relaie l'information à l'instrumentation servant à la convertir en débit. Parmi les appareils secondaires, on compte les capteurs de niveau, les capteurs de pression immergés et les transmetteurs de pression différentielle. La plupart des appareils secondaires peuvent être étalonnés en fonction d'étendues de mesure précises, au moyen de microprocesseurs intégrés. Certains peuvent également fournir une indication visuelle de l'écoulement dans les unités choisies et d'autres peuvent transmettre un signal électronique proportionnel au débit à être mis en mémoire (ou enregistré sur support électronique), à être enregistré sur support papier (enregistreur graphique) ou à être relayé à un centre de traitement.

Un système complet de mesure du débit comprend des appareils de mesure primaires et secondaires.

4.2 Choix du site

Dans la planification d'un système de mesure du débit, un procédé de sélection d'un site devrait être envisagé afin de déterminer l'emplacement le plus accessible et approprié en tenant compte du point de rejet final. Voici les points à envisager :

- nature de l'écoulement à mesurer (permanent ou saisonnier);
- besoins de réglage du niveau d'eau en amont (niveaux d'opération minimaux et maximaux);
- possibilités d'accès en véhicule et à pied par mauvais temps;
- accessibilité du matériel au personnel d'exploitation et d'entretien (minimiser les installations en espaces confinés imposant des procédures d'entrée et précautions particulières);
- alimentation électrique des appareils de mesure (alimentation par panneaux solaires peut être requis en zone éloignée);
- protection du matériel et des instruments contre les intempéries, la faune et le vandalisme;
- conditions du sol et incidences sur la stabilité de l'installation et les coûts d'aménagement (proximité du socle rocheux, profondeur de gel, pergélisol, etc.);
- proximité du plan d'eau récepteur et mode de cheminement de l'effluent entre le système de mesure du débit et le milieu récepteur.

4.3 Choix et installation du matériel

Une fois le site choisi, il convient d'étudier les techniques et matériel de mesure pour constituer le système de mesure qui donnera les meilleurs résultats en termes de précision à l'endroit choisi. Le choix du matériel de mesure devrait tenir compte des éléments suivants :

- la plage des débits à mesurer;
- la précision requise quant à la plage des débits à mesurer;
- les changements possibles du débit en tenant compte des expansions/modifications ultérieures du site;
- les conditions environnementales qui peuvent influencer sur le fonctionnement du matériel;

- les besoins d'alimentation en énergie;
- les canaux d'amenée et d'évacuation nécessaires pour le matériel;
- la qualité de l'effluent (eau chargée de solides en suspension ou de produits chimiques peuvent être nuisibles au bon fonctionnement du matériel);
- l'accessibilité du matériel par le personnel d'exploitation, d'entretien et d'inspection;
- l'espace disponible.

Les annexes 1 et 2 décrivent les principaux appareils primaires et secondaires offerts pour la mesure des débits à l'air libre et en conduite.

L'étude approfondie du système de mesure de débit devrait être confiée à des personnes qualifiées possédant de l'expérience en conception, étalonnage, inspection et entretien de matériel de mesure des débits.

Outre les instruments de contrôle de la qualité de l'eau et les dispositifs d'échantillonnage, tout ajout envisagé pour protéger le système de mesure au complet ou en partie devrait être suffisamment grand pour accueillir tous les équipements de protection du personnel nécessaires ou exigés.

Voici les points à envisager en matière de construction ou d'aménagement :

- possibilité de devoir détourner temporairement le chenal ou courant à contrôler pour permettre l'installation ou la construction de la structure artificielle de mesure du débit hydraulique;
- permis à obtenir pour l'aménagement de structures de mesure du débit en continu et la modification du tracé des cours d'eau (systèmes en parallèle à privilégier);
- embauche à contrat de personnel qualifié et expérimenté pour l'installation et la mise en service adéquates du système envisagé (souvent, les fournisseurs ont des techniciens qui peuvent aider à l'installation et à la mise en service du matériel fourni).

Le choix du site, les caractéristiques techniques du système de mesure et son étalonnage devraient faire l'objet d'un rapport exhaustif à être mis à jour au fur et à mesure des modifications apportées. Le personnel d'exploitation de la mine, les inspecteurs d'Environnement Canada et les agents provinciaux d'application des normes devraient pouvoir consulter ce document en tout temps.

4.4 Mesure du débit en zone éloignée

Les mesures du débit en zone éloignée sont souvent difficiles du fait de l'inaccessibilité des lieux et des contraintes d'alimentation en énergie. L'étude d'un système de mesure du débit en région éloignée devrait tenir compte des éléments suivants :

- la disponibilité d'une source d'alimentation en énergie fiable;
- la mise en place d'un système fiable; d'enregistrement et de transmission des données de mesure;
- le choix d'appareils primaires et secondaires aptes à fonctionner à basses températures lorsque le manque d'énergie empêche de faire fonctionner un système de chauffage;
- la réduction au minimum des besoins d'entretien;
- la mise en place d'un système d'avertissement ou d'alarme en cas de mauvais fonctionnement ou panne du système de mesure.

Parmi les options d'alimentation en énergie aux endroits éloignés non raccordés au réseau de distribution électrique figurent les panneaux solaires disponibles commercialement pour l'alimentation d'instrumentations standard. Les inspections courantes des systèmes éloignés de mesure du débit devraient englober la source d'alimentation en énergie de ces systèmes.

Lorsque l'accès aux lieux est difficile, il est important de doter le système de mesure du débit d'un appareil d'enregistrement des données et, dans la mesure du possible, d'un circuit de communication avec le site minier pour la transmission des données et la surveillance du système. Le circuit de communication peut être relié par une ligne téléphonique ou un câble de communications. On peut aussi envisager la téléphonie cellulaire ou même par satellite. En cas d'impossibilité d'établir une liaison directe entre le système de mesure du débit et le site minier, il faut prévoir l'extraction courante sur place des données stockées dans l'appareil d'enregistrement.

4.5 Décharges en lac/milieu marin

Le rejet direct dans un lac ou un milieu marin peut faire l'objet de l'une ou l'autre des méthodes de mesure du débit abordées dans cette section et exposées aux annexes 1 et 2. Les mesures doivent se faire obligatoirement avant le point de rejet dans le milieu récepteur marin.

4.6 Décharges à source non ponctuelle

Les décharges diffuses provenant d'un site minier ne se prêtent généralement pas à la mesure de leur débit. Il s'agit généralement de rejets par infiltration d'eaux de ruissellement ou d'eaux provenant de bassins de stockage d'eaux usées ou de dépôts de stériles. Si l'on doit surveiller ces débits, il faudrait d'abord recueillir les décharges à source non ponctuelle par l'un des moyens suivants :

- un réseau de fossés de captage visant à recueillir et à amener les eaux des effluents vers le point de rejet final pour mesurer le débit;
- un bassin de stockage d'où l'effluent serait pompé vers le point de rejet final selon les besoins pour mesurer le débit.

5.0 INSTALLATION, ÉTALONNAGE ET ENTRETIEN DES APPAREILS DE MESURE

Cette section résume les procédures générales d'installation, d'étalonnage et d'entretien des appareils de mesure du débit. Les annexes 1 et 2 donnent une description des méthodes et appareils de mesure du débit.

5.1 Considérations préliminaires

Tous les appareils de mesure du débit devraient être testés en usine par un personnel qualifié avant d'être expédiés et devraient être accompagnés des certificats d'homologation et des manuels d'exploitation et d'entretien les concernant. Toute la documentation accompagnant les appareils devrait être conservée et utilisée dans la mise en œuvre d'un programme d'entretien préventif et d'assurance de la qualité.

Les appareils construits sur mesure (p. ex. seuils de déversoir) sont admis si toutefois le système de mesure du débit peut être étalonné avec succès.

5.2 Installation et étalonnage *in situ* des appareils de mesure

Au cours de la phase d'installation et de mise en service, on devrait respecter toutes les prescriptions du fabricant quant à l'alimentation en énergie, au raccordement à d'autres utilités à l'installation, à la connexion, à la programmation, à l'exploitation et à l'entretien des appareils de mesure. L'installation et l'étalonnage devraient être confiés à un personnel qualifié qui devrait en documenter avec minutie et précision toutes les étapes.

Tous les systèmes de mesure du débit devraient être étalonnés *in situ* à l'étape de la mise en service. L'étalonnage *in situ* vise à établir et à confirmer la conformité aux exigences de précision des mesures de débit. La méthode d'étalonnage utilisée pour établir et confirmer l'exactitude de mesure du débit devrait être fiable à plus ou moins 5 % près.

Les méthodes ci-dessous offrent un niveau de précision d'étalonnage acceptable des systèmes de mesure du débit :

- méthode de dilution (traceur) - injection d'une solution à débit constant et concentration connus, et mesure de la concentration homogène dans le

flux d'effluent afin de déterminer le débit (les solutions injectées peuvent être du Rhodamine WT ou du chlorure de lithium);

- méthode volumétrique - collecte d'effluent dans une capacité et pesage pendant un temps donné ou mesure du volume d'effluent déplacé pendant un temps donné;
- modélisation hydraulique - construction d'un modèle réduit du système de mesure du débit et étalonnage/vérification en laboratoire.

Les méthodes ci-dessus conviennent pour l'étalonnage aussi bien des systèmes de mesure à l'air libre que des systèmes de mesure en conduite.

La méthode de l'exploration du champ des vitesses qui consiste à mesurer la vitesse du courant à différentes profondeurs pour déterminer le débit peut servir de méthode complémentaire de vérification de l'étalonnage mais elle ne devrait pas être utilisée comme seul moyen d'étalonnage des systèmes de mesure du débit. La raison étant la difficulté à caractériser les paramètres hydrauliques dans des conditions non idéales, notamment lorsque les caractéristiques du chenal sont irrégulières, l'écoulement est turbulent (remous ou courants transversaux) ou la vitesse d'écoulement est faible.

Dans le cas des écoulements en charge sous conduite, on peut faire appel à des méthodes ultrasonores et électromagnétiques pour contrôler les résultats de l'étalonnage, mais il n'est pas indiqué de s'en servir comme seul moyen d'étalonnage des systèmes de mesure. La raison étant la possibilité d'avoir des conditions hydrauliques non idéales comme un remplissage imparfait des fluides en conduite et la présence de bulles d'air.

L'annexe 3 présente les méthodes d'étalonnage.

5.3 Entretien et inspection

Il faudrait identifier de façon non équivoque tous les systèmes de mesure de débit et noter tous les détails des activités d'inspection et d'entretien selon les procédures normalisées d'exploitation (voir section 6.0). Les activités d'inspection et d'entretien visent à prévenir les situations suivantes :

- détérioration graduelle des rendements en raison de facteurs tels que l'encrassement, l'usure et la

dérive du signal;

- pannes subites attribuables aux phénomènes naturels, à la crue des eaux, aux défaillances d'élément et aux erreurs humaines.

L'inspection des appareils primaires vise à déceler ce qui suit sans toutefois s'y limiter :

- signes de sédimentation, accumulation de débris, développement d'algues et accumulation d'écume;
- accumulation de glace susceptible de fausser les mesures;
- signes de fissuration ou de décollement de la structure porteuse;
- signes de tassement différentiel de la structure porteuse;
- signes de corrosion de l'appareil de mesure et d'autres composantes de l'installation;
- éléments défectueux de l'installation.

L'inspection des appareils secondaires de mesure vise ce qui suit sans toutefois s'y limiter :

- vérification du niveau d'eau (hauteur) pour s'assurer de la conformité aux valeurs indiquées;
- présence d'organismes ou matières susceptibles de nuire au bon fonctionnement;
- signes d'endommagement ou d'usure de l'appareil de mesure et d'autres composantes de l'installation;
- signes de corrosion de l'appareil de mesure et d'autres composantes de l'installation;
- éléments défectueux de l'installation.

Une liste de contrôle devrait être dressée pour l'inspection et l'entretien des systèmes de mesure du débit et être utilisée pour documenter ces activités.

6.0 DOCUMENTATION DES MESURES ET DONNÉES À RECUEILLIR

6.1 Élaboration des procédures normalisées d'exploitation

Il convient d'élaborer une procédure normalisée d'exploitation des systèmes de mesure du débit à chaque point de rejet final. Une procédure normalisée distincte devrait encadrer chacune des opérations suivantes :

- obtention et enregistrement des données de mesure, conversion des mesures en données de débit et description des conditions d'exploitation durant les périodes visées par les rapports de débit;
- inspections et entretiens courants;
- étalonnage courant du système de mesure du débit.

Chaque procédure normalisée d'exploitation devrait inclure les renseignements suivants :

- les paramètres et objectifs de la procédure;
- des schémas du système de mesure du débit et du lieu d'implantation où figurent :
 - tous les accès (libres et limités);
 - toutes les caractéristiques et tous les instruments de mesure;
 - tous les repères utiles;
 - les dimensions des instruments de mesure, conduites et canaux installés;
 - l'emplacement du matériel de sécurité et les sources d'alimentation en énergie électrique;
- une fiche technique ou description du matériel et des instruments de mesure précisant :
 - les caractéristiques de la plaque signalétique;
 - l'étendue de mesure des instruments;
 - les besoins d'alimentation électrique;
 - les tables de conversion ou coefficient de calcul des débits;
- une description détaillée de toutes les étapes à respecter pour :
 - le nettoyage et l'inspection courants;
 - les vérifications courantes de l'étalonnage des appareils de mesure secondaires (ex. réglage à zéro);
 - l'entretien et la réparation;
 - la tenue des registres d'inspection et d'entretien;
 - les vérifications courantes des données enregistrées afin de détecter ou de diagnostiquer des erreurs ou des problèmes;

- le traitement, les calculs et la déclaration des données de débit;
- l'étalonnage ou la vérification des systèmes de mesure du débit.
- une liste des outils à utiliser pour le nettoyage et les inspections;
- une liste des instruments et outils nécessaires pour l'étalonnage des systèmes de mesure du débit et le contrôle de la précision des mesures.

6.2 Enregistrement des données

Il faudrait tenir un registre distinct pour chacun des points de mesure du débit. Ce registre devrait comprendre sous forme tabulaire toutes les données concernant l'exécution des procédures normalisées d'exploitation et consigner toutes les activités liées à l'inspection, à l'essai, à l'étalonnage et à l'entretien.

Le registre devrait inclure les renseignements suivants :

- nom du site minier et désignation du point de rejet final;
- date, heure et conditions générales des activités d'inspection et d'entretien;
- résultats de l'inspection et observations, y compris les défauts de fonctionnement, les dérèglements ou les erreurs;
- essais, mesures, étalonnage ou contrôles exécutés;
- mesures correctives, modifications d'intervalles ou autres recommandations découlant des observations faites en cours d'inspection ou d'entretien;
- identité des exécutants;
- signature d'autorisation.

6.3 Format des données et rapports

Tous les rapports de mesures de débit devraient inclure ce qui suit:

- nom du site minier et désignation du point de rejet qui est visé par le rapport;
- date, heure et durée des mesures rapportées;
- conditions générales au point de rejet final durant la période visée par le rapport (p. ex. conditions météorologiques, travaux d'entretien en cours, modifications du matériel, changements par

rapport aux conditions normales d'exploitation de la mine ou de l'installation de traitement, dont les fermetures temporaires ou les modifications importantes des procédés);

- toutes les données de mesures pertinentes;
- les anomalies de mesure attribuables aux travaux d'entretien ou à des problèmes techniques;
- une signature d'autorisation.

Toutes les données devraient être conservées sur support électronique et papier pendant au moins cinq ans.

7.0 DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE CONCERNANT LES MESURES DE DÉBIT

Les méthodes de mesure de débit sont décrites en détail dans les normes internationales, nationales et industrielles ainsi que dans nombre de monographies et de manuels consacrés à l'hydraulique. Voici les principales organisations de normalisation :

- Organisation internationale de normalisation (ISO);
- American Society for Testing and Materials (ASTM);
- American Society of Mechanical Engineers (ASME);
- British Standards Institute (BSI);
- National Institute for Science and Technology (NIST).

Ce document renvoie à certaines des normes publiées par ces organisations. Les normes applicables de l'ASTM et de l'ISO concernant les mesures de débit à l'air libre et en conduite sont énumérées dans le tableau 1.

Tableau 1 Normes de l'ASTM et de l'ISO applicables aux mesures de débit des effluents de mines de métaux

N° ASTM	N° ISO	Sujet
Normes générales		
D5172-91		Guide d'élaboration des modes opératoires normalisés
D5612-94		Guide pour l'élaboration de programme <i>In Situ</i>
D5640-95	8363-1986 (A)	Principes directeurs généraux pour le choix d'une méthode
D4375-96		Statistiques de base - Comité D-19 sur l'eau
	5168-1978 (A)	Calcul de l'erreur limite sur les mesures de débit
	7066-1 : 1989 (A)	Évaluation de l'incertitude - Dispositifs d'étalonnage linéaires
	7066-2 : 1988 (A)	Évaluation de l'incertitude - Dispositifs d'étalonnage non linéaires
	4006-1977 (A/F)	Vocabulaire et symboles
Normes sur les mesures du débit à l'air libre		
	4373-1979 (A)	Appareils de mesure du niveau de l'eau dans les canaux découverts
D5674-95	8368-1985 (A)	Mesure du débit
D1941-91	9826-1992 (A)	Canaux Parshall
D5390-93	4359-1983 (A)	Canaux jaugeurs à col rectangulaire, à col trapézoïdal et à col en U
D5242-92	1438/1-1980 (A)	Déversoirs et canaux Venturi - Partie 1: Déversoirs à paroi mince
D5614-94	3846-1977 (A)	Déversoirs et canaux jaugeurs - à chute libre (Déversoirs rectangulaires à seuil épais)
D5242-92	4377-1982 (A)	Déversoirs en V ouverts
	4360-1984 (A)	Déversoirs et canaux jaugeurs - Déversoirs à profil triangulaire
	8333-1985 (A)	Déversoirs et canaux jaugeurs - Déversoirs à seuil épais en V
	4371-1984 (A)	Évaluation du débit par détermination de la profondeur en bout des chenaux non rectangulaires à déversement dénoyé
	4374-1982 (A)	Déversoirs horizontaux à seuil épais arrondi
D5389-93	6418-1985 (A)	Vélocimètres (acoustiques) à ultrasons
D3858-95	748-1979 (A)	Méthodes d'exploration du champ de vitesses
D4409-95	2537 : 1988 (A)	Débitmètre à moulinet rotatif
D5089-95		Débitmètres électromagnétiques en canal découvert
D5541-94		Relation hauteur-débit
Normes sur les mesures du débit en conduite fermée		
	6416-1985 (E)	Mesure du débit à l'aide de la méthode ultrasonique (acoustique)
	3313-1974 (E)	Mesure du débit d'un écoulement pulsatoire dans une conduite au moyen de diaphragmes, tuyères ou tubes de Venturi
	5167-1980 (A)	Diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans des conduites en charge de section circulaire
	6817-1980 (A)	Débitmètres électromagnétiques
	7145-1982 (A)	Méthode par mesure de la vitesse en un seul point
Méthodes d'estimation		
D5130-95	1070-1973 (A)	Méthode de la pente de la ligne d'eau
D5243-92		Ponceaux
D5388-93		Méthode portant sur l'eau de sous-bac
Méthodes d'étalonnage		
	8316 : 1987 (A)	Méthode par jaugeage d'un réservoir volumétrique
D5613-94	9555-1 : 1994 (A)	Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs - Partie 1 : Généralités
	9555-3 : 1992 (A)	Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs - Partie 3 : Traceurs chimiques
	9555-4 : 1992 (A)	Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs - Partie 4 : Traceurs fluorescents

ANNEXE 1 MESURE DU DÉBIT À L'AIR LIBRE

Introduction

Cette annexe traite des mesures du débit à l'air libre, présente des lignes directrices générales concernant le choix du site et décrit les techniques de mesure les plus courantes. Une part importante de l'information fournie dans cette annexe provient du document intitulé *ISCO Open Channel Flow Measurement Handbook* (Grant et Dawson, 1995). Le cas échéant, les auteurs ont puisé dans leur propre expérience en conception, installation et étalonnage de systèmes de mesure du débit.

Choix du site

Le choix des points de mesure du débit à l'air libre devrait tenir compte des critères généraux de conception suivants :

- les canaux ou chenaux à bords ou fond irréguliers, en particulier les canaux ou chenaux naturels ou non aménagés, devraient être évités. Toute surface irrégulière (pente, fond, obstacles, tels que roches, végétation, etc.) peut contribuer à générer un profil d'écoulement irrégulier qui aura un effet néfaste sur la précision de la mesure;
- le point de mesure du débit devrait être à l'abri des effets de l'érosion (des surfaces du canal) ou de la sédimentation. Une modification de la géométrie du canal peut modifier les conditions de fonctionnement de l'appareil de mesure primaire, le changement de relation entre le niveau d'eau et le débit, et affecter la précision des mesures;
- le canal devrait être rectiligne et de section uniforme sur une distance, en amont du point de mesure, d'au moins 10 fois la hauteur maximale attendue de l'effluent. Certains appareils de mesure peuvent exiger une rectilinéarité amont d'au moins 20 fois la valeur susmentionnée. Avec les appareils de type déversoir et certains types de canaux (p. ex. canaux Parshall), le fond devrait présenter une pente très faible, voir nulle;
- l'écoulement à l'approche du point de mesure devrait être bien réparti sur toute la section du canal et relativement exempt de turbulence, de vagues et de tourbillons;
- la partie du canal située en aval du point de mesure devrait permettre une évacuation libre sur

l'écart des débits à mesurer, c'est-à-dire sans ressac ou submersion du point de mesure.

Certains appareils primaires échappent à cette règle, les canaux Parshall par exemple, qui tiennent compte de cet effet grâce à la mesure de la hauteur, ou du niveau d'eau, en un second point.

Appareils de mesure primaires

Parmi les appareils de mesure primaires utilisés pour les mesures du débit à l'air libre, un grand nombre sont des structures hydrauliques appartenant à la famille des déversoirs et des canaux. Sont décrits ci-après quelques-uns des déversoirs et canaux les plus couramment utilisés dans les sites miniers.

Déversoirs

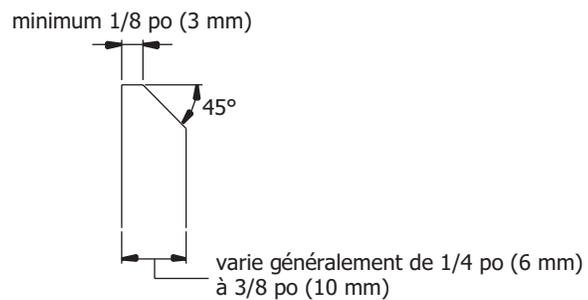
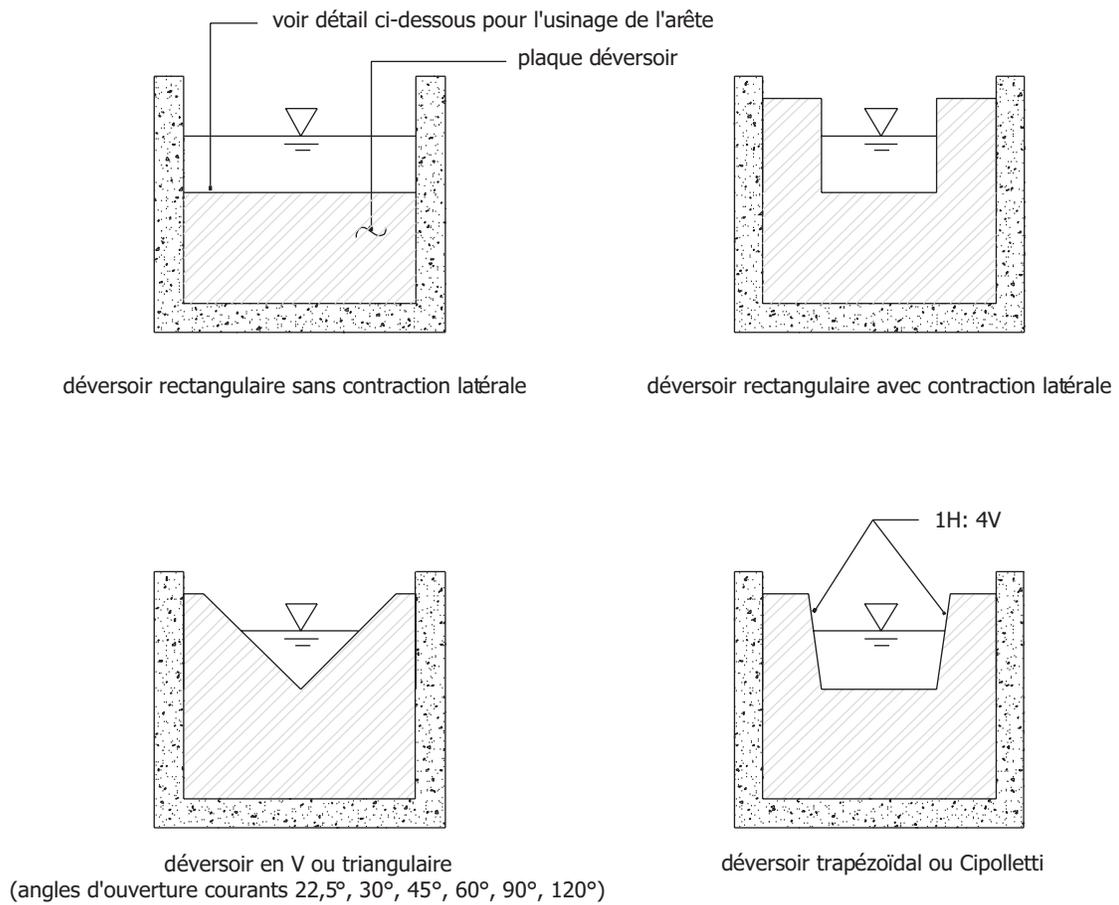
Description

Les déversoirs sont des structures hydrauliques formant un obstacle, par exemple, un barrage ou une cloison placés en travers un canal à surface libre et comportant une ouverture ou une entaille de forme particulière. La présence d'un déversoir a pour effet d'augmenter le niveau de l'eau, ou hauteur motrice, mesuré en amont. La relation du niveau eau-débit est connue pour de nombreux déversoirs de forme ou ouverture standard.

Les déversoirs dont l'arête se présente sous la forme d'une plaque métallique mince correspondent à des déversoirs à paroi mince et ceux dont l'arête est constituée de bois d'œuvre ou d'un massif bétonné épais correspondent à des déversoirs à seuil épais. On peut appliquer les relations du niveau eau-débit et répondre aux critères de précision des déversoirs à paroi mince si l'ouvrage a été calculé et aménagé selon les normes établies de l'ASTM et de l'ISO. Les ouvrages de mesure du débit à seuil épais ne répondront aux critères de précision que s'ils sont préalablement étalonnés. Les méthodes d'étalonnage sont présentées à l'annexe 3.

Les déversoirs les plus couramment utilisés sont ceux à paroi mince et à ouverture soit en V, soit rectangulaire. La figure 2 en présente plusieurs exemples. Le déversoir en V sert généralement à

Figure 2 Types de déversoirs courants

détail — usinage courant de l'arête et plaque-déversoir
non conforme à l'échelle

mesurer les petits débits à l'intérieur d'une plage de mesure étroite. Le déversoir à ouverture rectangulaire permet de mesurer des débits plus grands que les déversoir en V et sur une plage de mesure plus large. Comme on peut le voir à la figure 2, un déversoir rectangulaire peut être du type à écoulement « partiellement contracté » ou « totalement contracté ». Parmi les autres types de déversoirs existants, mentionnons le déversoir trapézoïdal (Cipoletti), le déversoir Sutro et les déversoirs à profil complexe (c.-à-d. des déversoirs combinant les formes mentionnées précédemment).

La mesure du niveau de l'eau se fait en amont du déversoir à une distance égale à 4 à 5 fois la hauteur motrice maximale attendue. Elle se fait par rapport au fond de l'ouverture d'un déversoir en V (soit le sommet du V) et par rapport à la crête horizontale des autres types de déversoir.

Installation

- Toutes les sections et tous les éléments du déversoir et des appareils de mesure secondaires devraient être aisément accessibles pour l'inspection et l'entretien courants.
- Les plaques des déversoirs à paroi mince devraient avoir une épaisseur minimale de 6 mm et présenter une arête chanfreinée à 45° en direction aval. L'épaisseur de la plaque est fonction de sa largeur et de la hauteur motrice de l'effluent à mesurer. Les épaisseurs courantes atteignent 6, 8 et 12 mm.
- Les plaques des déversoirs à paroi mince devraient être en acier inoxydable.
- Une échelle limnimétrique doit être installée en permanence en aval du déversoir à un endroit où il sera possible de se faire une idée rapide du niveau de l'eau.
- Les appareils de mesure secondaires devraient être installés directement dans la section du déversoir ou au-dessus, ou dans un puits de mesure.
- Le déversoir devrait être dimensionné de manière à ce que l'écoulement maximal de service corresponde à environ 70 % à 100 % de sa capacité maximale. Un déversoir surdimensionné peut entraîner une baisse de précision à de faibles débits.

Entretien et étalonnage périodiques

- La plaque-déversoir devrait être propre et exempte de végétation et de micro-organismes et, durant la saison froide, de glace.
- Des mesures devraient être prises pour empêcher l'accumulation de sédiments ou de débris en amont du déversoir.
- Le repère « zéro » de l'appareil de mesure secondaire devrait être vérifié régulièrement en conditions d'écoulement nul. Si cela est impossible, on peut installer une plaque d'étalonnage permettant d'effectuer la vérification voulue.
- Le radier du puits de mesure et du canal d'amenée, selon le cas, devrait être propre et exempt de sédiments.
- Plusieurs autres points devraient être vérifiés lors des inspections périodiques comme par exemple l'horizontalité de la crête du déversoir, la verticalité de la plaque-déversoir, la hauteur de la crête par rapport à un repère connu (pour déceler le tassement différentiel de l'installation) et l'état de la plaque-déversoir (signes d'endommagement et de corrosion excessive).

Canaux Parshall

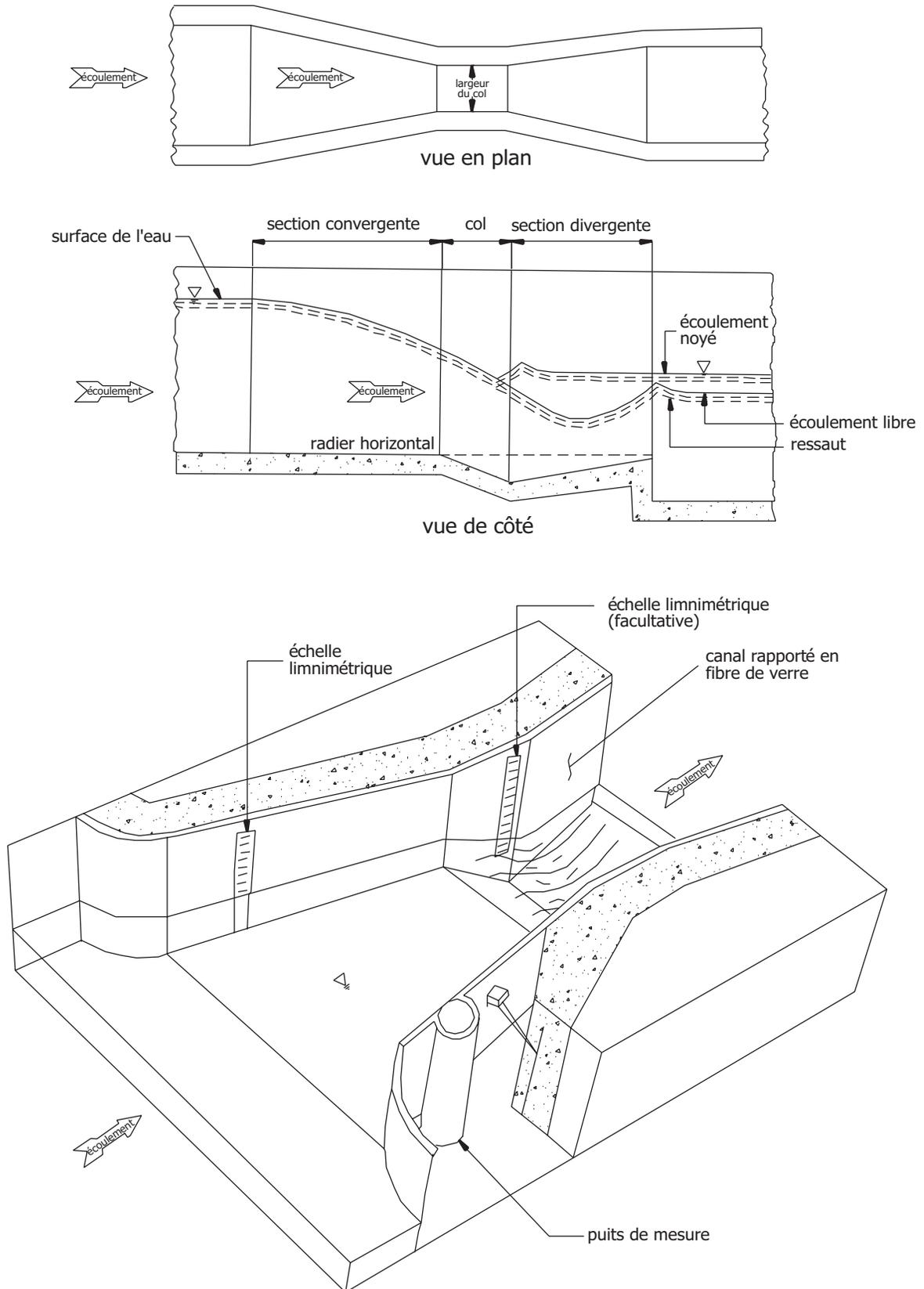
Description

Un canal Parshall est une structure hydraulique de section transversale rectangulaire comportant une section rétrécie et un radier incliné vers l'aval (voir figure 3). Cette caractéristique rétrécit et remodèle l'écoulement à travers la structure et génère une charge hydraulique proportionnelle au débit. Ce canal comporte un convergent d'entrée à radier horizontal, un rétrécissement ou col et un divergent de sortie.

Le convergent côté amont produit une accélération du flux à l'entrée de la structure. Cette accélération du flux s'accompagne d'effet de décapage des surfaces du canal, ce qui prévient l'accumulation de sédiments. La mesure de la charge hydraulique se fait dans la section convergente immédiatement en amont du col ou rétrécissement. Le col est situé dans la partie centrale du canal et présente une section rectangulaire et un radier incliné vers l'aval. La taille du canal est exprimée par la largeur du col.

Parmi les principaux avantages du canal Parshall, mentionnons la capacité d'autocurage, la possibilité de mesurer de larges étendues et une perte de charge

Figure 3 Canal Parshall



(Tiré de Free Flow Inc., 1991)

hydraulique relativement faible. La largeur du col de ces canaux varie entre 25 mm et 15,2 m. Ils peuvent être construits sur place en différents matériaux (bois, béton, tôle) ou préfabriqués en usine sous forme structure complète ou d'éléments rapportés. La version « éléments rapportés » se fait généralement en fibre de verre et s'insère sur place dans un logement en béton dimensionné en fonction des débits à mesurer.

Installation

- La structure complète devrait être établie et assujettie dans un support solide permettant de bien niveler le radier dans les deux sens, longitudinal et transversal, et d'éviter le flambement ou la déformation des parois au cours de débits élevés.
- Toutes les sections et tous les éléments du déversoir et de l' (des) appareil(s) de mesure secondaire(s) devraient être aisément accessibles pour l'inspection et l'entretien courants.
- Une échelle limnimétrique devrait être installée en permanence sur une des parois du convergent d'entrée à un endroit où il sera possible de se faire une idée rapide du niveau de l'eau.
- On devrait prévoir un puits de mesure pour la mesure de la charge hydraulique ou du niveau d'eau par l'appareil de mesure secondaire. Ce puits de mesure est raccordé au canal à l'endroit approprié du convergent par un tuyau d'adduction de petit diamètre. Le radier du puits de mesure devrait être au même niveau ou plus bas que le radier de la section convergente du canal.
- Le canal devrait être dimensionné de manière à ce que l'écoulement maximal de service corresponde à environ 70 % à 100 % de sa capacité maximale. Un canal surdimensionné peut entraîner une baisse de précision à de faibles débits.

Entretien et étalonnage périodiques

- Le canal devrait être propre et exempt de végétation et de micro-organismes. L'accumulation d'algues est courante sur les canaux rapportés en fibre de verre.
- Des mesures devraient être prises pour éviter l'accumulation de sédiments ou de débris sur le radier du canal.
- Le radier du puits de mesure ainsi que le canal d'amenée devraient être propres et exempts de sédiments.
- Le repère « zéro » de l'appareil de mesure secondaire devrait être vérifié régulièrement en

conditions d'écoulement nul. Si cela est impossible, on peut installer une plaque d'étalonnage permettant d'effectuer la vérification voulue.

- Plusieurs autres points doivent être vérifiés au cours d'inspections périodiques comme par exemple les caractéristiques transversales et longitudinales du radier du canal (section convergente), la hauteur du canal par rapport à un repère connu (pour déceler le tassement différentiel de l'installation) et la séparation entre les éléments rapportés et la structure où ils sont logés, le cas échéant.

Canaux Palmer-Bowlus et Leopold-Lagco

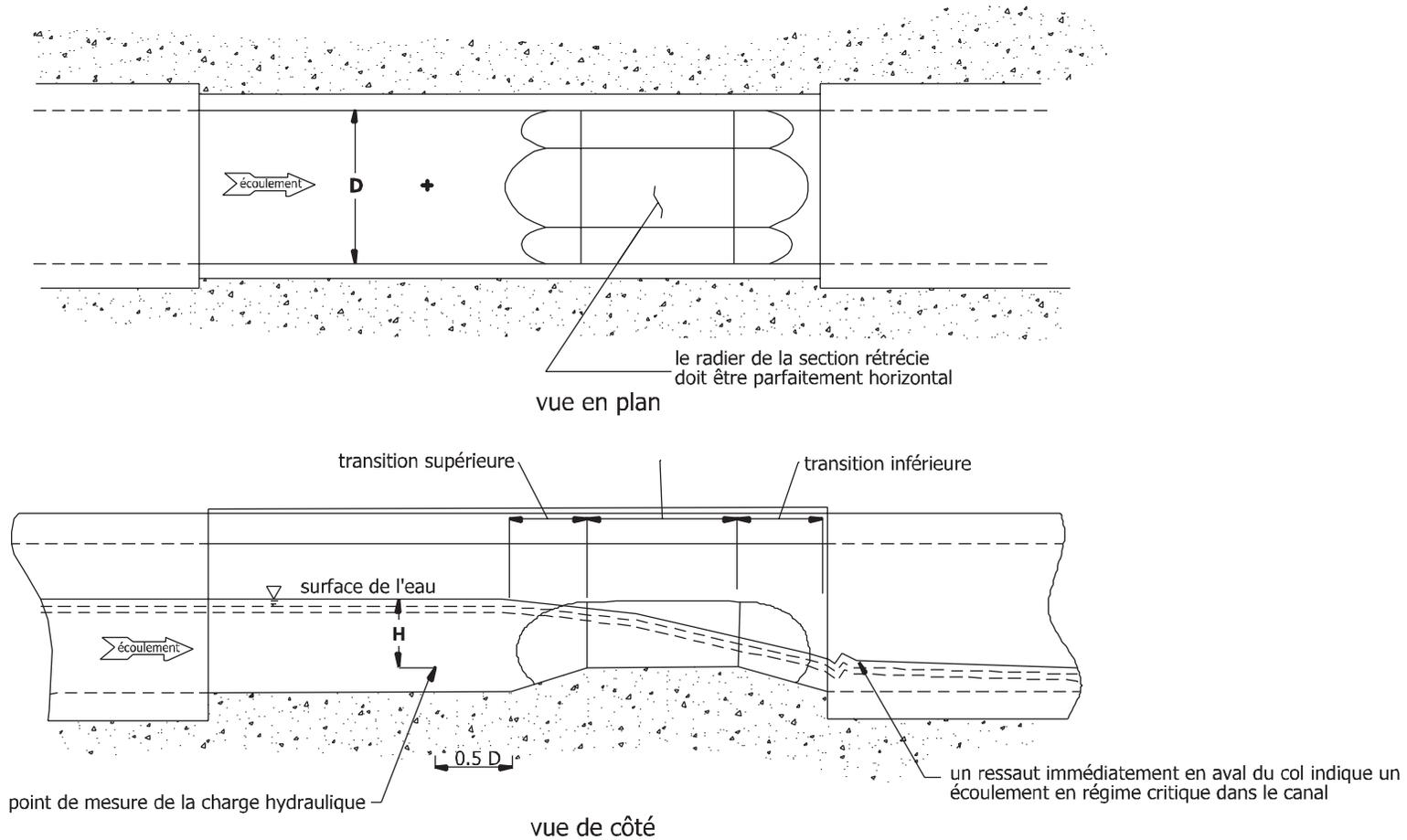
Description

Semblables au canal Parshall, ces dispositifs rétrécissent et remodelent l'écoulement et génèrent une charge hydraulique proportionnelle au débit. Ils comportent une section convergente à l'entrée, un col ou rétrécissement à la sortie. Voir l'exemple à la figure 4.

Le convergent côté amont produit une accélération du flux à l'entrée de la structure. Cette accélération du flux s'accompagne d'effet de décapage des surfaces du canal, ce qui prévient l'accumulation de sédiments. La mesure de la charge hydraulique se fait dans la section convergente immédiatement en amont du col ou rétrécissement. Le col est situé dans la partie centrale du canal et présente une section trapézoïdale dans le cas du modèle Palmer-Bowlus et rectangulaire dans celui du modèle Leopold-Lagco. La taille du canal est exprimée par le diamètre du tuyau dans lequel il doit être installé.

Ces canaux offrent à peu près les mêmes principaux avantages que le canal Parshall. La principale différence repose sur le fait que ces canaux conviennent à l'installation dans des conduites circulaires existantes (tuyaux et ponceaux) ou des conduites rectangulaires. Les canaux Palmer-Bowlus standard viennent en tailles adaptées aux tuyaux de 100 mm à 1 070 mm de diamètre. Ces canaux que l'on peut obtenir sous forme d'éléments rapportés préfabriqués en usine s'installent directement dans la conduite pour être scellés en place.

Figure 4 Canal Palmer-Bowlus



1. Les canaux Palmer-Bowlus fonctionnent correctement lorsque l'écoulement y est laminaire. Pour cela, il faut éviter les coudes, tés, dénivellations et autres sources de perturbations immédiatement en amont du canal (distance minimale de 25 fois le diamètre). Une pente excessive du tuyau amont entraîne une perte de précision du fait de la turbulence créée au point de mesure. La pente maximale admissible des tuyaux de petit diamètre est de 2 %; celle des tuyaux de plus grand diamètre est moindre.
2. En aval du canal, la pente doit être suffisante pour maintenir un écoulement en régime critique à travers le col et prévenir un écoulement noyé.
3. La mesure de la charge hydraulique se fait en amont du col à une distance égale à $D/2$. Le niveau à débit nul se trouve à la même hauteur que le radier du col. La mesure de la charge (H) doit se faire à égalité avec le radier du col.

(Tiré de Free Flow Inc., 1985)

Installation

- Le canal doit être installé dans la conduite à un endroit précédé, à une distance d'environ 10 fois le diamètre de col en amont, par un tronçon d'approche relativement droit et lisse. La pente maximale admissible est de 2 %.
- La structure complète devrait être établie et assujettie dans un support solide permettant d'éviter le flambement ou la déformation du radier et des parois en conditions de débits élevés.
- Toutes les sections et tous les éléments du canal et de l' (des) appareil(s) de mesure secondaires devraient être aisément accessibles pour l'inspection et l'entretien courants.
- Une échelle limnimétrique devrait être installée en permanence sur une des parois du convergent d'entrée à un endroit où il sera possible de se faire une idée rapide du niveau de l'eau.
- On devrait prévoir un puits de mesure pour la mesure de la charge hydraulique ou du niveau d'eau par l'appareil de mesure secondaire. Ce puits de mesure est raccordé au canal à l'endroit approprié en amont du convergent par un tuyau d'adduction de petit diamètre. Le radier du puits de mesure devrait être au même niveau ou plus bas que le radier de la section convergente du canal.
- Le canal devrait être dimensionné de manière à ce que l'écoulement maximal de service corresponde à environ 70 % à 100 % de sa capacité maximale. Un canal surdimensionné peut entraîner une baisse de précision à de faibles débits.

Entretien et étalonnage périodiques

- Le radier et les parois du canal devraient être propres et exempts de végétation et de micro-organismes. L'accumulation d'algues est courante sur les canaux rapportés en fibre de verre.
- Le radier du canal devrait être exempt de sédiments et de débris.
- Le radier du puits de mesure et le canal d'amenée devraient être propres et exempts de sédiments.
- Le repère « zéro » de l'appareil de mesure secondaire devrait être vérifié régulièrement en conditions d'écoulement nul. Si cela est impossible, on peut installer une plaque d'étalonnage permettant d'effectuer la vérification voulue.
- Plusieurs autres points devraient être vérifiés au cours des inspections périodiques comme par exemple les conditions transversales et longitudinales du radier du canal (section convergente), la hauteur du canal par rapport à un

repère connu (pour déceler le tassement différentiel de l'installation) et la séparation entre les éléments rapportés et la structure où ils sont logés, le cas échéant.

Canaux de type H, jaugeurs paraboliques

Description

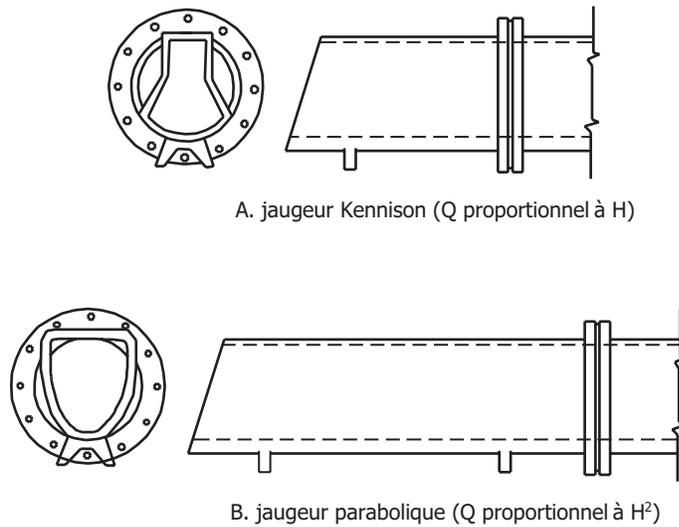
Il s'agit d'appareils de mesure primaires qui s'installent à l'extrémité des conduites à rejet en chute libre. Un exemple est présenté à la figure 5. Le canal de type H et le jaugeur parabolique rétrécissent le flux à la sortie d'une conduite ou d'un tuyau. Le canal de type H présente une section rectangulaire à l'entrée et une sortie de section trapézoïdale qui se rétrécit vers le bas. Le jaugeur parabolique présente une section circulaire à l'entrée et une section parabolique à la sortie. Comme les déversoirs et les canaux, ces dispositifs sont caractérisés par une relation connue entre le niveau de l'eau et le débit.

Il existe trois versions du canal de type H qui offrent ensemble une grande étendue de mesure (canaux HS, H et HL). Ce type de canal se différencie par sa profondeur maximale qui va de 120 mm à 1 370 mm. Les dimensions standard des jaugeurs paraboliques varient entre 150 mm et 610 mm.

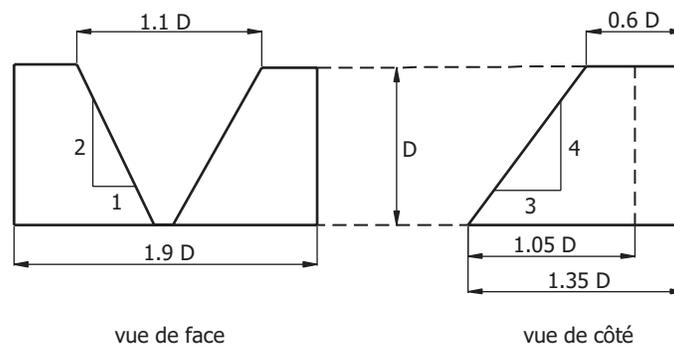
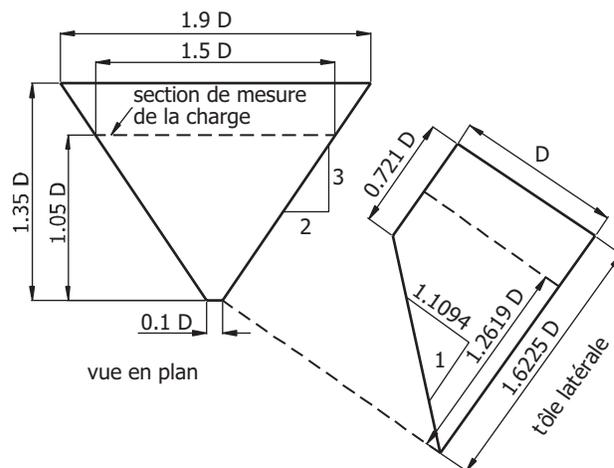
Installation

- Le canal ou le jaugeur devrait être installé dans la conduite à un endroit relativement droit et lisse à une distance d'environ 10 fois le diamètre ou la largeur de col en amont. La pente maximale admissible est de 1 %.
- La structure complète devrait être établie et assujettie dans un support solide permettant d'éviter le flambement ou la déformation du radier et des parois à débits élevés.
- Toutes les sections et tous les éléments du canal/jaugeur et de l' (des) appareil(s) de mesure secondaire(s) devraient être aisément accessibles pour l'inspection et l'entretien courants.
- Les appareils de mesure secondaires des canaux de type H devraient être installés soit directement au-dessus du flux dans le canal ou dans un puits de mesure qui y est relié. Les appareils de mesure secondaires des jaugeurs paraboliques devraient être installés directement au-dessus du flux.
- Le canal ou le jaugeur devrait être dimensionné de manière à ce que l'écoulement maximal de service corresponde à environ 70 % à 100 % de

Figure 5 Jaugeurs à surface libre et jaugeur de type H



jaugeurs à surface libre



jaugeur H

(Tiré de Grant et Dawson, 1995)

sa capacité maximale. Un canal ou un jaugeur surdimensionné peut entraîner une baisse de précision à de faibles débits.

Entretien et étalonnage périodiques

- Le canal ou le jaugeur devrait être propre et exempt de végétation, de micro-organismes, de sédiments et de débris.
- Le repère « zéro » de l'appareil de mesure secondaire devrait être vérifié régulièrement en conditions d'écoulement nul. Si cela est impossible, on peut installer une plaque d'étalonnage permettant d'effectuer la vérification voulue.
- Plusieurs autres points doivent être vérifiés au cours des inspections périodiques comme par exemple la hauteur du canal ou du jaugeur par rapport à un repère connu (pour détecter le tassement différentiel et la déformation de l'installation) et la séparation du dispositif par rapport à la conduite en amont.

Appareils de mesure secondaires

Un appareil de mesure secondaire est toujours utilisé avec un appareil de mesure primaire et joue deux rôles. Le premier rôle consiste à mesurer le niveau de liquide dans l'appareil primaire tandis que le second vise à convertir ce niveau en débit en appliquant une relation niveau-débit connu. Cette section traite de la fonction mesure du niveau d'eau.

Les appareils de mesure secondaires servant à déterminer le niveau (charge hydraulique) de l'eau comprennent :

- flotteur;
- barboteur (mesurant la contrepression de l'air injecté dans l'eau);
- capteurs de pression submergés (divers types de capteurs de pression mécaniques ou électriques);
- sondes capacitatives (sondes à courant électrique);
- détecteurs de niveau à ultrasons (montés au-dessus de l'eau et émettent des ondes ultrasonores vers la surface libre de l'eau).

Tous les dispositifs énumérés présentent des avantages et des inconvénients. Leur choix devrait tenir compte des conditions locales, du type d'appareil de mesure primaire utilisé et des conditions d'exploitation et d'entretien.

Méthode d'exploration du champ des vitesses

Cette méthode de mesure du débit ne fait pas appel à de structure hydraulique ni à un appareil primaire dans un canal à l'air libre ou une conduite fermée partiellement remplie.

Description

Cette méthode repose sur une mesure directe des vitesses et de la section du flux (dérivée du niveau de l'eau et de la géométrie du canal). Le débit est calculé en fonction du produit de la vitesse par la section selon l'équation de continuité. Un système de mesure exploitant le principe de l'exploration du champ des vitesses se compose du nombre voulu de capteurs de vitesse placés dans le canal ou la conduite à un endroit approprié et de l'appareil associé de traitement du signal. Le calcul du débit à partir des mesures fournies par les capteurs intègre les dimensions géométriques du flux ainsi que les coefficients de correction de la vitesse propres au site considéré.

Cette méthode s'applique directement aux canaux artificiels ou aménagés et aux conduites ou aux tuyaux partiellement remplis. Elle n'exige aucune structure hydraulique (appareil primaire). Il suffit d'installer une batterie appropriée de capteurs de vitesse qui fait obstacle minimal à l'écoulement du liquide.

Elle peut être adaptée à toutes les formes et tailles de conduites ou de canaux. Par contre, il faut dans tous les cas une profondeur d'eau et une vitesse minimales pour obtenir des capteurs une précision suffisante. Afin d'atteindre le degré voulu de précision de mesure des débits élevés, il peut être nécessaire de faire appel à plusieurs capteurs de vitesses. Un seul ne suffit généralement pas pour déterminer la vitesse moyenne représentative de l'écoulement.

Il existe sur le marché plusieurs types de capteurs de vitesse fondés sur l'un des principes de mesure suivants :

- magnétisme;
- temps de transit d'un faisceau d'ultrasons;
- vélocimétrie acoustique Doppler.

Chaque méthode exige la mise en œuvre d'un dispositif distinct de mesure de la hauteur d'eau. Parmi les dispositifs de mesure du niveau les plus

couramment utilisés pour les fins du calcul des débits par intégration du champ des vitesses, on compte les capteurs de pression submergés et les capteurs de niveau à ultrasons montés au-dessus de la surface de l'eau.

Installation

- Le point de mesure du débit doit être précédé d'une section de canal relativement droite sur une distance égale à 10 fois sa largeur en amont et en aval. Les parois du canal ou de la conduite devraient être lisses et exemptes d'irrégularités et d'obstructions susceptibles de perturber le profil des vitesses.
- L'emplacement du (des) capteur(s) de vitesse devrait permettre de connaître avec précision la vitesse moyenne du flux.
- Le niveau de l'eau à de faibles débits devrait être suffisant pour assurer un fonctionnement satisfaisant du (des) capteur(s) de vitesse.
- Les capteurs sont habituellement montés sur une bande ou structure de support de forme adaptée au contour du courant, canal ou conduite. Les capteurs devraient être solidement fixés ou supportés dans le canal.
- Tous les éléments de la batterie de capteurs ainsi que tous les appareils de mesure secondaires associés devraient être aisément accessibles pour l'inspection et l'entretien courants.
- Une échelle limnimétrique devrait être installée en permanence à un endroit approprié de manière à ce qu'il soit possible de se faire une idée rapide du niveau de l'eau dans le canal.
- Le capteur de niveau devrait être étalonné par rapport au plan de référence zéro, soit le fond ou le radier du canal ou de la conduite.

Entretien et étalonnage périodiques

- Le point de mesure du débit et les capteurs devraient être propres et exempts de végétation, de micro-organismes, de sédiments et de débris.
- Le repère « zéro » de l'appareil de mesure secondaire devrait être vérifié régulièrement en conditions d'écoulement nul. Si cela est impossible, on peut installer une plaque d'étalonnage permettant d'effectuer la vérification voulue.

Bibliographie

Free Flow Inc. Palmer-Bowlus Flume Construction. Specification 25, 779a. Omaha, Nebraska, 1985.

Free Flow Inc. Parshall Flumes for Open Channel Flow Measurement. Bulletin PF. Omaha, Nebraska, 1991.

Grant, D.M. et B.D. Dawson, *ISCO Open Channel Flow Measurement Handbook*. 4^e édition. Isco Environmental Division, Lincoln, Nebraska, 1995.

ANNEXE 2 MESURE DU DÉBIT EN CONDUITE FERMÉE

Introduction

Cette annexe traite des mesures du débit en conduite fermée, présente des lignes directrices générales concernant le choix du site et décrit les techniques de mesure les plus courantes. Par écoulement en conduite fermée, on entend le déplacement d'un liquide qui occupe toute la section de la conduite et qui circule sous pression. Dans la plupart des cas, les effluents circulent sous pression positive (c'est-à-dire qu'ils sont en charge dans une canalisation ou un tuyau raccordé à la sortie d'un réservoir ou d'un bassin). Les flux sous pression négative (ou aspirés) sont associés aux installations à siphon.

Choix du site

Le choix des points de mesure du débit en conduite fermée devrait tenir compte des critères suivants :

- la conduite ou canalisation devrait être de forme régulière dans toute la section de mesure. Une paroi interne rugueuse ou irrégulière en raison d'une corrosion ou tuberculisation poussée peut contribuer à perturber le profil de vitesse et entraîner une turbulence et une rotation propres à compromettre la précision des mesures;
- la conduite ou canalisation devrait être droite et de section uniforme sur une distance, en amont du point de mesure, égale à au moins 10 fois son diamètre. La présence de coudes, raccords, robinets, réducteurs, divergents, filtres/crépines et autres obstacles à moins de 10 fois le diamètre de la conduite en amont du point de mesure peut réduire la précision des mesures;
- il faut éviter les emplacements où il y a risque d'accumulation de particules solides dans la conduite en conditions d'écoulement intermittent, à faibles débits ou à faibles vitesses d'écoulement;
- à l'emplacement choisi, la conduite devrait toujours être complètement remplie dans tout l'écart des conditions d'écoulement.

Dispositifs de mesure du débit en conduite fermée

Il existe différentes méthodes de mesure du débit en conduites fermées ou tuyaux. Les plus répandues sont celles fondées sur l'exploration du champ des vitesses (ex. débitmètres magnétiques, débitmètres à temps de transit) et les méthodes fondées sur la mesure de la pression différentielle (ex. débitmètres à tube venturi, diaphragme). D'autres dispositifs non abordés dans cette annexe comprennent les débitmètres à rotor (turbine, hélice), les débitmètres à vortex et les débitmètres à cible et volumétriques (compteurs à disque, à piston). Ces techniques moins courantes ne sont pas abordées dans le présent annexe.

Méthodes fondées sur l'exploration du champ des vitesses – débitmètres magnétiques

Ces débitmètres mesurent la vitesse moyenne axiale du liquide. Le débit est obtenu en multipliant cette vitesse moyenne par la section constante connue de la conduite ou du tuyau. Un débitmètre magnétique se présente sous la forme d'une conduite de construction spéciale, désigné « tube de mesure » que l'on insère directement dans la conduite ou canalisation. La vitesse d'écoulement est déterminée au moyen de capteurs montés dans le « tube de mesure » dont le fonctionnement repose sur les lois de l'électromagnétisme.

Le tube de mesure, qui constitue l'appareil primaire du dispositif, crée un champ magnétique que doit traverser le fluide. Le mouvement des fluides conducteurs induit, selon le principe de Faraday, un potentiel électrique ou tension entre les capteurs (électrodes) montés dans le tube de mesure, tension qui est proportionnelle à la vitesse du fluide.

L'appareil secondaire, qui est un convertisseur/transmetteur, mesure la tension induite entre les électrodes et la convertit en signal utile proportionnel au débit. En général, le convertisseur produit également un signal analogue ou de fréquence (nombre d'impulsions par unité de débit) et comporte souvent un indicateur local visuel de débit et de volume total.

Plusieurs fabricants offrent des débitmètres magnétiques pour canalisations de diamètres courants variant entre quelques millimètres et deux mètres. Les débitmètres peuvent être montés dans la canalisation au moyen de raccords filetés, de brides à boulonner ou encore en sandwich entre les brides existantes de la canalisation.

Installation

- Le tube de mesure du débitmètre magnétique devrait être installé dans un tronçon de la canalisation qui présente une section uniforme et qui est droit, en amont du tube, sur une distance égale à au moins 10 fois le diamètre de la canalisation et, en aval de celui-ci, sur une distance minimale de 3 fois le diamètre.
- Le débitmètre magnétique devrait être installé à un endroit exempt de turbulence attribuable à la présence de raccords, pompes ou robinets adjacents à l'installation.
- Le tube de mesure devrait avoir un diamètre intérieur égal à celui de la canalisation pour ne pas constituer un obstacle à l'écoulement ni s'user prématurément.
- Le débitmètre devrait être posé à un endroit où la canalisation est toujours pleine dans toutes les conditions de service. Le tube de mesure peut être installé à la verticale ou à l'horizontale avec sortie surélevée ou col de cygne en ligne en aval du débitmètre.
- Pour permettre le nettoyage et l'entretien, le débitmètre devrait être installé dans un endroit accessible. On devrait envisager la pose d'une dérivation de contournement si on veut l'enlever pour l'inspection et l'entretien.

Entretien périodique du débitmètre

- Il convient d'utiliser à intervalles réguliers les fonctions d'autotest et d'autodiagnostic des débitmètres magnétiques pour vérifier la qualité de l'appareil de mesure du débit.
- On devrait vérifier périodiquement la mise à la terre, la tension de référence et la résistance des capteurs de l'appareil primaire pour s'assurer que toutes les valeurs correspondent aux spécifications du fabricant.
- L'état de salissure des capteurs et l'accumulation de sédiments dans le tube de mesure devraient être vérifiés périodiquement et toutes les composantes du système devraient être nettoyées au besoin.

Méthodes fondées sur l'exploration du champ des vitesses – débitmètres à ultrasons (à temps de transit)

Les débitmètres à temps de transit exploitent la différence entre les temps de parcours pour déterminer la vitesse d'écoulement d'un fluide dans une conduite fermée ou canalisation. Les impulsions ultrasonores sont émises diagonalement à l'axe du flux par deux transducteurs fixés en direction aval et en direction amont. La différence de temps de parcours ou de transit est directement proportionnelle à la vitesse du fluide dans la conduite et sert à calculer le débit.

Les débitmètres à temps de transit peuvent être du type à transducteurs soudés à des endroits précis de la canalisation ou à transducteurs se fixant par serrage sur l'extérieur de la conduite fermée ou canalisation.

Installation

- Le débitmètre à ultrasons devrait être installé dans un tronçon de la canalisation qui présente une section uniforme et qui est droit, en amont de l'appareil, sur une distance égale à au moins 10 fois le diamètre de la canalisation et, en aval de celui-ci, sur une distance minimale de 3 fois le diamètre.
- Le débitmètre à ultrasons devrait être installé à un endroit exempt de turbulence attribuable à la présence de raccords, pompes, robinets adjacents à l'installation.
- Le débitmètre à ultrasons devrait être installé sur une conduite ou canalisation faite d'un matériau approprié (matériau propice à la propagation des ultrasons). Il faut éviter les matériaux poreux tels que le béton et la fonte.
- Le débitmètre devrait être posé à un endroit où la canalisation est toujours pleine dans toutes les conditions de service. Il peut être installé à la verticale ou à l'horizontale avec sortie surélevée ou col de cygne en ligne en aval du débitmètre. La présence de bulles d'air et de particules solides dans le fluide peut atténuer le signal ultrasonore et leur densité doit donc respecter les limites acceptables.
- Pour permettre le nettoyage et l'entretien, le débitmètre devrait être installé dans un endroit accessible. Il faudrait envisager la pose d'une dérivation de contournement si on veut l'enlever au moment de l'inspection et de l'entretien.

Entretien et étalonnage périodiques

- Il convient d'utiliser à intervalles réguliers les fonctions d'autotest et d'autodiagnostic des débitmètres à ultrasons pour vérifier la qualité de l'état de l'appareil de mesure du débit.
- Il serait bon de vérifier périodiquement le fonctionnement de l'appareil primaire au moyen d'un bloc étalon servant à déterminer si l'intensité du signal et son traitement sont acceptables et correspondent aux spécifications du fabricant.
- L'état de salissure de la conduite et l'accumulation de sédiments dans le débitmètre devraient être vérifiés périodiquement et toutes les composantes du système devraient être nettoyées au besoin.

Débitmètres à pression différentielle

Il s'agit d'appareils primaires à usinage de précision montés à l'intérieur de la conduite ou canalisation complètement remplie de fluide sous pression. Au passage du fluide dans l'appareil, une restriction géométrique crée une chute de pression (pression différentielle) qui est liée au débit. La pression différentielle est mesurée au moyen de prises de pression situées, l'une, en amont de l'appareil primaire et, l'autre, soit en aval ou dans l'étranglement (col) à des endroits précis. Les débitmètres à pression différentielle les plus courants sont les tubes venturi et les plaques à orifice ou diaphragmes.

Les tubes venturi sont offerts en tailles adaptées aux diamètres courants compris entre 50 mm et 910 mm. Ils existent en diverses configurations et se posent à raccords filetés, à brides boulonnées ou en sandwich entre brides de canalisation. La perte de charge avec un tube venturi est inférieure à celle induite par une plaque à orifice.

Les plaques à orifice ou diaphragmes se présentent essentiellement sous la forme d'un disque métallique percé d'un trou usiné à un diamètre précis. Elles sont posées dans la canalisation entre une paire de brides et leur trou doit absolument être centré dans la conduite ou la canalisation où elles sont posées. Il existe des plaques à orifice pour tous les diamètres courants compris entre 25 mm et 450 mm.

Installation

- Les tubes venturi comme les plaques à orifice devraient être installés dans un tronçon de canalisation qui présente une section uniforme et qui est droit, en amont de l'appareil, sur une distance minimale de 3 à 12 fois le diamètre de la canalisation et, en aval de celui-ci, sur une distance minimale de 3 fois le diamètre. La longueur minimale du tronçon droit exigé en amont varie selon le type d'appareil utilisé et les variantes de celui-ci. La longueur minimale du tronçon droit aménagé devrait correspondre aux valeurs recommandées par le fabricant.
- Le débitmètre à pression différentielle devrait être installé à un endroit exempt de turbulence attribuable à la présence de raccords, pompes, robinets adjacents à l'installation.
- Le débitmètre devrait être posé à un endroit où la canalisation est toujours pleine dans toutes les conditions de service. Il peut être installé à la verticale ou à l'horizontale avec sortie surélevée ou col de cygne en ligne en aval du débitmètre.
- Pour permettre le nettoyage et l'entretien, le débitmètre devrait être installé dans un endroit accessible. On devrait envisager la pose d'une dérivation de contournement si on veut l'enlever pour l'inspection et l'entretien.

Entretien et étalonnage périodiques

- On devrait utiliser à intervalles réguliers les fonctions d'autotest et d'autodiagnostic des appareils de mesure secondaires pour vérifier la qualité des mesures et l'état de l'appareil.
- Le transmetteur de pression différentielle devrait être isolé périodiquement et vérifié au moyen d'un manomètre étalon pour s'assurer que ses indications sont acceptables et respectent les spécifications d'exploitation du fabricant.
- L'état de salissure et l'accumulation de sédiments dans l'appareil primaire devraient être vérifiés périodiquement et toutes les surfaces, nettoyées au besoin. Les tubes venturi sont par définition auto-nettoyants. Par contre, les plaques à orifice montées dans une conduite horizontale peuvent donner lieu à une accumulation de sédiments lesquels peuvent réduire la précision des mesures.

ANNEXE 3 MÉTHODES D'ÉTALONNAGE DES SYSTÈMES DE MESURE DU DÉBIT

Introduction

L'étalonnage *in situ* vise à établir et à confirmer la conformité aux exigences de précision des mesures de débit. Tous les systèmes de mesure du débit dans le cas des points de rejet final devraient être étalonnés *in situ* au moment de la mise en service. La méthode d'étalonnage appliquée servant à établir et à confirmer l'exactitude de la mesure du débit devrait permettre d'obtenir une mesure de précision à plus ou moins 5 % près.

Les méthodes ci-dessous offrent un niveau de précision d'étalonnage acceptable des systèmes de mesure du débit :

- méthode de dilution (traceur) – injection d'une solution à débit constant et concentration connus, et mesure de la concentration homogène dans le flux d'effluent afin de déterminer le débit (les solutions injectées peuvent être du Rhodamine WT ou du chlorure de lithium);
- méthode volumétrique – collecte d'effluent et pesage pendant une période donnée ou mesure du volume d'effluent déplacé pendant une période donnée;
- modélisation hydraulique – construction d'un modèle réduit du système de mesure du débit et étalonnage en laboratoire.

Les méthodes ci-dessus conviennent pour l'étalonnage aussi bien des systèmes de mesure à l'air libre que des systèmes de mesure en conduite.

La méthode de l'exploration du champ des vitesses, qui consiste à mesurer la vitesse du courant à différentes profondeurs dans une section donnée pour déterminer le débit, peut servir de méthode complémentaire de vérification de l'étalonnage mais elle ne devrait pas être utilisée comme seul moyen direct d'étalonnage des systèmes de mesure du débit. La raison étant la difficulté à caractériser les paramètres hydrauliques dans des conditions non idéales, notamment lorsque les caractéristiques du chenal sont irrégulières, l'écoulement est turbulent (remous ou courants transversaux) ou la vitesse d'écoulement est faible.

Dans le cas des écoulements en charge sous conduite, on peut faire appel à des méthodes ultrasonores et électromagnétiques pour contrôler les résultats de l'étalonnage, mais on ne devrait pas s'en servir pour

l'étalonnage direct des systèmes de mesure. La raison étant la possibilité d'avoir des conditions hydrauliques non idéales comme un remplissage imparfait de la section de mesure et la présence de bulles d'air.

Méthode de dilution utilisant des traceurs

Cette méthode prévoit l'injection d'un traceur à débit constant dans le flux d'effluent et son prélèvement en aval à un endroit où le traceur et l'effluent se mélangent entièrement. Connaissant la concentration du traceur, le débit d'injection dans l'effluent et sa concentration au point du mélange, on peut déterminer le débit du flux d'effluent selon le principe de la « continuité ».

Cette méthode est décrite de façon approfondie dans la norme ISO 9555 – *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs*, 1994.

Parmi les traceurs généralement utilisés avec cette méthode, on compte le Rhodamine WT et le chlorure de lithium. Le choix du traceur devrait être fait en fonction des caractéristiques du flux d'effluent et de l'expérience que l'on a du traceur et des techniques d'analyse respectives. Par exemple, le Rhodamine WT est un traceur polyvalent que l'on peut mesurer *in situ* à très faibles concentrations (en parties par billion) par fluviomètre, mais le mode opératoire est complexe et des précautions sont requises pour éviter d'entacher les résultats d'erreurs expérimentales. La concentration du Rhodamine WT varie avec la température et son dosage par colorimétrie exige la préparation de solutions à taux de dilution précise. Il faut aussi contrôler la diffusion du colorant dans le flux d'effluent (p. ex. les flux à haute teneur en solides en suspension et en matières organiques). Le désavantage du chlorure de lithium tient du fait qu'il ne peut être mesuré *in situ*, ce qui a pour effet d'empêcher le contrôle adéquat de l'exécution du mode opératoire (p. ex. invariabilité du débit d'injection, conditions d'écoulement propices au mélange complet, obtention d'un régime permanent).

Méthode de jaugeage volumétrique

La méthode de jaugeage volumétrique peut se faire soit par pesée de l'effluent recueilli pendant un laps de

temps donné, soit en mesurant le volume d'effluent écoulé pendant une période déterminée. Les possibilités d'application de la première technique sont limitées du fait que les volumes d'effluent sont généralement trop grands à traiter pour fins d'étalonnage. Dans le secteur minier, la seconde technique est également d'utilité limitée puisque les décharges aux points de rejet final ne proviennent généralement pas de réservoirs ou citernes (p. ex. relation hauteur-volume connue) mais de bassins et d'installations de traitement des effluents. Les relations hauteur-volume caractérisant ces installations sont généralement connues mais avec un degré de précision insuffisant pour fins d'étalonnage des systèmes de mesurage du débit.

La norme ISO 8316 – *Méthode par jaugeage d'un réservoir volumétrique*, 1987, décrit en détail cette méthode.

Modélisation hydraulique

Certains régimes d'écoulement ou conditions locales rendent impossible l'étalonnage au moyen des techniques de dilution ou de jaugeage volumétrique. Une telle situation peut survenir pour les raisons suivantes :

- il est difficile de reproduire dans le système réel toute la gamme des débits opérationnels;
- les essais peuvent entraîner le rejet d'une charge contaminante inacceptable dans l'environnement (p. ex. à certains moments de l'année, il peut être inadmissible de déverser dans les eaux réceptrices les débits exigés par les essais);
- le point de rejet ne doit servir qu'en cas d'urgence incontournable et tout essai conduirait à polluer indûment les eaux réceptrices.

Pour éviter ces difficultés, il est possible de construire un modèle hydraulique du système de mesure du débit et de mener les essais d'étalonnage en laboratoire. Le modèle hydraulique sera conçu en appliquant les lois de la similitude hydraulique. En fait, le modèle constitue une représentation à échelle réduite du système réel de mesure du débit (prototype). Il est réalisé en maintenant un rapport fixe (p. ex. facteur d'échelle) entre toutes les longueurs, vitesses et forces correspondantes du prototype et du modèle, qui interviennent dans les équations du mouvement. Pour obtenir une description approfondie des principes de la similitude hydraulique et de la modélisation hydraulique, on doit consulter les auteurs suivants : Hwang (1981) et Streeter et Wylie (1985).

Dans le cas de la plupart des systèmes de mesure du débit, l'inertie et la force gravitationnelle peuvent être considérées comme les seules forces à intervenir dans le mouvement du fluide. Ainsi, la relation entre l'écoulement dans le modèle et le prototype peut être exprimée comme suit :

$$Q_p = L_r^{2.5} Q_m$$

où :

$$Q_p = \text{écoulement du prototype};$$

$$Q_m = \text{écoulement du modèle};$$

$$L_r = \text{facteur d'échelle}.$$

Le facteur d'échelle devrait être choisi de façon à reproduire le plus fidèlement possible l'écoulement dans le prototype, compte tenu de la capacité de pompage dont dispose le laboratoire d'essai.

Les modèles hydrauliques devraient être construits à partir de mesures prises sur le terrain. Les dimensions indiquées sur les plans de conception devraient être confirmées avant d'entreprendre la construction du modèle. Les matériaux de construction normalement utilisés dans le cas d'un modèle hydraulique sont le bois et l'acier.

En laboratoire, la détermination du débit traversant le modèle se fait généralement selon la méthode volumétrique ci-dessus.

Bibliographie

Hwang, N.C. *Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems*. Prentice-Hall Series in Environmental Sciences, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1981, 367 p.

ISO 8316. *Mesure de débit des liquides dans les conduites fermées - Méthode par jaugeage d'un réservoir volumétrique*. Organisation internationale de normalisation, Suisse, 1987.

ISO 9555. *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs*. Organisation internationale de normalisation, Suisse, 1994.

Streeter, V.L. et E.B. Wylie. *Fluid Mechanics*. 8^e édition, McGraw-Hill Book Company, Toronto, 1985, 586 p.