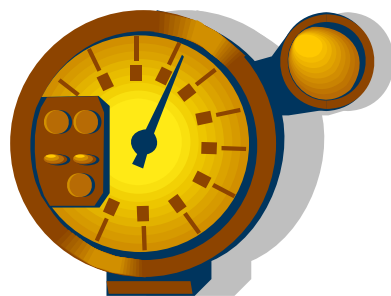


GUIDE DE SOUTIEN TECHNIQUE POUR LA CLIENTÈLE

RÈGLEMENT SUR LA DÉCLARATION DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU



ÉDITION SEPTEMBRE 2011

DIRECTION DES POLITIQUES DE L'EAU
SERVICE DE LA GESTION INTÉGRÉE DE L'EAU

*Développement durable,
Environnement
et Parcs*

Québec 

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2009

ISBN 978-2-550-57149-0 (PDF)
© Gouvernement du Québec, 2008

Remerciements

Le Service de la gestion intégrée de l'eau du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), responsable de l'élaboration du présent document, tient à remercier les auteurs du chapitre 2, monsieur Hubert Demard, consultant, et messieurs Alain Lalonde et Akli Benanteur de Veritec Consulting Inc.

Rédaction

Julie Ferland

Benoît Cliche

Direction des politiques de l'eau, MDDEP
Service de la gestion intégrée de l'eau

Robert Vigneault

Julie Rochefort

Direction des politiques de l'eau, MDDEP
Service des eaux industrielles

Alain Lalonde

Akli Benanteur

Veritec Consulting Inc.

Hubert Demard

Consultant

Coordination

Julie Ferland

Direction des politiques de l'eau, MDDEP
Service de la gestion intégrée de l'eau

Collaboration

Sylvain Chouinard

Francis Perron

Gilles Lortie

Direction des politiques de l'eau, MDDEP
Service des eaux industrielles

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. LA DÉTERMINATION DES DÉBITS – GÉNÉRALITÉS	3
1.1 TYPES DE CONDUITES ET D'ÉCOULEMENTS POSSIBLES	3
1.2 MODES DE DÉTERMINATION DES VOLUMES D'EAU	3
1.2.1 <i>La mesure directe en continu</i>	3
1.2.2 <i>L'estimation</i>	4
1.3 CRITÈRES GÉNÉRAUX DE SÉLECTION, D'INSTALLATION, D'ENTRETIEN ET D'ÉTALONNAGE DES ÉQUIPEMENTS DE MESURE	4
1.3.1 <i>Sélection de l'équipement de mesure</i>	4
1.3.2 <i>Installation, entretien et étalonnage</i>	5
1.4 EMPLACEMENT DE L'ÉQUIPEMENT DE MESURE OU DE L'ENDROIT DE LA PRISE DE MESURES	6
1.4.1 <i>En présence de plusieurs prises d'eau pour un même préleveur</i>	7
1.4.2 <i>En présence d'ouvrages de dérivation</i>	7
1.4.3 <i>Préleveurs visés par l'entente</i>	8
1.5 CONDITIONS PERMETTANT LE RECOURS AUX ESTIMATIONS	10
1.5.1 <i>Préleveurs visés par l'entente</i>	11
2. LES ÉQUIPEMENTS DE MESURE EN CONTINU	12
2.1 ÉQUIPEMENTS DE MESURE SUR UNE CONDUITE SOUS PRESSION	12
2.1.1 <i>Débitmètres</i>	12
Débitmètre Venturi	12
Débitmètre à plaque à orifice	13
Débitmètre à cône en V	14
Débitmètre magnétique	14
Débitmètre ultrasonique	15
Débitmètre à insertion	17
Débitmètre à vortex	19
2.1.2 <i>Compteurs</i>	19
Compteurs à turbine et à hélice	20
Compteur à jets	21
Compteur volumétrique à déplacement positif	22
Compteur combiné	22
Compteur électronique statique à oscillation fluïdique	23
2.1.3 <i>Installation</i>	24
2.1.4 <i>Entretien et remplacement</i>	25
2.1.5 <i>Résolution de problèmes</i>	25
2.1.6 <i>Comparaison des équipements de mesure</i>	26
2.2 INSTALLATIONS DE MESURE DANS UN ÉCOULEMENT À SURFACE LIBRE	28
2.2.1 <i>Éléments primaires</i>	28
Types de canaux de mesure	29
Types de déversoirs	32
Exactitude de mesure des éléments primaires	33
Entretien et étalonnage des éléments primaires	33
2.2.2 <i>Éléments secondaires</i>	34
Débitmètre bulle à bulle	34
Débitmètre ultrasonique	35

Débitmètre à sonde immergée	35
Débitmètre hauteur-vitesse.....	36
Exactitude de mesure des éléments secondaires	37
Entretien et mise au point des éléments secondaires	37
2.2.3 Comparaison des éléments de mesure.....	37
2.3 MÉTHODE DE MESURE VOLUMÉTRIQUE EN CONTINU	39
3. LES MÉTHODES DE MESURE DESTINÉES AUX ESTIMATIONS	40
3.1 MESURES PONCTUELLES.....	40
3.1.1 Détermination aire-vitesse au moulinet hydrométrique.....	40
Sélection et identification de la section de contrôle	41
Sélection de l'appareil de mesure.....	42
Prise des mesures	42
Détermination du débit.....	46
3.1.2 Méthodes à l'aide d'un traceur.....	48
Méthode de dilution	48
Détermination du temps de parcours.....	49
3.1.3 Méthode de mesure volumétrique.....	50
3.1.4 Méthode de Manning.....	50
3.2 MESURES INDIRECTES	53
3.2.1 Mesure du temps de pompage.....	53
Établissement de la courbe d'étalonnage.....	53
Estimation des volumes pompés	54
Équipement de mesure et d'enregistrement.....	55
Entretien et étalonnage.....	56
3.3 COMPARAISON DES MÉTHODES DE MESURE POUR L'ESTIMATION DES DÉBITS	56
4. L'ÉCHANTILLONNAGE DES MESURES PONCTUELLES	58
4.1 PARAMÈTRES STATISTIQUES INFLUANT SUR LE NIVEAU DE CONFIANCE DE L'ESTIMATION	58
4.2 DÉTERMINATION DE LA FRÉQUENCE MINIMALE DE LA PRISE DE MESURES.....	60
4.2.1 Prévisibilité de l'écoulement.....	60
4.2.2 Caractérisation du régime d'écoulement et détermination de la fréquence minimale de la prise de mesures.....	61
Débit peu variable.....	62
Débit à variation régulière.....	63
5. LE CALCUL DU VOLUME MENSUEL	66
5.1 FORMULE GÉNÉRALE	66
5.2 DÉTERMINATION DES DÉBITS SELON LE TYPE D'ÉCOULEMENT	67
6. LA DÉTERMINATION DE LA MARGE D'ERREUR	68
6.1 ERREUR DES MESURES EN CONTINU	68
6.2 ERREUR DES ESTIMATIONS.....	69
7. RENSEIGNEMENTS GARDÉS À LA DISPOSITION DU MDDEP ET CONSERVATION DES DONNÉES	70
RÉFÉRENCES	73
ANNEXE A	75

Liste des normes ISO applicables à la mesure de volumes ou de débits.....	75
ANNEXE B	78
Table de conversion	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Avantages et inconvénients du débitmètre Venturi.....	13
Tableau 2 : Avantages et inconvénients du débitmètre à plaque à orifice	14
Tableau 3 : Avantages et inconvénients du débitmètre à cône en V	14
Tableau 4 : Avantages et inconvénients du débitmètre magnétique	15
Tableau 5 : Avantages et inconvénients du débitmètre ultrasonique à temps de transit	16
Tableau 6 : Avantages et inconvénients du débitmètre ultrasonique à effet Doppler	17
Tableau 7 : Avantages et inconvénients du débitmètre à insertion	18
Tableau 8 : Avantages et inconvénients du débitmètre à vortex	19
Tableau 9 : Avantages et inconvénients des compteurs à turbine et à hélice	20
Tableau 10 : Avantages et inconvénients du compteur à jets.....	21
Tableau 11 : Avantages et inconvénients du compteur volumétrique à déplacement positif.....	22
Tableau 12 : Avantages et inconvénients du compteur combiné	23
Tableau 13 : Avantages et inconvénients du compteur à oscillation fluidique	24
Tableau 14 : Problèmes les plus fréquents et solutions possibles	26
Tableau 15 : Caractéristiques et critères d'installation des débitmètres et des compteurs sur des conduites sous pression	27
Tableau 16 : Avantages et inconvénients du débitmètre bulle à bulle	35
Tableau 17 : Avantages et inconvénients du débitmètre ultrasonique	35
Tableau 18 : Avantages et inconvénients du débitmètre à sonde immergée	36
Tableau 19 : Avantages et inconvénients du débitmètre hauteur-vitesse	36
Tableau 20 : Caractéristiques et critères d'installation des éléments de mesure des débits dans des écoulements à surface libre.....	38
Tableau 21 : Avantages et inconvénients de la méthode de mesure volumétrique en continu	39
Tableau 22. Nombre de verticales selon la largeur de la section de contrôle.....	43
Tableau 23 : Avantages et inconvénients de la méthode de détermination aire-vitesse au moulinet hydrométrique.....	47
Tableau 24 : Avantages et inconvénients de la méthode par dilution	49
Tableau 25 : Avantages et inconvénients de la méthode du temps de parcours.....	50
Tableau 26 : Avantages et inconvénients de la méthode de mesure volumétrique	50
Tableau 27 : Quelques coefficients de rugosité de Manning	51
Tableau 28 : Avantages et inconvénients de l'utilisation de la formule de Manning	53
Tableau 29 : Caractéristiques et conditions d'application des méthodes de mesure reconnues pour l'estimation des débits	57

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Emplacements possibles des équipements de mesure en présence de plusieurs prises d'eau	7
Figure 2. Emplacements possibles des équipements de mesure en présence d'ouvrages de dérivation	8
Figure 3. Emplacements possibles des équipements de mesure chez un préleveur situé sur le territoire de l'entente – Aucun rejet ou transfert hors territoire.....	9
Figure 4. Emplacements possibles des équipements de mesure chez un préleveur situé sur le territoire de l'entente – Rejets à l'intérieur et à l'extérieur du territoire.....	9
Figure 5. Débitmètre Venturi	13
Figure 6. Débitmètre à plaque à orifice.....	13
Figure 7. Débitmètre à cône en V	14
Figure 8. Débitmètre magnétique	15
Figure 9. Schéma du débitmètre magnétique.....	15
Figure 10. Débitmètre ultrasonique à temps de transit.....	16
Figure 11. Débitmètre magnétique multipoint	18
Figure 12. Débitmètre à turbine	18
Figure 13. Débitmètre magnétique.....	18
Figure 14. Débitmètre à tube de Pitot	18
Figure 15. Débitmètre à vortex	19
Figure 16. Principe de fonctionnement du débitmètre à vortex	19
Figure 17. Compteur à turbine	20
Figure 18. Compteur à hélice	20
Figure 19. Compteur à jet unique.....	21
Figure 20. Compteur à jets multiples	21
Figure 21. Compteur volumétrique	22
Figure 22. Compteur combiné.....	23
Figure 23. Compteur à oscillation fluidique.....	23
Figure 24. Schéma type d'installation d'un compteur d'eau.....	25
Figure 25. Canal Parshall	29
Figure 26 Canal en H	30
Figure 27. Canal Palmer-Bowlus	31
Figure 28. Canal trapézoïdal	31
Figure 29 : Exemples de déversoirs	32
Figure 30 : Vue latérale d'un déversoir.....	33
Figure 31. Parties d'un moulinet à hélice.....	41
Figure 32. Différents types d'appareils de mesure de la vitesse	41
Figure 33. Emplacement des points de mesure de la méthode de détermination aire-vitesse (utilisant un nombre réduit de points) en cours d'eau naturel	45

Figure 34. Emplacement des points de mesure de la méthode de détermination aire-vitesse (utilisant un nombre réduit de points) dans un canal	46
Figure 35. Exemple de courbe hauteur-débit	47
Figure 36. Paramètres à considérer dans la formule de Manning (conduite circulaire).....	51
Figure 37. Exemple de courbe d'étalonnage d'une pompe	54
Figure 38. Minuteries et enregistreurs de données.....	56
Figure 39. Niveaux de confiance selon la variation des paramètres fréquence, intervalle et période	59
Figure 40. Ajustement de la fréquence des mesures en fonction de la variabilité du prélèvement...	60
Figure 41. Débit dont la variation correspond à une courbe sinusoïdale	63

INTRODUCTION

L'eau constitue une denrée rare et précieuse sur le plan mondial. Elle est souvent source de convoitise et parfois de conflits. Au Québec, même si elle s'avère abondante, elle n'est pas répartie également sur l'ensemble du territoire. Devant les pressions sans cesse croissantes exercées sur l'eau du territoire, la population a manifesté son inquiétude et son désir de la voir protégée et préservée à son propre bénéfice et à celui des générations futures.

Avec le dépôt de la Politique nationale de l'eau (PNE), en novembre 2002, le gouvernement du Québec s'est engagé, entre autres, à améliorer ses connaissances sur les ressources en eau au Québec et à encadrer l'utilisation de l'eau, notamment par la déclaration des prélèvements en eau et par le développement de divers outils économiques. Ces outils visent, entre autres, à éveiller et à responsabiliser les préleveurs de l'eau à la valeur de cette ressource, c'est-à-dire aux coûts inhérents à sa protection, à sa restauration et à sa mise en valeur; on parle alors du principe de l'utilisateur-payeur.

Le neuvième engagement de la PNE porte explicitement sur le « développement progressif d'un régime de redevances » destiné à améliorer la gestion des usages de l'eau en imputant aux utilisateurs un coût monétaire pour le prélèvement de la ressource. Deux règlements sont nés de cet engagement : le Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau (RDPE), adopté le 12 août 2009, établit les exigences relatives au suivi et à la déclaration des quantités d'eau prélevée au Québec alors que le Règlement sur la redevance exigible pour l'utilisation d'eau, en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2011, introduit un système de tarification pour les volumes d'eau prélevée directement de la ressource « eau » ou à partir d'un système de distribution d'eau.

Afin d'honorer un autre engagement relatif à la gestion des ressources en eau sur son territoire, le gouvernement du Québec a apporté, en juin 2011, des modifications au Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau de façon à y introduire des exigences qui concernent particulièrement les préleveurs visés par l'Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. En vigueur à compter du 1^{er} septembre 2011, ces nouvelles exigences intègrent les notions de « consommation d'eau » et de « transferts d'eau hors bassin », lesquelles doivent dorénavant être quantifiées et déclarées par les préleveurs afin de permettre au gouvernement d'exercer un meilleur contrôle de la gestion de l'eau dans le bassin versant du fleuve Saint-Laurent et d'y limiter les pertes nettes en eau. Pour répondre à ces exigences, les préleveurs visés situés sur le territoire de l'entente peuvent soit procéder à l'installation d'équipements de mesure additionnels répondant aux exigences du règlement, soit procéder à des estimations attestées par un professionnel afin d'évaluer les volumes d'eau qu'ils transfèrent hors du bassin ou qu'ils consomment sur une base mensuelle.

Le présent document a pour objectifs de guider le préleveur dans la mise en place d'un système d'évaluation des volumes d'eau en écoulement adapté à ses besoins. Il présente, de façon succincte et pratique, les équipements de mesure les plus utilisés, en abordant leur installation, leur utilisation et leur entretien, ainsi que les méthodes de mesure et d'estimation

acceptables selon le MDDEP. En complément d'information, une liste à jour des méthodes de mesure rédigée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) est également fournie en annexe.

NOTE : La terminologie liée aux concepts de métrologie de ce document est celle du Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie (VIM), établi par l'International Organisation for Standardisation (ISO) (ISO/CEI guide 99: 2007). Les termes relevant du champ de l'hydrologie sont ceux de l'ISO 772-1978 et de l'ISO 4006-1977.

1. LA DÉTERMINATION DES DÉBITS – GÉNÉRALITÉS

1.1 Types de conduites et d'écoulements possibles

Deux types de conduites, soit découverte, soit fermée, sont utilisées pour le prélèvement, le transport ou le rejet de l'eau. Dans le cas des conduites fermées, l'eau qui y circule est soit sous pression (on utilise également le terme *en charge*), soit à surface libre. Ainsi, les équipements de mesure des débits ou des volumes d'eau prélevée doivent d'abord et avant tout être adaptés à ces types d'installations.

Dans ce document, le terme *conduite sous pression* désigne toute installation fermée où l'eau est soumise à une pression supérieure à la pression atmosphérique, telle que les systèmes d'adduction et de distribution d'eau potable. Le terme *écoulement à surface libre* s'applique à tout écoulement dont la surface demeure en contact avec l'air, qu'il s'effectue en conduite découverte ou partiellement fermée. On y trouve entre autres les canaux d'irrigation (conduite découverte) et les ponceaux (conduite partiellement fermée).

Les conduites peuvent être naturelles, telles que les ruisseaux et les rivières, ou artificielles, telles que les canaux, les fossés de drainage et les réseaux de distribution d'eau.

1.2 Modes de détermination des volumes d'eau

On peut déterminer les volumes d'eau en écoulement en mesurant de façon continue la quantité d'eau qui circule dans l'installation d'écoulement ou en l'estimant.

1.2.1 *La mesure directe en continu*

Le principe de la mesure directe en continu repose sur le fait que la totalité de l'eau en écoulement est mesurée et enregistrée, ou cumulée, avec une exactitude jugée acceptable. Généralement, cette mesure s'effectue à l'aide de compteurs d'eau ou de débitmètres. Cependant, tout autre système capable de mesurer la totalité de l'eau écoulée constitue également un équipement de mesure acceptable. Outre le volume ou le débit, on peut, dans certains cas particuliers, mesurer d'autres paramètres représentatifs, tels que le poids de l'eau ou sa vitesse, et les convertir ensuite en volume d'eau prélevée.

Les compteurs d'eau fournissent une valeur cumulative relativement exacte et précise du volume total qui s'est écoulé entre le début de l'écoulement et le moment de la lecture du compteur. Quant aux débitmètres, ils effectuent un grand nombre de mesures instantanées des volumes d'eau et du temps à intervalles rapprochés et compilent ces mesures durant toute la période de l'écoulement. Les débits exprimant le volume d'eau déplacé par unité de temps et l'addition de tous les débits mesurés pour chacun des intervalles fourniront le volume d'eau total déplacé au cours de la période visée. Les débitmètres munis d'un système d'acquisition de données ou reliés à un tel système permettent en outre de faire ressortir toutes les variations de débit survenues au cours de la période, ce qui n'est pas possible avec un compteur d'eau.

Afin de fournir des valeurs représentatives de l'écoulement, les débitmètres doivent prendre

au moins une mesure par minute. Au-delà de cet intervalle, la mesure devient ponctuelle et mène à une estimation. Les débitmètres vendus sur le marché répondent sans problème à ce critère, la plupart prenant plusieurs mesures par minute, voire plusieurs mesures par seconde.

1.2.2 L'estimation

En vertu du Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau, l'estimation des volumes d'eau peut être basée soit sur des mesures ponctuelles, soit sur des mesures indirectes. Dans le cas de mesures ponctuelles, l'écoulement n'est mesuré que partiellement dans le temps. Ainsi, on associe une valeur provenant d'une mesure instantanée de débit à une période de temps plus ou moins longue en présumant que l'écoulement a été constant tout au long de la période qui sépare deux mesures.

Dans le cas de mesures indirectes, un paramètre autre que le débit, le volume, la vitesse ou le poids de l'eau sert à évaluer, par l'entremise d'une courbe de corrélation, le volume d'eau prélevée. Pour qu'une telle estimation soit acceptable, la mesure et l'enregistrement des résultats doivent s'effectuer sur toute la période d'écoulement et, comme avec les débitmètres, le temps écoulé doit être associé à chacune des valeurs mesurées. Dans le cas d'une prise de mesures non cumulative, l'intervalle maximal acceptable entre deux mesures doit être d'une minute.

Les autres conditions permettant au préleveur de recourir aux estimations sont énoncées à la section 1.5.

1.3 Critères généraux de sélection, d'installation, d'entretien et d'étalonnage des équipements de mesure

1.3.1 Sélection de l'équipement de mesure

Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'équipement de mesure doit être adapté au type d'installation de prélèvement, de transfert ou de rejet d'eau en place. Par exemple, le compteur d'eau ne s'installe que sur des conduites sous pression, alors que certains types de débitmètres, tels que le débitmètre bulle à bulle, n'est approprié qu'aux canaux ouverts. Par ailleurs, les conditions particulières prévalant au point de mesure seront déterminantes dans la sélection de l'équipement le plus approprié. Une caractérisation préliminaire *in situ* concernant les éléments suivants est donc nécessaire :

- la qualité de l'eau (présence de matières en suspension, algues, sédiments, produits chimiques, etc.);
- la plage des débits à mesurer (déterminer les débits minimum et maximum);
- l'accès à l'équipement de mesure (pour l'entretien, l'étalonnage et la lecture des données);
- les caractéristiques de l'écoulement (débit, vitesse, turbulence, pression);
- le mode de prélèvement, de transfert ou de rejet effectué (en continu ou intermittent);

- le diamètre de la conduite, si la mesure du débit doit s'effectuer sur une conduite sous pression;
- la présence d'une source d'alimentation électrique;
- les conditions environnementales pouvant influencer le fonctionnement des équipements;
- l'espace disponible.

Les autres critères à considérer dans la sélection de l'équipement de mesure sont :

- l'exactitude recherchée;
- les coûts d'achat et d'installation;
- les coûts et les exigences d'entretien et d'étalonnage;
- les contraintes inhérentes à la présence de certains appareils sur le système de prélèvement, de transfert ou de rejet de l'eau (ex. : pertes de pression attribuables à la présence de compteurs d'eau, de pièces mobiles, de restrictions à l'intérieur des conduites);
- les exigences d'installation inhérentes à certains équipements de mesure (ex. : longueur minimale de la section linéaire en amont, absence d'affluents ou de restrictions ou autres éléments susceptibles de perturber l'écoulement au point de mesure);
- les méthodes de gestion des données;
- les besoins opérationnels.

Considérant le grand nombre d'appareils sur le marché et les multiples paramètres pouvant influencer sur leur sélection, il est recommandé de laisser l'exercice de sélection de l'équipement de mesure aux soins d'une personne expérimentée. Au moment de l'achat, on devra prendre soin d'obtenir toute l'information nécessaire au fonctionnement et à l'entretien de l'équipement, de même que le certificat d'homologation. Cette documentation devra demeurer disponible pour consultation en vertu du programme d'entretien de l'équipement.

Dans le cas d'appareils fabriqués sur place (ex. : seuils de déversoir), on devra s'assurer que le système de mesure du débit pourra être utilisé, entretenu et étalonné adéquatement.

1.3.2 Installation, entretien et étalonnage

L'installation de l'équipement de mesure doit se faire en conformité avec toutes les caractéristiques techniques et les précautions formulées par le fabricant. Selon les risques qui auront été prédéterminés localement, les équipements de mesure devraient être protégés contre les risques d'incendie, de gel, de décharge électrique, d'altérations dues à de l'eau chaude ou à la vapeur, de surchauffe, de coups de bélier, de dommages physiques ou de

vandalisme. L'installation et la première vérification de l'exactitude avant la mise en service devraient toujours être confiées à du personnel qualifié et expérimenté.

La vérification de l'exactitude est essentielle avant la mise en service de tout système de mesure. Dans tous les cas, elle doit être faite sur place, dans les conditions normales d'écoulement et de fonctionnement des équipements de mesure. Cette vérification s'effectue en comparant les résultats fournis par l'équipement de mesure du préleveur avec ceux d'une méthode de validation reconnue par le MDDEP, comme cela est stipulé à l'article 12 du règlement. Pour plus d'information à ce sujet, consulter le chapitre 6.

Il importe également de préciser que le règlement exige :

- qu'une vérification de l'exactitude, et au besoin un étalonnage, soit effectuée pour chaque équipement (ou installation de mesure), minimalement une fois tous les trois ans pour les compteurs d'eau et une fois l'an pour les autres équipements de mesure;
- qu'une vérification de l'exactitude, et au besoin un étalonnage, soit également effectuée après une modification des équipements et après tout changement pouvant avoir une incidence sur l'exactitude des mesures;
- que toute information obtenue lors de la vérification de l'exactitude et, le cas échéant, de l'étalonnage soit minutieusement notée dans un registre pour une utilisation ultérieure afin de bien documenter le rendement de l'équipement de mesure;
- que les ajustages et autres opérations effectuées pour corriger les erreurs de mesure soient notés dans le registre.

Il est fortement recommandé que la vérification du système de transmission et de traitement des données, lorsqu'il y en a un, soit effectuée lors de la vérification de l'exactitude des indications de l'installation de mesure. De même, la fréquence des vérifications ainsi que la liste des éléments à vérifier devraient faire partie d'un programme d'entretien prédéterminé, élaboré notamment à partir des prescriptions du fabricant. Les bris, les déficiences constatées et les correctifs apportés aux éléments de mesure ou aux autres éléments pouvant influencer sur les mesures (ex. : état des conduites en amont de la prise de mesures) doivent aussi être notés dans le registre.

1.4 Emplacement de l'équipement de mesure ou de l'endroit de la prise de mesures

L'équipement de mesure doit permettre de déterminer au moins une fois par mois le volume total d'eau prélevée pendant ce mois dans le milieu naturel. La mesure doit être faite sur place, plus précisément sur la prise d'eau elle-même. Aucun ouvrage de dérivation ou d'évacuation de l'eau ne peut être présent entre la prise d'eau et l'équipement de mesure, à moins que le débit de celui-ci ne soit lui-même mesuré.

Les sections suivantes illustrent les emplacements possibles des équipements de mesure en situation particulière, c'est-à-dire lorsqu'il y a sur place plus d'une prise d'eau ou lorsqu'il s'y

trouve un ouvrage de dérivation.

1.4.1 En présence de plusieurs prises d'eau pour un même préleveur

Il peut arriver qu'un préleveur soit pourvu de plusieurs prises d'eau. Un équipement de mesure doit être installé sur chaque prise d'eau; le volume prélevé et mesuré devra être additionné aux fins de la déclaration mensuelle transmise au MDDEP ($A + B = C$, figure 1).

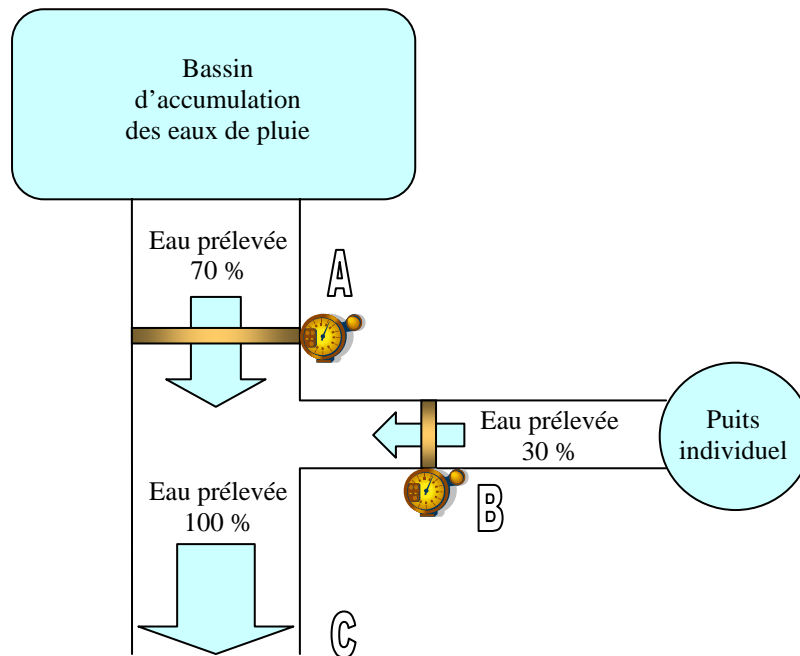


Figure 1. Emplacements possibles des équipements de mesure en présence de plusieurs prises d'eau

1.4.2 En présence d'ouvrages de dérivation

Dans certains cas, la quantité d'eau utilisée par le préleveur ne représente qu'une fraction de l'eau prélevée. Si le préleveur mesure seulement ce qu'il utilise (B, figure 2), il ne pourra pas connaître la quantité totale prélevée, à moins qu'il n'installe un second équipement de mesure au site de rejet de l'eau dérivée (non utilisée) (C). Dans ce dernier cas, les volumes totaux d'eau mesurés mensuellement par les deux équipements devront être additionnés ($B + C$) afin d'obtenir la quantité totale de l'eau prélevée. Outre cette possibilité, le préleveur pourrait opter pour l'installation d'un équipement de mesure au site de prélèvement (A) et ainsi mesurer directement la quantité réellement prélevée.

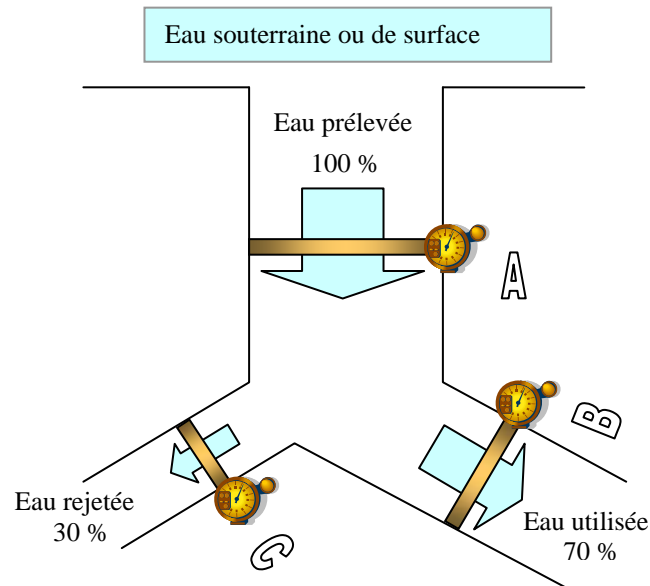


Figure 2. Emplacements possibles des équipements de mesure en présence d'ouvrages de dérivation

1.4.3 Préleveurs visés par l'entente

En plus des volumes prélevés, les préleveurs visés par l'Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent doivent transmettre au MDDEP, dans leur déclaration annuelle, les informations relatives aux volumes d'eau consommés ou transférés hors du bassin mensuellement. À moins que le préleveur ne désire faire appel à un professionnel pour faire estimer ces quantités, il doit procéder à l'installation d'un équipement de mesure sur les conduites utilisées pour le rejet ou le transfert de l'eau.

À la page suivante, dans le premier exemple (Figure 3) le préleveur prélève et consomme de l'eau à l'intérieur du territoire de l'entente. En autant qu'il n'y a pas d'apport d'eau extérieur qui affecte ou ne fausse le calcul, le volume consommé à l'intérieur du territoire de l'entente correspond alors à la différence entre les données fournies par les équipements A (volume prélevé) et B (volume rejeté) donc $A - B$. Dans le second exemple (Figure 4), le préleveur prélève et consomme une partie de l'eau à l'intérieur du territoire de l'entente, puis il en transfère et consomme une autre partie hors de ce territoire. Le volume consommé à l'intérieur du territoire de l'entente correspond à la différence entre les données fournies par les équipements A (volume prélevé), B (volume rejeté) et C (volume transféré), donc $A - B - C$. Le volume consommé à l'extérieur du territoire de l'entente correspond alors à la différence entre les données fournies par les équipements C (volume transféré) et D (volume rejeté), donc $C - D$. Puisque le préleveur doit déclarer l'information sur ce qui est transféré et ce qui est consommé à l'intérieur et à l'extérieur du territoire de l'entente, des équipements de mesure doivent être placés aux endroits qui permettent d'obtenir l'ensemble de ces informations.

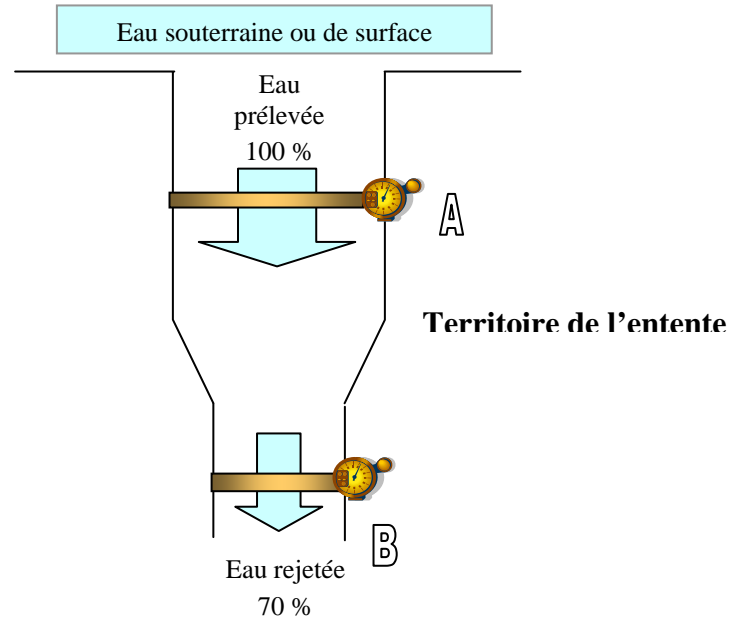


Figure 3. Emplacements possibles des équipements de mesure chez un préleveur situé sur le territoire de l'entente – Aucun rejet ou transfert hors territoire

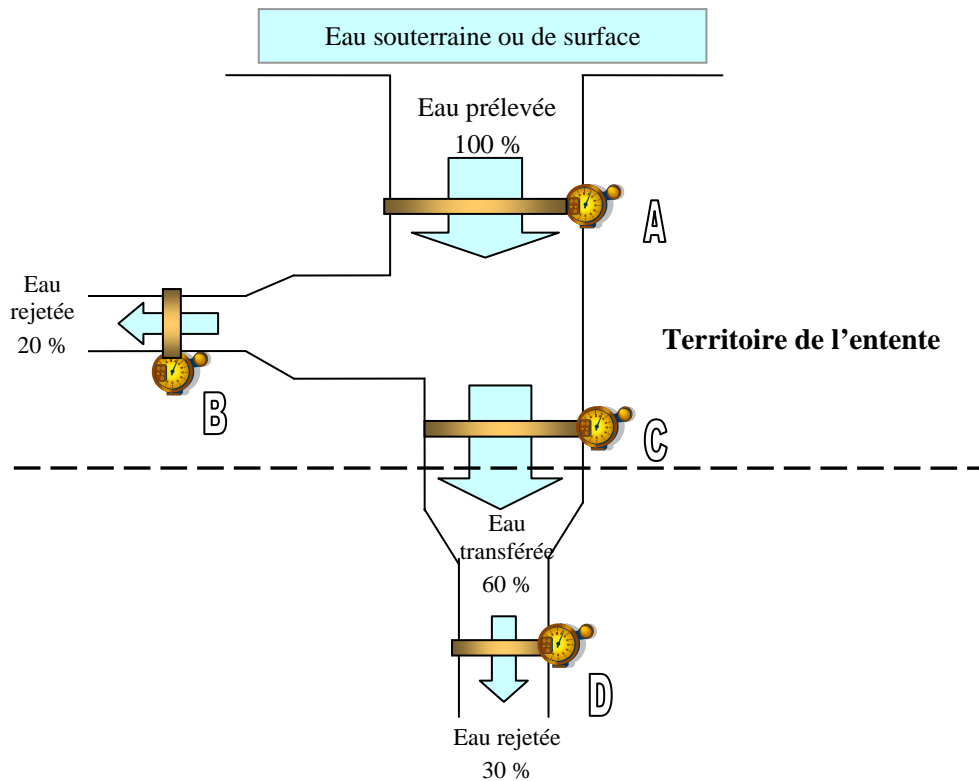


Figure 4. Emplacements possibles des équipements de mesure chez un préleveur situé sur le territoire de l'entente – Rejets à l'intérieur et à l'extérieur du territoire

1.5 Conditions permettant le recours aux estimations

Pour que les estimations mènent à des résultats acceptables en matière d'exactitude, les conditions suivantes doivent être satisfaites :

- 1- L'estimation repose sur des mesures effectuées sur place;
- 2- Le temps d'écoulement à associer à chaque mesure est toujours connu;
- 3- Dans le cas de mesures ponctuelles :
 - le régime du prélèvement est statistiquement prévisible;
 - l'intervalle entre deux mesures est ajusté selon la variabilité du prélèvement;
 - l'erreur maximale tolérée liée à l'équipement de mesure est d'au plus 10 %;
 - les mesures utilisées pour les estimations sont strictement celles qui sont prises à l'intérieur des périodes d'écoulement (soit à l'intérieur des limites de la population statistique).

L'estimation ne peut pas reposer uniquement sur :

- des données statistiques non mesurées chez le préleveur;
- des données mesurées ailleurs que chez le préleveur;
- des corrélations avec la production industrielle du préleveur;
- des mesures partielles, c'est-à-dire des mesures qui ne tiennent pas compte de la totalité de la période de prélèvement.

La marge d'erreur de l'estimation du volume total mensuel ne peut pas dépasser ± 25 %.

Estimations en cas de mauvais fonctionnement des appareils de mesure en continu

Une estimation, sur une base temporaire, peut devoir être effectuée dans le cas où l'équipement de mesure et d'enregistrement en continu est brisé ou défectueux ou lorsque des travaux d'entretien ou d'étalonnage sont en cours. Dans ce cas, l'estimation devra respecter les règles suivantes :

- En cas d'arrêt ou de mauvais fonctionnement de l'équipement de mesure ou si une erreur est détectée depuis un relevé précédent, on estime les volumes d'eau prélevée durant la période problématique en se fondant sur la moyenne des cinq jours de prélèvement semblables les plus récents.
- Dans tous les cas où l'équipement de mesure n'a pu être remis en état ou remplacé pendant une période de trois mois ou plus, le préleveur doit, pour chaque mois suivant cette période et contenant au moins un jour de prélèvement, calculer ou faire calculer tous les volumes d'eau prélevée estimés et convertis en litres ainsi que la

marge d'erreur, exprimée en pourcentage, de l'évaluation effectuée, selon la méthode d'estimation utilisée. Cette estimation doit être attestée par un professionnel.

- Lorsque, pour des travaux d'entretien ou d'étalonnage, une dérivation entre la source d'eau et le débitmètre ou le compteur d'eau est effectuée, une estimation de la quantité d'eau doit être calculée pour la durée de la dérivation. Les données relatives au volume et au temps de la dérivation doivent être inscrites dans le registre. Tous les débits dérivés doivent être mesurés aussi près que possible du point de dérivation.

1.5.1 Préleveurs visés par l'entente

Plutôt que de procéder à l'installation d'un équipement de mesure, certains préleveurs voudront faire appel à un professionnel pour faire estimer les quantités d'eau prélevée, consommée, rejetée ou transférée mensuellement hors du territoire de l'entente. Le professionnel pourra faire une estimation de chaque volume (prélèvement, consommation, transfert, rejet). Le préleveur pourra également se servir des valeurs de volume estimées par un professionnel afin d'obtenir, par déduction, une dernière valeur de volume inconnue. Toutefois, cette valeur inconnue **ne peut en aucun cas** être le volume d'eau prélevée. Par exemple, le professionnel procède à une estimation du volume d'eau prélevée ainsi qu'à une estimation du volume d'eau rejetée. Pour obtenir le volume d'eau consommé à l'intérieur du territoire de l'entente, le préleveur pourra alors faire la différence entre le volume prélevé estimé par le professionnel et le volume d'eau rejetée, également estimé par celui-ci, en s'assurant qu'aucun apport d'eau extérieur au site de prélèvement n'affecte ou ne fausse le calcul. Cependant, le préleveur ne pourra pas additionner le volume d'eau consommée estimé par un professionnel et le volume d'eau rejetée, également estimé par un professionnel, pour obtenir le volume d'eau prélevée.

2. LES ÉQUIPEMENTS DE MESURE EN CONTINU

Ce chapitre vise à éclairer le préleveur dans le choix, l'installation et l'utilisation d'un équipement reconnu effectuant la mesure directe et l'enregistrement des débits ou des volumes d'eau en continu. L'information est présentée selon les deux systèmes d'écoulement possibles : en conduite sous pression ou à surface libre.

Par ailleurs, certains des équipements présentés peuvent aussi être utilisés lors d'exercices d'estimations, dont les méthodes seront abordées au chapitre suivant.

2.1 Équipements de mesure sur une conduite sous pression

Deux types d'équipements de mesure peuvent être installés sur une conduite sous pression : les débitmètres et les compteurs. Leur principale différence réside dans le fait que les débitmètres mesurent à la fois le volume et le temps du prélèvement, alors que les compteurs ne mesurent que le volume d'eau écoulé.

Pour permettre la détermination du volume total écoulé au cours d'une période donnée, les débitmètres doivent également être munis d'un enregistreur en continu ou d'un totalisateur de volumes, ce qui n'est pas nécessaire avec les compteurs d'eau, car ces derniers affichent en tout temps la valeur cumulative du volume prélevé depuis le début de l'écoulement.

L'enregistreur en continu du débitmètre est généralement intégré à l'appareil, quoiqu'il puisse aussi constituer un élément distinct relié à l'appareil de mesure. L'ajout d'un ordinateur à ce système permet une conservation à plus long terme des données et accroît les possibilités de traitement de celles-ci puisqu'il permet de recourir à des logiciels spécialisés.

2.1.1 Débitmètres

Les débitmètres placés sur des conduites sous pression mesurent le débit de différentes façons : différences de pression, vitesse ou fréquence d'une onde, intensité d'un courant électrique, etc. Selon leur mode de fonctionnement, certains débitmètres s'installent à l'intérieur de la conduite, freinant plus ou moins l'écoulement et entraînant une perte de pression dans celle-ci, alors que d'autres s'installent à l'extérieur et ne nuisent pas à l'écoulement.

Débitmètre Venturi

Le débitmètre Venturi est utilisé fréquemment dans les industries et les stations de traitement municipales pour les conduites sous pression d'un diamètre variant entre 25 et 3 000 mm. Il se caractérise par sa simplicité d'utilisation, sa durabilité et sa fiabilité.

Il fait partie des débitmètres dont le principe est basé sur la mesure d'un différentiel de pression créé par une restriction. Dans ce cas, la pression est mesurée en amont et au niveau de la restriction où la vitesse augmente et la pression diminue. Le différentiel de pression est mesuré par un capteur. Il est directement proportionnel au carré de la vitesse.

Ses coûts d'achat et d'installation sont généralement abordables, mais élevés pour les grandes unités. S'il est bien installé, sa marge d'erreur nominale est de $\pm 0,75$ %.

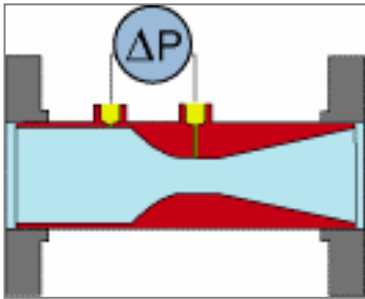


Figure 5. Débitmètre Venturi

Tableau 1 : Avantages et inconvénients du débitmètre Venturi

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Longue durée de vie de l'élément primaire : plus de 50 ans.• Construction très simple.• Possibilité de lecture à distance.• Perte de pression minimale, s'il est bien dimensionné.• Très bien documenté.	<ul style="list-style-type: none">• Plage de débits limitée; le bon dimensionnement est essentiel.• Possibilité de colmatage des prises de pression par les matières en suspension (MES) et de gel en cas d'exposition au froid.• Électricité requise pour le capteur de pression différentielle et le traitement du signal.

Débitmètre à plaque à orifice

Le débitmètre à plaque à orifice est basé sur le même principe que le Venturi. C'est un orifice en acier inoxydable qui constitue la restriction. Il est utilisé fréquemment dans les industries munies de conduites sous pression de 25 mm et plus. Les prises de pression sont généralement placées à une distance équivalant au diamètre de la conduite en amont de la plaque et à une distance équivalant à la moitié du diamètre de la conduite en aval de la plaque. Ses coûts d'achat et d'installation sont moins élevés que pour le débitmètre Venturi. Convenablement installé, sa marge d'erreur nominale varie de ± 1 % à ± 2 %.



Figure 6. Débitmètre à plaque à orifice

Tableau 2 : Avantages et inconvénients du débitmètre à plaque à orifice

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Longue durée de vie : plus de 30 ans. • Installation et remplacement faciles. • Possibilité de lecture à distance. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de pression plus élevée qu'avec le Venturi. • Plage de débits limitée, donc le bon dimensionnement est essentiel. • Électricité requise pour le capteur de pression différentielle et le traitement du signal.

Débitmètre à cône en V

Apparu sur le marché plus récemment que les autres membres de la famille des débitmètres à pression différentielle, le débitmètre à cône en V est pourvu d'un cône qui crée le différentiel de pression à l'intérieur de la conduite. Il convient aux conduites qui ont un diamètre variant entre 15 mm et 1 800 mm. Ses coûts d'achat et d'installation sont moyennement élevés. En conditions idéales d'installation, sa marge d'erreur nominale est de $\pm 2\%$.



Figure 7. Débitmètre à cône en V

Tableau 3 : Avantages et inconvénients du débitmètre à cône en V

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Convient à une plage de débits plus élevée que les débitmètres Venturi ou à plaque à orifice. • Possibilité de lecture à distance. 	<ul style="list-style-type: none"> • Électricité requise pour le capteur de pression différentielle et le traitement du signal. • Perte de pression moyenne. • Le cône, susceptible de retenir des dépôts, peut nécessiter un nettoyage fréquent.

Débitmètre magnétique

Le débitmètre magnétique, aussi appelé débitmètre électromagnétique, est basé sur le principe de Faraday. Un champ magnétique est créé autour d'une section de la conduite. L'eau qui passe à travers ce champ magnétique génère un courant induit proportionnel à la

vitesse du débit. Ce type de débitmètre est de plus en plus utilisé dans les industries et les municipalités. La gamme convient à des conduites de 2,5 mm à 3 000 mm de diamètre. L'écoulement doit toujours être sous pression, aussi est-il préférable de l'installer sur une conduite verticale avec un écoulement d'eau ascendant quoiqu'il puisse aussi être installé en position horizontale. On trouve des modèles à bride et à insertion. Ses coûts d'achat et d'installation sont moyennement élevés pour les conduites de plus de 150 mm de diamètre, mais élevés pour celles de plus petit diamètre. Sa marge d'erreur nominale est de $\pm 0,5\%$.



Figure 8. Débitmètre magnétique

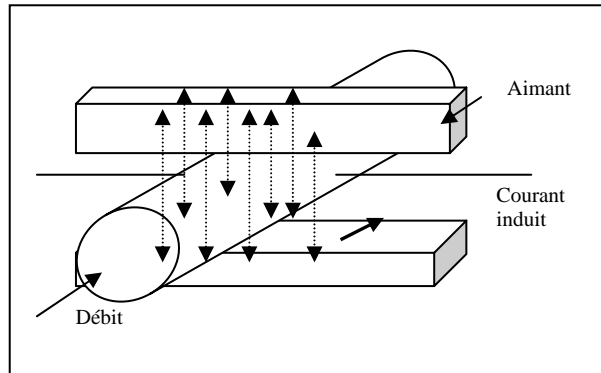


Figure 9. Schéma du débitmètre magnétique

Tableau 4 : Avantages et inconvénients du débitmètre magnétique

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Convient à une large plage de débits. • Possibilité de lecture à distance. • Pas d'obstruction pour le courant d'eau, donc perte de pression négligeable. • Possibilité d'un mesurage bidirectionnel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite une présence d'ions pour assurer une conductivité de l'eau d'au moins $5\ \mu\text{S}/\text{cm}$. • L'appareil est très sensible à la géométrie et aux propriétés électriques de la conduite. • Plusieurs modèles nécessitent une alimentation électrique de 120 V ca.

Débitmètre ultrasonique

Les débitmètres ultrasoniques comprennent des équipements basés sur deux principes différents : le temps de transit et l'effet Doppler. Le premier type utilise la vitesse de transmission d'une onde dans l'eau en mouvement et le deuxième, celle de la variation de la fréquence de l'onde réfléchi.

Comme ces équipements peuvent être installés à l'extérieur de la conduite dont on veut mesurer le débit, ils sont très pratiques lorsque l'arrêt de l'alimentation en eau est presque impossible ou très coûteux.

Débitmètre ultrasonique à temps de transit

Ce type d'appareil utilise un émetteur et un récepteur de signal (pulsation). Le signal sonore est envoyé dans la direction de l'écoulement et sa vitesse se trouve accélérée, tandis que le son envoyé dans le sens opposé de l'écoulement voit sa vitesse ralentie. La différence entre ces deux vitesses est fonction de la vitesse de l'écoulement et, par conséquent, du débit.

Comme la mesure est effectuée sur un court segment, l'exactitude de la mesure de la vitesse est compromise par toute distorsion du profil de vitesse. Pour remédier à ce problème, une longue section de conduite rectiligne en amont, sans aucune perturbation de l'écoulement pour une distance équivalant à 10 ou 20 fois le diamètre de la conduite, selon les modèles, est nécessaire afin de maintenir une marge d'erreur inférieure à 1 %.

Ce débitmètre peut être utilisé dans des conduites ayant un diamètre de 5 à 9 000 mm. Ses coûts d'installation et d'utilisation sont faibles. S'il est bien installé et étalonné, sa marge d'erreur nominale varie d'environ $\pm 0,5$ % à $\pm 2,5$ %.

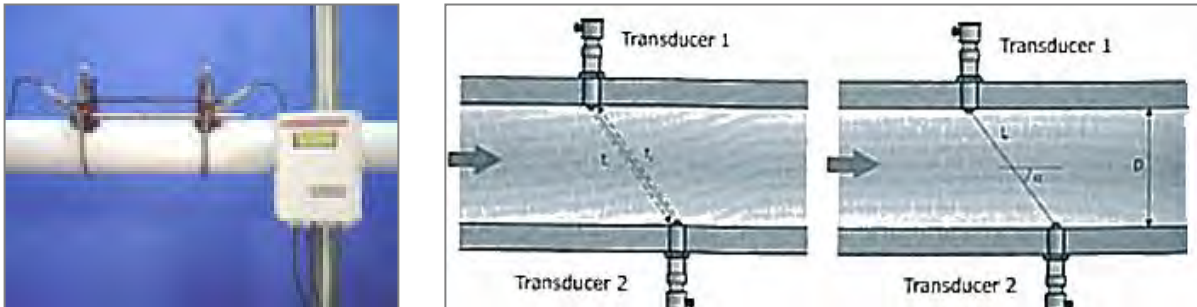


Figure 10. Débitmètre ultrasonique à temps de transit

Tableau 5 : Avantages et inconvénients du débitmètre ultrasonique à temps de transit

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Possibilité de lecture à distance.• Pas d'obstruction pour le courant d'eau, donc pas de perte de pression.• Ne nécessite pas une conductivité de l'eau minimale pour fonctionner, comme c'est le cas pour les débitmètres magnétiques.	<ul style="list-style-type: none">• L'installation peut être influencée par la condition et les propriétés de la conduite existante.• Électricité requise pour la mesure et le traitement du signal.• Mesure la vitesse moyenne du profil d'écoulement et non la vitesse moyenne pondérée selon la surface du profil.• Très sensible aux changements de la composition de l'eau.

Débitmètre ultrasonique à effet Doppler

La mesure est basée sur le principe suivant : un émetteur envoie une onde ou une vibration dans le courant d'eau contenant des particules ou des bulles d'air. Ces dernières altèrent la fréquence de l'onde qui est reçue par la sonde réceptrice. Le différentiel de fréquence ainsi produit est fonction de la vitesse de l'écoulement. Les coûts d'achat et d'installation de ce débitmètre s'échelonnent de moyens, pour les petites conduites, à faibles, pour les conduites de plus de 300 mm. Il nécessite la présence de gaz ou de solides en suspension dans l'écoulement pour fonctionner correctement. Sa marge d'erreur nominale varie de $\pm 3\%$ à 5% .

Tableau 6 : Avantages et inconvénients du débitmètre ultrasonique à effet Doppler

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Possibilité de lecture à distance.• Pas d'obstruction pour le courant d'eau, donc perte de pression négligeable.•	<ul style="list-style-type: none">• Installation possiblement influencée par la condition de la conduite existante.• Électricité requise pour la mesure et le traitement du signal.• Exigences d'entretien élevées et étalonnage fréquent.• Très sensible aux perturbations de l'écoulement.• Ne peut être utilisé pour la mesure de l'eau propre ou sans bulles.

Débitmètre à insertion

Les débitmètres de cette famille ont en commun l'insertion d'une sonde dans l'écoulement. Cette insertion est faite sous pression, sans interrompre l'alimentation, ce qui constitue un avantage considérable dans plusieurs cas. Ces débitmètres sont utilisés dans des conduites dont le diamètre varie de 100 à 3 000 mm. La sonde insérée peut utiliser différents principes : une turbine, un levier, un système à vortex, un tube de Pitot ou une sonde magnétique.

Certains de ces appareils, tels que ceux à turbine, à levier et à tube de Pitot, nécessitent beaucoup d'entretien et sont sensibles aux perturbations de l'écoulement. Les modèles magnétiques et à vortex nécessitent moins d'entretien et le modèle magnétique multipoint offre une moindre restriction envers les conditions d'installation, car il mesure la moyenne des vitesses le long du diamètre de la conduite. Les coûts d'achat et d'installation sont généralement moyennement élevés pour les petites conduites et faiblement élevés pour les conduites de plus de 300 mm. Sa marge d'erreur nominale varie de $\pm 0,75\%$ à 5% , selon les modèles.

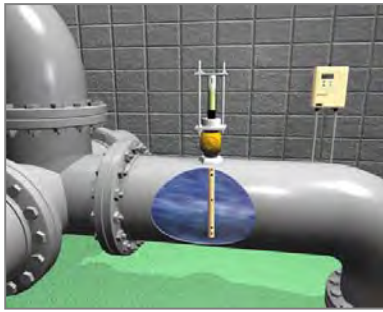


Figure 11. Débitmètre magnétique multipoint



Figure 12. Débitmètre à turbine



Figure 13. Débitmètre magnétique



Figure 14. Débitmètre à tube de Pitot

Tableau 7 : Avantages et inconvénients du débitmètre à insertion

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Capable de mesurer les petits débits.• Perte de pression minimale.• Possibilité de lecture à distance.• L'installation peut être réalisée sous pression, sans interruption de l'écoulement.	<ul style="list-style-type: none">• L'installation exige une conduite en bonne condition.• Besoin d'une source de courant externe pour certains modèles.• Exigences d'entretien élevées et étalonnages fréquents.• Très sensible aux perturbations du débit.• Le débitmètre à sonde magnétique nécessite une conductivité minimale de l'eau de $10 \mu\text{S/cm}$.

Débitmètre à vortex

Une série de tourbillons (vortex) est induite en aval d'un obstacle placé dans l'écoulement. La distance entre ces tourbillons est reliée à la vitesse de l'écoulement. En pratique, on mesure la fréquence à laquelle les tourbillons se produisent. Peu utilisé par les municipalités, le débitmètre à vortex est employé surtout dans les installations industrielles. Les coûts d'achat et d'installation s'échelonnent de moyennement élevés à élevés. Sa marge d'erreur nominale est de $\pm 0,75\%$.

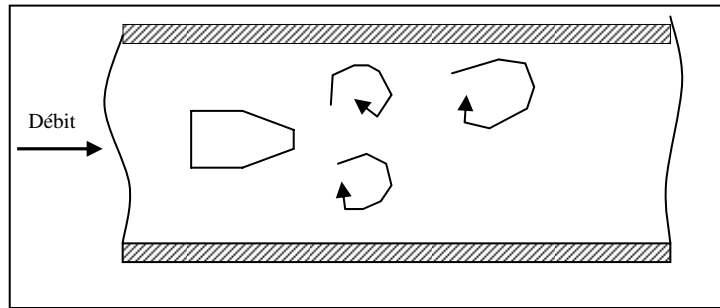


Figure 15. Débitmètre à vortex Figure 16. Principe de fonctionnement du débitmètre à vortex

Tableau 8 : Avantages et inconvénients du débitmètre à vortex

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Perte de pression moyenne. • Installation très simple. • Peu d'entretien, car il n'y a pas de pièces mobiles. • Possibilité de lecture à distance. • Longue durée de vie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensions de conduites limitées. • Très sensible à l'écoulement (débit). • Limité par la vitesse de l'écoulement (maximum de 5 m/s).

2.1.2 Compteurs

Les compteurs placés sur des conduites fermées mesurent les volumes de différentes façons : comptage de tours, mesure de la vitesse de rotation, comptage d'opérations de remplissage ou d'alternances hydrauliques, etc. Généralement, les compteurs sont plus faciles à installer que les débitmètres. Indépendamment de leur mode de fonctionnement, ils s'intègrent directement à la conduite et en deviennent une partie intégrante. La présence de pièces mobiles internes freine plus ou moins l'écoulement et entraîne une perte de pression dans la conduite. Ces appareils sont généralement destinés à mesurer de l'eau propre.

Compteurs à turbine et à hélice

Ces compteurs sont équipés de rotors (hélice ou turbine) placés directement sur la trajectoire de l'écoulement. La vitesse de rotation est directement proportionnelle à la vitesse de l'eau. L'utilisation de ces appareils est plus fréquente dans l'industrie et les municipalités. La dimension du compteur varie et peut convenir à des conduites de 50 à 500 mm de diamètre pour les compteurs à turbine et de 50 à 1 800 mm de diamètre pour les compteurs à hélice. Les compteurs doivent être installés sur des sections de conduite linéaires sans obstruction ni changement de direction sur une longueur équivalant à 5 à 10 fois le diamètre de la conduite. Leurs coûts d'achat et d'installation sont moyennement élevés. La marge d'erreur nominale, qui dépend grandement de l'étalonnage et de l'installation, varie d'environ $\pm 0,5\%$ à 2% .



Figure 17. Compteur à turbine

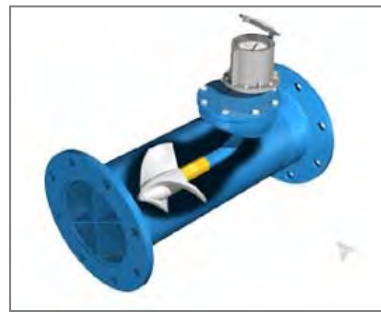


Figure 18. Compteur à hélice

Tableau 9 : Avantages et inconvénients des compteurs à turbine et à hélice

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Provoque une perte de pression faible à moyenne qui diminue avec la dimension du compteur.• Ne nécessite pas de source électrique externe.• Possibilité de lecture à distance.	<ul style="list-style-type: none">• Entretien et lubrification requis pour maintenir une bonne exactitude de mesure.• L'exactitude de mesure diminue sensiblement dans les faibles débits.• L'usure de la surface des hélices et de la turbine altère l'exactitude de mesure de l'appareil. La friction de roulement influence la performance du compteur, surtout pour les petits débits.• Sensible à la qualité de l'eau.• Très sensible aux perturbations de l'écoulement.

Compteur à jets

Ce type de compteur est une variante du compteur à turbine. L'eau s'écoule tangentiellement aux ailettes de la roue et fait tourner cette dernière. La vitesse de rotation de la roue est directement proportionnelle à la vitesse de l'eau. Il existe deux variantes de ces compteurs : à jet unique et à jets multiples. Installé adéquatement, sa marge d'erreur nominale est de $\pm 2\%$.

Compteur à jet unique

Ce compteur est l'équipement le plus utilisé dans le secteur commercial, en raison de son faible coût, de sa grande fiabilité et de sa plage de débits. Ses dimensions peuvent convenir à des conduites dont le diamètre varie de 7 à 150 mm.

Compteur à jets multiples

Ce compteur est utilisé à des fins domestiques et d'irrigation. Son principe de fonctionnement est le même que celui du compteur à jet unique. La seule différence réside dans le fait que l'eau est en contact avec la roue tout au long de son périmètre. Ce type de compteur convient à des conduites de 15 à 150 mm de diamètre. Il nécessite une installation précise. L'axe de la roue doit être vertical. Ses coûts d'achat et d'installation sont faibles.



Figure 19. Compteur à jet unique



Figure 20. Compteur à jets multiples

Tableau 10 : Avantages et inconvénients du compteur à jets

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Possibilité de lecture à distance.• Technologie éprouvée et fiable.• Résistant aux matières en suspension (solides).	<ul style="list-style-type: none">• Sensible au positionnement de l'axe de rotation du roulement. Celui-ci doit être bien placé verticalement (pas d'inclinaison).• Provoque une perte de pression relativement élevée.• Les petits compteurs sont sujets à l'obstruction de la crépine (tamis), ce qui provoque des erreurs de comptage.

Compteur volumétrique à déplacement positif

Dans ce type de compteur, toute l'eau passe par une chambre de volume connu qui se remplit et se vide grâce à un piston ou à un disque. Le comptage consiste à enregistrer le nombre d'opérations successives. Ce compteur est utilisé dans de nombreuses applications pour des conduites dont le diamètre est de 65 mm ou moins. Ses coûts d'achat et d'installation sont faibles. Sa marge d'erreur nominale est de $\pm 2\%$.



Figure 21. Compteur volumétrique

Tableau 11 : Avantages et inconvénients du compteur volumétrique à déplacement positif

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Possibilité de lecture à distance.• Technologie fiable et éprouvée.• Longue durée de vie (jusqu'à 20 ans).• Pas influencé par les perturbations de l'écoulement.	<ul style="list-style-type: none">• Non disponible pour des conduites de plus de 150 mm de diamètre.• Provoque une perte de pression moyenne à élevée.• Sensible à la présence de matières en suspension (MES).

Compteur combiné

Ce type de compteur comprend en parallèle un compteur à déplacement positif ou à jets multiples pour les petits débits et un compteur à turbine pour les débits un peu plus grands. Il est utilisé lorsque les débits couvrent une grande plage, comme dans les institutions ou dans certaines entreprises. Il convient à des conduites de 50 mm à 250 mm de diamètre. Sa marge d'erreur nominale est de $\pm 2\%$.



Figure 22. Compteur combiné

Tableau 12 : Avantages et inconvénients du compteur combiné

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Convient à une large plage de débits.• Possibilité de lecture à distance.	<ul style="list-style-type: none">• Coût d'achat très élevé.• Perte de pression de moyenne à élevée.• Sensible aux MES.• Légère sous-estimation des débits lors de la transition de l'écoulement d'un compteur à l'autre.

Compteur électronique statique à oscillation fluïdique

Ce compteur ne comporte aucune pièce mobile. L'écoulement dans la chambre de mesure génère une alternance hydraulique et l'on compte le nombre de ces alternances. Ces compteurs couvrent une gamme de conduites d'un diamètre de 15 à 50 mm. Son coût d'achat est élevé. Sa marge d'erreur nominale varie de ± 1 à 2 %.



Figure 23. Compteur à oscillation fluïdique

Tableau 13 : Avantages et inconvénients du compteur à oscillation fluïdique

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• N'est pas influencé par la présence de MES.• Possibilité de lecture à distance.• Ne comptabilise pas l'air.	<ul style="list-style-type: none">• Installation horizontale seulement.• Provoque une perte de pression moyenne à élevée.

2.1.3 Installation

Une installation adéquate est cruciale pour assurer l'exactitude des mesures fournies par les compteurs et les débitmètres. L'installation doit permettre un fonctionnement optimal de l'équipement de mesure de même qu'un accès facile à celui-ci pour la lecture des données de débit, l'entretien et l'étalonnage. Beaucoup de compteurs, à l'exception des compteurs volumétriques, sont sensibles aux perturbations de l'écoulement; c'est pourquoi ces appareils doivent être installés sur des sections linéaires de conduite, sans perturbation, en respectant les distances requises en amont et en aval de l'appareil. Le non-respect de cette exigence peut entraîner un biais important sur les données recueillies.

D'autres éléments sont également à considérer :

- le respect des exigences du fabricant concernant l'orientation (horizontale ou verticale) de l'appareil;
- le fait que certains débitmètres ou compteurs sont sensibles aux matières en suspension (MES). Un tamis (crépine) en amont de l'appareil est recommandé mais nécessite un entretien régulier;
- la protection contre les éléments externes tels que le gel et le soleil;
- l'installation de valves ou de dérivations pour isoler l'appareil lors d'interventions d'entretien, d'étalonnage ou de remplacement;
- l'installation d'un dispositif antirefoulement pour éviter les erreurs de comptage;
- la prévision des pertes de pression de l'ensemble;
- l'installation de supports pour la tuyauterie et le compteur pour prévenir les vibrations qui entraînent une usure prématurée;
- le respect des instructions des fabricants.

Exemple d'une installation de mesure sur une conduite sous pression

La figure 24 présente un exemple typique d'installation de compteur d'eau comme celui à turbine, combiné ou à jet unique.

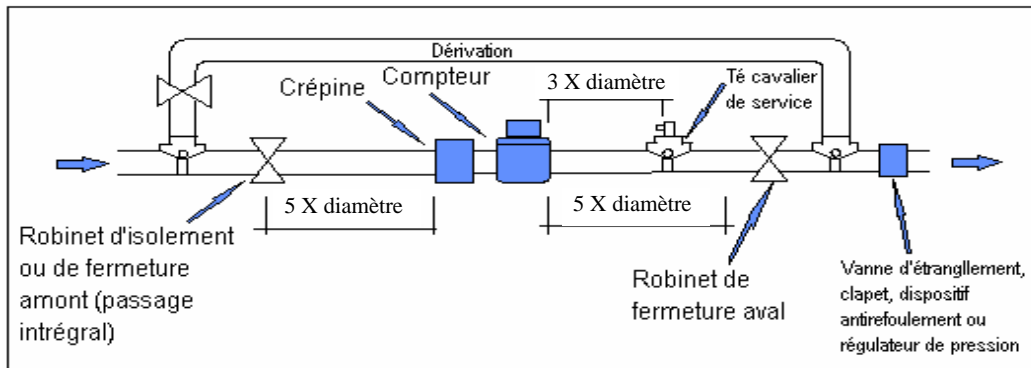


Figure 24. Schéma type d'installation d'un compteur d'eau

On remarque dans ce schéma que l'installation comporte une dérivation. Cette dérivation est recommandée pour assurer l'alimentation continue en eau en cas de bris d'équipement. Elle permet également l'entretien et l'étalonnage du compteur.

2.1.4 Entretien et remplacement

Les compteurs et les débitmètres comprennent des parties fixes et parfois mobiles qui, avec le temps, sont sujettes à l'usure, à la corrosion, aux fuites, à l'entartrage et au colmatage. Pour assurer le bon fonctionnement de ces appareils, un entretien et un suivi régulier sont nécessaires. La fréquence de l'entretien varie selon le type d'appareil et les indications du fabricant, la nature de son utilisation et la qualité de l'eau. L'entretien des compteurs et des débitmètres vise surtout à assurer le maintien d'une bonne exactitude de mesure. Un débitmètre ou un compteur détérioré devrait être réparé ou remplacé sans délai.

L'opération d'entretien comprend l'inspection des parties externes et internes des appareils. On nettoie ou sable les surfaces corrodées ou entartrées. On recherche aussi la présence de fissures sur la vitre des compteurs. Les parties mobiles telles que les roues, les ailettes, les axes, les engrenages, les disques, les pistons, selon le type d'appareil, doivent être vérifiées minutieusement. Selon le cas, ces éléments peuvent être nettoyés ou remplacés. Dans le cas des débitmètres, l'installation ou le remplacement, les réparations et le nettoyage interne devraient être confiés à un spécialiste ou au fabricant.

2.1.5 Résolution de problèmes

Le tableau suivant présente les problèmes les plus fréquemment rencontrés et leurs solutions possibles.

Tableau 14 : Problèmes les plus fréquents et solutions possibles

Problèmes	Solutions
Exactitude de mesure difficile à conserver	<ul style="list-style-type: none">- Respecter les instructions du fabricant;- Établir et respecter un plan d'entretien;- Vérifier la qualité de l'eau.
Mesure du débit inadéquate	La plage de débits ne convient pas à l'équipement utilisé. Remplacer par un équipement approprié à cette plage.
Colmatage et obstruction des orifices, des aubes et des tamis	<ul style="list-style-type: none">- Vérifier la qualité de l'eau et le choix du compteur ou du débitmètre;- Nettoyer régulièrement les parties internes.
Usure des pièces mobiles	<ul style="list-style-type: none">- Installer adéquatement l'appareil;- Remplacer les pièces selon les recommandations du fabricant.
Manque d'espace et difficulté d'accès	Prévoir avant l'installation.
Source d'énergie électrique non disponible	Choisir un appareil en conséquence.
Bris fréquents	Protéger contre les aléas du climat (le gel et les changements brusques de température).

2.1.6 Comparaison des équipements de mesure

Afin de faciliter le choix de l'équipement le plus approprié au préleveur, le tableau 15 réunit l'information pertinente relative à chacun des équipements de mesure présentés dans ce chapitre.

Tableau 15 : Caractéristiques et critères d'installation des débitmètres et des compteurs sur des conduites sous pression

Débitmètres et compteurs	Débitmètres							Compteurs				
	Venturi	Plaque à orifice	Cône en V	Magnétique	Ultrasonique	Insertion	Vortex	Turbine et hélice	Jets	Volumétrique	Oscillation fluidique	Combiné
Diamètre (mm)	25 à 3 000	25 et +	15 à 1 800	2,5 à 3 000	5 à 9 000	100 à 3 000	25 et +	50 à 1 800	7 à 150	15 à 65	15 à 50	50 à 250
Marge d'erreur nominale	±0,75 %	1,00 % à 2,00 %	±2,00 %	±0,50 %	0,50 % à 5,00 %	0,75 % à 5,00 %	±0,75 %	0,50 % à 2,00 %	±2,00 %	±2,00 %	1,00 % à 2,00 %	±2,00 %
Perte de pression	Petite	Moyenne à élevée	Moyenne	Petite	Nulle	Petite	Moyenne	Moyenne	Moyenne à élevée	Moyenne à élevée	Moyenne à élevée	Moyenne à élevée
Lecture à distance	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Source d'énergie requise	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non
Intrusion dans la conduite	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Positionnement horizontal	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Positionnement vertical	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Section droite sans obstruction (amont)	10 à 20 Ø	15 à 60 Ø	Selon le fabricant	10 Ø	10 Ø	50 Ø	10 Ø	5 Ø	Selon le fabricant	Selon le fabricant	Selon le fabricant	Selon le fabricant
Section droite sans obstruction (aval)	5 Ø	5 Ø	Selon le fabricant	3 Ø	5 Ø	5 Ø	5 Ø	2 Ø	Selon le fabricant	Selon le fabricant	Selon le fabricant	Selon le fabricant
Sensible à la qualité de l'eau	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Coût	Abordable, mais élevé pour les grandes unités	Moins élevé que celui du débitmètre Venturi	Moyen	Moyen, mais élevé pour les petites unités	Faible	Moyen	Moyen à élevé	Moyen à élevé	Faible	Faible	Élevé	Très élevé
Remarques	Plage de débits limitée	Respect des vitesses de la plage de débits	Large plage de débits	Conductivité >5 µS/cm Large plage de débits	Sensible aux vibrations	Conductivité >10 µS/cm	Respect des vitesses de la plage de débits Sensible aux bulles d'air	Respect des vitesses de la plage de débits	Installation minutieuse	Installation simple	Installation simple	Large plage de débits

2.2 Installations de mesure dans un écoulement à surface libre

Il peut arriver que la mesure du débit soit prise sur une conduite découverte ou partiellement fermée dont l'écoulement est à surface libre. Dans de tels cas, la mesure est habituellement effectuée dans une structure hydraulique, appelée « élément primaire », qui modifie l'écoulement et assure une relation connue entre la hauteur d'eau et le débit qui passe. Dans quelques cas, on peut aussi mesurer à la fois la hauteur et la vitesse de l'eau dans une section d'écoulement de forme connue. Les mesures de niveau ou de vitesse peuvent être effectuées manuellement par des lectures ponctuelles qui mèneront à des estimations des débits écoulés. Dans le cas de mesures en continu, des appareils de mesure doivent toutefois être installés en complément aux éléments primaires, ces derniers constituant l'élément secondaire de l'installation.

Dans ce dernier cas, il s'agira de s'assurer que l'installation entière (éléments primaires et secondaires) répond à l'exigence du MDDEP relativement à la marge d'erreur maximale tolérée, soit $\pm 10\%$. L'exactitude de l'installation doit être vérifiée sur place au moins une fois l'an en comparant ses résultats avec une méthode de validation reconnue par le MDDEP.

2.2.1 Éléments primaires

Les principaux éléments primaires de mesure du débit des écoulements à surface libre sont les canaux de mesure et les déversoirs.

Les canaux de mesure sont généralement des éléments préfabriqués installés de façon temporaire ou permanente dans un écoulement. Il s'agit de structures hydrauliques moulées spécialement pour entraîner une restriction dans l'aire d'écoulement ou un changement de pente, de façon à provoquer une augmentation de la vitesse et une variation de la hauteur d'eau. La plupart des canaux de mesure possèdent une section convergente, une section d'étranglement et une section divergente. Le débit est établi en mesurant la hauteur de l'eau à un endroit précis dans le canal ou en amont de celui-ci, selon le cas. La hauteur de l'eau qui traverse le canal est fonction du débit.

Les déversoirs sont essentiellement des barrages montés perpendiculairement au sens d'écoulement de l'eau. L'eau doit passer par-dessus une échancrure de forme et de dimension définie. Le débit est établi en mesurant la hauteur d'eau entre la base de l'échancrure et la surface de l'eau, à une distance déterminée en amont du déversoir où l'effet de rabattement de l'eau est absent.

Chaque type de canal et de déversoir est caractérisé par sa structure, sa forme et sa courbe hauteur-débit. On établit le débit en se servant de la formule ou de la table appropriée à la forme et à la dimension de la structure. Par conséquent, ces structures doivent être faciles d'accès pour permettre la lecture *in situ* et la vérification de la courbe hauteur-débit. De plus, elles doivent être suffisamment solides et résistantes à l'érosion pour faire face aux glaces et aux épisodes de crue.

Il est à noter que, lorsque l'eau est chargée en sédiments, il est préférable d'utiliser un canal

de mesure, ce dernier retenant moins les dépôts de matières en suspension qu'un déversoir. De plus, pour des dimensions comparables, les canaux peuvent fournir des mesures de débits plus grands que les déversoirs. Toutefois, puisque leur installation est onéreuse, les canaux sont généralement utilisés là où il n'est pas possible d'utiliser un déversoir.

Types de canaux de mesure

Parmi les types de canaux de mesure, on trouve le canal Parshall (Figure 25) qui est le plus répandu dans les installations permanentes, le canal en H (Figure 26), utile dans le cas de débits très variables (rapport 100 :1 alors que le Parshall a un rapport 10 :1), le canal Palmer-Bowlus (Figure 27) utilisé dans les conduites et les canaux à fond courbe et le canal trapézoïdal (Figure 28), utile dans la mesure de faibles débits.

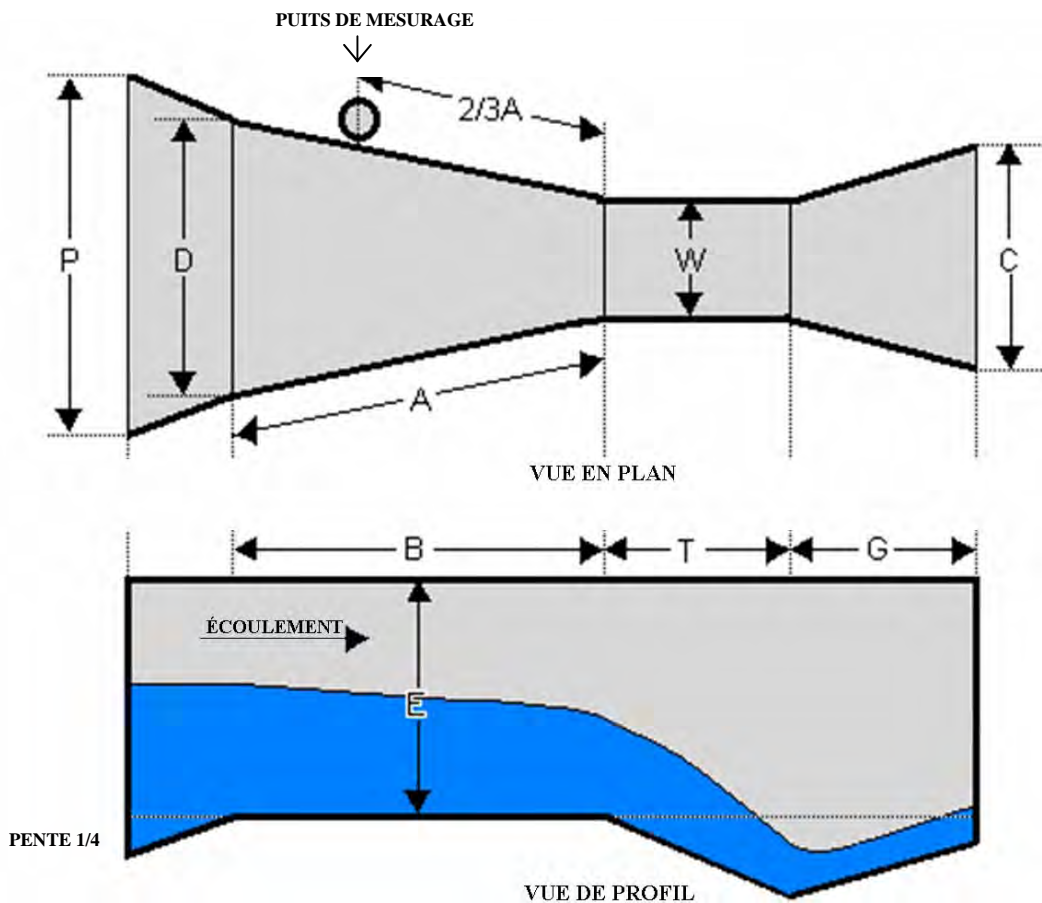
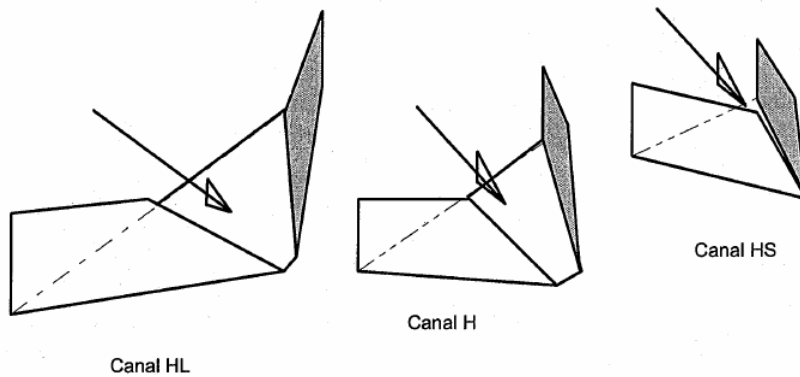
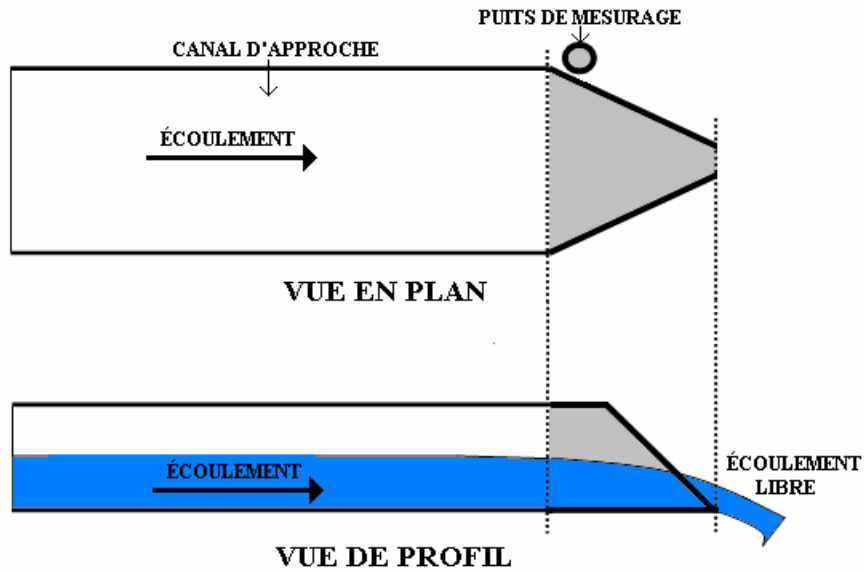


Figure 25. Canal Parshall



Les trois types de canal en H. Une gamme de débit correspond à chaque type :

HS : 0,01 à 80 m³/h
H : 0,03 à 8 580 m³/h
HL : 0,42 à 11 800 m³/h

Figure 26. Canal en H

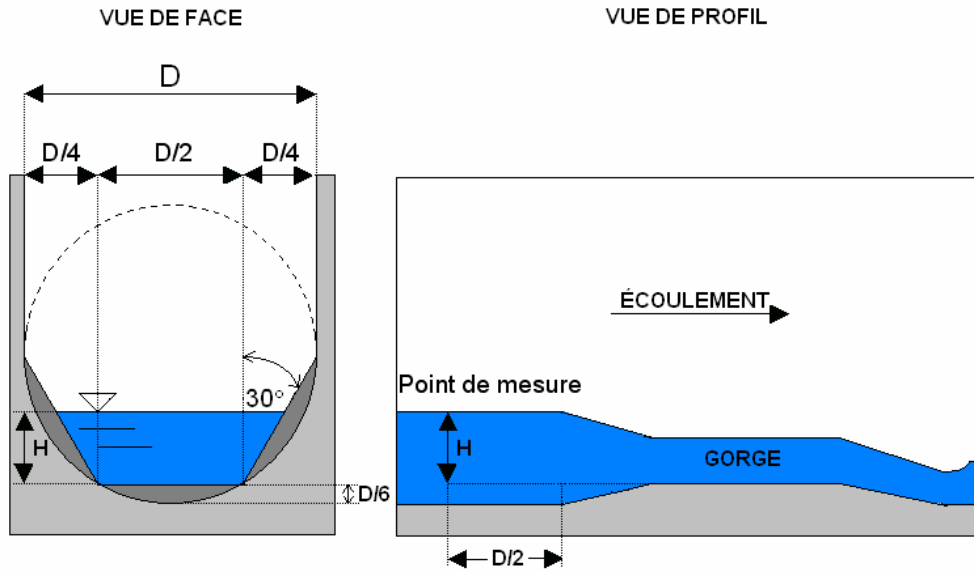
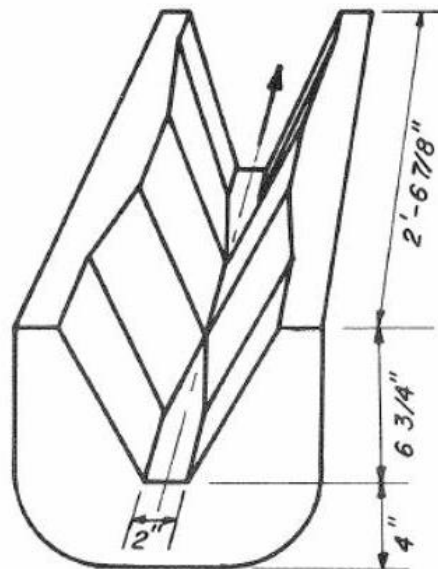


Figure 27. Canal Palmer-Bowlus



GRAND 60° EN V

Figure 28. Canal trapézoïdal

Types de déversoirs

Les déversoirs les plus répandus sont le déversoir rectangulaire, le plus simple et le plus populaire, le déversoir triangulaire, applicable aux faibles écoulements, et le déversoir trapézoïdal (Figure 29) qui peut être utilisé dans les mêmes conditions d'écoulement que le déversoir rectangulaire. La Figure 30 présente les détails d'un déversoir à seuil mince.

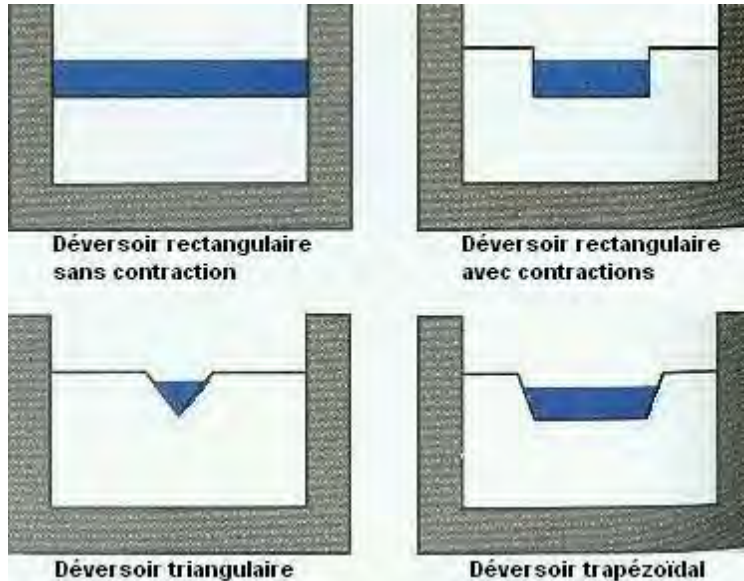


Figure 29 : Exemples de déversoirs

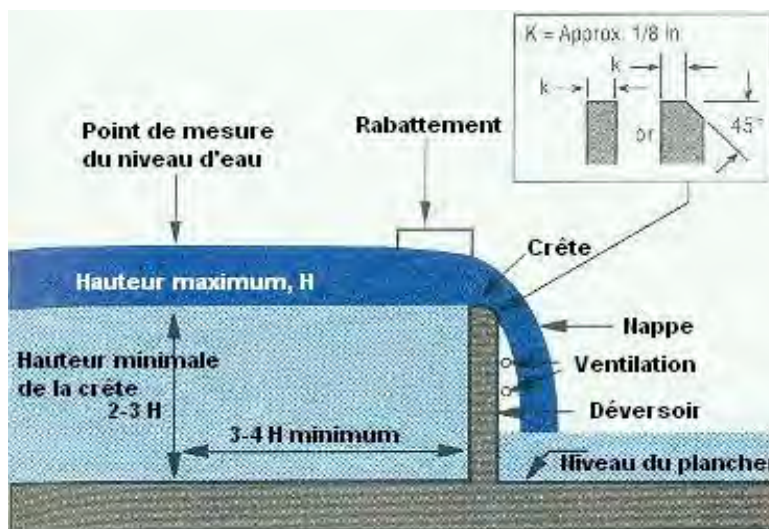


Figure 30 : Vue latérale d'un déversoir

Exactitude de mesure des éléments primaires

Les facteurs pouvant influencer l'exactitude de mesure de l'élément primaire, en conditions normales de fonctionnement, sont la qualité de l'installation, sa géométrie, son entretien et les conditions d'écoulement.

Pour avoir une bonne exactitude de mesure :

- l'augmentation du niveau d'eau doit être suffisante pour que se dégage clairement une relation hauteur-débit;
- l'installation doit permettre d'obtenir un régime d'écoulement uniforme et constant en amont du canal ou du déversoir;
- la vitesse d'écoulement doit être suffisante pour qu'il y ait un écoulement libre ou une ventilation, c'est-à-dire pour que l'air puisse passer librement sous la nappe (hauteur d'écoulement par-dessus l'arête du déversoir);
- la structure doit être au niveau transversalement et longitudinalement;
- la structure hydraulique doit être érigée en ligne droite avec le canal et perpendiculairement à l'écoulement;
- les dépôts de sédiments, d'herbes et d'autres débris qui s'accumulent en amont doivent être enlevés régulièrement;
- la structure doit aussi être vérifiée régulièrement pour s'assurer qu'elle ne présente pas de fissures qui causeraient des fuites.

En général, les marges d'erreur théoriques des éléments primaires sont les suivantes :

Canal de mesure :

±3,0 %

Déversoir :

±2,0 %

Entretien et étalonnage des éléments primaires

La vérification de l'exactitude et l'entretien des éléments primaires, réalisés sur une base régulière, sont primordiaux pour s'assurer de la fiabilité des mesures obtenues. Ces travaux d'entretien permettent d'augmenter la durée de vie de la structure, de réduire les coûts d'entretien ou de remplacement ainsi que les erreurs de mesure. Les structures hydrauliques doivent être régulièrement débarrassées des dépôts de sédiments, d'herbes et d'autres débris. La fréquence de l'entretien et de l'étalonnage varie selon le type de structure.

Dans le cas d'un canal de mesure, on doit s'assurer que :

- la structure hydraulique n'est pas déformée;

- l'amont du canal est dépourvu d'accumulations de sédiments et de détritiques;
- le canal est inspecté mensuellement;
- l'exactitude du canal est vérifiée tous les ans.

Dans le cas d'un déversoir, on doit s'assurer que :

- le déversoir ne contient pas de micro-organismes, d'algues et de végétaux;
- l'amont du déversoir est dépourvu d'accumulations de sédiments et de détritiques;
- la corrosion ou d'autres dommages n'altèrent pas la structure hydraulique;
- le déversoir est bien vertical et l'arête du déversoir, horizontale;
- l'exactitude du déversoir est vérifiée tous les ans.

La vérification de l'exactitude de l'élément primaire consiste à mesurer le débit de l'écoulement à l'aide d'une méthode reconnue, telle que la détermination aire-vitesse au moulinet hydrométrique (3.1.1), la méthode à l'aide d'un traceur (3.1.2) ou la mesure volumétrique (3.1.3), idéalement à différents niveaux de débit, et à comparer les résultats avec les débits théoriques obtenus par la conversion hauteur-débit (données habituellement fournies par l'élément secondaire prévérifié, voir 2.2.2), la différence entre les valeurs ne devant pas excéder 10 %. Tout étalonnage doit être précédé par une vérification de la qualité et de l'intégrité de la structure hydraulique.

2.2.2 Éléments secondaires

Dans un écoulement à surface libre, les éléments secondaires utilisés à la station de mesurage pour mesurer et convertir les signaux de l'élément primaire (niveaux ou vitesses d'eau) en débit sont les débitmètres. Ces appareils peuvent être installés tant sur une conduite circulaire à surface libre que sur une structure hydraulique de forme géométrique connue, comme un déversoir ou un canal de mesure. Parmi les appareils utilisés, on trouve principalement le débitmètre bulle à bulle, le débitmètre ultrasonique, le débitmètre hauteur-vitesse et les débitmètres à sonde immergée.

Débitmètre bulle à bulle

Le débitmètre bulle à bulle utilise un compresseur interne qui pousse de l'air dans un tube immergé dans l'eau. La profondeur de l'eau est déterminée en mesurant la pression nécessaire pour forcer l'air à sortir du tube. L'appareil convertit cette profondeur en débit, selon le type d'élément primaire utilisé.

Tableau 16 : Avantages et inconvénients du débitmètre bulle à bulle

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Installation facile.• Données enregistrées sur graphique papier et sur mémoire interne autonome.• Préprogrammé pour une utilisation avec la plupart des canaux et des déversoirs de toutes dimensions.• Données facilement transférables et traitables par un ordinateur.	<ul style="list-style-type: none">• Coût assez élevé.• Peut s'obstruer s'il y a beaucoup de MES.• Non recommandé pour des vitesses d'écoulement supérieures à 1,5 m/sec (en absence de puits de mesurage).

Débitmètre ultrasonique

Le débitmètre ultrasonique comporte une sonde qui s'installe au-dessus du niveau de l'eau. La mesure du niveau s'effectue par la transmission d'une pulsation sonore à partir de la sonde et la mesure du temps que prend l'écho pour revenir de la surface de l'eau. Cela implique que l'espace entre la sonde et la surface de l'eau doit demeurer libre en tout temps. Le niveau mesuré est converti en débit, selon le type d'élément primaire utilisé. Ce débitmètre est sensible à la présence de mousse ou de vapeur en surface, mais pas aux MES ni aux produits chimiques.

Tableau 17 : Avantages et inconvénients du débitmètre ultrasonique

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Nécessite peu d'entretien.• Données enregistrées sur graphique papier et sur mémoire interne autonome.• Préprogrammé pour une utilisation avec la plupart des canaux et des déversoirs standards de toutes dimensions.• Données facilement transférables vers un programme de traitement de données sur ordinateur.	<ul style="list-style-type: none">• Installation un peu plus complexe que celle du débitmètre bulle à bulle.• Coût assez élevé.• Ne convient qu'aux canaux ouverts assez dégagés pour ne pas nuire à la propagation et à la réception des ultrasons.

Débitmètre à sonde immergée

La sonde du débitmètre à sonde immergée est installée au fond du canal et mesure la pression pour déterminer la profondeur de l'eau. Cette lecture de niveau est convertie en débit par l'appareil, selon le type d'élément primaire utilisé. À chaque type de sonde correspond une hauteur d'eau minimale.

Tableau 18 : Avantages et inconvénients du débitmètre à sonde immergée

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Installation facile.• Préprogrammé pour une utilisation avec la plupart des canaux et des déversoirs de toutes dimensions.• Données enregistrées sur graphique papier et sur mémoire interne autonome.• Données facilement transférables vers un programme de traitement de données sur ordinateur.• Convient là où il y a de la turbulence, du vent, de la vapeur ou de la mousse.	<ul style="list-style-type: none">• Coût assez élevé.• Nécessite un nettoyage régulier de la sonde (entartrage).

Débitmètre hauteur-vitesse

Le débitmètre hauteur-vitesse comporte une sonde qui doit être installée au fond du canal ou de la conduite. Il utilise la technologie de l'effet Doppler¹ pour mesurer directement la vitesse moyenne de l'écoulement. Une seconde sonde de pression intégrée mesure la profondeur pour déterminer l'aire de l'écoulement. L'appareil calcule le débit en multipliant l'aire de l'écoulement par la vitesse moyenne. À l'instar du débitmètre à sonde immergée, chaque type de sonde du débitmètre hauteur-vitesse requiert une hauteur d'eau minimale spécifique.

Tableau 19 : Avantages et inconvénients du débitmètre hauteur-vitesse

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Installation facile.• Données enregistrées sur graphique papier et sur mémoire interne autonome.• Convient à des canaux de forme géométrique simple où des situations de surcharge, de submersion, de conduites pleines ou de refoulement peuvent survenir.• Préprogrammé pour une utilisation avec la plupart des canaux et des déversoirs de toutes dimensions.• Données transférables vers un ordinateur pour en faciliter le traitement.	<ul style="list-style-type: none">• Coût assez élevé.• Ne convient qu'aux canaux ouverts ou à des conduites accessibles.• La sonde requiert un nettoyage régulier (entartrage).

1. L'effet Doppler est le décalage de [fréquence](#) d'une [onde acoustique](#) ou [électromagnétique](#) entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

Exactitude de mesure des éléments secondaires

Les facteurs pouvant influencer la marge d'erreur de l'élément secondaire, en conditions normales de fonctionnement, sont la qualité de l'installation et de l'étalonnage, les variations rapides de débit, la turbulence, la qualité de l'eau et la géométrie de l'élément primaire.

En général, les marges d'erreur nominales sont les suivantes :

Débitmètre bulle à bulle :

Environ 0,35 %, selon la qualité de l'installation, l'étalonnage et les conditions d'écoulement.

Débitmètre ultrasonique :

Environ 0,30 %, selon la qualité de l'installation, la qualité de l'eau (mousse en surface), l'étalonnage et les conditions d'écoulement.

Débitmètre hauteur-vitesse :

Environ 1,0 %, selon la qualité de l'installation, l'étalonnage, la qualité de l'eau (entartrage) et les conditions d'écoulement.

Débitmètre à sonde immergée :

Environ 1,0 %, selon la qualité de l'installation, l'étalonnage, la qualité de l'eau (entartrage) et les conditions d'écoulement.

Entretien et mise au point des éléments secondaires

Si elles sont nécessaires, la vérification et la mise au point des appareils constituant les éléments secondaires du système de mesure devraient être effectuées hebdomadairement afin de maintenir une exactitude de mesure acceptable. L'installation ou le remplacement, les réparations et le nettoyage interne de ces derniers devraient être confiés à un spécialiste ou au fabricant. La responsabilité de déterminer la nécessité de remplacer l'appareil et d'y donner suite rapidement incombe au préleveur.

2.2.3 Comparaison des éléments de mesure

Afin de faciliter le choix de l'équipement le plus approprié, le tableau 20 suivant réunit l'information relative aux éléments primaires et secondaires pouvant être installés pour la mesure des débits dans des écoulements à surface libre.

Tableau 20 : Caractéristiques et critères d'installation des éléments de mesure des débits dans des écoulements à surface libre

Éléments de mesure	Éléments primaires			Éléments secondaires			
	Canaux Parshall et Palmer-Bowlus	Déversoirs		Débitmètre ultrasonique	Débitmètre bulle à bulle	Débitmètre hauteur-vitesse	Débitmètre à sonde submergée
		Rectangulaire	Triangulaire				
Marge d'erreur nominale	±3,0 %	±2,0 %	±2,0 %	±0,30 %	±0,35 %	±1,00 %	±1,00 %
Conditions d'écoulement en amont	Bonne répartition des vitesses	Rectiligne 20 X hauteur maximale	Rectiligne 20 X hauteur maximale	S. O.	S. O.	S. O.	S. O.
Conditions d'écoulement en aval	Écoulement libre	Ventilation en aval	Ventilation en aval	S. O.	S. O.	S. O.	S. O.
Chenal étroit	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Chenal large	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Écoulement laminaire	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Écoulement turbulent	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Faible débit	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Fort débit	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Mesures ponctuelles	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non
Possibilité d'être relié à un système de saisie et de traitement de données	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Nécessite un élément primaire	S. O.	S. O.	S. O.	Oui	Oui	Non	Oui
Sensible à la qualité de l'eau	Oui (gros débris)	Oui (débris, algues)	Oui (débris, algues)	Oui (mousse, vapeur)	Oui (débris, grande quantité de MES)	Non	Non

2.3 Méthode de mesure volumétrique en continu

Cette méthode s'applique à la mesure, en fonction du temps, de volumes d'eau dans des réservoirs de forme régulière dont la capacité à différents niveaux peut être mesurée avec précision. Lors du remplissage (ou de la vidange) du réservoir, la mesure des niveaux de l'eau peut être effectuée par un débitmètre (voir la section 2.2.2 présentant les débitmètres appropriés aux écoulements à surface libre) ou un détecteur de niveaux installé dans le réservoir et relié à un compteur de vidanges (pour ce faire, le volume de la vidange doit toujours être identique). Un camion-citerne peut être considéré comme un réservoir et le nombre de vidanges (ou, si le réservoir n'est pas complètement plein, la lecture de l'indicateur de niveau) est inscrit sur le registre. La méthode volumétrique peut aussi servir à la vérification de l'exactitude d'autres éléments de mesure du débit.

L'équation suivante traduit la relation entre le débit, le volume et le temps :

$$Q = V \div t$$

où :

Q : débit d'eau prélevée (ex. : en m³/s)

V : volume d'eau prélevée (ex. : en m³)

t : temps du prélèvement (ex. : en secondes)

Tableau 21 : Avantages et inconvénients de la méthode de mesure volumétrique en continu

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Grande exactitude des résultats.• Faible coût.• Obtention rapide du débit.	<ul style="list-style-type: none">• Nécessite de grands réservoirs lors de la mesure de forts débits.

On trouve quelques applications de la méthode volumétrique à la section 5.2 du cahier 7, intitulé *Méthodes de mesure du débit en conduit ouvert* qui fait partie du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale* publié par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

3. LES MÉTHODES DE MESURE DESTINÉES AUX ESTIMATIONS

L'article 5 du règlement permet au préleveur d'estimer le volume mensuel prélevé plutôt que de rapporter la lecture effectuée par un équipement de mesure et d'enregistrement en continu. Deux types de mesures peuvent être réalisés pour les estimations : des mesures ponctuelles ou des mesures indirectes.

Les mesures ponctuelles consistent à mesurer, à un intervalle prédéterminé pouvant aller de quelques heures à quelques jours, le débit ou le volume de l'eau prélevée. Les mesures ponctuelles supposent qu'une partie plus ou moins importante de l'eau prélevée n'est pas mesurée.

Les mesures indirectes consistent à mesurer d'autres paramètres que ceux déterminant l'écoulement de l'eau (volume, masse ou débit). Elles impliquent l'établissement de courbes de corrélation. Lorsqu'elles ne sont pas mesurées en continu, ces mesures sont à la fois indirectes et ponctuelles, menant ainsi à l'obtention des estimations les moins exactes.

Les quelques méthodes présentées dans cette section sont tirées du cahier 7 du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale*.

3.1 Mesures ponctuelles

Les méthodes présentées ci-dessous permettent d'effectuer des mesures ponctuelles dans une conduite découverte (moulinet hydrométrique, traceur, méthode volumétrique, formule de Manning) ou fermée (traceur, méthode volumétrique, formule de Manning).

3.1.1 Détermination aire-vitesse au moulinet hydrométrique

La méthode de détermination aire-vitesse (aussi appelée « méthode d'exploration du champ des vitesses » ou « méthode de distribution des vitesses ») au moulinet hydrométrique consiste à établir, à partir d'une série de mesures de vitesse effectuées à différentes hauteurs d'eau et distances par rapport à la bordure du canal, un profil d'écoulement à partir duquel sera déterminée une valeur de débit. On y a souvent recours pour mesurer le débit d'un cours d'eau. La marge d'erreur théorique associée à cette méthode est de moins de 10 %.

L'instrument de mesure généralement utilisé, le moulinet hydrométrique, est un appareil muni d'un rotor dont la vitesse de rotation est fonction de la vitesse locale de l'écoulement du fluide dans lequel il est immergé. Il en existe deux types : le moulinet à coupelles et le moulinet à hélice. Le type le plus couramment utilisé est le moulinet à hélice. En plus du moulinet, la méthode requiert un matériel particulier (perche, saumon, câble, compteur) et un personnel formé à son utilisation. On peut également remplacer le moulinet par un courantomètre électromagnétique ou acoustique, qui n'est pas sensible à la présence de matières ou d'autres éléments en suspension dans l'eau.

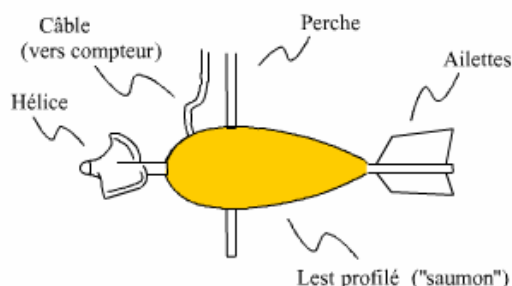


Figure 31. Parties d'un moulinet à hélice

Source : <http://echo.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre7/chapitre7.html>

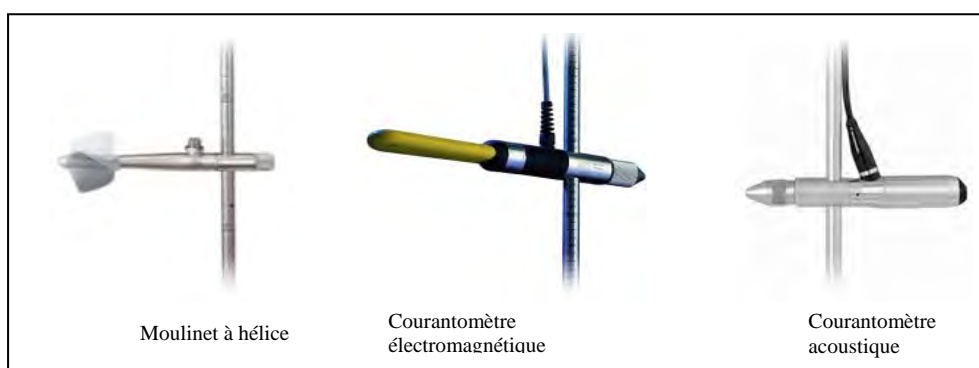


Figure 32. Différents types d'appareils de mesure de la vitesse

Source : <http://www.otffrance.com/>

Sélection et identification de la section de contrôle

La section où s'effectuent les mesurages (section de contrôle) est choisie de façon à éviter que des obstacles situés en amont ou en aval entraînent des variations localisées de l'écoulement telles que des courants de retour, des vortex ou des courants nuls.

De plus, les conditions suivantes doivent être respectées :

- L'amont de la section de contrôle doit être droit, exempt d'affluents, d'obstacles ou de tout autre élément pouvant perturber l'écoulement sur une distance égale à au moins 25 fois² la largeur du cours d'eau ou du canal.
- Durant les mesures, aucune partie du moulinet ne doit affleurer la surface de l'eau. Ainsi, le choix de l'hélice doit être approprié à la hauteur d'eau minimale où la vitesse doit être mesurée.
- Il ne doit pas y avoir dans l'écoulement d'éléments pouvant entraver le fonctionnement ou affecter l'exactitude des appareils de mesure (algues, MES grossières, etc.).

2. Ce ratio n'est pas applicable en écoulement laminaire.

- Dans le cas d'une mesure en canal, celui-ci doit être de forme régulière et exempt de dépôts ou d'algues sur ses parois.

Puisque des mesures seront prises sur une base régulière à cet endroit, il convient d'équiper la section de contrôle de moyens de repérage et de détermination du niveau. Ainsi, des repères permanents bien signalés, en hiver comme en été, indiquant précisément la position de la section doivent être installés sur les deux côtés du canal. Un indicateur de niveau (liminimètre) doit être installé sur un ou les deux côtés du canal, et le zéro de l'échelle doit être relié à un niveau de référence. Si deux liminimètres sont installés, la moyenne des valeurs est utilisée comme niveau moyen de la surface de l'eau et leur présence peut servir comme base du tracé de la section de contrôle.

Sélection de l'appareil de mesure

L'appareil de mesure à utiliser doit être approprié aux conditions d'écoulement et à la qualité de l'eau. Le moulinet ou courantomètre sélectionné doit avoir été étalonné pour la gamme de vitesses des courants à mesurer. Le moulinet rotatif ne doit pas être utilisé lorsque la profondeur, au niveau du point de mesurage, est inférieure à quatre fois le diamètre de l'hélice ou du corps du moulinet lui-même, si celui-ci est plus grand. Le courantomètre électromagnétique ne doit pas être utilisé lorsque la profondeur au niveau du point de mesurage est inférieure à trois fois la dimension verticale du capteur. L'équation d'étalonnage, la vitesse de démarrage et la vitesse maximale d'utilisation doivent être connues et disponibles.

Prise des mesures

L'aire d'écoulement étant constituée d'un ensemble de courants à vitesse variable, la section de contrôle doit faire l'objet de mesures de vitesse en différents points, selon un découpage approprié, tel qu'illustré aux Figure 33 et Figure 34. À noter que ces figures, basées sur une approche américaine simplifiée de la méthode de détermination aire-vitesse, présentent un nombre restreint de points de mesure (un à deux points par verticale) situés en des endroits où la vitesse est théoriquement représentative de l'écoulement. Cette approche est fréquemment utilisée puisqu'elle a l'avantage d'être plus rapide à réaliser.

Détermination du nombre minimal de verticales

Le nombre minimal (n) de verticales requis pour les sections de mesure est établi en fonction de la largeur de la section de mesure :

Tableau 22. Nombre de verticales selon la largeur de la section de contrôle

Largeur de la section de contrôle (m)	Nombre minimal de verticales (n)
<0,5	5 ou 6
Entre 0,5 et 1,0	6 ou 7
Entre 1,0 et 3,0	7 ou 12
Entre 3,0 et 5,0	13 ou 16
>5,0	≥22

Pour les largeurs de canal supérieures à 5 m, le nombre de verticales doit être choisi de telle sorte que le débit dans chacune d'elles soit, dans la mesure du possible, inférieur à 5 % du débit total et ne dépasse en aucun cas 10 %.

Détermination du profil de la section de contrôle

Des mesures ponctuelles de la profondeur d'eau doivent être faites de façon à définir avec précision le profil de la section de contrôle. La profondeur doit être mesurée en utilisant des perches, des câbles de sondage ou tout autre dispositif approprié. Pour des canaux plus profonds, un sondeur à écho dûment étalonné peut être utilisé.

Détermination des points de mesure et mesurage

Les valeurs de vitesse sont obtenues par des relevés effectués en un certain nombre de points le long de chaque verticale entre la surface de l'eau et le fond du canal. Le nombre et l'espacement entre deux points de mesure doivent être tels que la différence des relevés entre deux points adjacents ne dépasse pas 20 % de la vitesse la plus élevée.

L'instrument de mesure doit être aligné dans le sens de l'écoulement, généralement perpendiculairement à la section de contrôle. Si l'écoulement n'est pas perpendiculaire à la section, il faut laisser le moulinet s'aligner dans la direction de l'écoulement, mesurer, à l'aide d'un équipement approprié, son angle (θ) par rapport à la perpendiculaire de la section et appliquer le facteur de correction suivant sur la vitesse mesurée³ :

$$V_{\text{corrigé}} : V_{\text{mesuré}} \cos \theta$$

Chaque mesure doit avoir une durée minimale de 30 secondes et être répétée consécutivement au moins trois fois, ces trois mesures ne pouvant différer entre elles de plus

3. Certains instruments permettent de mesurer directement la composante normale de la vitesse lorsqu'ils sont maintenus perpendiculairement à la section de contrôle dans l'écoulement oblique. Dans ce cas, cette correction ne serait pas appliquée.

de 5 %. Le débit de l'eau doit être constant durant toute la période de la prise des mesures (variation de la hauteur d'eau minimale et maximale d'au plus 5 %). La hauteur d'eau doit donc être mesurée et enregistrée en continu durant toute cette période. Si la variation excède 5 %, le débit doit être stabilisé et les mesures, reprises. Les mesures de vitesse et de profondeur de l'eau sont effectuées en même temps afin de s'assurer de la représentativité des résultats.

Si, sur un canal donné, on constate que les vitesses mesurées en certains points peuvent être considérées représentatives de l'écoulement sur toute la verticale, on pourra, pour les prochains exercices de mesure du débit, recourir à l'une ou l'autre des méthodes utilisant un nombre réduit de points présentées ci-dessous.

Méthodes utilisant un nombre réduit de points

Les méthodes utilisant un nombre réduit de points sont une version simplifiée de la méthode de détermination aire-vitesse. Selon ces méthodes, le niveau des points de mesure par rapport à la surface peut se situer à :

- 0,6 de la hauteur d'eau locale pour la méthode à point unique, la valeur mesurée étant prise comme vitesse moyenne sur la verticale;
- 0,2 et 0,8 de la hauteur d'eau locale pour la méthode des deux points, la moyenne des deux valeurs devant être prise comme vitesse moyenne sur la verticale;
- 0,2, 0,6 et 0,8 de la hauteur d'eau locale pour la méthode à trois points, la valeur à 0,6 pouvant être pondérée et la vitesse moyenne calculée à l'aide de l'équation suivante :

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

Des méthodes à 5 et 6 points peuvent également être utilisées (voir ISO 748-2007).

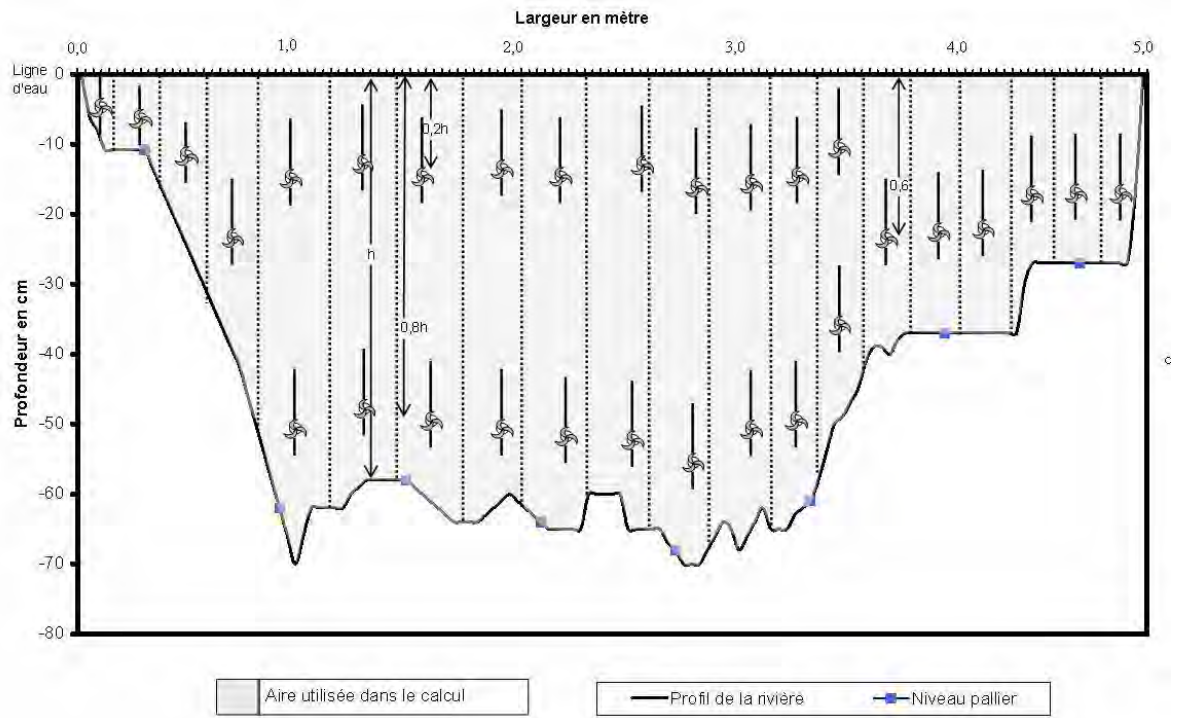


Figure 33. Emplacement des points de mesure de la méthode de détermination aire-vitesse (utilisant un nombre réduit de points) en cours d'eau naturel

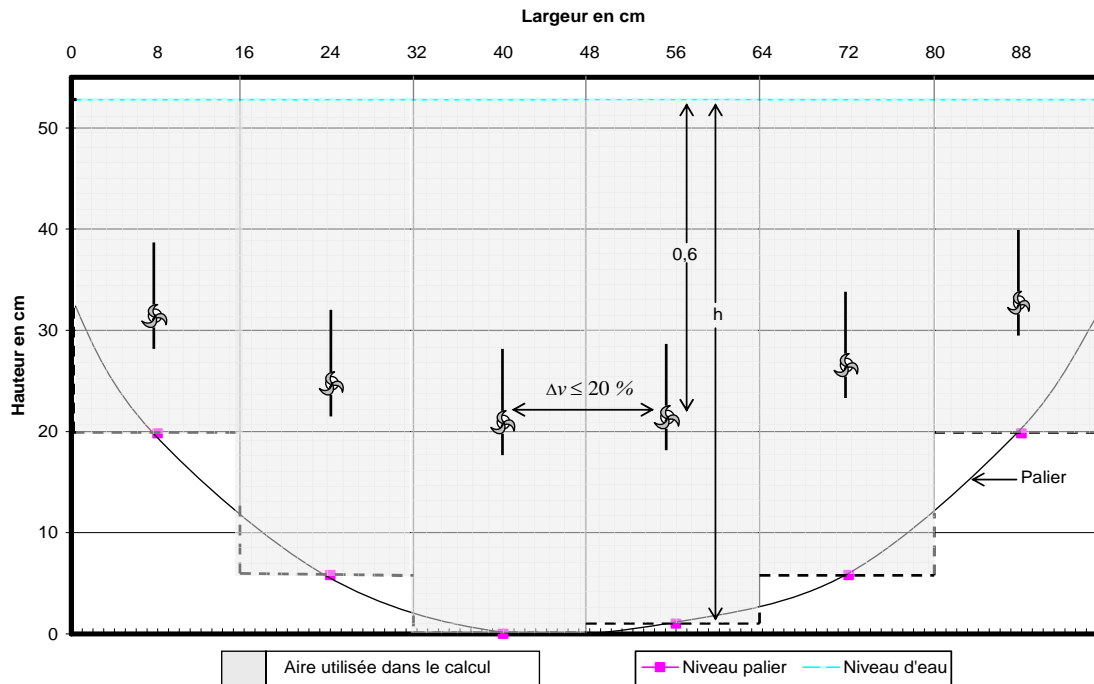


Figure 34. Emplacement des points de mesure de la méthode de détermination aire-vitesse (utilisant un nombre réduit de points) dans un canal

Le profil de la section de contrôle (et des points de mesure) est reproduit sur un graphique et la superficie de la section est mesurée précisément (à l'aide d'un planimètre ou de papier millimétrique). Toutes les mesures et leur emplacement exact doivent être inscrits dans le rapport d'estimation.

Détermination du débit

Dans un cours d'eau ou une structure à profondeur variable :

Des vitesses moyennes unitaires sont d'abord établies pour chacune des verticales. Elles sont ensuite multipliées par l'aire de la verticale qui leur correspond pour obtenir des débits unitaires. L'addition de tous les débits unitaires donne le débit total, selon la formule suivante :

$$Q = \bar{v}_{v1} \times A_{v1} + \bar{v}_{v2} \times A_{v2} + \dots + \bar{v}_n \times A_{vn}$$

où :

Q : débit d'eau prélevée (ex. : en m³/s)

v_v : vitesse de l'eau de la verticale (ex. : en m/s)

A_v : aire de la verticale (ex. : en m²)

Dans un canal rectangulaire :

La vitesse moyenne obtenue à partir de toutes les vitesses mesurées est multipliée par la surface totale de la section mouillée.

$$Q = \bar{v} \times A$$

où :

v : vitesse d'écoulement (ex. : m/s)

A : aire de la section mouillée (section de contrôle) (ex. : en m²)

Courbe hauteur-débit :

En appliquant la méthode de détermination aire-vitesse au moulinet hydrométrique à différents débits dans un canal de forme définie, il est possible d'établir une courbe hauteur-

débit (Figure 35) qui peut servir par la suite à estimer le débit en ne mesurant que la hauteur d'eau. L'utilisation de cette méthode peut également servir à vérifier l'exactitude d'un élément primaire.

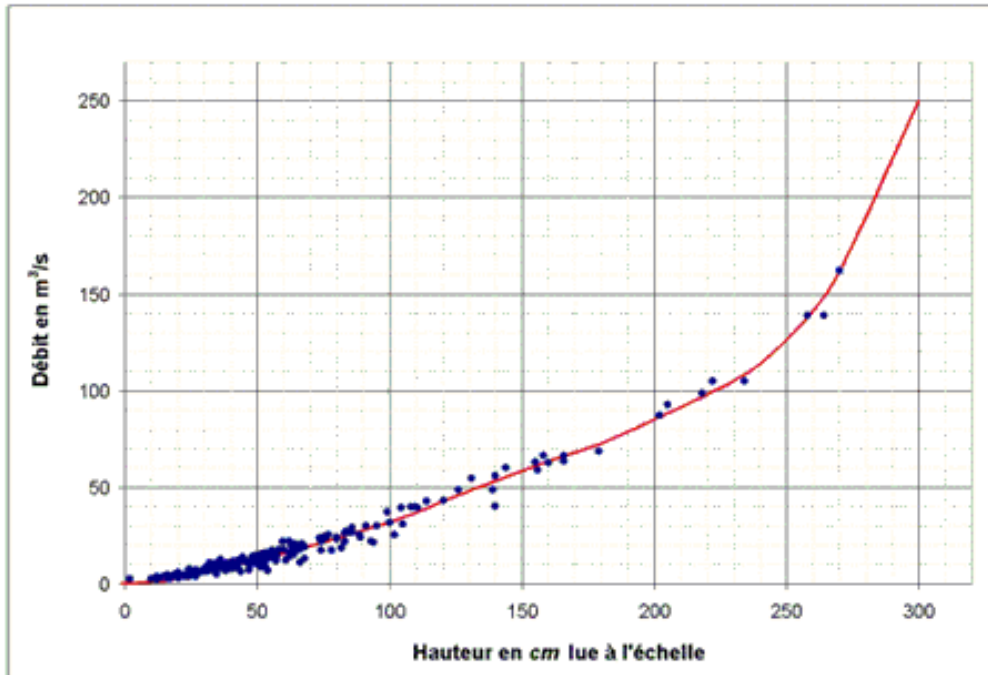


Figure 35. Exemple de courbe hauteur-débit

Tableau 23 : Avantages et inconvénients de la méthode de détermination aire-vitesse au moulinet hydrométrique

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Obtention rapide du débit.• Coût associé à l'application de la méthode peu élevé (firme spécialisée).	<ul style="list-style-type: none">• Coût d'achat élevé du moulinet.• Manipulation complexe d'un instrument de précision.• Exactitude de mesure influencée par les débris et les MES.• Le débit ne doit pas varier de plus de 5 % pendant les mesures.

Le MDDEP a adopté, en mai 2001, un protocole d'application de la méthode de mesure au moulinet hydrométrique qui décrit une façon d'effectuer correctement une mesure ponctuelle de débit en canal ouvert. Ce protocole se trouve à la section 5.4.6.1 du cahier 7 du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale* précédemment cité. De façon plus globale, la méthode de détermination aire-vitesse est décrite à la section 5.4 du même guide.

3.1.2 Méthodes à l'aide d'un traceur

Méthode de dilution

Le principe de la méthode consiste à déterminer le débit, par l'injection dans l'eau d'une solution contenant un traceur à une concentration et à un débit d'injection connus, à partir de la concentration finale mesurée dans les échantillons de contrôle. L'équation doit tenir compte de l'indice de récupération, qui est défini comme étant l'écart entre la moyenne des concentrations obtenues avec l'eau d'écoulement et la concentration obtenue avec de l'eau distillée. Cet indice vise à éliminer le bruit de fond de l'écoulement. Dans des conditions idéales, la marge d'erreur théorique de cette méthode est de ± 1 %. L'équation à utiliser pour le calcul du débit est donc la suivante :

$$Q_c = [(Q_i \times C_i) \div C_c] \times I_r$$

où :

Q_c : débit de l'eau d'écoulement

Q_i : débit d'injection du traceur

C_i : concentration du traceur injecté

C_c : concentration finale du traceur dans les échantillons de contrôle

I_r : indice de récupération du traceur

Tout ce qui est soluble dans l'eau, détectable et mesurable à différentes concentrations peut servir de traceur. Le traceur sélectionné doit toutefois être stable chimiquement, non toxique, facile à détecter et préférentiellement absent du milieu en amont du point d'injection. Peuvent être utilisés comme traceurs : des éléments chimiques, des colorants et des isotopes radioactifs.

La méthode de dilution se prête à un écoulement turbulent où le brassage permettra de bien mélanger la solution contenant le traceur dans le cours d'eau. Le débit de l'injection doit être constant. Il ne doit pas se produire de perte de traceur entre les points d'injection et les points de contrôle. Il ne doit pas non plus y avoir d'ajout ou de perte d'eau entre ces points. L'échantillon de contrôle est prélevé en aval, à une distance suffisante pour que l'homogénéisation soit complète. Une homogénéisation plus ou moins efficace peut mener à un biais important. Il est nécessaire de prélever à intervalles réguliers au moins 20 échantillons de contrôle pendant la période où le plateau de concentration maximale est atteint.

Il est à noter qu'il est également possible, en appliquant la méthode de dilution d'un traceur à différents débits (petits, moyens, grands), d'établir une courbe hauteur-débit qui peut servir

de la même manière que dans la méthode de détermination aire-vitesse décrite précédemment.

Tableau 24 : Avantages et inconvénients de la méthode par dilution

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Applicable à divers types d'écoulement : en conduite sous pression, en conduite fermée ou en canal ouvert.	<ul style="list-style-type: none">• Délai pour l'obtention du débit.• Implique beaucoup de manipulations et des analyses en laboratoire.• Coût associé à l'application de la méthode élevé (firme spécialisée).

Le MDDEP a adopté, en mars 2007, un protocole d'application de la méthode de mesure de débit par dilution d'un traceur à débit constant qui décrit une façon d'effectuer correctement une mesure ponctuelle de débit en canal ouvert. Ce protocole se trouve à la section 5.1.3 du cahier 7 du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale* précédemment cité.

Détermination du temps de parcours

Cette méthode consiste à injecter rapidement un volume important d'un traceur et à déterminer la vitesse moyenne de déplacement de ce traceur sur une distance donnée. L'aire de la section mouillée ne doit pas varier sur la distance parcourue par le traceur. La méthode se prête donc davantage aux conduites ou aux canaux qu'aux cours d'eau naturels. L'écoulement doit être constant sur toute la distance parcourue par le traceur et préférablement laminaire. Il ne doit pas y avoir d'ajout ou de perte d'eau entre le point d'injection et le point situé à la fin de la distance parcourue. La marge d'erreur théorique de cette méthode est de $\pm 3\%$

Le débit est obtenu selon la formule suivante :

$$Q = (D_p \times A) \div t_p$$

où :

Q : débit du courant d'eau

D_p : distance parcourue par le traceur

A : aire de la section mouillée

t_p : temps de parcours entre l'injection et le passage du point central du nuage au point de contrôle

Cette méthode est décrite à la section 5.1.2 du cahier 7 du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale*.

Tableau 25 : Avantages et inconvénients de la méthode du temps de parcours

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Applicable à divers types d'écoulement : en conduite sous pression, en conduite fermée ou en canal ouvert.• La perte de traceur n'altère pas les résultats.• Applicable à de grands débits.• Requiert une petite quantité de traceur.• Applicable là où l'accessibilité est réduite.• Aucun besoin d'appareils sophistiqués ou de mesures précises en laboratoire.	<ul style="list-style-type: none">• Donne un débit instantané seulement.• La section transversale et le courant doivent être uniformes.• Requiert une mesure précise de l'aire d'écoulement.• Requiert un calcul précis du temps entre le point d'injection et le point de contrôle.• La méthode doit être appliquée avec minutie.

3.1.3 Méthode de mesure volumétrique

La méthode de mesure volumétrique peut être utilisée pour des mesures de volume ponctuelles, lorsque le débit est stable (le plus souvent pour de petits volumes, soit inférieurs à 1,5 m³/s). Elle consiste à remplir un contenant de forme régulière dont le volume est connu avec une grande précision et à chronométrer le temps requis pour son remplissage. Pour des volumes plus importants, on peut utiliser une échelle graduée sur la paroi du réservoir ou une jauge de niveau afin d'effectuer des lectures ponctuelles. Cette méthode est l'une des plus précises, de l'ordre de ± 1 %.

On trouve quelques applications de la méthode de mesure volumétrique à la section 5.2 du cahier 7 du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale* cité précédemment.

Tableau 26 : Avantages et inconvénients de la méthode de mesure volumétrique

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Grande exactitude des résultats.• Faible coût.• Obtention rapide du débit.	<ul style="list-style-type: none">• Nécessite de grands réservoirs lors de la mesure de forts débits.

3.1.4 Méthode de Manning

La méthode de Manning (méthode de la pente de la ligne d'eau) est une méthode par laquelle on peut déterminer le débit d'un écoulement à surface libre sans installer d'élément primaire puisque, dans ce cas particulier, c'est la conduite qui sert d'élément primaire. Le

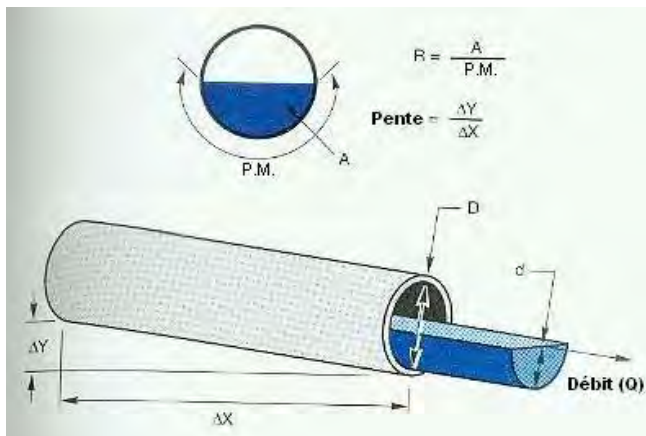
débit est calculé à partir de mesures ponctuelles de niveaux d'eau prises manuellement ou enregistrées en continu avec un élément secondaire. L'utilisation de la méthode est fortement limitée par le fait qu'elle exige, pour de meilleurs résultats, une conduite rectiligne et de pente constante en amont du point de mesure sur au moins 60 m (idéalement sur 300 m). De plus, pour assurer une exactitude acceptable, la conduite devrait être uniforme en rugosité, dépourvue de contractions ou d'expansions, d'affluents, d'obstacles ou d'autres éléments perturbant l'écoulement.

Si l'écoulement est gravitaire, l'aire mouillée, uniforme, et la pente de la conduite et la rugosité de la paroi interne de cette dernière, connues, le débit peut ainsi être estimé à partir de la formule suivante :

$$Q = (K \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2}) \div n$$

où :

- Q : débit
- K : constante (selon les unités, voir plus bas)
- A : aire mouillée
- R : radiant hydraulique (aire mouillée ÷ périmètre mouillé)
- S : pente
- n : coefficient de rugosité
(selon le matériau de la conduite, voir tableau 27)



Constante K

Pieds cubes par seconde :	1,49
Gallons par minute :	669
Litres par seconde :	1
Mètres cubes par heure :	0,963

Figure 36. Paramètres à considérer dans la formule de Manning (conduite circulaire)

Tableau 27 : Quelques coefficients de rugosité de Manning⁴

4. Pour une liste plus exhaustive des coefficients de rugosité, consulter : John A. Replogle et Diane K. Walkowiak. *Isco Open Channel Flow Measurement Handbook*, sixième édition, ISBN 0-9622757-3-5.

Guide de soutien technique pour la clientèle
Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau

TYPE D'ÉLÉMENT PRIMAIRE		Minimum	Normale	Maximum
Conduite métallique				
Acier	Joint soudé	0,010	0,012	0,014
	Riveté et en spirale	0,013	0,016	0,017
Fonte	Peinte	0,010	0,013	0,014
	Non peinte	0,011	0,014	0,016
Fer forgé	Noir	0,012	0,014	0,015
	Galvanisé	0,013	0,016	0,017
Ondulé	Drain souterrain	0,017	0,019	0,021
	Drain pluvial	0,021	0,024	0,030
Conduite non métallique				
Acrylique		0,008	0,009	0,010
Verre		0,009	0,010	0,013
Argile	Tuile commune de drainage	0,011	0,013	0,017
	Vitrifiée	0,011	0,014	0,017
Brique	Glacée (vitrifiée)	0,011	0,013	0,015
	Recouverte de ciment	0,012	0,015	0,017
Béton	Dalot ou ponceau propre	0,010	0,011	0,013
	Non fini – moule d'acier	0,012	0,013	0,014
	Non fini – moule de bois sablé	0,012	0,014	0,016
	Non fini – moule de bois non sablé	0,015	0,017	0,020
Canal métallique				
Métal	Lisse, peint	0,011	0,012	0,014
	Lisse, non peint	0,012	0,013	0,017
	Ondulé	0,021	0,025	0,030
Canal non métallique				
Ciment	Lisse	0,010	0,011	0,013
	Mortier	0,011	0,013	0,015
Béton	Fini à la truelle	0,011	0,013	0,015
	Fini à la planche	0,013	0,015	0,016
	Fini avec gravier sur le fond	0,015	0,017	0,020
	Non fini	0,014	0,017	0,020
Asphalte	Lisse	0,013	0,013	s.o.
	Rugueux	0,016	0,016	s.o.

Cette méthode exige un entretien rigoureux de la conduite, tant externe qu'interne. Parce que la rugosité et le coefficient hydraulique risquent de varier avec le temps (accumulation de tartre, de limon, etc.), un étalonnage précédant l'utilisation de la formule, ensuite effectué minimalement une fois par année, s'impose. Celui-ci consistera en une vérification de l'exactitude de la formule avec une autre méthode de mesure telle que la méthode

volumétrique. Il s'agira alors d'appliquer un facteur de correction à la formule. Parce que l'exactitude du débit estimé dépend de paramètres parfois difficiles à déterminer (ex. : pente du gradient hydraulique) et parce que le coefficient de rugosité demeure une estimation de la friction réellement exercée sur l'écoulement, le débit obtenu n'est qu'une approximation dont la marge d'erreur se situe entre $\pm 10\%$ à 20% .

Par conséquent, en raison des incertitudes inhérentes à la méthode, la formule de Manning ne devrait être utilisée que dans le cas où d'autres méthodes plus précises telles que la détermination aire-vitesse ne peuvent être utilisées. Une application en fossé à ciel ouvert, en chenal très large ou à de très faibles pentes n'est pas possible puisque l'incertitude peut alors atteindre 50% .

Tableau 28 : Avantages et inconvénients de l'utilisation de la formule de Manning

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Aucune installation requise.• Obtention rapide du débit.• Coût très bas.	<ul style="list-style-type: none">• Exactitude peu élevée.• Besoin d'une longue section rectiligne en amont de la mesure.• Entretien rigoureux de la conduite nécessaire.• Application restreinte.

3.2 Mesures indirectes

3.2.1 Mesure du temps de pompage

Lorsqu'une pompe est utilisée, on peut mesurer le temps de son fonctionnement pour estimer le débit de l'eau prélevée. Le temps de pompage, soit l'intervalle entre le démarrage et l'arrêt de la pompe (ou à l'intérieur de la période de pompage visée par l'estimation), est mesuré alors que le volume pompé est estimé à partir du rendement de la pompe. Pour établir le rendement de la pompe, on doit l'étalonner sur place en dressant une courbe « temps-volume pompé » qui fournira un débit d'étalonnage. Il est à noter que les courbes théoriques fournies par le fabricant ne peuvent être utilisées pour les estimations, car elles ne tiennent compte que des caractéristiques techniques standards de la pompe. Ces courbes ont un pourcentage d'imprécision *in situ* pouvant atteindre 20% .

L'exactitude du débit estimé dépend uniquement de la qualité de l'étalonnage, qui elle-même dépend de l'exactitude de la mesure du volume et du temps de pompage. L'étalonnage sur place de la pompe permet de restreindre la marge d'erreur à environ $\pm 5\%$.

Établissement de la courbe d'étalonnage

La courbe d'étalonnage doit être représentative des conditions effectives de fonctionnement et d'installation. Par conséquent, pour dresser une courbe d'étalonnage, on doit faire fonctionner la pompe sur place, tout en mesurant le temps et le volume pompé, à courts

intervalles, sur une période d'une durée suffisante pour atteindre le régime permanent de pompage et le maintenir pendant cinq minutes.

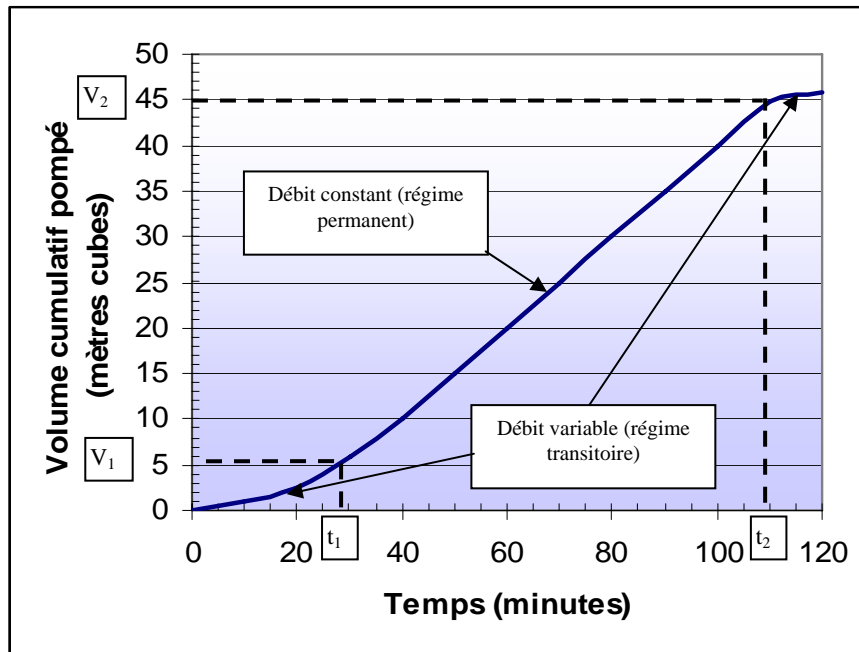


Figure 37. Exemple de courbe d'étalonnage d'une pompe

Un minimum de trois essais est requis. L'écart entre chacun des essais, pris à un même moment (par exemple à 10 minutes de pompage), ne doit pas être supérieur de 5 % à la moyenne des trois mesures de volume. Sinon, tous les essais doivent être repris. Dans le cas où les résultats demeurent insatisfaisants, cela signifie que le débit de la pompe n'est pas constant d'un prélèvement à l'autre et que cette méthode ne peut être appliquée. Si plusieurs pompes fonctionnent en parallèle, une courbe d'étalonnage par pompe est requise pour toutes les possibilités de régime de pompage et le temps de pompage doit être mesuré pour chacune de celles-ci.

La moyenne des trois essais est reportée sur un graphique (figure 37) ou une table « temps-volume pompé ».

Estimation des volumes pompés

Pompage intermittent

Lorsque le fonctionnement de la pompe est intermittent, le volume total pompé correspond à la somme des volumes pompés durant chacune des périodes de prélèvement. Le calcul du volume total pompé s'effectue comme suit :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

où :

V : volume débité par la pompe

NOTE :

Si la période de fonctionnement de la pompe est supérieure à la période couverte par la courbe d'étalonnage, une extrapolation de la courbe est possible, pour la période où le régime est permanent.

Pompage continu

En régime permanent, le calcul du volume d'eau prélevée se résume à la relation suivante :

$$V = Q_p \times t_p$$

où :

V : volume débité par la pompe

Q_p : débit d'étalonnage de la pompe en régime permanent

t_p : temps de pompage

Le débit d'étalonnage de la pompe en régime permanent correspond à la valeur de la pente sur la courbe d'étalonnage, soit :

$$Q_p = (V_2 - V_1) \div (t_2 - t_1)$$

où :

V_1 et V_2 : volume total prélevé aux temps t_1 et t_2

t_1 : temps correspondant au début du régime permanent

t_2 : temps correspondant à la fin du régime permanent

Équipement de mesure et d'enregistrement

Le temps de fonctionnement de la pompe peut être comptabilisé à l'aide d'une minuterie ajoutée au système de contrôle de la pompe et reliée à un enregistreur automatique ou à un ordinateur pour déterminer le volume total pompé.

Des exemples de ces appareils sont illustrés à la figure 38.



Figure 38. Minuteries et enregistreurs de données

On trouve les détails de cette méthode à la section 5.3 du cahier 7 du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale*.

Entretien et étalonnage

Il faut s'assurer de bien respecter les exigences du fabricant telles que la hauteur minimale d'aspiration (*net positive suction head*), la qualité de l'eau à pomper, l'alignement ainsi que les diamètres des conduites d'aspiration et de refoulement.

Une vérification de l'exactitude, pouvant mener à l'établissement d'une nouvelle courbe d'étalonnage, est exigée au moins une fois par année par le MDDEP. La pompe doit également être étalonnée à la suite de son installation, d'une réparation et de toute modification pouvant avoir une incidence sur le régime de pompage.

3.3 Comparaison des méthodes de mesure pour l'estimation des débits

Le tableau suivant réunit les renseignements relatifs aux méthodes de mesure reconnues par le MDDEP pour l'estimation des débits.

Tableau 29 : Caractéristiques et conditions d'application des méthodes de mesure reconnues pour l'estimation des débits

Méthodes de mesure	Conduites sous pression			Écoulement à surface libre				
	Dilution	Temps de parcours	Temps de pompage	Détermination aire-vitesse	Dilution	Temps de parcours	Volumétrie	Manning
Marge d'erreur théorique	±1 %	±3 %	±5 %	<10 %	±1 %	±3 %	±1 %	10 % à 20 %
Conditions d'écoulement en amont du point d'injection ou de la station de mesure	S. O.	S. O.	S. O.	Bonne répartition des vitesses	S. O.	S. O.	S. O.	Rectiligne sur 60 m et gravitaire
Conditions d'écoulement en aval du point d'injection ou de la station de mesure	Pas de zone morte, vortex ou réservoir	Pas de zone morte, vortex ou réservoir	S. O.	S. O.	Pas de zone morte, vortex ou réservoir	Pas de zone morte, vortex ou réservoir	S. O.	Écoulement libre
Chenal étroit ou petite conduite	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Chenal large ou grosse conduite	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Écoulement laminaire	Non	Non	S. O.	Oui	Non	Non	S. O.	Oui
Écoulement turbulent	Oui	Oui	S. O.	Oui	Oui	Oui	S. O.	Oui
Faible débit	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Fort débit	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Nécessite un élément primaire	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Sensible à la qualité de l'eau	Oui (MES)	Oui (MES)	Non	Oui (débris, MES)	Oui (débris, MES)	Oui (débris, MES)	Non	Non

4. L'ÉCHANTILLONNAGE DES MESURES PONCTUELLES

Si le préleveur opte pour la réalisation de mesures ponctuelles afin d'estimer le volume d'eau qu'il prélève, transfère ou rejette chaque mois, les données récoltées au cours du mois devront faire l'objet d'un calcul afin de déterminer le volume d'eau total mensuel prélevé, transféré ou rejeté. L'article 18 du règlement précise que la différence entre le résultat de l'estimation mensuelle calculée et la valeur réelle, soit le volume qui aurait été mesuré en continu par un équipement de mesure conforme aux exigences du règlement, ne doit pas dépasser 25 %.

Ce chapitre énonce dans un premier temps les principes de base de l'échantillonnage de mesures ponctuelles et présente ensuite un outil d'analyse statistique permettant de déterminer, selon le contexte de prélèvement, une fréquence de prise de mesures adéquate qui permettra d'atteindre cet objectif.

4.1 Paramètres statistiques influant sur le niveau de confiance de l'estimation

Une estimation basée sur des mesures ponctuelles doit supposer qu'un nombre limité de données mesurées (représentant l'échantillon statistique) permet de déterminer avec plus ou moins de certitude la valeur d'un ensemble de données non mesurées (représentant la population). Plus le nombre de données récoltées augmente (taille de l'échantillon), plus le résultat issu du calcul d'estimation s'approche de la vraie valeur. De plus, pour être représentatif, l'échantillonnage doit s'échelonner jusqu'aux limites de la population, définies, dans le cas présent, par le début et la fin de la période de l'écoulement. Le nombre de mesures prises au cours de la période est déterminé par la fréquence (ou encore l'intervalle, qui est le temps entre deux mesures successives). La sélection adéquate de la fréquence-intervalle et de la période des mesures ponctuelles est déterminante pour le niveau de confiance de l'estimation. La figure suivante illustre cet énoncé :

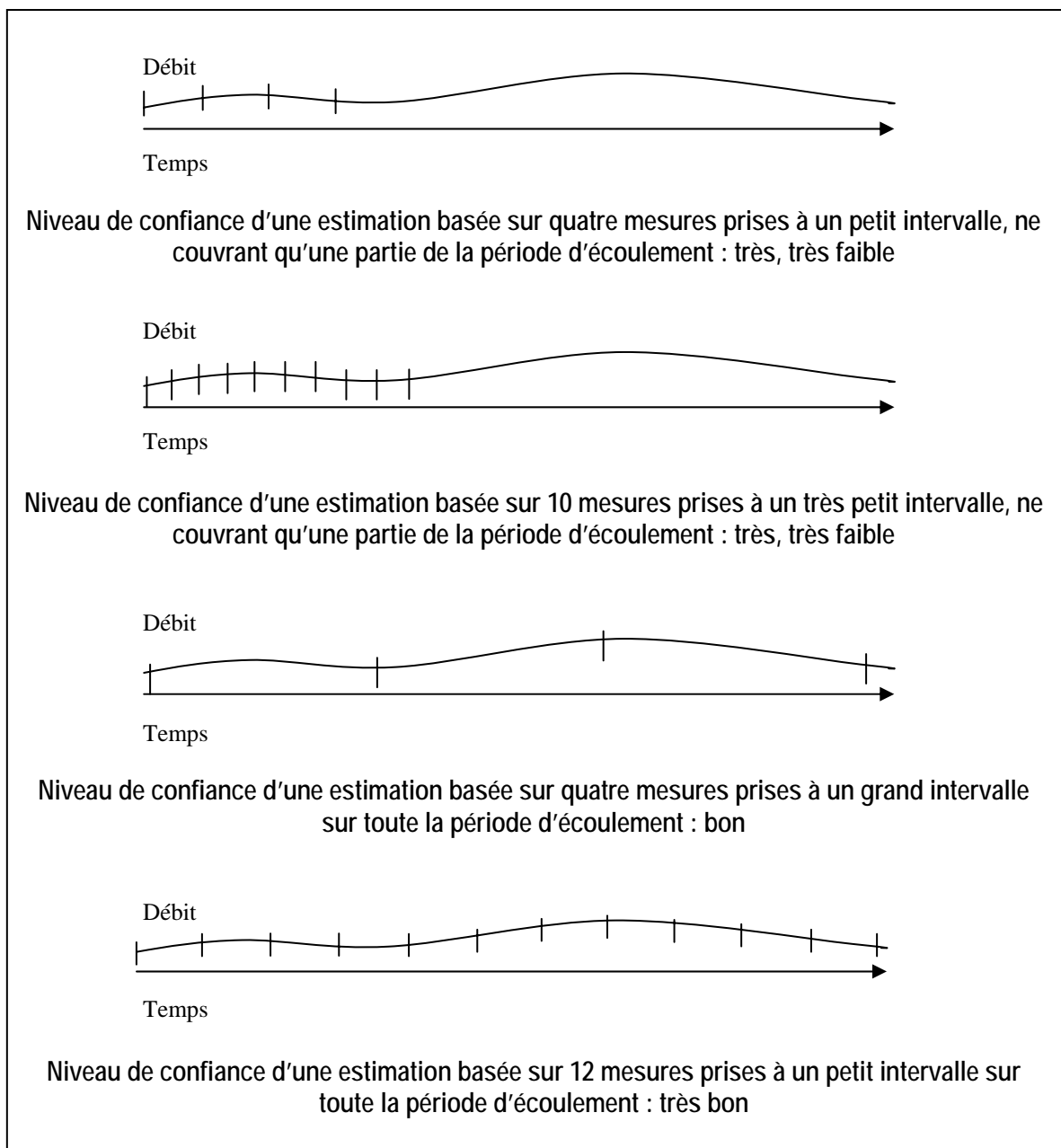


Figure 39. Niveaux de confiance selon la variation des paramètres fréquence, intervalle et période

L'exemple de la Figure 39, qui fait varier la fréquence (et l'intervalle) des mesures et la période couverte par l'échantillonnage, démontre que la meilleure estimation est celle qui se base sur le **plus grand nombre de mesures (fréquence la plus élevée)** (donc à un court intervalle), et ce **sur toute la période d'écoulement** (aux limites de la population). À ce sujet, l'article 17 du Règlement stipule que « la fréquence de la prise de mesures doit être établie en fonction de la variabilité du volume prélevé dans le jour ou dans le mois en cours ».

4.2 Détermination de la fréquence minimale de la prise de mesures

4.2.1 Prévisibilité de l'écoulement

Le nombre de mesures à effectuer (ou la valeur de l'intervalle) peut être modifié à la baisse en fonction du caractère prévisible du débit d'écoulement. Cette prévisibilité repose sur la régularité des variations dans le temps et dans leur amplitude. En effet, plus les variations sont irrégulières dans le temps et en amplitude, moins le débit est prévisible et plus le nombre de mesures doit être élevé afin de conserver un niveau de confiance de l'estimation acceptable. Inversement, plus les variations sont régulières dans le temps et en amplitude, plus le débit est prévisible et moins des mesures sont nécessaires. Ainsi, si le débit ne varie jamais au cours d'une période de prélèvement donnée, une seule mesure par mois pourrait mener à une estimation suffisamment précise de toute la période d'écoulement de l'eau. La figure suivante illustre cet énoncé :

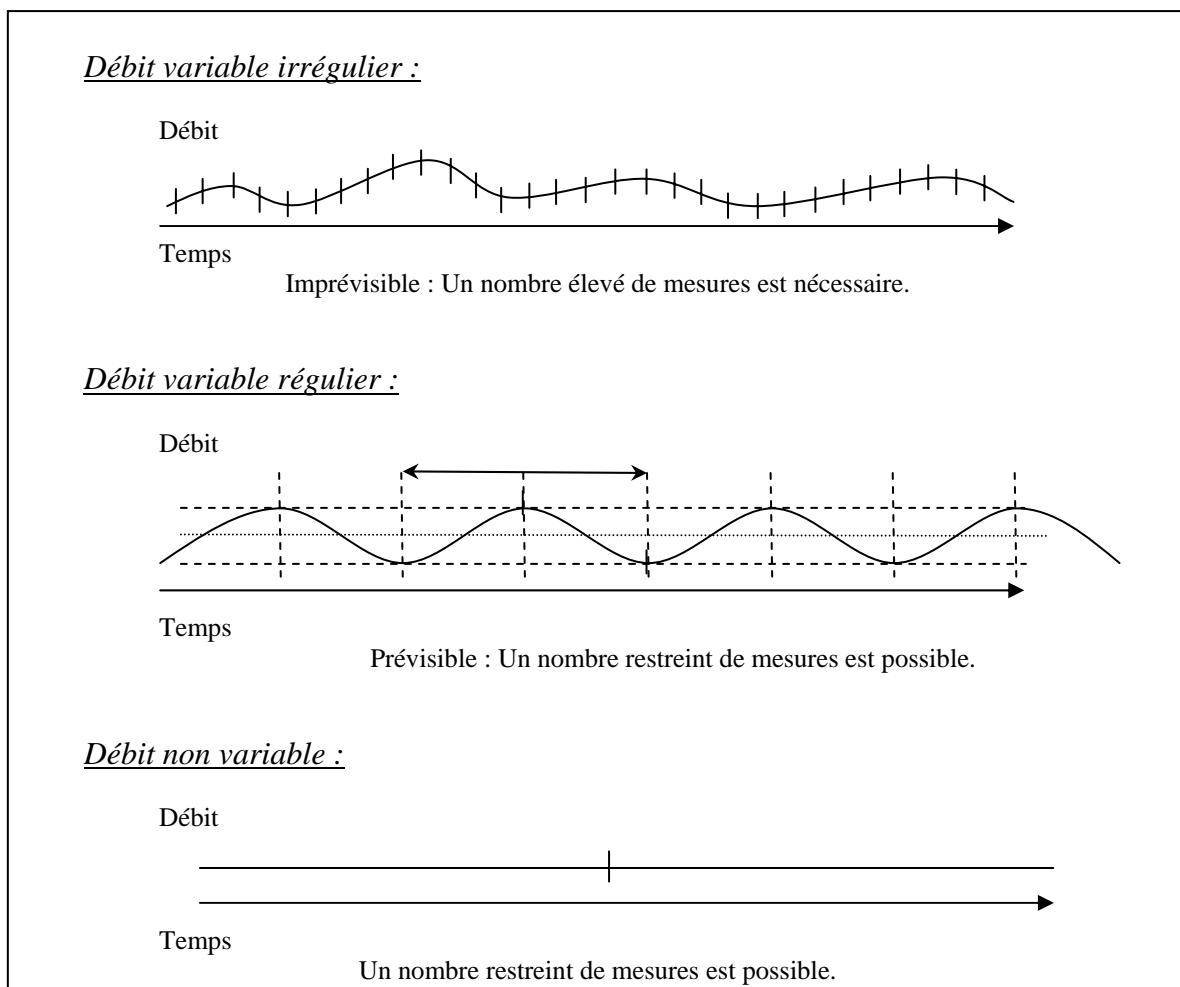


Figure 40. Ajustement de la fréquence des mesures en fonction de la variabilité de l'écoulement de l'eau

Lorsque le débit varie de façon telle que plus d'une mesure par jour est nécessaire en raison d'un débit variable, l'installation d'un équipement de mesure en continu est fortement recommandée, voire indispensable.

4.2.2 Caractérisation du régime d'écoulement et détermination de la fréquence minimale de la prise de mesures

Comme nous l'avons démontré précédemment, il est possible de réduire, sans altérer le niveau de confiance de l'estimation, le nombre de prises de mesures, à condition que le débit de prélèvement soit prévisible, c'est-à-dire quand :

- le débit est peu variable;
- la variation du débit est régulière, en amplitude et dans le temps.

Ceci suppose que l'on doit bien connaître le régime d'écoulement dans des conditions normales d'activité. Pour ce faire, il est nécessaire de mesurer *in situ*, sur une période suffisamment longue pour être considérée comme étant représentative, le débit ou le volume d'eau prélevé.

Les deux méthodes d'analyse statistique présentées ci-dessous peuvent être appliquées afin de caractériser le régime d'écoulement et ainsi de déterminer si celui-ci est soit peu variable, soit à variation régulière. Elles associent également la fréquence minimale de la prise de mesures la plus adéquate selon cette variabilité, en ciblant une marge d'erreur de plus ou moins 10 % entre chaque mesure ponctuelle et la vraie valeur correspondante. Toute autre méthode équivalente pourra aussi être acceptée. De plus, il est à noter que le préleveur n'est pas obligé d'effectuer une caractérisation de son régime d'écoulement.

Si le caractère prévisible du prélèvement est vérifié, cela suppose pour le préleveur qu'il pourra éviter l'installation permanente d'un équipement de mesure en continu et effectuer des mesures ponctuelles qui seront considérées comme étant suffisamment fiables et représentatives du volume réel prélevé au cours du mois. Dans le cas contraire, le préleveur sera sans doute contraint, pour être en mesure de fournir au MDDEP des résultats acceptables, d'installer un tel équipement, comme cela est stipulé à l'article 18.

Il est recommandé que la caractérisation du régime d'écoulement soit effectuée par un professionnel compétent en la matière. Une copie du rapport de caractérisation devra être conservée chez le préleveur, car ce rapport est considéré comme une pièce justificative au sens de l'article 9 du règlement. Dans le cas où le régime d'écoulement est significativement modifié, en raison, par exemple, d'un changement dans les activités ou dans la nature de l'équipement de prélèvement utilisé, il pourrait être nécessaire de faire une nouvelle caractérisation.

Débit peu variable

Cette méthode permet, dans le cas d'un régime d'écoulement considéré peu variable, de réduire la fréquence de la prise de mesures à un minimum d'une fois par semaine.

Pour déterminer la fréquence minimale (soit l'intervalle maximal) de la prise de mesures qui donnera des résultats représentatifs du prélèvement, on doit déterminer la variabilité du débit selon différents intervalles, allant du plus court intervalle au plus long. Pour effectuer cette vérification, une série de mesures *in situ* est requise. L'indicateur utilisé pour évaluer la variabilité (dispersion) des mesures est le coefficient de variation (CV), qui représente, en pourcentage, le rapport de l'écart-type divisé par la moyenne des observations effectuées.

$$CV = (\sigma \div \bar{Q}) \times 100$$

où :

CV : coefficient de variation

σ : écart-type de la population

Q : débit

NOTE :

Le paramètre « débit » de cette équation peut tout aussi bien être remplacé par le paramètre « volume », qui est le débit multiplié par la valeur de l'intervalle.

1- Variabilité intrajournalière

Le débit est mesuré au moins une fois l'heure pendant au moins deux semaines consécutives d'écoulement.

S'il est démontré que, chaque jour, le coefficient de variation des mesures de débit n'est pas supérieur à 5 %, le débit intrajournalier sera considéré comme étant peu variable. Une fréquence d'une mesure par jour, à intervalles réguliers, pourra être effectuée.

2- Variabilité interjournalière

Le débit est mesuré à intervalles réguliers au moins trois fois par jour pendant au moins trois semaines consécutives d'écoulement.

- a. Si la condition énoncée au point 1 est respectée ET qu'il est démontré que, sur une moyenne mobile de trois jours consécutifs d'écoulement, le coefficient de variation des mesures de débit n'est pas supérieur à 5 %, le débit interjournalier sur trois jours sera considéré comme étant peu variable. Une

fréquence de deux mesures par semaine, à intervalles réguliers, pourra être effectuée.

- b. Si la condition énoncée en 2a est respectée ET qu'il est démontré que chaque semaine le coefficient de variation des mesures de débit n'est pas supérieur à 5 %, le débit interjournalier sera considéré comme étant peu variable. Une fréquence d'une mesure par semaine, à intervalles réguliers, pourra être effectuée.

Débit à variation régulière

Cette méthode permet, dans le cas d'un régime d'écoulement considéré à variation régulière, de réduire la fréquence de la prise de mesures à un minimum de huit fois par cycle. La période couverte par un cycle est propre au site d'écoulement.

Un débit à variation régulière, en amplitude et dans le temps, décrit une courbe sinusoïdale. Pour déterminer cette courbe, une série de mesures *in situ* est requise (au moins huit par cycle). La prise de mesures sur une plus grande période permettra de cibler des variations sur des intervalles plus longs, qui ne pourraient être décelées dans une plus courte période de temps.

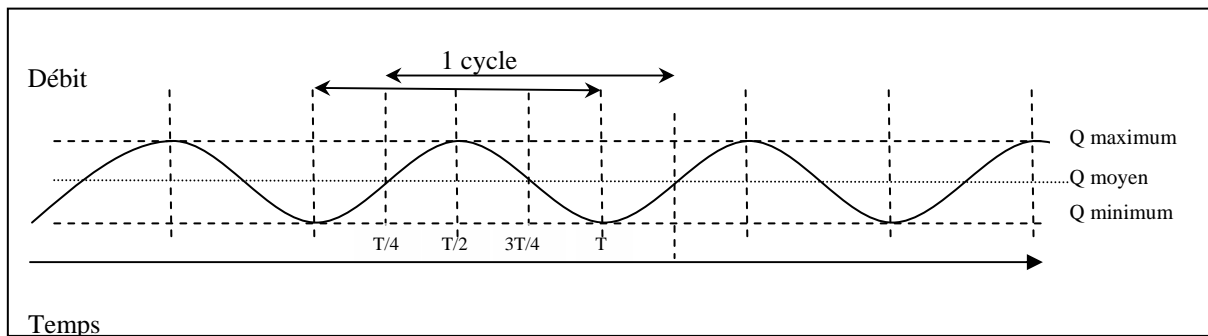


Figure 41. Débit dont la variation correspond à une courbe sinusoïdale

La courbe sinusoïdale répond à la formule suivante :

$$Q = \bar{Q} + Q_{\max} \times \sin (2\pi \times f \times t),$$

ou alors

$$Q = \bar{Q} + Q_{\max} \times \sin (2\pi \div T \times t)$$

où :

Q : débit au temps t (débit instantané) (ex. : m³)

Q_{max} : débit maximal (amplitude) (ex. : m³/h)

t : temps depuis le début du prélèvement (ex. : n^{bre} d'heures)

f : fréquence (ex. : n^{bre} de cycles par heure). La fréquence vaut 1/T

T : temps requis pour accomplir un cycle

1- Régularité intrajournalière

Le débit est mesuré en continu pendant au moins deux semaines consécutives d'écoulement.

S'il est démontré que, chaque jour, les mesures de débit décrivent une courbe sinusoïdale – c'est-à-dire, d'une part, qu'elles répondent à une fonction périodique et, d'autre part, que cette fonction passe par la moyenne au temps T/4 et 3T/4, à un seuil maximal à un temps T/2 et minimal à un temps T pendant au moins trois cycles successifs complets (figure 41) –, alors le débit intrajournalier sera considéré comme étant à variation régulière.

Pendant une durée correspondant au temps T, soit la période requise pour accomplir un cycle d'écoulement, huit mesures effectuées à intervalles constants sont requises pour le calcul de l'estimation.

2- Régularité interjournalière

Le débit est mesuré en continu pendant trois semaines consécutives d'écoulement.

a. S'il est démontré que, pour chaque groupe de trois jours, les mesures de débit décrivent une courbe sinusoïdale – c'est-à-dire, d'une part, qu'elles répondent à une fonction périodique et que, d'autre part, cette fonction passe par la moyenne au temps T/4 et 3T/4, à un seuil maximal à un temps T/2 et minimal à un temps T pendant au moins trois cycles successifs complets (figure 41) –, alors le débit interjournalier sur trois jours sera considéré comme étant à variation régulière.

Pendant une durée correspondant au temps T, soit la période requise pour accomplir un cycle d'écoulement, huit mesures effectuées à intervalles constants sont requises pour le calcul de l'estimation.

b. S'il est démontré que, chaque semaine, les mesures de débit décrivent une courbe sinusoïdale – c'est-à-dire, d'une part, qu'elles répondent à une fonction périodique et que, d'autre part, cette fonction passe par la moyenne au temps T/4 et 3T/4, à un seuil

maximal à un temps $T/2$ et minimal à un temps T pendant au moins trois cycles successifs complets (Figure 41) –, alors le débit interjournalier hebdomadaire sera considéré comme étant à variation régulière.

Pendant une durée correspondant au temps T , soit la période requise pour accomplir un cycle d'écoulement, huit mesures effectuées à intervalles constants sont requises pour le calcul de l'estimation.

Dans tous les cas et comme l'exige le règlement, la fréquence minimale de la prise de mesures ponctuelles est d'une fois par mois. Pour que cela soit possible, il faut avoir démontré que le régime d'écoulement est prévisible, c'est-à-dire soit qu'il est peu variable pendant plusieurs semaines consécutives, soit que sa variation est régulière. Malgré cela, la prise d'au moins une mesure par semaine est fortement recommandée.

5. LE CALCUL DU VOLUME MENSUEL

5.1 Formule générale

À moins de disposer d'un équipement totalisateur, le calcul suivant doit être effectué afin d'obtenir le volume total mensuel prélevé :

$$V_{\text{mensuel}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

où :

V : volume (en m³)

n : taille de l'échantillon

Chaque valeur de volume mesurée, V₁, V₂, V₃ jusqu'à V_n, doit être associée à l'intervalle où elle a été mesurée. Ainsi, si l'intervalle est d'un jour, V₁ est le volume total prélevé pendant le premier jour du mois.

Si la valeur mesurée est un débit, chaque volume associé à un intervalle est le suivant :

$$V_1 = Q_1 \times T_1$$

où :

Q : débit (ex. : en m³/h)

T : intervalle associé (ex. : en heures)

Si la valeur de débit est une valeur instantanée, le calcul mène nécessairement à une estimation. Si la valeur de débit est la moyenne des débits pour l'intervalle qui lui est associé, le calcul mène à une valeur de volume réelle.

NOTES :

- 1- Si la valeur de débit est en pi³/s, elle doit être multipliée par 0,0283 afin d'être convertie en m³/s.
- 2- Si c'est la masse de l'eau qui est mesurée, elle doit être convertie en litres ou en mètres cubes en tenant pour acquis qu'un litre d'eau douce liquide a un poids de 1 kg et qu'un mètre cube pèse 1 000 kg ou une tonne métrique, puisqu'il y a 1 000 litres dans un mètre cube.

5.2 Détermination des débits selon le type d'écoulement

Lorsqu'un débit doit être calculé, la formule générale à utiliser est la suivante :

$$Q = v \times A$$

où :

v : vitesse d'écoulement (ex. : m/s)

A : aire de la section mouillée perpendiculaire à l'écoulement (ex. : en m²)

En conduite fermée sous pression, seule la vitesse v est variable. A est une constante et correspond à πr^2 , où r est le rayon interne de la conduite. En mesurant v uniquement, on détermine facilement le débit Q .

En conduite où l'écoulement est à surface libre, v et A sont tous deux variables. On doit donc mesurer à la fois v et A pour trouver Q . Une des façons simples et rapides de déterminer Q dans ces conditions consiste à utiliser des tables préétablies où, selon les caractéristiques de l'élément primaire utilisé, la hauteur d'eau est corrélée à des valeurs de débit. Les tables contenues dans le manuel *Isco Open Flow Measurement Handbook*, de Douglas M. Grant et Brian D. Dawson (sixième édition ou édition plus récente), peuvent être utilisées à cette fin.

6. LA DÉTERMINATION DE LA MARGE D'ERREUR

Lorsque des mesures en continu sont effectuées, la marge d'erreur n'est associée qu'à l'installation de mesure. Lorsque des estimations sont effectuées, la marge d'erreur est reliée à la fois à la qualité de l'installation et à l'exactitude du calcul d'estimation statistique utilisé.

Lorsque des mesures indirectes sont réalisées, le type de paramètre mesuré et corrélé au débit peut aussi être une source additionnelle d'incertitude.

D'autres sources d'erreurs peuvent aussi être introduites lorsque :

- des mesures sont manquantes;
- des erreurs de transcription des résultats surviennent;
- des erreurs de conversion de données se produisent (ex. : unités de mesure), etc.

6.1 Erreur des mesures en continu

L'article 12 du règlement dresse la liste des méthodes (y compris les types d'équipements de mesure) considérées par le MDDEP comme étant adéquates, en conditions normales d'activité, pour déterminer le débit ou le volume prélevé.

Par ailleurs, le même article stipule que la différence entre le volume mesuré par l'équipement de mesure et le volume mesuré par l'une des méthodes énumérées à l'article 12 ne doit pas dépasser 10 %. Mentionnons qu'en présence d'une installation comprenant un élément primaire et secondaire il s'agira de s'assurer que l'installation entière se conforme à l'exigence du MDDEP.

La vérification de l'exactitude de l'équipement implique que, durant une période suffisante pour être considérée comme représentative, un équipement de mesure de type différent ou semblable à celui qui a été installé devra être utilisé en parallèle afin de mesurer le volume d'eau prélevé. Une vérification peut aussi être faite à l'aide d'une méthode de mesure ponctuelle acceptée par le MDDEP (voir quelques exemples au chapitre 4), à condition de comparer des résultats qui auront été mesurés au même moment. Le choix de la méthode ou de l'équipement étalon utilisé pour confirmer l'exactitude de l'équipement en place devrait se porter sur celui qui a la meilleure précision, la marge d'erreur nominale ne devant pas dépasser $\pm 2,5$ %. À cet effet, on a souvent recours à la méthode volumétrique.

La marge d'erreur des mesures en continu est calculée comme suit :

$$\% \text{ Erreur} = [1 - (V_{\text{é.p.}} \div V_{\text{é.é.}})] \times 100$$

où :

$V_{\text{é.p.}}$: volume total mesuré par l'équipement en place

$V_{\text{é.é.}}$: volume total mesuré par l'équipement ou la méthode étalon

NOTES :

1. V peut être remplacé dans l'équation par Q moyen.
2. Lorsque la situation le permet, il est préférable d'utiliser un équipement de mesure différent de celui qui est installé.

6.2 Erreur des estimations

L'article 18 du règlement précise que la différence entre le volume mensuel estimé et le volume réel ne peut dépasser 25 %. Bien que le règlement n'ait fixé aucune fréquence de vérification de l'exactitude de l'estimation, il est recommandé qu'une telle vérification soit effectuée dès le début des estimations et ensuite à une fréquence d'une fois par année.

Cette vérification se fait de la même façon qu'en 6.1, à l'exception que le volume, comparé au résultat de l'appareil étalon (volume réel), provient d'une estimation. La période de la mesure en continu doit durer au moins un mois afin de comparer deux résultats mensuels. L'erreur s'exprime comme suit :

$$\% \text{ Erreur} = 1 - (V_{e.s.} \div V_{é.é.}) \times 100$$

où :

$V_{e.s.}$: volume de l'estimation

$V_{é.é.}$: volume de l'équipement ou de la méthode étalon (volume réel)

7. RENSEIGNEMENTS GARDÉS À LA DISPOSITION DU MDDEP ET CONSERVATION DES DONNÉES

Tous les préleveurs visés par le Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau doivent être en mesure de fournir, à la demande d'un représentant autorisé du Ministère, les informations suivantes :

- L'information inscrite pour chaque prélèvement (prise d'eau) :
 - Pour une prise d'eau, transfert visé ou rejet visé impliquant un compteur ou un débitmètre sur un écoulement sous pression :
 - lecture à une fréquence appropriée du volume rapporté;
 - date et heure de la lecture du compteur;
 - volume quotidien calculé (lecture actuelle moins lecture précédente) en unité appropriée (litres par jour).
 - Pour un prélèvement d'eau, transfert visé ou rejet visé impliquant un élément primaire de mesure sans élément secondaire :
 - lecture du niveau d'eau dans le canal à une fréquence appropriée tenant compte de la variabilité du débit d'écoulement (voir section 4.2, « Détermination de la fréquence minimale de la prise de mesures »);
 - date et heure des lectures;
 - détermination du débit à partir des lectures précédentes en utilisant la table hauteur-débit ou la courbe hauteur-débit;
 - calcul du volume journalier en unité appropriée (mètres cubes par jour).
 - Pour un prélèvement d'eau, transfert visé ou rejet visé impliquant un élément primaire de mesure et un élément secondaire :
 - lecture à une fréquence appropriée du volume rapporté;
 - date et heure de la lecture;
 - volume quotidien calculé (lecture actuelle moins lecture précédente) en unité appropriée (litres par jour).
 - Pour une prise d'eau, transfert visé ou rejet visé impliquant l'utilisation de la méthode du temps de pompage :
 - débit théorique moyen ou débit d'étalonnage de la pompe;
 - temps de fonctionnement de la pompe;
 - calcul du volume journalier en unité appropriée (litres par jour).

Le préleveur doit pouvoir démontrer que l'information rapportée et enregistrée est précise et exacte. Aux fins de vérification par le MDDEP, l'information suivante doit également demeurer disponible :

- une copie de la description de la méthode de mesure utilisée comprenant la date, le lieu, la dimension, le nom du fabricant, le modèle et les autres renseignements pertinents sur l'équipement utilisé pour la mesure du volume ou du débit;
- si la méthode de calcul du temps de pompage est utilisée, le type de pompe, le lieu, la dimension, le nom du fabricant, le modèle et tout renseignement sur la courbe et le temps de fonctionnement de la pompe;
- si la méthode de détermination aire-vitesse est utilisée, la courbe hauteur-débit, la méthode de mesure du niveau d'eau et le certificat d'étalonnage du moulinet ou du courantomètre;
- si la méthode de dilution d'un traceur est utilisée, les certificats d'analyse des concentrations du traceur (initiale, diluée, etc.), de même que la méthode utilisée pour mesurer l'indice de récupération du traceur;
- tous les calculs ayant mené à une estimation des volumes prélevés;
- tous les rapports techniques fournis par un tiers relativement aux travaux de vérification, réparation, étalonnage ou estimation des volumes prélevés;
- un ou plusieurs registres, sur papier ou électroniques, où figurent toutes les interventions datées faites sur les équipements : bris et réparations, tests de vérification et étalonnages des compteurs, débitmètres, courbes d'étalonnage des pompes.

Toute exigence particulière, comme cela est stipulé dans le permis ou l'autorisation, doit être rapportée, enregistrée et gardée sur les lieux.

- S'il y a plainte ou impact résultant du prélèvement d'eau, le détenteur de permis doit rapporter l'information ainsi que la façon dont la résolution est faite;
- Le détenteur doit consigner la mesure du niveau statique des puits à intervalles réguliers;
- Le nombre de jours d'écoulement d'eau doit correspondre à ce qui est spécifié dans le permis;
- Le détenteur doit satisfaire les exigences d'écoulement telles que le nombre d'heures d'écoulement par jour et le volume maximal prélevé par jour.

Le préleveur devra donner accès en tout temps à un représentant du Ministère si une visite sur place est requise à des fins de vérification de l'équipement et de la méthode de détermination des volumes prélevés. Les données, les pièces justificatives et le registres doivent être conservés pour un période minimale de 5 ans.

RÉFÉRENCES

1. ARREGUI Francisco, Enrique jr CABRERA et Ricardo COBACHO. *Integrated Water Meter Management*, IWA Publishing, 2007.
2. AWWA Manual M33. *Flowmeters in Water Supply*, seconde édition, 2006.
3. AWWA Manual M6. *Water Meters – Selection, Installation, Testing, and Maintenance*, 1999.
4. AWWA Manual M22. *Sizing Water Service Lines and Meters*, sconde édition, 2004.
5. FCM, IC, CNRC. *Création d'un plan de comptage servant à comptabiliser la consommation et les pertes d'eau. Guide national pour des infrastructures municipales durables*, 2003.
6. EDGAR, Tim. *The Large Water Meter Handbook*, première édition, Flow Measurement Publishing, Dillsboro, NC, 1995.
7. Ville de Montréal. *Review of Current Best Practices*, ICI Water Metering Program, 2005.
8. Environnement Canada. *Document d'orientation pour les mesures de débit des effluents de mines de métaux*, [en ligne]. [<http://www.ec.gc.ca/nopp/docs/rpt/2MM4/fr/appa.cfm>] (consulté le 2 juin 2007).
9. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation. *Water Measurement Manual, A Water Resource Technical Publication*, [en ligne]. [<http://www.ec.gc.ca/nopp/docs/rpt/2MM4/fr/appa.cfm>] (consulté le 10 août 2011).
10. International Organization of Legal Metrology (OIML). *International Recommendation, R 49-1*, édition 2003.
11. Measurement Canada. *Specification for the Pattern Approval and Initial Inspection of Water Meters*, , MC-S-W-01.
12. Organisation internationale de normalisation (ISO). *Measurement of Water Flow in Fully Charged Closed Conduits – Meters for Cold Potable Water and Hot Water – International Standard*, troisième édition ISO 4064, 2005.
13. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale, cahier 7 : Méthodes de mesure du débit en conduit ouvert*, 2004.
14. REPLOGLE John A., et Diane K. WALKOWIAK. *Isco Open Channel Flow Measurement Handbook*, sixième édition, ISBN 0-9622757-3-5.
15. Organisation internationale de normalisation (ISO). [en ligne] [<http://www.iso.org/iso/fr/home.htm>] (consulté le 1^{er} avril 2009).

16. Organisation internationale de normalisation (ISO). *Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés*, Guide 99, ISO/IEC, 2007.

ANNEXE A

Liste des normes ISO applicables à la mesure de volumes ou de débits

Normes générales	
ISO/TR 8363:1997	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Lignes directrices générales pour la sélection de la méthode
ISO 5168:2005	Mesure de débit des fluides – Procédures pour le calcul de l'incertitude
ISO 7066-1:1997	Évaluation de l'incertitude dans l'étalonnage et l'utilisation des appareils de mesure du débit – Partie 1 : Relations d'étalonnage linéaires
ISO 7066-2:1988	Évaluation de l'incertitude dans l'étalonnage et l'utilisation des appareils de mesure du débit – Partie 2 : Relations d'étalonnage non linéaires
ISO 4006:1991	Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées – Vocabulaire et symboles
ISO 11631:1998	Mesure de débit des fluides – Méthodes de spécification des performances des débitmètres
ISO 1088:2007	Hydrométrie – Méthodes d'exploration du champ des vitesses à l'aide de moulinets – Recueil et traitement des données pour la détermination des incertitudes de mesurage du débit
ISO 4366:2007	Hydrométrie – Sondeurs à écho pour le mesurage de la profondeur de l'eau
ISO 3455:2007	Étalonnage des moulinets en bassins découverts rectilignes
ISO 3454:2008	Hydrométrie – Matériel de sondage et de suspension pour le mesurage direct de la profondeur
ISO 4373:2008	Hydrométrie – Appareils de mesure du niveau de l'eau
ISO/TS 24155:2007	Hydrométrie – Systèmes de transmission des données hydrométriques – Spécification des exigences des systèmes
Normes sur les mesures du débit dans un écoulement à surface libre	
ISO 772:1978	Mesurage du débit des liquides dans les canaux découverts – Vocabulaire et symboles
ISO 4373:2008	Hydrométrie – Appareils de mesure du niveau de l'eau
ISO 8368:1999	Déterminations hydrométriques – Mesure de débit dans les canaux découverts au moyen de structures – Lignes directrices pour le choix des structures
ISO 9826:1992	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Canaux jaugeurs Parshall et SANIIRI
ISO 4359:1983	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Canaux jaugeurs à col rectangulaire, à col trapézoïdal et à col en U
ISO 1438:2008	Hydrométrie – Mesure de débit dans les canaux découverts au moyen de déversoirs à paroi mince
ISO/TS 24154:2005	Hydrométrie – Mesure de la vitesse et du débit des rivières au moyen de profileurs à effet Doppler
ISO 3846:2008	Hydrométrie – Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs rectangulaires à seuil épais

*Guide de soutien technique pour la clientèle
Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau*

ISO 4377:2002	Déterminations hydrométriques – Mesure de débit dans les canaux découverts au moyen de structures – Déversoirs en V ouvert
ISO 4360:2008	Hydrométrie – Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs à profil triangulaire
ISO 8333:1985	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs – Déversoirs à seuil épais en V
ISO 4371:1984	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 non rectangulaires à déversement dénoyé (méthode approximative)
ISO 4374:1990	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Déversoirs horizontaux à seuil épais arrondi
ISO 748:2007	Hydrométrie – Mesurage du débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de moulinets ou de flotteurs
ISO/TR 9209:1989	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Détermination de la correction de câble immergé
ISO/TR 9823:1990	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthode d'exploration du champ des vitesses utilisant un nombre réduit de verticales
ISO 2537: 2007	Hydrométrie – Moulinets à élément rotatif
ISO 6416:2004	Hydrométrie – Mesure du débit à l'aide de la méthode ultrasonique (acoustique)
ISO 1070:1992 ISO 1070/Amd1:1997	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthode de la pente de la ligne d'eau
Normes sur les mesures du débit en conduite fermée	
ISO 4006-1977	Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées – Vocabulaire et symboles
ISO 4064-1	Compteurs d'eau potable - Spécifications
ISO 4064-2	Compteurs d'eau potable – Conditions d'installation
ISO 4064-3	Compteurs d'eau potable – Méthodes et matériels d'essai
ISO 9104	Mesure de débit des fluides dans des conduites fermées – Méthode d'évaluation de la performance des débitmètres électromagnétiques utilisés pour les liquides
ISO 13359	Mesurage du débit de liquides conducteurs dans les conduites fermées – Débitmètres électromagnétiques à brides – Longueur d'installation
ISO 3313:1998	Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées – Lignes directrices relatives aux effets des pulsations d'écoulement sur les instruments de mesure de débit
ISO/TR 15377:2007	Mesurage du débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes – Lignes directrices pour la spécification des diaphragmes, des tuyères et des tubes Venturi non couverts par l'ISO 5167
ISO/TR 9564:2008	Lignes directrices pour l'utilisation de l'ISO 5167-2003
ISO 5167-1:2003	Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire – Partie 1 : Principes généraux et exigences générales
ISO/TR 5167-2:2003	Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans

Guide de soutien technique pour la clientèle
Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau

	des conduites en charge de section circulaire – Partie 2 : Diaphragmes
ISO/TR 5167-3:2003	Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire – Partie 3 : Tuyères et Venturi-tuyères
ISO/TR 5167-4:2003	Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire – Partie 4 : Tubes de Venturi
ISO 6817:1992	Mesure de débit d'un fluide conducteur dans les conduites fermées – Méthode par débitmètres électromagnétiques
ISO 8316:1987	Mesure de débit des liquides dans les conduites fermées – Méthode par jaugeage d'un réservoir volumétrique
ISO 9555-1:1994	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs – Partie 1 : Généralités
ISO 9555-3:1992	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs – Partie 3 : Traceurs chimiques
ISO 9555-4:1992	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs – Partie 4 : Traceurs fluorescents
ISO 3354:2008	Mesurage de débit d'eau propre dans les conduites fermées – Méthode d'exploration du champ des vitesses dans les conduites en charge et dans le cas d'un écoulement régulier, au moyen de moulinets
ISO 7194:2008	Mesurage de débit des fluides dans les conduites fermées – Mesurage de débit dans les conduites circulaires dans le cas d'un écoulement giratoire ou dissymétrique par exploration du champ des vitesses au moyen de moulinets ou de tubes de Pitot doubles
ISO 3966:2008	Mesurage du débit des fluides dans les conduites fermées – Méthode d'exploration du champ des vitesses au moyen de tubes de Pitot doubles
ISO 4185:1980	Mesure de débit des liquides dans les conduites fermées – Méthode par pesée

ANNEXE B
Table de conversion

1 MÈTRE CUBE D'EAU DOUCE =

1 000 litres;
35,31 pieds cubes;
264,17 gallons;
219,97 gallons impériaux;
1 tonne métrique;
1 000 kilogrammes;
2 204,59 livres.