



**HAL**  
open science

# Métrologie : mesure de débit dans les canaux à surface libre

David Dorchies, Gilles Belaud, François Charron, Cyril Dejean

► **To cite this version:**

David Dorchies, Gilles Belaud, François Charron, Cyril Dejean. Métrologie : mesure de débit dans les canaux à surface libre. Doctorat. France. 2014, pp.44. hal-02601377

**HAL Id: hal-02601377**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02601377>**

Submitted on 16 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

# Métrologie : Mesure de débit dans les canaux à surface libre



23-24 JUIN 2014

**D. DORCHIES, G. BELAUD,**

**F. CHARRON, C. DEJEAN,**

UMR-G-EAU

361 rue Jean-François Breton

BP5095

34196 MONTPELLIER Cedex 5

Coordonnées des auteurs :

**David Dorchies**

UMR G-eau / Irstea Montpellier  
361 rue Jean-François Breton  
BP 5095  
34196 MONTPELLIER cedex 5 - France  
Tél. : (33) [0]467 04 63 22  
Fax : (33) [0]467 16 64 40  
Email : [david.dorchies@irstea.fr](mailto:david.dorchies@irstea.fr)  
Logiciel SIC : <http://sic.g-eau.net>

**Gilles Belaud**

UMR G-eau / Montpellier SupAgro  
2, place Viala  
34060 MONTPELLIER cedex - France  
Tél. : (33) [0]467 04 64 77 / (33) [0]499 61 24 23  
Email : [belaud@supagro.inra.fr](mailto:belaud@supagro.inra.fr)

**François Charron**

UMR G-eau / Montpellier SupAgro  
Domaine du Merle  
Route d'Arles  
13300 SALON DE PROVENCE - France  
Tél. : (33) [0]490 17 01 54  
Fax : (33) [0]490 17 01 59  
Email : [francois.charron@supagro.inra.fr](mailto:francois.charron@supagro.inra.fr)

**Cyril Dejean**

UMR G-eau / Irstea Montpellier  
361 rue Jean-François Breton  
BP 5095  
34196 MONTPELLIER cedex 5 - France  
Tél. : (33) [0]467 16 64 89  
Fax : (33) [0]467 16 64 40  
Email : [cyril.dejean@irstea.fr](mailto:cyril.dejean@irstea.fr)

## Table des matières

<b>1 - Généralités.....</b>	<b>5</b>
1.1 Introduction.....	5
1.2 Définition du débit.....	5
1.3 Recommandations valables pour toutes les méthodes.....	6
1.4 Erreurs de mesure.....	6
1.4.1 <i>Mesure d'une grandeur physique</i> .....	6
1.4.2 <i>Les sources d'erreur de mesure</i> .....	6
1.4.3 <i>Notation de l'erreur de mesure</i> .....	8
<b>2 - Méthode par capacité.....</b>	<b>9</b>
2.1 Principe de la méthode.....	9
2.2 Mode opératoire.....	9
2.3 Réalisation de la méthode sur des aménagements hydrauliques.....	10
<b>3 - Méthodes hydrauliques.....</b>	<b>11</b>
3.1 Principes de la méthode.....	11
3.1.1 <i>Le contrôle hydraulique</i> .....	11
3.1.2 <i>Channel control et le régime uniforme</i> .....	11
3.1.3 <i>La section de contrôle et l'écoulement dénoyé</i> .....	11
3.1.4 <i>Calcul du débit en écoulement noyé</i> .....	11
3.2 Recommandations pour la réalisation des mesures.....	12
3.3 Ouvrage non étalonné.....	13
3.4 Ouvrage étalonné.....	14
<b>4 - Méthodes par exploration du champ des vitesses.....</b>	<b>16</b>
4.1 Principe de la méthode.....	16
4.2 Recommandations pour le choix de l'emplacement de mesure.....	16
4.3 Mesure des vitesses et détermination du débit.....	17
4.3.1 <i>Processus de mesure</i> .....	17
4.3.2 <i>Déterminations des vitesses moyennes par verticale</i> .....	18
4.4 Description des méthodes et appareils de mesures.....	20
4.4.1 <i>Mesure à l'aide de flotteurs et détermination du débit</i> .....	20
4.4.2 <i>Le moulinet à hélice à axe horizontal</i> .....	22
4.4.3 <i>Le courantomètre électromagnétique</i> .....	23
4.4.4 <i>Le profileur acoustique à effet Doppler (A.D.C.P.)</i> .....	23
<b>5 - Méthodes par dilution.....</b>	<b>25</b>
5.1 La méthode à débit constant.....	25
5.2 La méthode par intégration.....	26
5.3 Cas particulier du jaugeage au sel à l'aide d'une sonde conductimétrique.....	27
<b>6 - Suivi des débits en continu.....</b>	<b>28</b>
6.1 La station hydrométrique.....	28
6.1.1 <i>Stabilité et section de contrôle</i> .....	28

6.1.2 Sensibilité.....	28
6.1.3 Échelles limnimétriques.....	28
6.2 Enregistrement manuel des débits en continu.....	29
6.3 Enregistrement automatique des débits en continu.....	30
6.3.1 A partir d'une mesure de hauteur d'eau.....	30
6.3.2 A partir de mesures de vitesses.....	32
6.3.3 Transmission et enregistrement des données.....	33
<b>7 - Annexes (pour en savoir plus...)</b> .....	<b>35</b>
7.1 Formule et coefficients usuels de Manning-Strickler.....	35
7.1.1 Formule de Manning-Strickler.....	35
7.1.2 Coefficients de Strickler.....	35
7.2 Formules et abaques pour les déversoirs et les vannes.....	35
7.2.1 Formule pour déversoirs.....	35
7.2.2 Formules pour orifices et vannes.....	38
7.3 Description du fonctionnement du profileur acoustique à effet doppler (A.D.C.P.)... 40	
7.4 Extraits du code de l'environnement.....	42
7.4.1 Extrait de la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de l'article 10 de la loi n°92-3 du 3 janvier 1992.....	42
7.4.2 Article L214-8 : obligation de moyens de mesure.....	42
7.4.3 Article R214-58 : tenue d'un registre des prélèvements.....	42
7.4.4 Arrêté du 9 novembre 2007 relatif aux modalités de calcul de l'assiette de la redevance pour prélèvement sur la ressource en eau.....	43
7.5 Normes françaises et internationales.....	43
7.5.1 Généralités.....	43
7.5.2 Mesure par exploration du champ des vitesses.....	43
7.5.3 Mesure à l'aide de déversoirs.....	43
7.5.4 Mesure par la méthode de dilution.....	44
7.5.5 Transmission des données.....	44

# 1 - GÉNÉRALITÉS

## 1.1 Introduction

La loi sur l'eau de 1992 a fixé le principe d'une gestion équilibrée de la ressource entre milieux et usages. Cette gestion quantitative de la ressource nécessite la mise en place d'une mesure des volumes prélevés au milieu naturel pour chacun des usages (agriculture, industrie, collectivités...)

L'article L214-8 du code de l'environnement (Cf. Annexe 7.4.2.) rend obligatoire le comptage des volumes prélevés pour tous les prélèvements en cours d'eau (ou pompage dans la nappe d'accompagnement) supérieur ou égale à 2 % du débit de référence du cours d'eau.

Les gestionnaires de réseaux d'irrigation gravitaire ont donc besoin d'outils pour mesurer ces volumes. Ils pourront ainsi :

- être en conformité avec la réglementation,
- avoir des éléments de discussion pour négocier la redevance sur les débits prélevés avec l'Agence de l'Eau,
- gérer au mieux la ressource en eau dont ils disposent.

Le présent document détaillera les différentes méthodes permettant de mesurer ponctuellement le débit d'un écoulement à surface libre, les méthodes permettant de mesurer des débits en continu et de calculer les volumes transitant par le canal.

## 1.2 Définition du débit

Le débit est le volume d'eau passant à travers une section d'un cours d'eau pendant une unité de temps :

$$Q = \frac{V}{t}$$

Unités internationales : Q : débit (m<sup>3</sup>/s)  
V : volume d'eau (m<sup>3</sup>)  
t : temps (s)

On peut également exprimer les débits (notamment les faibles) en l/s.

La formule du débit peut encore s'écrire différemment :

$$\text{Débit} = \frac{\text{Volume}}{\text{Temps}} = \text{section} \times \frac{\text{distance}}{\text{temps}} = \text{section} \times \text{vitesse moyenne}$$

La mesure de débit ne pouvant s'effectuer directement par un appareil, celle-ci se fera en mesurant les différents éléments de ces formules.

## 1.3 Recommandations valables pour toutes les méthodes

Ne pas hésiter à se déplacer vers l'aval (même de plusieurs centaines de mètres, si nécessaire et si possible) pour trouver un bief ou une section de mesure ayant des caractéristiques se rapprochant au mieux de celles recommandées pour l'application de la méthode choisie (prendre soin dans ce cas de vérifier qu'il n'y ait ni pertes et ni apports entre l'endroit où le débit doit être évalué et le site de mesure finalement choisi, ou alors, les prendre en compte dans le résultat final).

Le niveau du plan d'eau, donc le débit, ne doit pas varier pendant les mesures. Pour le vérifier, il faut donc, lorsque le temps de mesure est long (certains jaugeages au moulinet, par exemple, peuvent durer plus d'une heure), repérer le niveau avant et après les mesures (photo, marquage, ...).

Dans certains cas on peut être amené à considérer la section transversale du cours d'eau comme étant constituée de plusieurs éléments juxtaposés, sur lesquels on pourra mesurer indépendamment des débits partiels, par des méthodes pouvant éventuellement être différentes. Le débit total sera alors égal à la somme des débits partiels obtenus sur chaque élément de section.

Il est parfois utile, avant de commencer les mesures, d'effectuer quelques petits travaux d'aménagement du site afin que ses caractéristiques se rapprochent le plus possible de celles du site "idéal" correspondant à la méthode choisie.

Répéter des mesures et/ou mise en œuvre, lorsque cela est possible, de méthodes différentes pour comparer les résultats.

Noter le maximum de renseignements sur les conditions de réalisation de la mesure et des dépouillements.

## 1.4 Erreurs de mesure

### 1.4.1 Mesure d'une grandeur physique

Mesurer, c'est attribuer une valeur à une mesure par comparaison directe ou indirecte à un étalon.

L'expression d'une grandeur physique est caractérisée par 3 éléments indissociables :

- Une valeur numérique,
- Une unité,
- Une incertitude.

La grandeur que l'on veut mesurer s'appelle aussi "mesurande".

Le système de mesure est quant à lui composé du système d'observation, de comparaison et d'étalon.

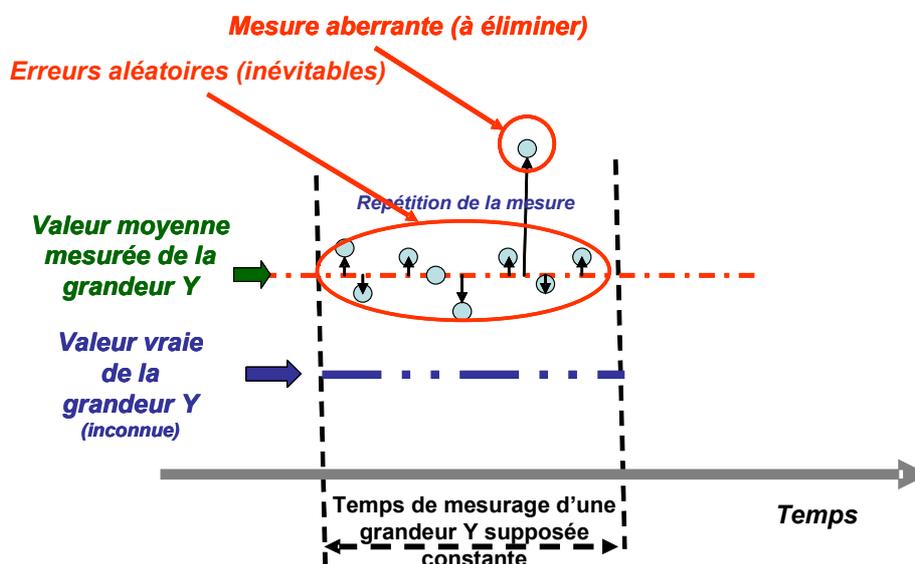
### 1.4.2 Les sources d'erreur de mesure

Lorsque l'on cherche à déterminer la valeur d'une grandeur physique quelle qu'elle soit (le débit d'un cours d'eau par exemple), des erreurs se produisent inévitablement. Elles se situent au niveau des différentes opérations de mesure,

depuis les relevés de terrain jusqu'à l'obtention du résultat final, et elles s'ajoutent (on doit en effet toujours considérer le cas le plus défavorable).

On distingue deux types d'erreurs :

- les erreurs systématiques (mauvais étalonnage, défaut de l'appareil de mesure, biais dû à la procédure de calcul, etc.)
- les erreurs aléatoires (manque de sensibilité de l'appareil de mesure, imprécision de la lecture ou de la méthode de dépouillement, etc.).



Les erreurs systématiques ne sont pas affectées par la répétition des mesures et ne peuvent être réduites qu'en utilisant des méthodes ou des appareils de mesure plus performants.

Par contre, les erreurs aléatoires sont réduites lorsque l'on répète les mesures, la précision de la moyenne de "m" mesures répétées étant "m/2" fois meilleure que la précision de chacune des "m" mesures initiales (par exemple, si la précision sur une mesure est de 10% et si la mesure est répétée 4 fois, la précision de la moyenne de ces 4 mesures sera 2 fois meilleure, soit 5%). Cependant, ceci signifie également que plus on répète la mesure, plus le gain de précision devient faible. Généralement, on considère que la réalisation de trois répétitions donnant des résultats du même ordre de grandeur constitue un bon compromis entre le gain de précision et le temps passé.

Il est impossible de connaître exactement l'incertitude sur un résultat. En fait, la valeur donnée habituellement (par exemple, précision d'un instrument de mesure portée sur les notices techniques) est une estimation statistique de l'erreur maximale. Celle-ci est généralement exprimée en pourcentage par rapport au résultat obtenu et sa valeur est déterminée pour un intervalle de confiance donné qui est souvent de 95%. Ceci signifie que, statistiquement dans 95 cas sur 100, l'écart entre le résultat issu de la mesure (et/ou du calcul) et la "vraie" valeur doit être inférieur ou égal à l'erreur maximale.

Plus la réalisation des opérations de mesure se conformera aux recommandations énoncées et plus le nombre de répétitions sera grand, meilleure sera la précision du résultat final. Pour chaque type de méthode sont indiquées les valeurs limites (approximatives) encadrant l'erreur globale habituellement observée. A partir de ces renseignements et d'une appréciation des conditions particulières rencontrées, il

conviendra, si possible, d'estimer la valeur probable de l'erreur à prendre en compte lors de la présentation du résultat final.

### 1.4.3 Notation de l'erreur de mesure

Lorsque l'erreur finale sur une mesure peut être déterminée, le résultat de débit **gagne à être présenté en indiquant son encadrement**. Dans ce cas, on peut laisser un nombre de chiffres significatifs supérieur à 2, tout en restant cohérent avec le niveau de précision indiqué.

*Exemple :*

$$\begin{aligned} & Q = 38,3 \text{ l/s} \pm 10\% \\ \text{ou} & \quad Q = 38,3 \pm 3,8 \text{ l/s} \\ \text{ou} & \quad 34,5 < Q < 42,1 \text{ l/s} \end{aligned}$$

## 2 - MÉTHODE PAR CAPACITÉ

Cette méthode est appelée également "méthode volumétrique", ou encore, selon le type de capacité employée, "méthode par empotement" ou "méthode au seau".

### 2.1 Principe de la méthode

La méthode consiste à mesurer le temps de remplissage (partiel ou total) d'un réservoir et le volume d'eau écoulé correspondant. Le résultat est obtenu immédiatement en utilisant la formule suivante qui est la définition même du débit :

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q : débit (m<sup>3</sup>/s ou l/s)

V : volume d'eau (m<sup>3</sup> ou l) écoulé dans le réservoir

t : temps (s) de remplissage (partiel ou total) du réservoir

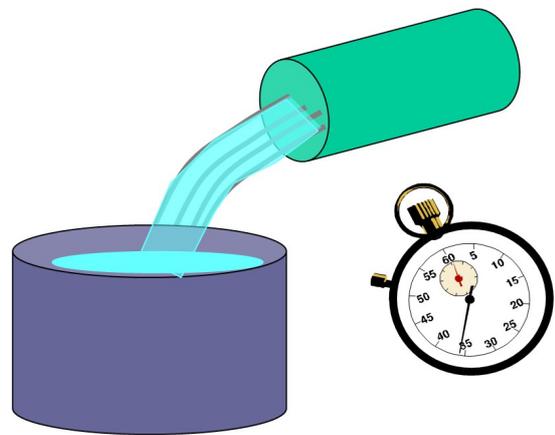
En pratique, cette méthode s'appliquant plutôt aux faibles débits, le volume est exprimé habituellement en litre et le débit en litre par seconde.

### 2.2 Mode opératoire

Le procédé le plus couramment employé consiste à mesurer le temps de remplissage d'un récipient introduit rapidement sous une chute d'eau, celle-ci constituant le débit que l'on veut connaître.

La réalisation de la mesure implique donc l'existence d'une chute d'eau formant un jet de diamètre suffisamment réduit pour pouvoir être recueilli dans un récipient.

Cette méthode ne nécessite aucun appareillage particulier; il suffit de disposer d'un chronomètre et d'un récipient.



Le type, le volume, la forme du récipient doivent être adaptés aux conditions particulières de mesure.

On peut employer des types de récipient très divers tels que, par exemple, flacon, seau, bac, sac plastique, bidon, etc.

Au début de la mesure, le récipient est placé le plus rapidement possible sous la chute et le chronomètre est déclenché au même instant. Lorsqu'un volume d'eau suffisant est recueilli, le récipient est retiré également très rapidement et le chronomètre arrêté au même instant.

Le volume "V" peut être mesuré de deux manières :

- *Il représente le remplissage complet d'un récipient de volume connu.* L'instant correspondant au débordement doit donc être déterminé avec le maximum de

précision, mais les remous qui se produisent lors du remplissage ne facilitent pas la mesure.

- *Le recueil de l'eau est arrêté avant remplissage complet du récipient*, ceci afin d'éviter les difficultés signalées précédemment. Dans ce cas, le volume d'eau recueilli est déterminé a posteriori, différents procédés pouvant être employés (transvasement dans d'autres récipients de volume connu, calcul à partir de la hauteur d'eau mesurée dans le récipient si celui-ci a une forme géométrique définie, pesée, etc,...).

Le temps d'écoulement "t" est mesuré à l'aide d'un chronomètre, en veillant à ce que les déclenchements de départ et de fin correspondent bien au début et à la fin du recueil du volume d'eau. Cette durée doit être suffisamment longue pour limiter les erreurs : au minimum 5 secondes. Le volume du récipient doit être tel qu'il permette de recueillir au moins le volume d'eau s'écoulant pendant cette durée.

La mesure du temps doit être répétée au moins 3 fois. Si les résultats des 3 mesures sont du même ordre de grandeur, on peut prendre pour débit, la moyenne des 3 valeurs. Sinon, recommencer la mesure jusqu'à l'obtention de 3 résultats cohérents.

Ce procédé, qui nécessite l'utilisation d'une capacité transportable de volume forcément relativement réduit, est adapté surtout aux faibles débits.

## 2.3 Réalisation de la méthode sur des aménagements hydrauliques

Dans certains cas d'aménagements hydrauliques pour lesquels l'écoulement s'effectue par déversement libre dans un réservoir de forme géométrique connue, il est possible d'obtenir le débit en mesurant la variation, pendant un temps donné, du volume d'eau dans ce réservoir. Par exemple, ce procédé peut être employé lorsque le déversement se produit dans un chenal à parois latérales parallèles limité à l'aval par une vanne mobile. En fermant la vanne, on provoque la montée du niveau d'eau dans le chenal. A partir de la surface du plan d'eau dans le chenal et de la variation de niveau, on peut déterminer la variation du volume d'eau.

Attention : le niveau d'eau dans le réservoir doit être tel que le déversement alimentant le réservoir puisse toujours s'effectuer librement, sinon la mesure est faussée à cause de l'influence de l'obstacle aval.

# 3 - MÉTHODES HYDRAULIQUES

## 3.1 Principes de la méthode

### 3.1.1 Le contrôle hydraulique

*L'écoulement dans une section se trouve sous contrôle lorsque les caractéristiques géométriques du bief sont telles qu'un même débit s'écoule toujours à la même hauteur.*

Si les caractéristiques géométriques du bief ne changent pas dans le temps, il est donc possible de déduire le débit passant dans le bief à partir d'une simple mesure de hauteur d'eau.

Les théories hydrauliques ont mis en évidence deux types d'écoulement dans lesquels le débit est analytiquement associé à la hauteur d'eau: le régime uniforme et l'écoulement dénoyé. Deux types de contrôle hydraulique leur correspondent : le channel-control et la section de contrôle.

### 3.1.2 Le contrôle par le chenal et le régime uniforme

*Un écoulement est uniforme sur un bief lorsque tous les paramètres hydrauliques (géométrie de la section et pente) sont constants d'une section à l'autre et qu'aucun ouvrage ne perturbe l'écoulement.*

Dans un tel écoulement, chaque débit est associé à la hauteur d'eau dite « hauteur normale »  $h_n$ , qui dépend des dimensions du lit, de la rugosité, et de la pente du fond.

*Pour en savoir plus, voir le chapitre 7.1 « Formule et coefficients usuels de Manning-Strickler ».*

### 3.1.3 La section de contrôle et l'écoulement dénoyé

Si on envoie un débit constant à l'amont d'un seuil et si on fait baisser le niveau à l'aval de ce seuil, on constate que la cote amont baisse puis se stabilise à une valeur constante, même si la cote aval continue de baisser. La cote aval n'a donc plus d'influence sur la cote amont du seuil, l'écoulement est dit **dénoyé**.

Un écoulement dénoyé se caractérisera aussi par la présence d'un ressaut hydraulique à l'aval de l'ouvrage (écoulement présentant de grandes perturbations avec des tourbillons, des remous, des entraînements d'air).

Des formules de débits existent en fonction des caractéristiques de l'ouvrage qui peut prendre la forme d'un déversoir (seuil) avec ou sans pelle, d'un orifice ou encore d'une vanne.

### 3.1.4 Calcul du débit en écoulement noyé

Un déversoir noyé n'est pas une section de contrôle puisque le débit dépendra à la fois de la hauteur d'eau à l'amont et à l'aval du déversoir.

Cependant en connaissant les hauteurs d'eau à l'amont et l'aval de l'ouvrage, et les caractéristiques de l'ouvrage, il est possible de calculer le débit.

## 3.2 Recommandations pour la réalisation des mesures

La détermination du débit sur un ouvrage hydraulique nécessite au préalable, de relever la hauteur d'eau à l'amont et également, dans de nombreux cas, de déterminer certains éléments de la géométrie de l'ouvrage.

Effectuer un croquis détaillé et coté de l'ouvrage avec indication précise des différentes mesures réalisées. Mentionner également le maximum d'observations concernant les caractéristiques de l'écoulement et l'état de l'ouvrage.

Avant de commencer les relevés, prendre les précautions suivantes :

- enlever les débris et les sédiments qui auraient pu s'accumuler sur la face amont de l'ouvrage et s'assurer qu'il n'y ait pas d'obstacle à l'écoulement à l'aval ce qui aurait pour effet de remonter artificiellement le niveau du plan d'eau;
- vérifier l'étanchéité et l'alignement de l'ouvrage (en particulier, il doit être perpendiculaire à la direction principale de l'écoulement).

### Mesure de la hauteur d'eau amont

Toutes les méthodes hydrauliques ont en commun (au minimum) la mesure de la hauteur d'eau à l'amont de l'ouvrage. Attention à ne pas perturber la surface de l'eau lors de la lecture de cette hauteur.

L'endroit exact où doit être effectué ce relevé dépend du type d'ouvrage :

- Pour les écoulements sur les ouvrages étalonnés, il faut se conformer aux spécifications de l'étalonnage : la hauteur d'eau doit se mesurer à l'endroit précis où elle a été mesurée lors de l'étalonnage. Généralement, une échelle graduée est installée à l'amont de l'ouvrage permettant la lecture directe de la hauteur d'eau. S'il n'y a pas d'échelle, on doit se renseigner auprès du service gestionnaire sur les conditions d'étalonnage de l'ouvrage afin de connaître, entre autres, les spécifications concernant la mesure de la hauteur d'eau.
- Pour les écoulements sur les ouvrages non étalonnés, on peut distinguer le cas des orifices et des vannes et le cas des déversoirs.
  - Pour les orifices et les vannes, la hauteur d'eau se mesure directement sur la face amont de l'ouvrage. Cette opération ne présente pas de difficultés majeures et peut être effectuée, par exemple, à l'aide d'un mètre rigide que l'on applique contre la paroi amont de l'ouvrage.
  - Pour les déversoirs, la mesure est plus délicate à réaliser car elle doit être déportée plus à l'amont, pour être située en dehors de la zone de courbure de la surface du plan d'eau due à la chute. Habituellement, la hauteur d'eau "h" se mesure à partir de la crête du déversoir (au point le plus bas du déversement) à une distance amont de celui-ci égale à environ "3h".

### Détermination de la géométrie de l'ouvrage

Dans de nombreux cas, il faut connaître, en plus de la hauteur d'eau amont, la géométrie de l'ouvrage. Celle-ci est établie à partir de la mesure de certaines dimensions : largeur, hauteur de pelle, angle de l'échancrure, diamètre de l'orifice,

etc. Ces relevés peuvent être réalisés à l'aide de différents matériels : mètre ruban, équerre, rapporteur, appareil topographique, etc.

### 3.3 Ouvrage non étalonné

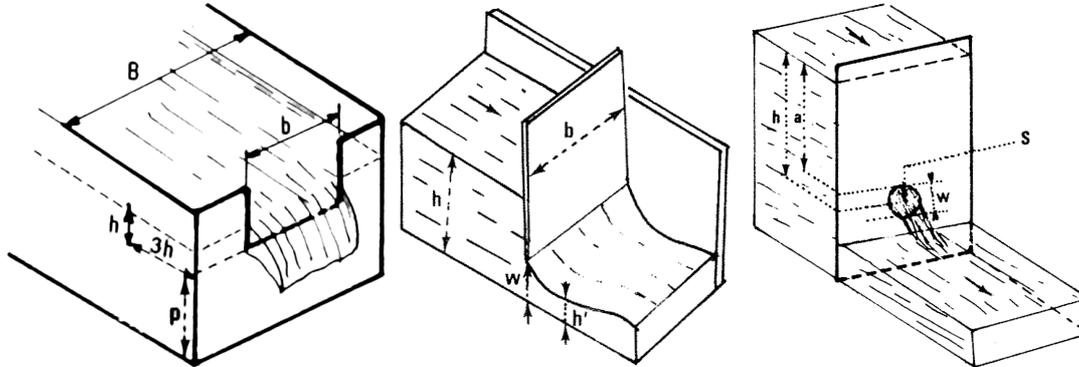


Illustration 1: Exemples d'ouvrages non étalonnés

En ce qui concerne les ouvrages non étalonnés, il est possible, pour certaines formes géométriques particulières et pour des conditions d'écoulement favorables, de calculer le débit en utilisant une formule hydraulique adaptée. Les formules et abaques pour les ouvrages les plus courants sont présentées au paragraphe 7.2 pages 35 et suivantes.

Les formules hydrauliques comportent des coefficients prédéterminés qui résultent d'un grand nombre d'essais réalisés en laboratoire dans des conditions standard très rigoureuses concernant l'écoulement, la construction et l'installation des ouvrages.

Pour calculer le débit sur un ouvrage non étalonné à l'aide d'une formule hydraulique, on devra donc se ramener au cas d'un ouvrage standard étalonné ayant des caractéristiques proches (forme en particulier) et appliquer la formule correspondante.

La précision que l'on peut attendre de l'application d'une formule hydraulique sur un ouvrage non étalonné dépendra notamment de l'écart entre les conditions de laboratoire dans lesquelles a été déterminé le coefficient intervenant dans la formule et les conditions réelles de mesure sur le site.

On peut citer les 2 types de situations extrêmes suivantes entre lesquelles existent de nombreuses situations intermédiaires :

- ouvrage bien usiné (matériaux lisses, surfaces planes et régulières, arêtes franches et rectilignes) et en bon état, ayant des caractéristiques proches d'ouvrages standard, bonnes conditions d'écoulement (homogène et perpendiculaire à l'ouvrage), pour lequel la précision peut atteindre 10%;
- ouvrage à aspect irrégulier, plutôt mal entretenu, mauvaises conditions d'écoulement, pour lequel on ne doit pas espérer obtenir mieux que 40% de précision.

Il est important de signaler que les formules et leurs coefficients ne sont valables que dans certaines limites (toute la gamme des situations possibles n'ayant pas été testée en laboratoire). Il faut donc bien vérifier, avant d'employer une formule, que l'on est bien à l'intérieur de la plage d'utilisation conforme.

## 3.4 Ouvrage étalonné

Les ouvrages étalonnés sont des ouvrages pour lesquels a été établie, au préalable en laboratoire ou directement sur le site, la relation entre le débit "Q" et la hauteur d'eau amont "h". Pour ces ouvrages (ou leur copie conforme), il suffit donc, pour obtenir le débit, de mesurer la hauteur d'eau amont (à l'endroit prévu par l'étalonnage), les caractéristiques géométriques de l'ouvrage et d'utiliser la courbe – appelée courbe de tarage – le tableau d'étalonnage ou la formule hydraulique spécifique.

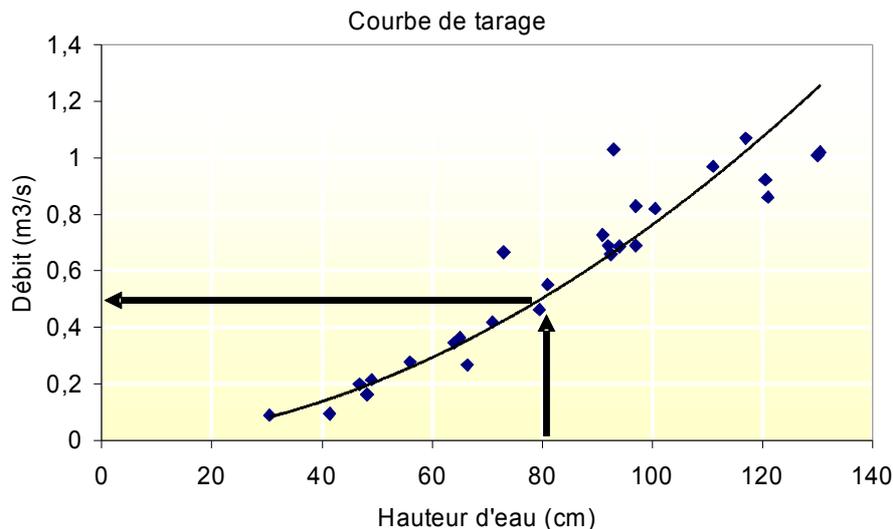


Illustration 2: Exemple de courbe de tarage et de son utilisation

La précision obtenue peut être très bonne si les spécifications concernant l'installation de l'ouvrage et la réalisation des mesures sont rigoureusement respectées. On peut atteindre, par exemple, une précision de l'ordre de 5% en employant certains déversoirs dans les conditions normalisées (cf. normes ISO et AFNOR référencées en bibliographie).

La détermination du débit sur les ouvrages étalonnés ne pose pas de problèmes majeurs, à condition d'effectuer avec rigueur le relevé de la hauteur d'eau et de disposer des informations relatives à l'étalonnage de l'ouvrage (se renseigner auprès de l'exploitant).

La courbe de tarage peut évoluer dans le temps notamment durant la saison d'irrigation notamment du fait de la végétation. En particulier, les macrophytes (plantes aquatiques) ont un rythme de croissance annuelle très marquée ; avec une biomasse minimale en hiver, après la période de chômage des canaux (surtout en cas de curage mécanique), et une biomasse maximale durant le pic de la saison d'irrigation, là où la photosynthèse est maximale. Par exemple, sur le canal de Gignac, des variations de l'ordre de 30 % du débit sont observées, pour une même hauteur d'eau entre l'hiver et l'été (cf. Illustration 3).

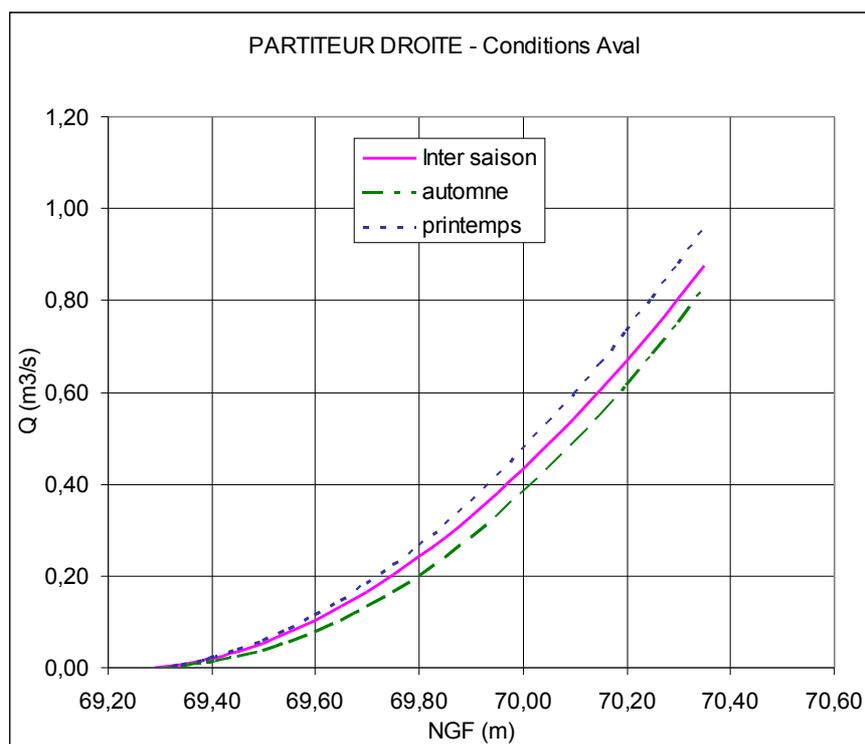


Illustration 3: Evolution de la courbe de tarage du canal de Gignac au cours de la saison sur la branche droite à l'aval de "Partiteur"

La réalisation des mesures de débits permettant l'élaboration des courbes de tarages nécessite l'emploi d'une autre méthode de mesure de débit dite par « exploration des champs de vitesse ».

# 4 - MÉTHODES PAR EXPLORATION DU CHAMP DES VITESSES

## 4.1 Principe de la méthode

Le débit liquide  $Q$  d'un cours d'eau, volume d'eau qui s'écoule en une seconde dans une section transversale, est le produit :

- de la section mouillée  $S$ , produit de la profondeur moyenne  $H_m$  par la largeur superficielle ou largeur au miroir  $L$  ;
- par la vitesse moyenne d'écoulement  $U$ , moyenne des vitesses des particules d'eau dans toute la section mouillée.

$$Q = (L \times H_m) \times U = S \times U$$

$Q$  : débit ( $m^3/s$ )

$U$  : vitesse moyenne de l'écoulement ( $m/s$ )

$S$  : surface de la section mouillée ( $m^2$ )

La vitesse de l'écoulement n'est pas uniforme sur la section transversale d'un cours d'eau. Il est donc nécessaire « d'explorer le champ des vitesses » en réalisant des mesures en plusieurs points de la section, généralement situés le long de verticales judicieusement réparties sur la largeur de la rivière.

A partir de ces relevés ponctuels, on détermine sur chacune des verticales, une vitesse moyenne qui est considérée comme représentative de la vitesse de l'écoulement sur un élément de la section mouillée.

Celle-ci étant ainsi découpée en plusieurs éléments juxtaposés, le débit total est obtenu en effectuant la somme, sur toute la largeur de la rivière, des produits de la vitesse moyenne de l'écoulement par la surface de l'élément de section correspondant.

## 4.2 Recommandations pour le choix de l'emplacement de mesure

Faire une reconnaissance préliminaire du site avant de choisir un emplacement. Vérifier que ces caractéristiques sont acceptables compte tenu des recommandations énoncées ci-dessous :

- les conditions de l'écoulement ne varient pas pendant la durée de la mesure ;
- les vitesses en tous points de l'écoulement sont parallèles entre elles et à angle droit avec la section de mesure ;
- les courbes de répartition des vitesses le long des verticales ou des horizontales de mesure sont régulières ;
- les dimensions géométriques de la section de mesure sont nettement définies.

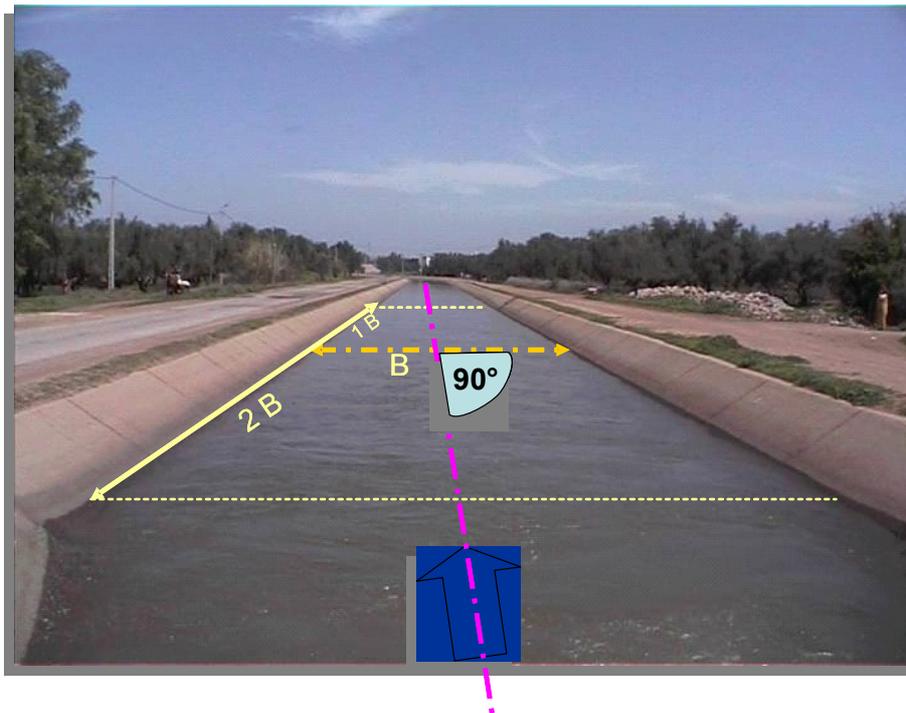


Illustration 4: Recommandations de mesure illustrées sur un canal du Tadla Marocain

## 4.3 Mesure des vitesses et détermination du débit

### 4.3.1 Processus de mesure

En regroupant par verticales de mesures, les mesures des vitesses ponctuelles et leurs positionnements, on détermine :

- la géométrie de la section mouillée en relevant les points significatifs du profil transversal : profondeurs et abscisse en travers.
- les vitesses moyennes par verticales, en prenant, repartis sur toute la verticale des points de vitesses ponctuelles pendant un temps de mesurage approprié, le positionnement des points se fait par rapport à l'une de 2 références possibles (la surface ou le fond de l'eau)

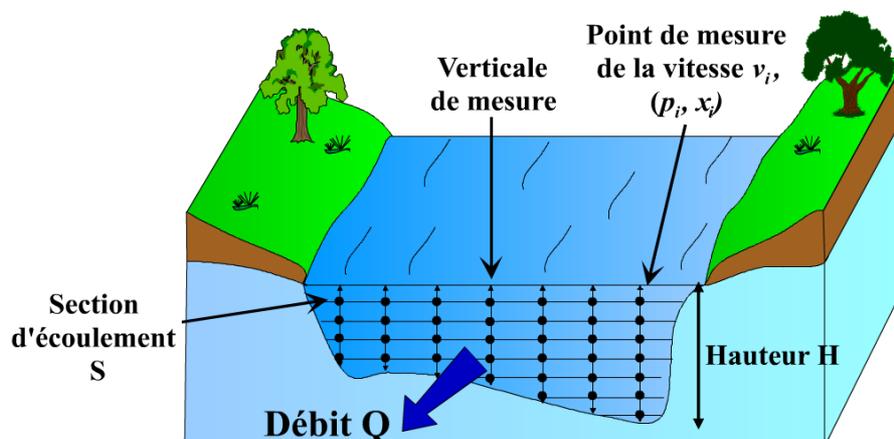
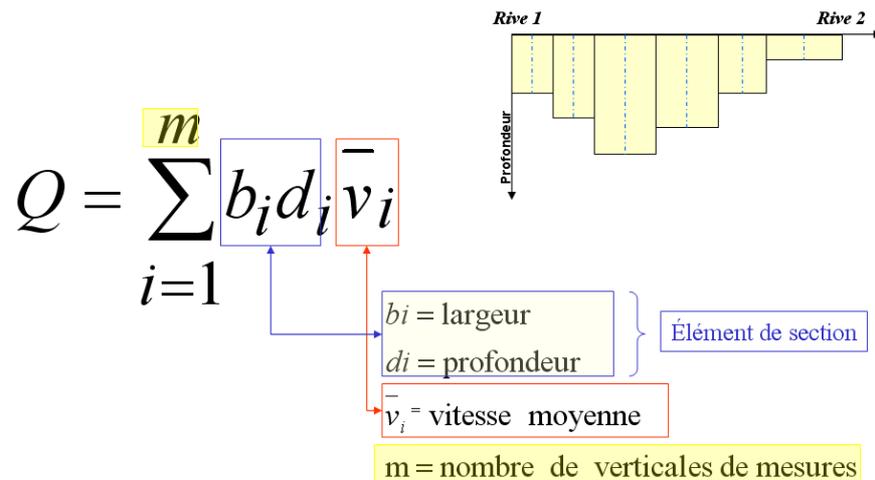


Illustration 5: Processus de mesure

### Mode opératoire

Après avoir défini la section de mesure :



- on divise la largeur au miroir en un certain nombre d'éléments de largeur ( $b$ ), chaque division est définie comme emplacement pour une verticale de mesure (*hormis les extrémités positionnées sur les 2 rives*)
- on détermine sur chaque verticale de mesure ( $i$ ),
  - les profondeurs ( $d$ ),
  - le nombre de points de mesure de vitesse ( $m$ )
- on réalise à chaque point défini une mesure de vitesse ( $v$ )

### Equipements pour les mesurages des vitesses et des profondeurs

Le matériel employé pour les mesurages, doit être adapté au gabarit jaugé, ainsi qu'à l'objectif recherché.

- courantomètres électromagnétiques, courantomètres doppler, moulinets, avec suivant le gabarit jaugé les dispositifs appropriés pour leur fixation : perches graduées pour les petites profondeurs, treuils, lests, téléphériques... équipés de compteurs métriques.
- dans certains cas particuliers on peut également utiliser des flotteurs.
- Décamètres, ou autre matériel de type distancemètre pour les mesurages des distances.

### 4.3.2 Déterminations des vitesses moyennes par verticale

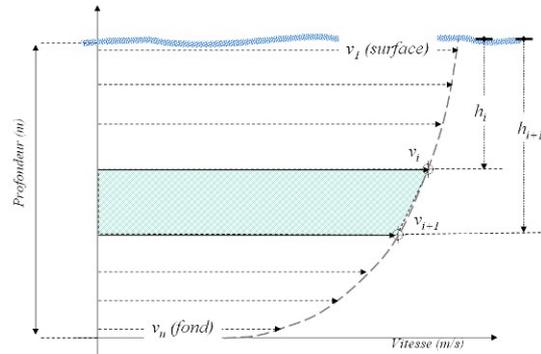
#### Méthode de distribution des vitesses

Les valeurs de vitesse sont obtenues par des mesures faites en un certain nombre de points le long de chaque verticale entre la surface et le fond du chenal, en prenant la surface de l'eau ou le fond comme origine des hauteurs.

Le nombre et l'espacement des points choisis doivent permettre de déterminer précisément la distribution du profil de vitesse sur chaque verticale de sorte que la différence entre 2 points adjacents ne dépasse pas 20% de la vitesse la plus élevée.

La vitesse moyenne est estimée par la « méthode des trapèzes » :

$$\bar{V} = \sum_{i=1}^n (h_{i+1} - h_i) \times \left( \frac{v_i + v_{i+1}}{2} \right)$$



Il est important de prendre un point le plus proche du fond pour minimiser cette zone d'incertitude.

On peut extrapoler à partir du dernier point de mesure au fond du chenal un point

méthode des trapèzes  $v_x$  tel que :  $v_x = v_a \left( \frac{x}{a} \right)^{\frac{1}{m}}$  où :

- $v_x$  est la vitesse ponctuelle de la zone d'extrapolation à une distance  $x$  du lit
- $v_a$  est la vitesse du dernier point de mesure, à la distance  $a$  du lit
- $m$  est un exposant, qui est généralement pris entre 5 et 7. La valeur  $m=2$  s'applique aux lits rugueux, tandis que  $m=10$  s'applique aux lits lisses

### Méthode utilisant un nombre de points déterminé

Dans cette catégorie de déterminations, les points de positionnement des mesures de vitesse sont placés, en prenant comme origine des profondeurs la surface  $p_0$  à des profondeurs prédéterminées (à  $0.2p$ ,  $0.4p$ ,  $0.5p$ ,  $0.6p$ ,  $0.8p$ ) suivant la méthode employée :

Méthode à 1 point

$$\bar{V} = k \cdot v_{\text{surface}} \text{ avec } 0.84 < k < 0.90$$

$$\bar{V} = 0.95 v_{0.5}$$

$$\bar{V} = v_{0.6}$$

Dans ce cas il est préférable quand les conditions le permettent de privilégier le positionnement à  $0.6p$ , point de mesure ponctuelle le plus proche de la vitesse moyenne de la verticale

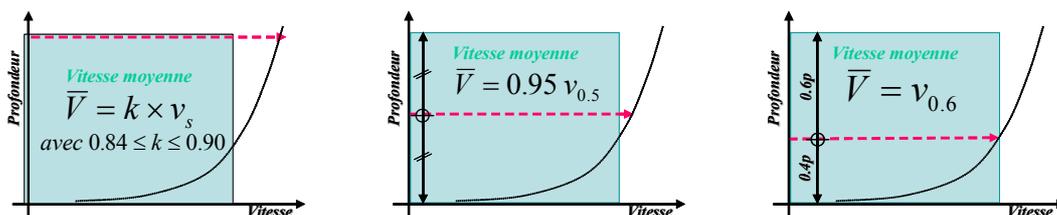


Illustration 6: Détermination de la vitesse moyenne sur une verticale avec un point de mesure

Méthode à 2 points

$$\bar{V} = 0.5 (v_{0.2} + v_{0.8})$$

Méthode à 3 points

$$\bar{V} = 0.25 (v_{0.2} + 2v_{0.6} + v_{0.8})$$

Méthode à 5 points

$$\bar{V} = 0.1 (v_{\text{surface}} + 3v_{0.2} + 3v_{0.6} + 2v_{0.8} + v_{\text{fond}})$$

Méthode à 6 points

$$\bar{V} = 0.1 (v_{\text{surface}} + 2v_{0.2} + 2v_{0.4} + 2v_{0.6} + 2v_{0.8} + v_{\text{fond}})$$

## 4.4 Description des méthodes et appareils de mesures

### 4.4.1 Mesure à l'aide de flotteurs et détermination du débit

Cette méthode ne doit être utilisée que s'il est impossible d'employer un courantomètre ou moulinet en raison de vitesses trop fortes ou trop faible (en dehors des plages d'étalonnage du vélocimètre employé), ou de profondeurs excessives. C'est une méthode normalisée et à ce titre doit donc être appliquée suivant des préconisations particulières, pour donner autant que possible une estimation du débit la plus fine possible.

*Note : Si l'on « dégrade » certaines recommandations au détriment de la précision, cette méthode est relativement facile à mettre en œuvre et donne -pour peut que l'on dispose d'un chronomètre (montre) avec tout objet faisant office de flotteur - un ordre de grandeur du mesurande. Dans ce cas la fourchette d'incertitude  $> \pm 30\%$*

#### 4.4.1.1 Choix de l'emplacement

A la différence avec la méthode utilisant une vélocimètre, trois sections sont nécessaires et choisies à l'intérieur d'un long bief rectiligne du chenal. Ces sections détermineront un bief hydrométrique à l'intérieur du quel les mesures seront réalisées.

Le bief hydrométrique est borné par une section de début et de fin avec entre les deux une section médiane. Cette dernière section sert uniquement à vérifier si les vitesses sont constantes dans le bief.

Les sections extrêmes doivent être suffisamment éloignées pour que les temps de parcours des flotteurs soient supérieurs ou au moins égaux à 20 s.

#### 4.4.1.2 Recommandations particulières pour la mise en œuvre des mesures

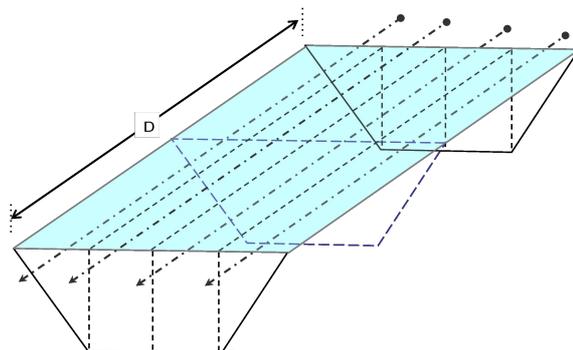
- Il est impératif que les sections et pentes soient uniformes ;
- Que les conditions d'écoulement à l'intérieur du bief hydrométrique et au voisinage soit régulières d'une section à l'autre.
- Les flotteurs de surface sont très sensibles au vent, si possible effectuer les mesurages en l'absence de vent ou par vent faible.

Conditions pour lesquelles toute mesure doit être exclue :

- Bief avec des courants de retour, des vortex, berges encombrées empêchant les déplacements d'une section à l'autre.
- Vent très fort orienté dans l'axe longitudinal du chenal.

#### 4.4.1.3 Processus de mesurage

La largeur du chenal doit être divisée en un certain nombre d'éléments de section d'égale largeur. Le nombre de ces éléments de section ne doit pas être inférieur à trois, mais si possible, on doit



en utiliser au moins cinq, le nombre exact d'éléments de section étant fonction du temps disponible pour ces relevés.

Le flotteur doit être largué suffisamment loin en amont du bief de mesurage pour atteindre une vitesse constante avant son passage à la première section. L'augmentation du nombre de trajectoires utilisées pour déterminer la vitesse dans chaque élément de section améliore la précision de la mesure.

#### 4.4.1.4 Types de flotteur

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

- des flotteurs de surface
- des flotteurs doubles
- bâtons lestés

#### Flotteur de surface

Ce type de flotteur est très sensible au vent, utiliser si possible des flotteurs immergés de type « bulle d'eau ».

#### Flotteurs doubles

Ils peuvent être utilisés pour les mesurages des vitesses dans un cours d'eau profond. L'élément situé au-dessous de la surface doit être placé à 0,6 fois la profondeur à partir de la surface ou à d'autres profondeurs pour obtenir directement la valeur de la vitesse à ces profondeurs.

#### Bâtons lestés

Bien approprié pour les mesurages de vitesses dans les canaux. Le bâton lesté (appelé parfois « bâton flotteur ») doit se trouver à au moins 0,95 fois la profondeur du chenal, mais il ne doit pas toucher le fond.

#### 4.4.1.5 Évaluation de la vitesse

La vitesse du flotteur sur une trajectoire est déterminée par :

$$V_{(m/s)} = D_{(m)} / t_{(s)}, \text{ avec}$$

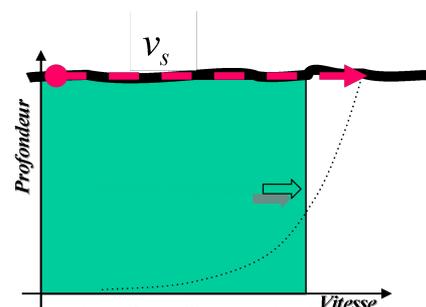
$D$  la distance d'une trajectoire

$t$  le temps de parcours de la trajectoire

Ce type de mesurage se prête bien à la répétition. Pour une même trajectoire prendre plusieurs temps de parcours [ $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ ], dans ce cas c'est la moyenne arithmétique des valeurs chronométrées qui est utilisée pour déterminer la vitesse moyenne de surface sur une trajectoire.

$$\overline{v_s} = \frac{D}{\sum_{i=1}^n t_i} n$$

Il convient à partir des vitesses de surface d'évaluer les vitesses moyennes des tranches d'eau au droit de chaque trajectoire. Ces vitesses moyennes sont obtenues par l'application d'un coefficient  $k$ , dont les valeurs



sont données à titre indicatif. Les  $k$  les plus élevées sont obtenues habituellement lorsque le fond est lisse.

$$\bar{v}_i = \bar{v}_s k$$

Flotteurs de surface	Flotteurs doubles	Bâtons lestés
0,84 < $k$ < 0,90, selon la forme du profil des vitesses.	si l'élément situé sous la surface se trouve à 0,6 fois la profondeur : $k \cong 1,0$ si cet élément se trouve à 0,5 fois la profondeur : $k \cong 0,96$ .	0,8 < $k$ < 1,0.

### Détermination du débit

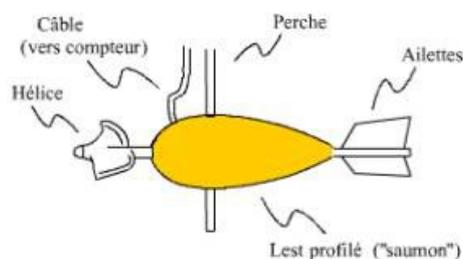
$$Q = \sum_{i=1}^n \bar{v}_i \frac{A_i + A'_i}{2} \text{ où}$$

$\bar{v}_i$  vitesse moyenne estimée de l'élément de section  $i$

$A_i$  et  $A'_i$  éléments de section amont aval au droit de chaque trajectoire

#### 4.4.2 Le moulinet à hélice à axe horizontal

Le moulinet est composé d'un élément fixe appelé "corps du moulinet" comportant un axe horizontal sur lequel tourne une hélice. La rotation de l'hélice produit des signaux électriques (impulsions) qui sont détectés et comptabilisés par un dispositif électronique que l'on connecte au corps du moulinet. Lors des mesures, le corps du moulinet doit être monté sur un support.



Pour une gamme de vitesse déterminée, la courbe d'étalonnage est sensiblement linéaire. Pour une hélice donnée, on aura donc une ou plusieurs droites d'équation de la forme suivante :

$$v = a \times n + b$$

Avec  $v$  vitesse du courant (m/s)

$a$  pas réel de l'hélice (m)

$n$  nombre de tours d'hélice par seconde

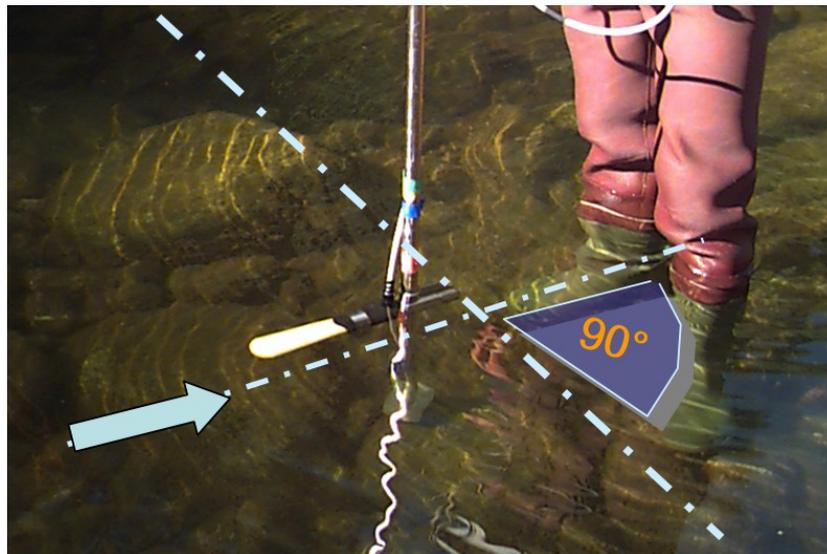
$b$  vitesse dite de frottement ou vitesse de démarrage (m/s)

Les coefficients a et b sont déterminés expérimentalement en laboratoire pour chaque hélice. Les constructeurs fournissent un certificat d'étalonnage sur lequel figure la ou les équations à utiliser pour calculer la vitesse.

#### 4.4.3 Le courantomètre électromagnétique

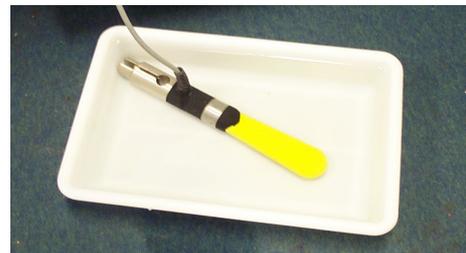
Le courantomètre fonctionne suivant le principe de Faraday. Dans le capteur de mesure immergé se trouve une bobine d'induction qui crée un champ magnétique entre deux électrodes fixes. Le déplacement de l'eau dans ce champ magnétique produit une tension induite proportionnelle à sa vitesse. Après traitement par un module électronique, la vitesse est directement affichée. On peut mesurer la vitesse moyenne sur une durée variable fixée par l'opérateur ou bien la vitesse instantanée.

La technique de mesure est celle du moulinet en méthode point par point fixé sur une perche.



Le courantomètre mesure la vitesse du courant dans toutes sortes d'écoulements, et en particulier là où les lames d'eau et les vitesses sont faibles, ou encore en présence de végétation aquatique. Un avantage certain est qu'il ne présente pas de pièces mobiles et qu'il est assez robuste. Son inconvénient majeur est qu'il n'est pas conçu pour mesurer des vitesses importantes (généralement au delà de 2,5 m/s).

Le contrôle du « zéro vitesse » permet de détecter une erreur systématique de l'appareil (Exemple : l'appareil indique 0,02 m/s indique qu'il faudra retrancher cette valeur à toutes les mesures pour approcher la véritable vitesse).



#### 4.4.4 Le profileur acoustique à effet Doppler (A.D.C.P.)

Le profileur acoustique à effet Doppler (A.D.C.P.) est un appareil utilisant les propriétés des ondes acoustiques pour mesurer à la fois les vitesses à différentes profondeurs et la profondeur. Cet appareil permet d'effectuer en une seule fois les mesures sur une verticale effectuées point par point avec un moulinet ou un courantomètre.

L'ADCP est généralement placé sur une embarcation soit embarquant des passagers, soit radio-commandée, soit manipulée de la berge à l'aide de cordages.



*Illustration 7: Des étudiants du Master Eau effectue une mesure à l'ADCP sur le canal du Congrès  
(Photo : G. Belaud)*

*Pour en savoir plus, voir le chapitre 7.3 « Description du fonctionnement du profileur acoustique à effet doppler (A.D.C.P.) ».*

# 5 - MÉTHODES PAR DILUTION

Le principe de base consiste à apprécier le facteur de dilution d'un traceur injecté en amont dans le cours d'eau, à une distance suffisante pour que sa concentration soit homogénéisée au point de prélèvement.

La méthode de dilution chimique est applicable dans les rivières à écoulement turbulent où un mélange rapide et homogène peut-être obtenu. La méthode est pratiquée dans les régions de montagne pour les faibles et moyens débits. Il ne doit pas se produire de perte de traceur ou d'eau entre les points d'injection et d'échantillonnage.

Deux méthodes d'injection sont utilisées la méthode à débit constant et la méthode par intégration ou par injection instantanée.

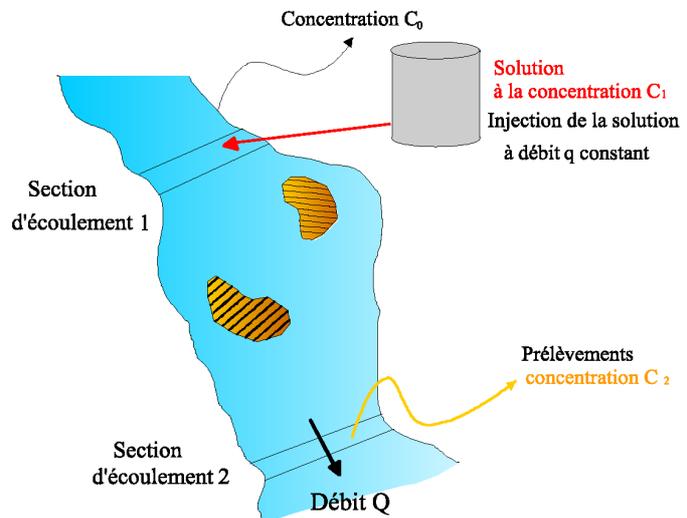


Illustration 8: Principe du jaugeage par dilution - mode opératoire

## 5.1 La méthode à débit constant

Le traceur est injecté sous une concentration  $C$  à un débit  $q$ , pendant un temps suffisamment long pour que les prélèvements effectués à une distance suffisamment importante à l'aval atteignent un palier de concentration  $c$ .

Le débit de la rivière est alors exprimé par  $Q = q \times \frac{C}{c}$



## 5.2 La méthode par intégration

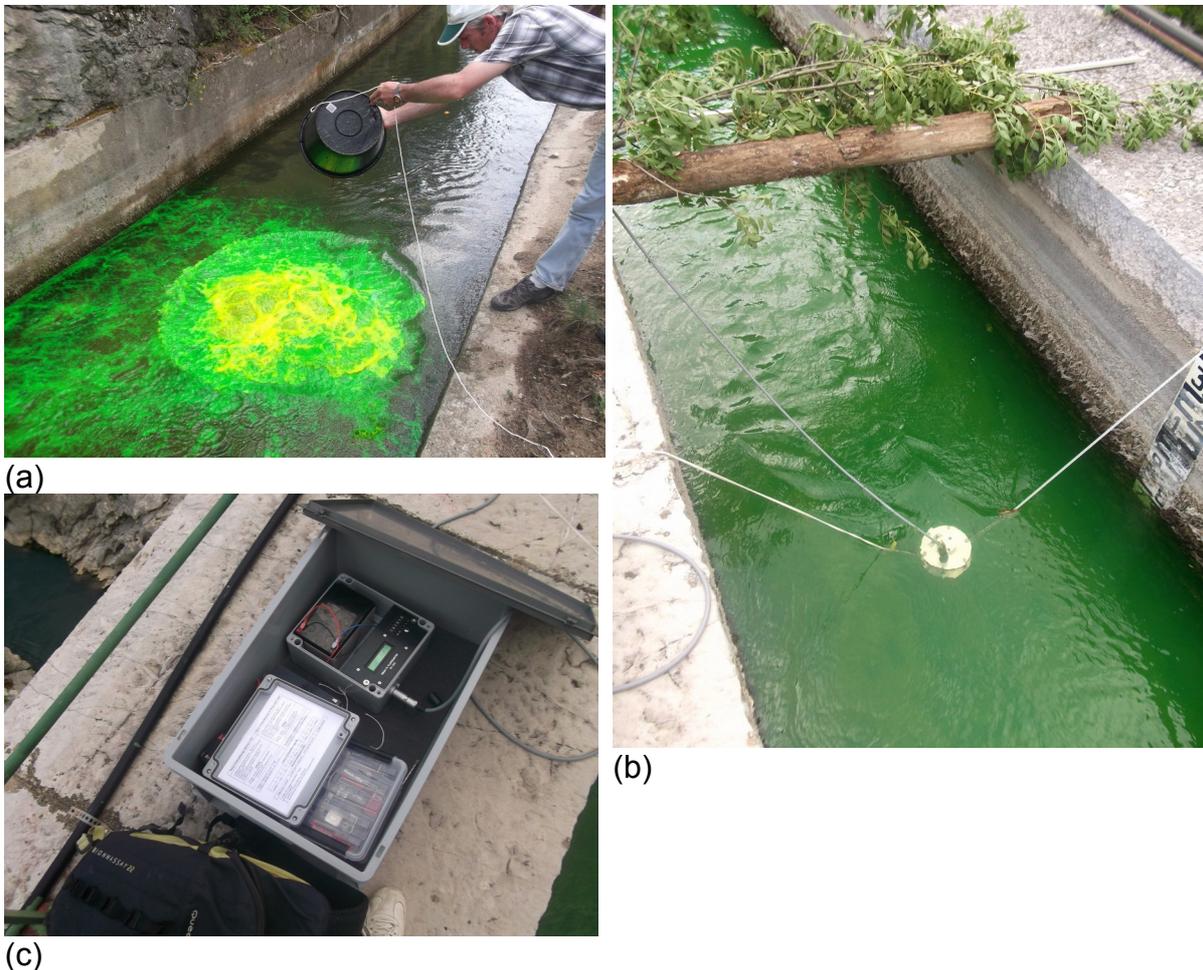
Un volume  $V$  d'une solution traceur, de concentration  $C$ , est injecté globalement dans l'écoulement. La section de prélèvement est située suffisamment à l'aval pour que le mélange soit correctement réalisé.

On mesure la concentration des prélèvements effectués en un point quelconque de la rivière pendant toute la durée du passage du nuage salin.

Si  $T_p$  est le temps de passage du traceur,  $c$  la concentration moyenne du nuage salin, et  $M$  la masse de produit injecté on a :

$$M = V \times C = Q \times c \times T_p$$

Ainsi, la formule donnant le débit s'écrit:  $Q = \frac{V}{T_p} \times \frac{C}{c}$



Mesure de débit par intégration : (a) Injection de fluorescéine (b) Sonde de mesure de concentration (c) Centrale d'acquisition (Photos : Mouna Doghri/Irstea)

## 5.3 Cas particulier du jaugeage au sel à l'aide d'une sonde conductimétrique

Dans ce cas, on injecte en un point du cours d'eau une masse connue de sel (NaCl) diluée dans un volume d'eau de la rivière. On place une sonde conductimétrique en aval de l'injection, à une distance suffisamment longue pour que le mélange soit bon. La sonde mesure la conductivité électrique de l'eau au cours du passage du nuage de sel. On peut alors tracer la courbe conductivité en fonction du temps.

Une relation linéaire existe entre la conductivité de l'eau et sa concentration en sel dissous. On peut donc en déduire la courbe concentration en fonction du temps. Le débit est alors obtenu par intégration de la concentration au cours du temps.

---

# 6 - SUIVI DES DÉBITS EN CONTINU

---

## 6.1 La station hydrométrique

Les informations nécessaires au calcul des débits d'un cours d'eau, essentiellement hauteurs d'eau et mesurage des débits ponctuels, sont recueillies à une station hydrométrique dont le choix du site doit être fait avec le souci de la qualité des mesures, compte tenu des propriétés géométriques et hydrauliques du bief.

Le site choisi doit permettre l'observation de tous les niveaux d'eau et le mesurage de tous les débits, qu'ils soient très faibles ou très élevés. Ceci implique que la totalité du débit passe dans la section de mesures (lit à chenal unique) et qu'un équipement limnimétrique puisse y être solidement installé sans risques de destruction, de submersion et d'émersion.

### 6.1.1 Stabilité et section de contrôle

La relation hauteur-débit d'une station hydrométrique doit être aussi stable que possible. Il faut pour cela choisir un bief, creusé dans un matériau résistant ou du moins de bonne cohésion et surtout rechercher, de manière systématique, les contrôles permanents et si possible complets. Cette seconde condition impose le choix d'un bief à régime fluvial contrôlé par l'aval, ainsi qu'une localisation des seuils ou sections de contrôle (cf. chapitre 3.1.3) avec évaluation des limites d'efficacité de chacune d'elles.

### 6.1.2 Sensibilité

La sensibilité d'une station est d'autant meilleure qu'une grande variation de la hauteur lue à l'échelle correspond à une faible augmentation du débit traversant la section de l'échelle. Elle peut être exprimée par le rapport  $\Delta Q/\Delta h$  ou mieux encore, puisque la précision relative sur le débit importe plus que la précision absolue, par le rapport  $(\Delta Q/Q)/\Delta h$ .

La valeur du rapport  $(\Delta Q/Q)/\Delta h$  exprimée en % par centimètre est variable suivant le niveau mais doit rester aussi faible que possible. Il faut ajouter qu'il n'existe en fait pas de méthode pour définir une valeur étalon de la sensibilité permettant de comparer les stations entre elles.

La sensibilité d'une station est meilleure dans les sections étroites et profondes (marnage fort) et à régime d'écoulement lent (donc fluvial).

### 6.1.3 Échelles limnimétriques

L'échelle limnimétrique est constituée d'éléments métriques, généralement faits de tôle émaillée, gradués tous les centimètres. L'échelle reste encore aujourd'hui l'instrument de base pour la mesure des niveaux d'eau dans les cours d'eau.

Une station limnimétrique, ou hydrométrique, existe de fait à partir de l'instant où au moins un élément métrique est mis en place. Cet élément détermine la position exacte de la section de l'échelle dans le bief hydrométrique et le calage en altitude des hauteurs mesurées. Ce calage en altitude est très important puisque toute modification entraîne une modification de la relation hauteur-débit (détarage de la station). Il faut toujours repérer le calage de l'échelle en altitude par un repère de nivellement situé hors de la zone d'inondation.

Au moment de l'installation, on s'efforcera de respecter les règles suivantes:

- le zéro de l'échelle doit être plus bas que le niveau des plus basses eaux;
- la partie supérieure de l'échelle est plus haute que le niveau des plus hautes eaux;
- l'échelle toujours accessible est facile à lire;
- les éléments sont alignés dans la section et bien calés en altitude les uns par rapport aux autres lorsque l'échelle est constituée par une batterie d'éléments.

Un principe de base que l'on s'efforcera de respecter est de ne pas modifier, autant que possible, l'altitude du zéro de l'échelle sans raison importante, en général liée à un affouillement important du lit laissant émergé l'élément 0-1.

## 6.2 Enregistrement manuel des débits en continu

Lorsqu'aucun enregistrement automatique de niveau est présent, le gestionnaire devra mesurer le débit lors de chaque manœuvre modifiant celui-ci. Ceci nécessite la tenue à jour d'un registre des opérations (Ce document peut être demandé par l'administration pendant 3 ans).

A chaque événement entraînant une modification du débit du canal (début et fin de campagne, arrêt momentané du canal, à la fermeture et à la réouverture, changement de réglage de la vanne de tête), il est indispensable de noter le jour et l'heure et la nouvelle valeur du débit.

La mesure doit se faire après stabilisation du niveau. Et en régime stable, une mesure régulière (au moins une fois par mois et plus en cas de sécheresse) est nécessaire.

L'opérateur mesure la hauteur d'eau à l'aide de l'échelle limnimétrique, et en déduit le débit à l'aide de la courbe de tarage existante pour l'ouvrage. Le volume écoulé est calculé en multipliant le débit par le temps écoulé entre deux manœuvres. On fait alors l'hypothèse que le débit est resté constant entre deux mesures.

Date et heure	Durée (j)	Niveau (cm)	Débit (l/s)	Volume (m³)	Observations
1 juin 08:00		63	233		Mise en eau du canal
	29,50			593 870	
30 juin 20:00		28	0		Fermeture pour cause d'orage
	4,50			0	
5 juil. 08:00		50	107		Réouverture
	32,17			297 374	
6 août 12:00		45	70		Réduction prélèvement
	25,79			155 988	
1 sept. 07:00		39	34		Réduction prélèvement
	30,54			89 719	
1 oct. 20:00		28	0		Fermeture fin de saison

Volume total dérivé pendant la saison :

Illustration 9: Enregistrement du volume prélevé avec le registre d'opérations

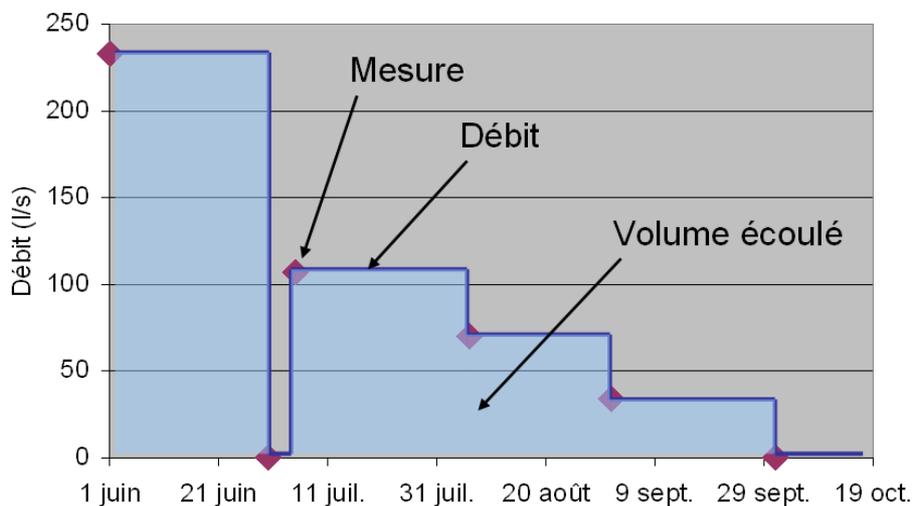


Illustration 10: Représentation graphique de l'enregistrement manuel des débits en continu

## 6.3 Enregistrement automatique des débits en continu

Les sondes automatiques effectuent des mesures avec un pas de temps choisi (généralement de 15 ou 30 minutes). Un logiciel de calcul sur ordinateur transforme les données mesurées en débits, puis en volume écoulé.

### 6.3.1 A partir d'une mesure de hauteur d'eau

Le capteur limnimétrique est associé à un automate qui va enregistrer la hauteur d'eau à un pas de temps défini par l'utilisateur et le débit sera calculé à partir d'une équation d'ouvrage ou d'une courbe de tarage. Le pas de temps de mesure choisi devrait être compatible avec le volume de données stockable et la dynamique de variation des hauteurs d'eau. L'ordre de grandeur est, en pratique, de quelques minutes sur les canaux d'irrigation (15 minutes sur les gros gabarits).

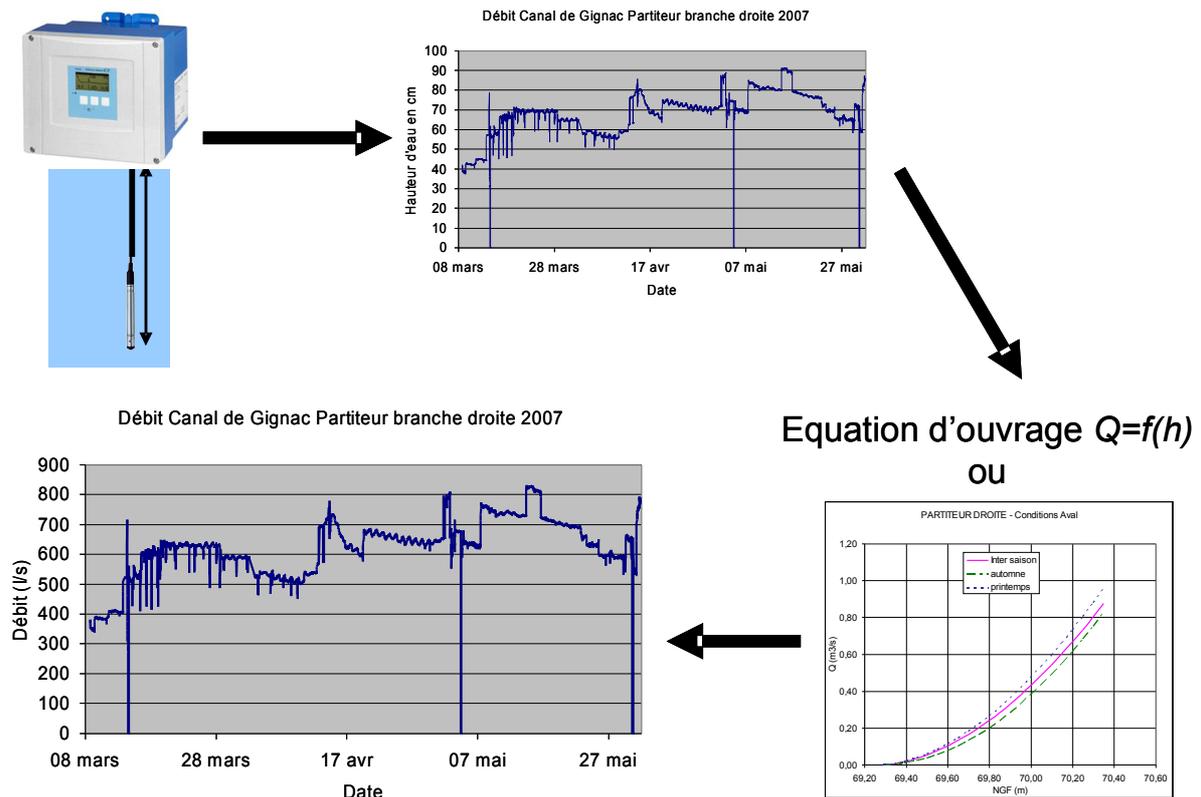


Illustration 11: Calcul d'une série de débit à partir des données d'un capteur limnimétrique

### 6.3.1.1 Capteurs limnimétriques

Les capteurs usuels sont classés en deux grandes catégories :

- les capteurs directs qui mesurent une hauteur (Deux systèmes sont utilisés: les flotteurs et palpeurs qui suivent les mouvements du plan d'eau ; le calcul du temps de parcours d'une onde ultrasonore ou lumineuse).
- les capteurs indirects qui mesurent une grandeur physique associée à la hauteur, cette grandeur physique étant le plus souvent la pression hydrostatique (Deux principes fondamentaux sont utilisés: la mesure indirecte de la pression hydrostatique par un système pneumatique à enceinte ouverte connu sous le nom de bulle à bulle, la mesure directe de la pression hydrostatique par un capteur de pression).

Les caractéristiques les plus connues des capteurs limnimétriques sont :

- la gamme de mesure qui est à adapter en fonction de la gamme de variation possible des hauteurs d'eau : 0-1 m ou 0-2 m pour les canaux ;
- la sensibilité qui est la plus petite variation de la hauteur d'eau  $h$  entraînant un signal mesurable; elle est généralement inférieure à 1 cm ;
- la précision qui caractérise l'aptitude du capteur à donner une valeur aussi proche que possible de la valeur vraie de la hauteur; elle est liée à la somme des erreurs élémentaires au niveau du senseur et du transducteur ;
- la stabilité de la réponse caractérisée par l'absence de dérive, de bruit de fond couvrant le signal, ou de cycles dus à un phénomène d'hystérésis etc. ;
- le temps de réponse ou vitesse de poursuite: lorsque le plan d'eau varie rapidement, le capteur doit être capable d'accompagner cette variation qui peut être de plusieurs mètres par heure ;

- la résistance mécanique aux chocs ou à l'abrasion particulièrement importante dans les rivières et torrents de montagne ;
- le coût et les contraintes d'installation qui conditionnent le choix du matériel et de leur mise en œuvre ;
- la simplicité d'installation, d'exploitation et de maintenance du système et sa fiabilité dans le temps.

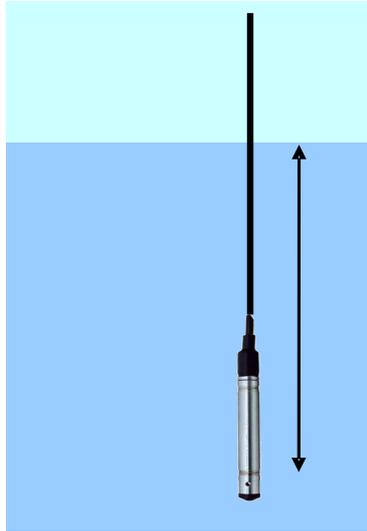


Illustration 12: Capteur pressiométrique

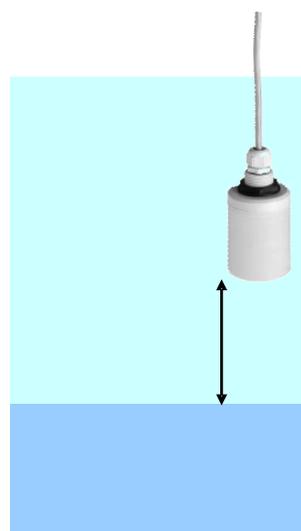


Illustration 13: Sonde de surface à ultrason



Illustration 14: Sonde à flotteur

### 6.3.2 A partir de mesures de vitesses

Les appareils fixes mesurant des vitesses pour calculer un débit ont toujours besoin de connaître la section mouillée de l'écoulement, c'est pourquoi ces appareils sont toujours couplés avec une mesure de hauteur d'eau.

#### 6.3.2.1 Cordes de vitesses (méthode ultrasonique)

*On désigne de façon courante par « corde de vitesse » le dispositif de mesure de la vitesse d'écoulement de fluide par la méthode des temps de transit d'une onde acoustique*

Le transducteur mesure les temps de parcours d'impulsions acoustiques affectant un aller-retour sur une trajectoire en diagonale par rapport à l'écoulement. La vitesse moyenne de l'écoulement le long de cette corde, ou vitesse en ligne, est calculée à partir de la différence entre les temps de parcours aller et retour.

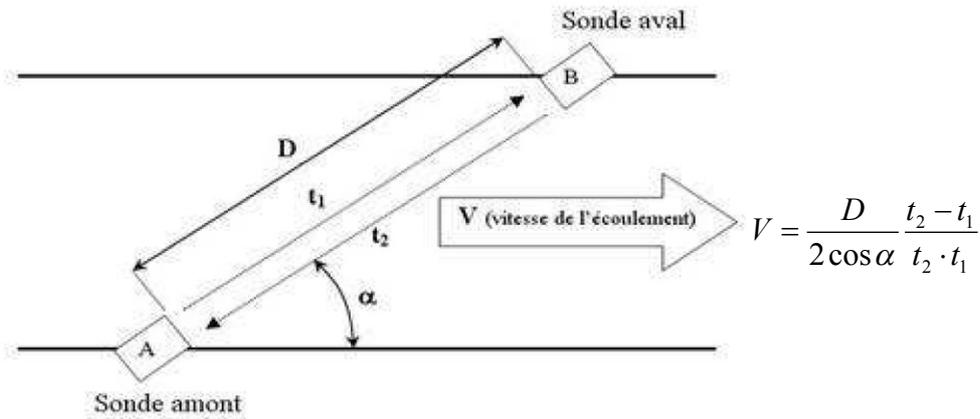


Illustration 15: Principe et formule de fonctionnement des cordes de vitesse

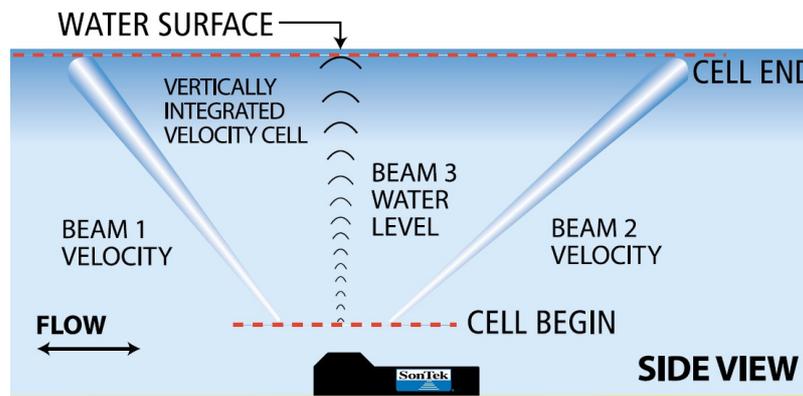
La hauteur d'eau est mesurée par un limnimètre. Il existe une relation systématique K entre la vitesse en ligne et la vitesse de l'écoulement dans la rivière en fonction de ses caractéristiques géométriques et de la hauteur d'eau. En fonction de la hauteur d'eau, un microprocesseur détermine le coefficient K adapté et calcule à l'aide de celui-ci la vitesse moyenne de l'écoulement.

Le débit est obtenu en multipliant l'aire de la section mouillée (déduite de la hauteur d'eau mesurée) par la vitesse moyenne de l'écoulement.

En plaçant plusieurs cordes de vitesse à différentes hauteurs, la précision de la mesure est améliorée.

### 6.3.2.2 Capteurs de hauteur d'eau et de vitesse à effet doppler

Le capteur à effet doppler se place au fond ou sur un côté du canal et mesure à la fois la hauteur d'eau et un profil de vitesses.



Le débit est obtenu en multipliant l'aire de la section mouillée (déduite de la hauteur d'eau mesurée) par la vitesse moyenne de l'écoulement (déduite du profil des vitesses).

### 6.3.3 Transmission et enregistrement des données

Le capteur transmet des données à un automate appelé aussi centrale d'acquisition. Cet automate pourra enregistrer les données pour qu'un opérateur vienne les transmettre manuellement sur un autre support (ordinateur portable...) ou il peut être relié à un système de communication (téléphone, GSM, radio, satellite) et

transmettre automatiquement les données à un pas de temps choisi vers un ordinateur où pourront être rassemblées toutes les données d'un canal.

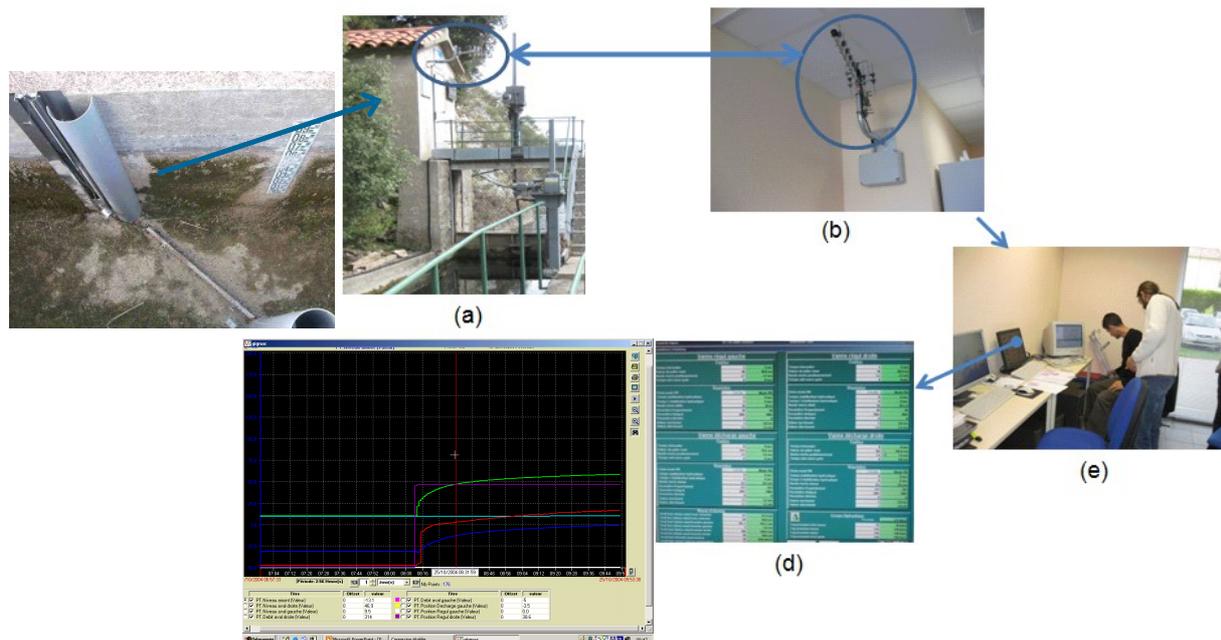


Illustration 16: Exemple des cordes de vitesse et de la supervision du canal de Gignac

# 7 - ANNEXES (POUR EN SAVOIR PLUS...)

## 7.1 Formule et coefficients usuels de Manning-Strickler

### 7.1.1 Formule de Manning-Strickler

La formule de Manning-Strickler permet de calculer le débit dans le cas d'un écoulement uniforme.

$$Q = K \cdot R_h^{2/3} \cdot S \cdot \sqrt{I_f}$$

Avec  $Q$  le débit (m<sup>3</sup>/s)  
 $K$  le coefficient de Strickler (voir valeurs usuelles ci-dessous)  
 $R_h$  le rayon hydraulique ( $R_h = S / P$  avec  $S$  et  $P$ , la section et le périmètre mouillés)  
 $S$  la section mouillée (m<sup>2</sup>)  
 $I_f$  la pente du fond (m/m)

Dans un certain nombre de pays, on utilise le coefficient de Manning noté  $n$  qui est l'inverse du coefficient de Strickler.

### 7.1.2 Coefficients de Strickler

Cours d'eau	Valeurs usuelles de $K$ (m <sup>1/3</sup> /s)
Canal bétonné, très lisse	75-100
Canal bétonné, état moyen	50-75
Canal en terre	30-50
Cours d'eau régulier, bien entretenu	30-40
Cours d'eau ordinaire	25-35
Cours d'eau avec embâcles	20-30

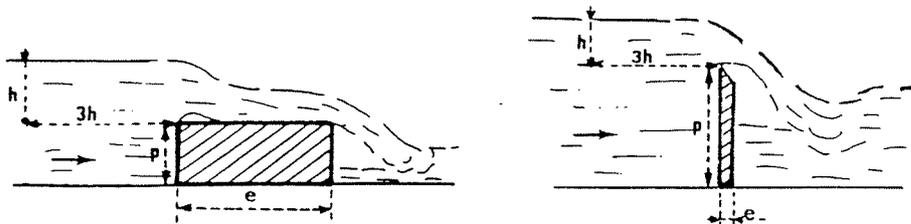
## 7.2 Formules et abaques pour les déversoirs et les vannes

### 7.2.1 Formule pour déversoirs

Un déversoir est une construction hydraulique en travers d'un cours d'eau au dessus de laquelle l'eau se déverse. La ligne ou la surface au dessus de laquelle s'effectue le déversement est appelée "seuil" ou "crête" du déversoir. La hauteur entre le lit et

le point le plus bas de la crête du déversoir, mesurée en amont de celui-ci est la "hauteur de pelle" ( $p$ ).

On distingue les déversoirs à seuil épais, pour lesquels la hauteur d'eau ( $h$ ) au-dessus du seuil mesurée à l'amont du déversoir est faible par rapport à l'épaisseur ( $e$ ) de la crête ( $h < 1,6 e$ ); et les déversoirs en mince paroi (habituellement constituée par une plaque métallique), dont la crête présente une arête, soit rectiligne, soit découpée en échancrure de forme géométrique (rectangulaire, triangulaire, circulaire, ...).



$$h < 1,6 e$$

Déversoir à seuil épais

$$h \geq 1,6 e$$

Déversoir en mince paroi

### Recommandations générales concernant l'emploi des formules pour déversoirs :

Les formules présentées dans ce paragraphe ne sont applicables qu'à des déversoirs dénoyés. Un déversoir est dénoyé lorsque le niveau aval n'a pas d'influence sur le niveau amont, donc sur le débit. Pour simplifier, on peut considérer que cette condition est remplie dans tous les cas lorsque la cote aval se situe nettement en dessous de la cote du seuil, ce qui s'observe généralement pour les faibles débits.

De plus, il faut que la lame déversante soit bien décollée à l'aval de la paroi du seuil.

Enfin, l'utilisation de ces formules est à proscrire lorsque la hauteur d'eau sur le seuil est très faible par rapport à la largeur de la lame déversante.

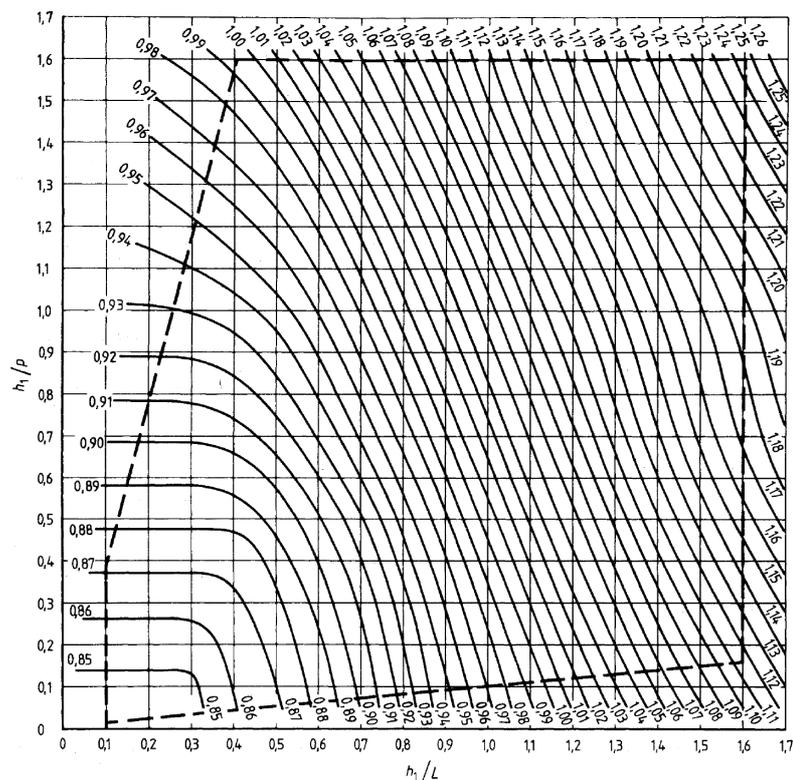
#### 7.2.1.1 Déversoirs rectangulaires à seuil épais

$$Q = 1,71 \times C \times b \times h^{1,5}$$

$b$  largeur du déversoir (m)

$h$  hauteur d'eau (m) mesurée au dessus du seuil à une distance vers l'amont d'environ  $3h_{max}$

$C$  coefficient dépendant de  $h/e$  et  $h/p$  ( $e$  : épaisseur du seuil et  $p$  hauteur de la pelle en mètres) qui s'obtient à l'aide de l'abaque ci-contre.



Les valeurs recommandées sont celles qui se trouvent entre les lignes grasses de l'abaque.

$$h \geq 0,06 \text{ m}$$

$$p \geq 0,15 \text{ m}$$

$$b \geq 0,3 \text{ m}$$

$$0,1 < e/p < 4$$

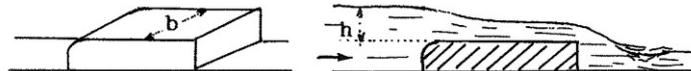
$$0,1 < h/e < 1,6$$

$$h/p < 1,6$$

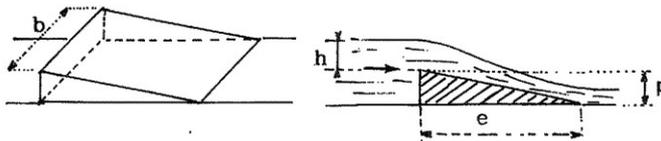
### Crête plane de forme arrondie à l'amont

Le rayon de courbure doit être supérieur à  $0,1 h$  :

$$Q = 1,88 \times C \times b \times h^{1,5}$$

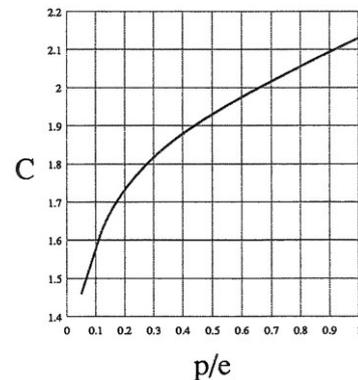


### Crête inclinée vers l'aval

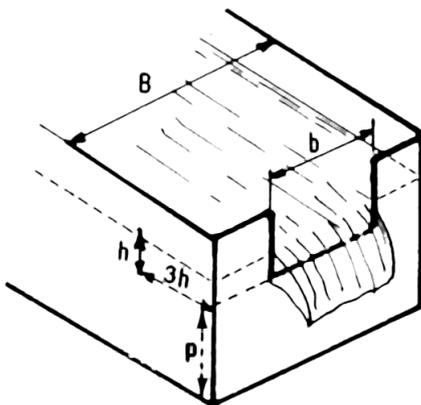


Le profil longitudinal du seuil est de forme triangulaire rectangle.

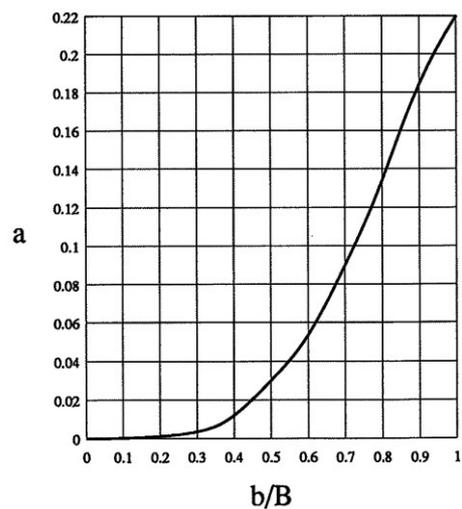
$$Q = C \times b \times h^{1,5}$$



### 7.2.1.2 Déversoirs rectangulaires en mince paroi



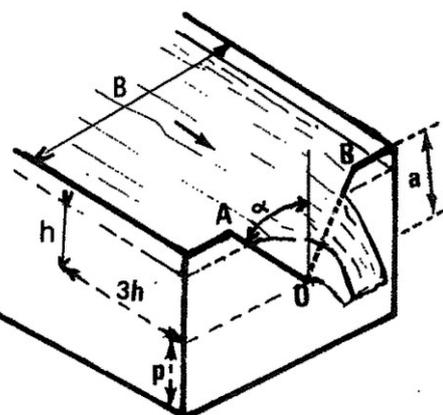
$$Q = C \times b \times h^{1,5} \text{ avec } C = 1,77 + a \times h/p \text{ (a fonction de } b/B \text{ selon l'abaque ci-contre)}$$



### Limites d'application de la formule :

$$h/p \leq 2,5 \quad b \geq 0,15 \text{ m} \quad h \geq 0,03 \text{ m} \quad p \geq 0,10 \text{ m}$$

### 7.2.1.3 Déversoirs triangulaire en mince paroi



$$Q = 1,37 \times \operatorname{tg}(\alpha) \times h^{2,5} = 1,37 \times (AB/2a) \times h^{2,5}$$

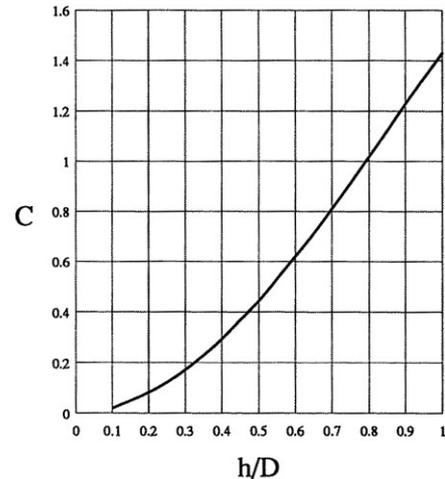
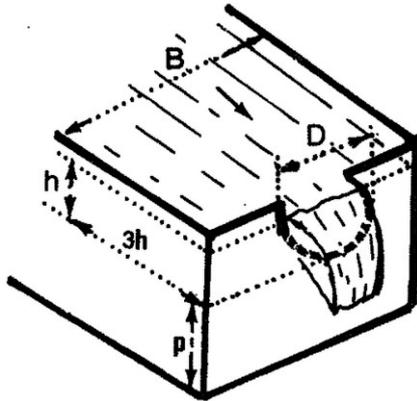
### Limites d'application de la formule :

$$10 \leq \alpha \leq 50 \text{ degrés} \quad h/p \leq 0,35$$

$$h = 0,06 \text{ m} \quad 0,10 \leq p/B \leq 1,5$$

$$p \geq 0,09 \text{ m}$$

#### 7.2.1.4 Déversoirs circulaire en mince paroi



$Q = C \times D^{2,5}$  avec  $C$  fonction de  $h/D$  selon l'abaque ci-contre.

Limites d'application de la formule :

$$0,1 \leq D \leq 1 \text{ m} \quad B > 2D \quad p > 0,1 \text{ m} \quad p > D/2 \quad 0,1 \leq h/D \leq 1 \quad h > 0,03 \text{ m}$$

#### 7.2.1.5 Autres formes de déversoirs en mince paroi

Pour les déversoirs en mince paroi dont l'échancrure présente une forme plus complexe, on essaiera de se ramener à une juxtaposition de plusieurs seuils de forme simple dont la formule est connue. Par exemple, le débit passant à travers un déversoir trapézoïdal isocèle en mince paroi sera la somme d'un déversoir rectangulaire et de deux demi-déversoirs triangulaires.

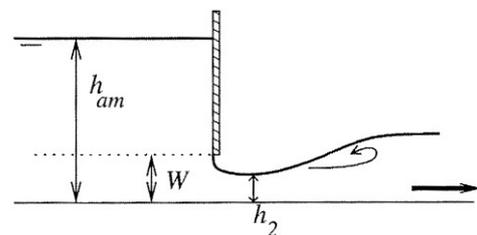
### 7.2.2 Formules pour orifices et vannes

#### 7.2.2.1 Vanne dénoyée

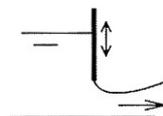
La vanne est dénoyée si on observe à l'aval de la vanne un écoulement rapide avec une section contractée ( $h_2 < 0,6 W$ ).

$$Q = 4,43 \times C \times b \times w \times \sqrt{h_{am}}$$

La valeur de  $C$  varie en fonction du type de vanne.

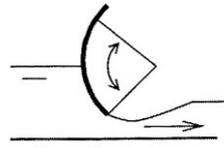


Vanne plane verticale

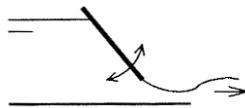


$C = 0,6 \text{ à } 0,65$

Vanne radiale (ou secteur)



Vanne plane inclinée

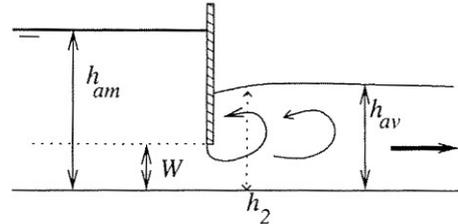


$C = 0,6 \text{ à } 0,8$   
(dépend de l'angle  
d'inclinaison)

### 7.2.2.2 Vanne noyée

La vanne est noyée lorsque le ressaut aval vient frotter contre la vanne. Une vanne noyée n'est pas une section de contrôle de l'écoulement. Le débit dépend donc des hauteurs d'eau amont et aval.

$Q = C \times 4,43 \times b \times w \times \sqrt{h_{am} - h_{av}}$  avec  $C$  donné par le tableau en 7.2.2.1.



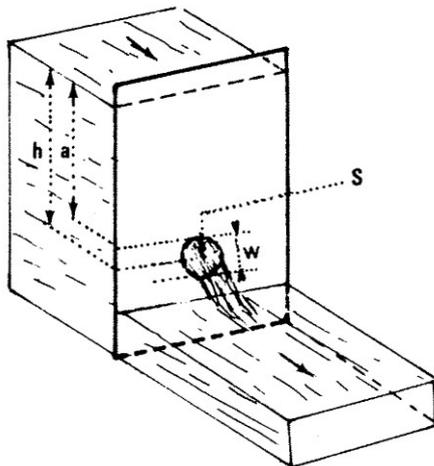
### 7.2.2.3 Orifice circulaire en mince paroi complètement contracté

#### Mesures à effectuer

$W$  diamètre de l'orifice : en déduire  $S = \pi / 4 \times W^2 = 0,785 \times W^2$

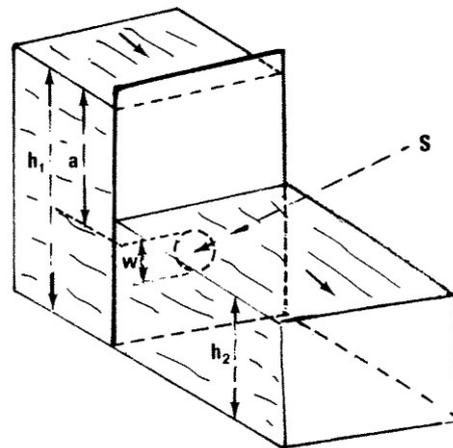
$a$  hauteur amont au dessus de l'orifice : en déduire  $h = a + W / 2$

Orifice dénoyé à l'aval



$$Q = 2,66 \times S \times \sqrt{h}$$

Orifice noyé à l'aval



$$Q = 2,66 \times S \times \sqrt{h_1 - h_2}$$

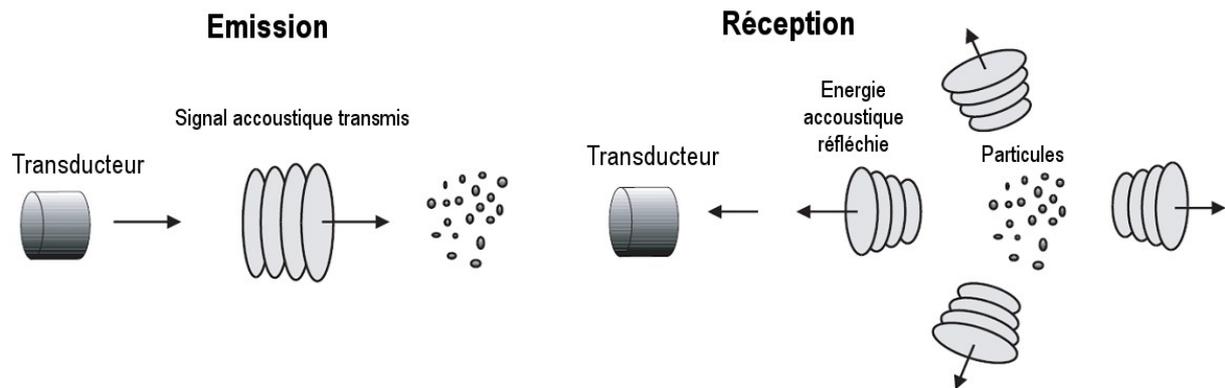
#### Limites d'application de la formule

- vitesse d'approche dans le canal amont négligeable ;
- surface de la section mouillée au moins égale à 10 fois la surface de l'orifice ;
- différence de hauteur d'eau de part et d'autre de l'orifice au moins égale à 0,03 m ;
- $a \geq W$  et  $W \geq 0,02$  m.

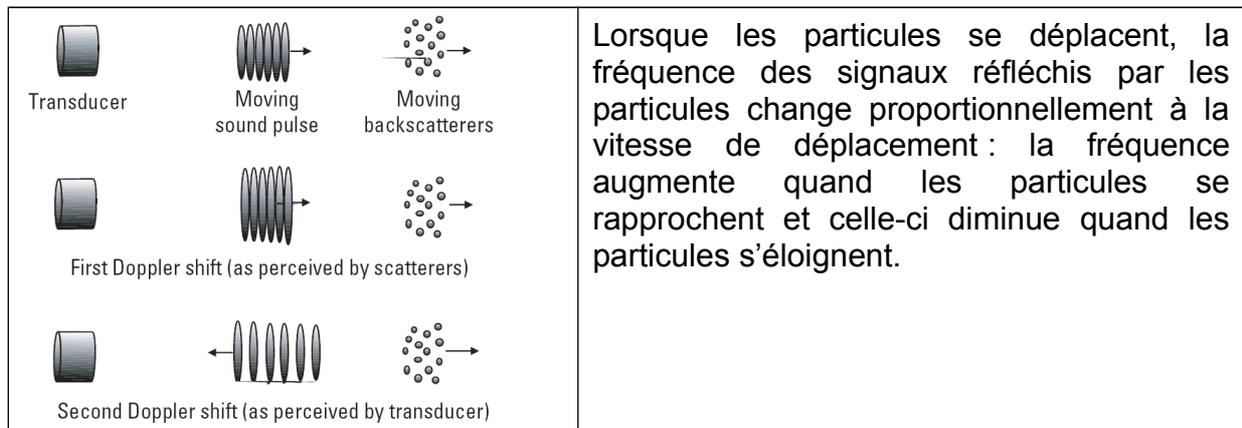
## 7.3 Description du fonctionnement du profileur acoustique à effet doppler (A.D.C.P.)

Les capteurs à ultrason doppler sont capables de mesurer directement des profils verticaux de la vitesse de l'eau.

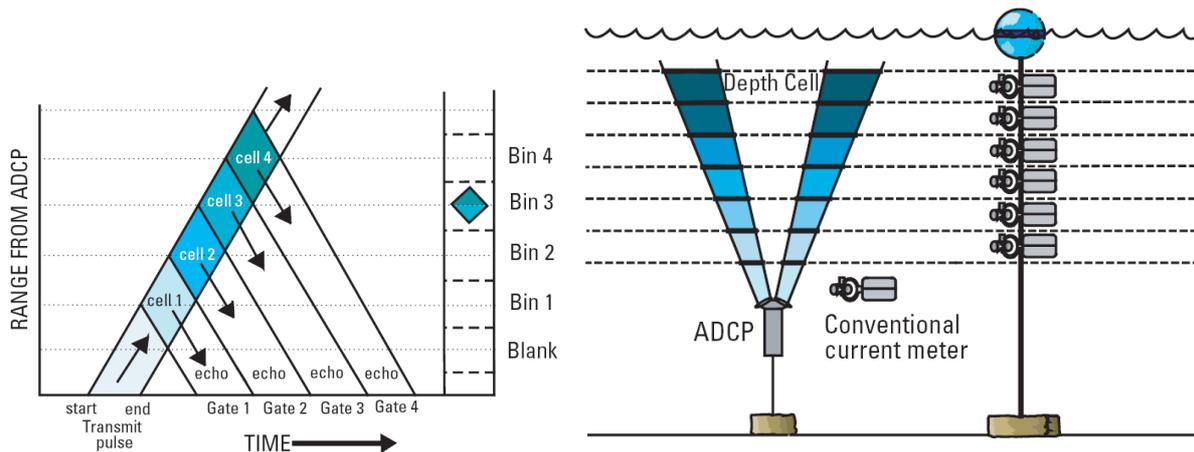
Les capteurs à ultrason Doppler, fixés sur un coté de l'écoulement, émettent un signal ultrasonique dans le flux du liquide. Lorsque ce signal est réfléchi par les particules solides ou les bulles d'air, sa fréquence se modifie proportionnellement à la vitesse du fluide. (Le principe est le même lorsqu'une ambulance sirène hurlante nous double sur le bord d'une route : le son de la sirène est aiguë à l'approche de l'ambulance et devient plus grave quand celle-ci s'éloigne.)



Le transducteur envoie un signal ultrasonique et reçoit les signaux reflétés par les particules présentes dans l'eau.



Pour chaque signal émit par le transducteur, le transducteur reçoit plusieurs échos correspondant aux différentes profondeurs où les particules ont réfléchi le signal.



En analysant les temps de retour des signaux renvoyés vers le transducteur, l'appareil est capable de déduire les vitesses de déplacement des particules pour différentes profondeurs (les plages de profondeurs étudiées sont appelées « cellule »). Ainsi, une mesure à l'ADCP permet d'obtenir en une mesure, l'équivalent de plusieurs mesures au courantomètre ou au moulinet sur une verticale.

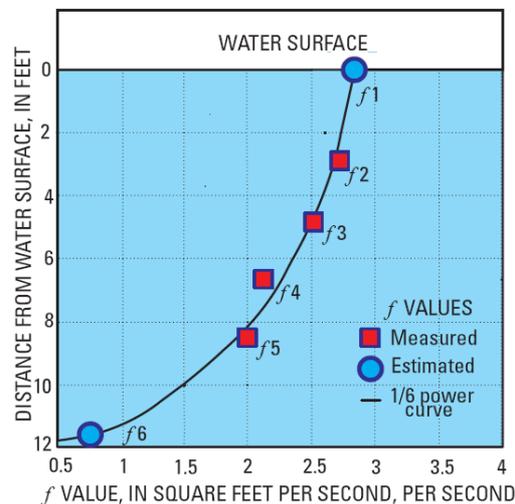
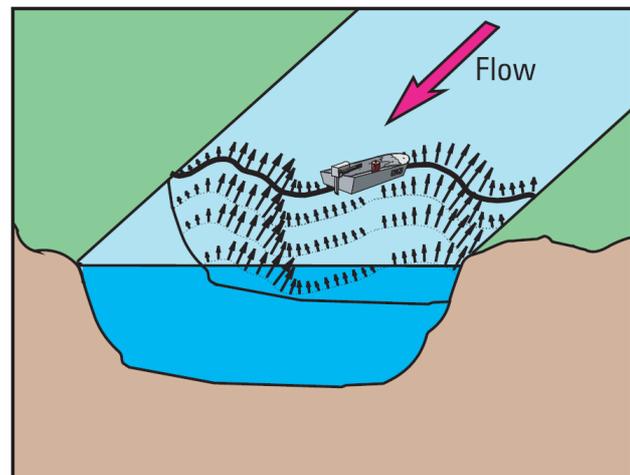


Illustration 17: Mesure et estimation des vitesses sur une verticale avec un ADCP

Placé sur une embarcation en mouvement, l'ADCP en mesurant la vitesse et le sens de déplacement par rapport au fond (bottom-tracking) peut aussi reconstituer automatiquement un débit sur une section complète d'un cours d'eau. Cette technique peut être améliorée en couplant le bottom-tracking avec un positionnement GPS.



## 7.4 Extraits du code de l'environnement

### 7.4.1 Extrait de la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de l'article 10 de la loi n°92-3 du 3 janvier 1992

#### 2. Eaux superficielles

2.1.0. A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article 15 de la loi sur l'eau, prélèvement et installations et ouvrages permettant le prélèvement, y compris par dérivation, dans un cours d'eau, dans sa nappe d'accompagnement ou dans un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe :

- Autorisation : d'un débit total égal ou supérieur à 5 p. 100 du débit ou à défaut du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau
- Déclaration : d'un débit total compris entre 2 et 5 p. 100 du débit ou à défaut du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau

### 7.4.2 Article L214-8 : obligation de moyens de mesure

Les installations soumises à autorisation ou à déclaration au titre des articles L. 214-1 à L. 214-6 permettant d'effectuer à des fins non domestiques des prélèvements en eau superficielle ou des déversements, ainsi que toute installation de pompage des eaux souterraines, doivent être pourvues des moyens de mesure ou d'évaluation appropriés. Leurs exploitants ou, s'il n'existe pas d'exploitants, leurs propriétaires sont tenus d'en assurer la pose et le fonctionnement, de conserver trois ans les données correspondantes et de tenir celles-ci à la disposition de l'autorité administrative ainsi que des personnes morales de droit public dont la liste est fixée par décret. Lorsque le prélèvement d'eau est réalisé par pompage, la mesure est effectuée au moyen d'un compteur d'eau.

Les installations existantes doivent avoir été mises en conformité avec les dispositions du présent article dans un délai de cinq ans à compter du 4 janvier 1992.

### 7.4.3 Article R214-58 : tenue d'un registre des prélèvements

L'exploitant responsable d'une installation est tenu de noter, mois par mois, sur un registre spécialement ouvert à cet effet :

- Les volumes prélevés ;
- Le cas échéant, le nombre d'heures de pompage ;
- L'usage et les conditions d'utilisation ;
- Les variations éventuelles de la qualité qu'il aurait pu constater ;
- Les conditions de rejet de l'eau prélevée ;
- Les changements constatés dans le régime des eaux ;
- Les incidents survenus dans l'exploitation de l'installation ou le comptage des prélèvements et notamment les arrêts de pompage.

## 7.4.4 Arrêté du 9 novembre 2007 relatif aux modalités de calcul de l'assiette de la redevance pour prélèvement sur la ressource en eau

### CHAPITRE II – Modalités de calcul de l'assiette de la redevance en l'absence de résultats de comptage des prélèvements

**Art. 9.** – Lorsque le prélèvement d'eau est destiné à l'alimentation d'un canal, le volume prélevé est déterminé à partir des caractéristiques hydrauliques et des conditions de fonctionnement de l'ouvrage ou, en l'absence de ces données, du débit du prélèvement mentionné dans l'acte administratif relatif à ce prélèvement.

## 7.5 Normes françaises et internationales

Intitulé général : « mesure de débit des liquides dans les canaux découverts »

### 7.5.1 Généralités

- ISO 772:1996 : Déterminations hydrométriques — Vocabulaire et symboles
- ISO 772:1996/Amd 1:2002 : Termes et définitions supplémentaires
- ISO/TR 8363:1997 : Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts -- Lignes directrices générales pour la sélection de la méthode
- NF X10-106 :1983 : Mesure de débit des fluides - Calcul de l'erreur limite sur une mesure de débit
- ISO/TS 25377:2007 : Lignes directrices relatives à l'incertitude en hydrométrie

### 7.5.2 Mesure par exploration du champ des vitesses

- ISO 748:2007 : Hydrométrie - Mesurage du débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de moulinets ou de flotteurs
- ISO 2537:2007 : Hydrométrie - Moulinets à élément rotatif
- ISO 6416:2004 : Hydrométrie - Mesure du débit à l'aide de la méthode ultrasonique (acoustique)
- ISO 9213:2004 : Mesurage du débit total dans les canaux découverts -- Méthode électromagnétique à l'aide d'une bobine d'induction couvrant toute la largeur du chenal
- 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 3454:2008 : Hydrométrie - Matériel de sondage et de suspension pour le mesurage direct de la profondeur
- ISO 4366:2007 : Hydrométrie - Sondeurs à écho pour le mesurage de la profondeur de l'eau

### 7.5.3 Mesure à l'aide de déversoirs

- ISO 4373:2008 : Hydrométrie - Appareils de mesure du niveau de l'eau
- NF X10-314 :1983 : Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs - Méthode d'évaluation du débit par détermination de la profondeur en bout des chenaux rectangulaires à déversement dénoyé

- ISO 3847:1977 : Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux jaugeurs - Méthode d'évaluation du débit par détermination de la profondeur en bout des chenaux rectangulaires à déversement dénoyé
- ISO 1438:2008 : Hydrométrie - Mesure de débit dans les canaux découverts au moyen de déversoirs à paroi mince
- ISO 3846:2008 : Hydrométrie - Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs rectangulaires à seuil épais
- ISO 4360:2008 : Hydrométrie - Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de déversoirs à profil triangulaire
- ISO/TS 24154:2005 : Hydrométrie - Mesure de la vitesse et du débit des rivières au moyen de profileurs à effet Doppler

#### **7.5.4 Mesure par la méthode de dilution**

- 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 9555-2:1992 : Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts - Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs - Partie 2: Traceurs radioactifs
- 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

#### **7.5.5 Transmission des données**

- ISO/TS 24155:2007 : Hydrométrie -- Systèmes de transmission des données hydrométriques -- Spécification des exigences des systèmes