



## FICHE TECHNIQUE

### Mesure de débit à surface libre

Code : 5.2.1 FIT1

Date de rédaction : jeudi 28 février 2013

Version : mardi 10 septembre 2013

Version finale



## Note aux lecteurs

Les prescriptions techniques générales s'appliquent aux opérations à réaliser en Haïti et relevant du champ de compétence de la Direction Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DINEPA). Elles constituent un référentiel, certaines à portée réglementaire, nationale, technique et sectorielle, d'autres ayant un rôle d'information et de support complémentaire.

Les documents à portée réglementaire, nationale, technique et sectorielle sont :

- **Les Fascicules Techniques** indiquant les principes obligatoires et les prescriptions communes à une sous thématique technique ;
- **Les Directives Techniques** prescrivant les règles minimales imposées pour la conception et la réalisation ainsi que la gestion d'ouvrages spécifiques.

Tout propriétaire et/ou réalisateur est tenu de respecter au minimum les prescriptions qui y sont indiquées. Toute dérogation devra faire l'objet d'une autorisation au préalable et par écrit de la DINEPA.

Les documents ayant un rôle d'information et de support complémentaire, sont :

- Les fiches techniques et Guides techniques présentant ou décrivant des ouvrages ou des actions dans les différentes thématiques ;
- Les modèles de règlements d'exploitation ou de gestion ;
- Les modèles de cahiers des clauses techniques particulières, utilisables comme « cadres - type » pour les maîtres d'ouvrages et concepteurs ;
- Divers types de modèles de documents tels que procès verbaux des phases de projet, modèles de contrat ou de règlement, contrôle de bonne exécution des ouvrages, etc.

Ces documents ayant un rôle d'information et de support complémentaire sont compatibles avec la réglementation imposée et peuvent préciser la compréhension des techniques ou fournir des aides aux acteurs.

Le présent référentiel technique a été élaboré en 2012 et 2013 sous l'égide de la DINEPA, par l'Office International de l'Eau (OIEau), grâce à un financement de l'UNICEF.

Dépôt légal 13-11-547 Novembre 2013. ISBN 13- 978-99970-52-06-3.

Toute reproduction, utilisation totale ou partielle d'un document doit être accompagnée des références de la source par la mention suivante : *par exemple* « extrait du référentiel technique national EPA, République d'Haïti : *Fascicule technique/directives techniques/etc. 2.5.1 DIT1* (projet DINEPA-OIEau-UNICEF 2012/2013) »

# Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Chronomètre et récipient</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Flotteur et chronomètre</b> .....	<b>5</b>
<b>4. Mesure par déversoir</b> .....	<b>6</b>
4.1. Déversoir rectangulaire sans contraction latérale.....	7
4.2. Déversoir rectangulaire avec contraction latérale.....	8
4.3. Déversoir triangulaire.....	9
<b>5. Jaugeage chimique</b> .....	<b>9</b>
<b>6. Moulinet hydrométrique</b> .....	<b>11</b>
<b>7. Sources</b> .....	<b>12</b>

## 1. Introduction

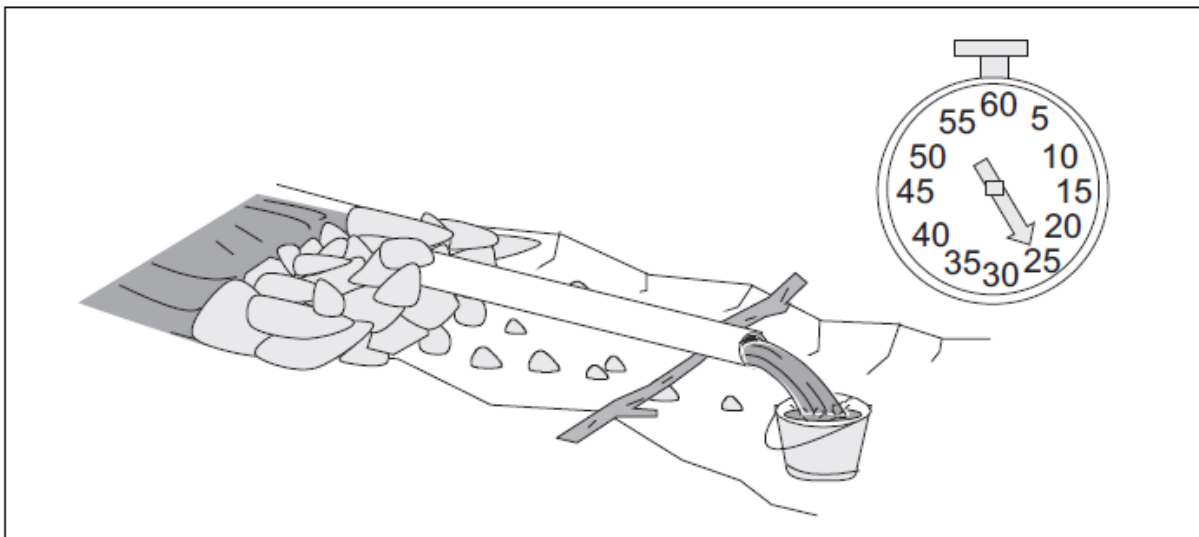
Il existe différentes méthodes pour estimer le débit des cours d'eau. La technique doit être choisie en fonction de la gamme de débit à mesurer et des conditions d'écoulement.

**Tableau 1. :** Techniques de mesure du débit

Mesure directe du débit (récipient et chronomètre)	Débit < 35 l/s
Mesure de la vitesse du courant (flotteur et chronomètre) ou moulinet	Écoulement laminaire <sup>1</sup>
Mesure de hauteur d'eau (déversoir) Écoulement laminaire	Écoulement laminaire
Mesure chimique (dilution de sel)	Écoulement turbulent <sup>2</sup> 100 l/s < débit < 3 m <sup>3</sup> /s

## 2. Chronomètre et récipient

Pour obtenir une bonne précision, la durée de remplissage doit être comprise entre 30 et 60 secondes (figure 1). Le récipient est préalablement étalonné et sa capacité choisie en fonction du débit (tableau 2). Il est recommandé d'effectuer plusieurs mesures et de retenir la moyenne.



**Figure 1 -** Mesure de débit directe

<sup>1</sup> La notion de régime laminaire ou turbulent est liée à la viscosité. Au voisinage d'une paroi sur laquelle la vitesse relative du fluide est nulle, apparaissent de fortes variations de vitesse qui impliquent donc la viscosité. Plus précisément un écoulement visqueux est caractérisé par un nombre sans dimension, le nombre de Reynolds qui mesure l'importance relative des forces inertielles liées à la vitesse et des forces de frottement liées à la viscosité. Lorsque le nombre de Reynolds augmente au-delà d'une certaine limite l'écoulement est déstabilisé, ce qui peut conduire à la turbulence après une phase de transition plus ou moins importante.

Dans un **écoulement laminaire** deux particules fluides voisines à un instant donné restent voisines aux instants suivants.

<sup>2</sup> La turbulence désigne l'état d'un fluide dans lequel la vitesse présente en tout point un caractère tourbillonnaire. Les écoulements turbulents se caractérisent donc par une apparence très désordonnée, un comportement difficilement prévisible et l'existence de nombreuses échelles spatiales et temporelles.

**Tableau 2. :** Volume du récipient en fonction du débit

Débit Q (m <sup>3</sup> /h)	Volume du réservoir étalonné (litres)
Q < 3	20
3 < Q < 9	50
7 < Q < 18	100
14 < Q < 36	200

### 3. Flotteur et chronomètre

Le débit Q est proportionnel à la vitesse de l'eau et à sa section de passage. Cette méthode n'est valable que lorsque l'écoulement est laminaire. De plus, la précision de cette mesure est grossière car la vitesse n'est pas constante sur une section de l'écoulement.

Pratiquement, il s'agit de mesurer la section de passage du flux (section perpendiculaire à l'écoulement) puis, à l'aide d'un chronomètre, la vitesse de passage d'un corps flottant (bouchon, bois) sur une distance connue. Le flotteur doit être lancé en amont de la longueur de mesure, au milieu du canal. La vitesse obtenue est une vitesse de surface, en général supérieure à la vitesse moyenne. On corrige alors le calcul par un coefficient B tel que :

$$Q = B \cdot V \cdot S$$

où Q est le débit (m<sup>3</sup>/s), V la vitesse (m/s), S la section normale au flux (m<sup>2</sup>) et B un coefficient compris entre 0,6 et 0,8.

La vitesse de surface a été estimée à partir de la formule :

$$V = d/t$$

Avec

d : la distance parcourue en mètre par le flotteur  
t : le temps en seconde

En fait, la vitesse n'est pas constante dans toute la section. Elle est nulle à la paroi et maximale au 1/3 environ de la profondeur. Ce sont des formules expérimentales, que nous ne détaillerons pas ici, qui donnent l'ordre de grandeur de cette vitesse maximale dans la section.

La vitesse de surface doit donc être multipliée par un coefficient B compris entre 0.6 et 0.80 pour avoir la vitesse moyenne de l'eau. La valeur de B ne peut être déterminée que de manière empirique. Une solution est de réaliser une mesure du débit avec un autre moyen plus précis (déversoir, jaugeage chimique, moulinet).

On a alors :

$$B = \frac{Q_{\text{Mesuré par autre moyen}}}{V \cdot S}$$

où V la vitesse (m/s), S la section normale au flux (m<sup>2</sup>).

Une fois la valeur de B déterminé on peut réaliser la mesure du débit tous les jours avec l'aide du seul flotteur et d'un chronomètre.

En l'absence de possibilité d'utiliser un autre moyen de mesure du débit on estimera le débit comme une valeur comprise entre  $0,6 \times V \times S$  et  $0,8 \times V \times S$  ; ce qui donne une très mauvaise précision de la mesure comme cela a été précisé en début de ce chapitre.

### 4. Mesure par déversoir

Un déversoir est un dispositif qui permet d'estimer le débit à partir d'une hauteur d'eau. Le principe consiste à installer une planche ou une plaque métallique perpendiculairement à l'écoulement. L'épaisseur de la lame d'eau mesurée au-dessus de ce déversoir est proportionnelle au débit et dépend des caractéristiques du dispositif. Le flux doit être laminaire et peut être "tranquillisé" par un seuil suffisamment haut (hauteur de pelle). L'épaisseur de la lame d'eau doit être mesurée à une distance du seuil au moins égale à 5 fois l'épaisseur maximale de la lame d'eau (figure 2).

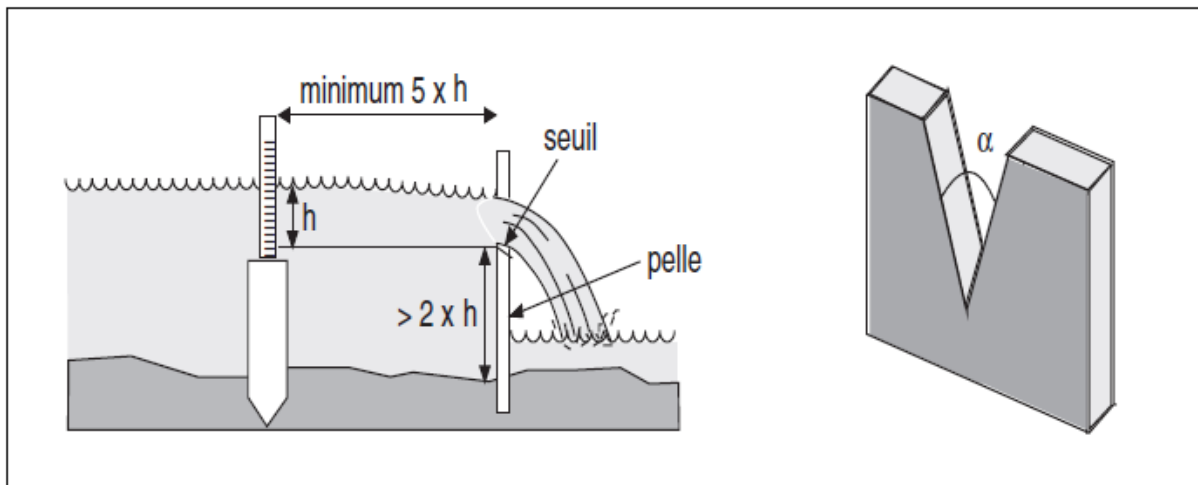
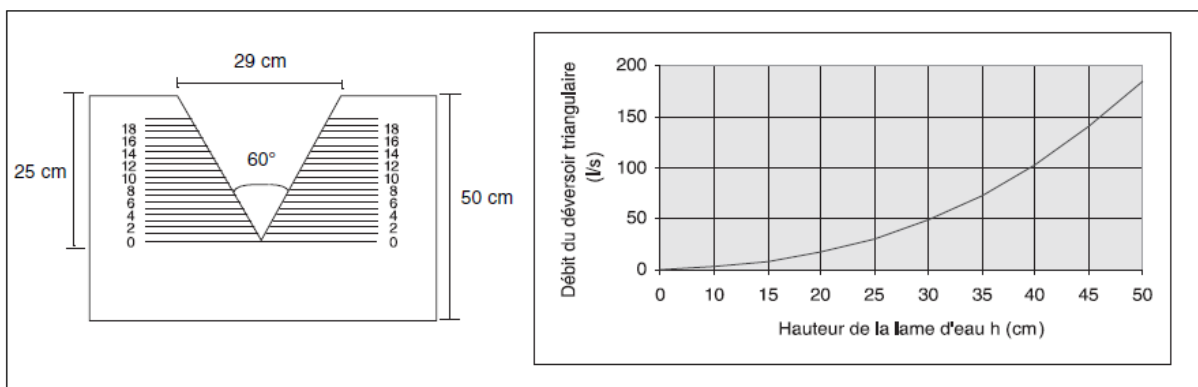


Figure 2 - Déversoir en paroi mince.

La forme du déversoir est choisie en fonction de la gamme de débit à mesurer : le déversoir doit permettre d'obtenir une grande variation de hauteur d'eau pour une petite variation de débit. Les formes les plus usuelles sont le triangle et le rectangle en mince paroi (voir ci-dessous). Les déversoirs triangulaires sont classés en fonction de leur angle d'ouverture  $\alpha$ . Le tableau 3 présente les gammes de débits des déversoirs en paroi mince en fonction de leur forme.

Sur le terrain, après avoir choisi le type de déversoir il faut construire un abaque pour obtenir rapidement la valeur du débit en fonction de l'épaisseur de la lame d'eau (figure 3). Les formules les plus utilisées sont données ci-dessous.



**Figure 3 -** Abaque pour un déversoir en paroi mince triangulaire (formule de Bazin, pelle de 20 cm).

**Tableau 3. :** Choix du déversoir en paroi mince.

Débit à mesurer (l/s)		Type de déversoir	
0,3	40	Triangulaire	$\alpha = 30^\circ$
1	100		$\alpha = 60^\circ$
20	150		$\alpha = 90^\circ$
20	200	Rectangulaire	L = 0,3 m
60	500		L = 1 m
300	1500		L = 2 m
800	4000		L = 5 m

L = longueur seuil.

Les déversoirs sont dits *en paroi mince* lorsque l'épaisseur du seuil est inférieure à  $h/2$ ,  $h$  étant l'épaisseur de la lame d'eau déversant. La formule générale du débit des déversoirs est :

$$Q = \mu \times l \times h \sqrt{2 \times g \times h}$$

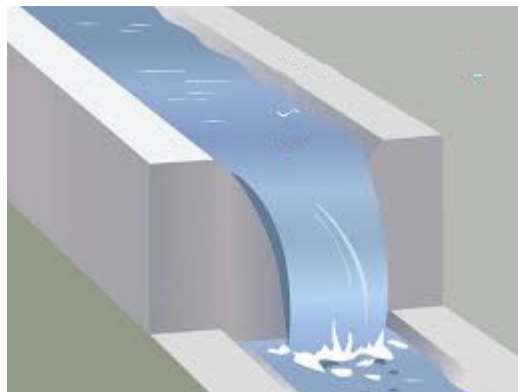
Avec :

- ✚ Q est le débit ( $m^3/s$ )
- ✚  $\mu$  le coefficient de débit du déversoir (sans dimension)
- ✚ l la longueur du déversoir (m)
- ✚ h la lame d'eau (m)
- ✚ g l'accélération de la pesanteur ( $9,81 m/s^2$ ).

Le coefficient  $\mu$  propre à chaque déversoir est donné par le fabricant. Toutefois, dans le cas où on fabrique soi-même un déversoir on peut déterminer son coefficient de manière expérimentale :

- on fait passer sur le déversoir plusieurs débits connus et on mesure la hauteur de la lame déversante
- on pourra alors déduire de la formule ci avant le coefficient du déversoir
- on peut ensuite utiliser le déversoir avec cette valeur pour déterminer des débits.

#### 4.1. Déversoir rectangulaire sans contraction latérale



**Figure 4 -** Déversoir rectangulaire sans contraction latérale (source: [halle-hydrau.g-eau.net](http://halle-hydrau.g-eau.net))

Lorsque la largeur du déversoir est la même que celle du canal d'aménagé, le déversoir ne réduit pas la largeur de la lame d'eau.

La formule de Bazin, très utilisée, définit le coefficient  $\mu$  :

$$\mu = 0,405 + \frac{0,003}{h} \left[ 1 + 0,55 \frac{h^2}{(h+P)^2} \right]$$

où  $P$  est la hauteur de la pelle (m). Cette formule est applicable à des valeurs de  $P$  comprises entre 0,2 et 2 m et pour des valeurs de  $h$  comprises entre 0,1 et 0,6 m.

La formule suivante est applicable quand  $P$  est supérieur à  $h$ , et que  $h$  est comprise entre 0,025 et 0,8 m :

$$\mu = 0,410 \left[ 1 + \frac{1}{1000h + 1,6} \right] \left[ 1 + 0,5 \frac{h^2}{(h+P)^2} \right]$$

#### 4.2. Déversoir rectangulaire avec contraction latérale

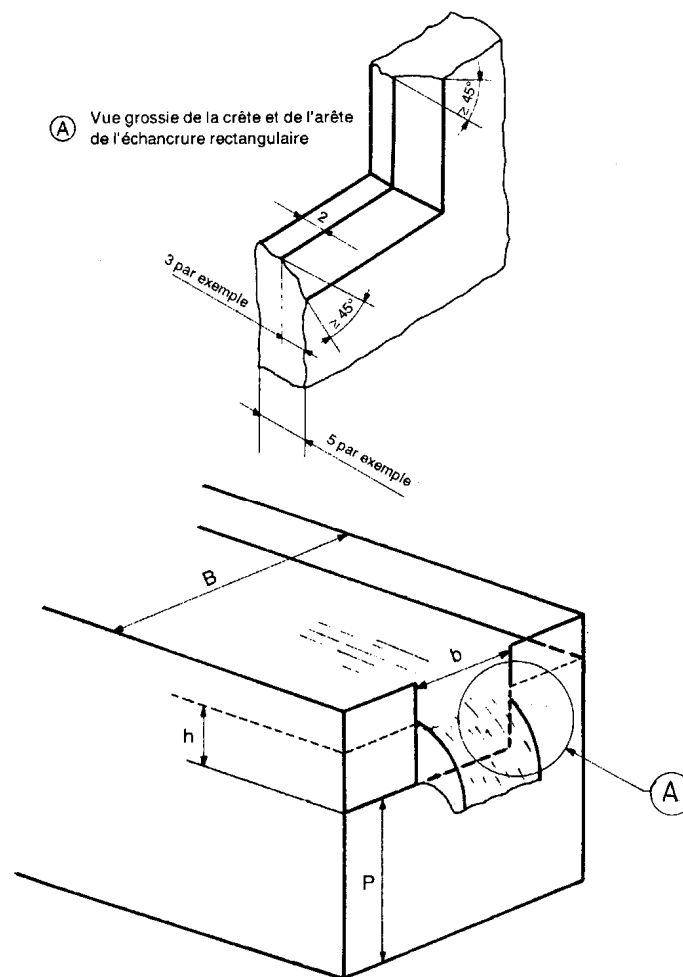


Figure 5 - Déversoir rectangulaire en mince paroi avec contraction latérale





**Figure 6 -** Déversoir rectangulaire en mince paroi avec contraction latérale (source: *halle-hydrau.g-eau.net*)

Lorsque le canal d'amené est plus large que le seuil, il faut appliquer la formule suivante :

$$\mu = \left\{ 0,385 + 0,025 \left( \frac{l}{L} \right)^2 + \left[ \frac{2,4l - \left( \frac{l}{L} \right)^2}{1000h + 1,6} \right] \right\} \left[ 1 + 0,5 \left( \frac{l}{L} \right)^4 \left( \frac{h}{h+P} \right)^2 \right]$$

où L est la largeur du canal d'amené et l la largeur du déversoir, toutes deux en mètres. Cette formule est utilisable lorsque  $P \geq 0,3$  m ;  $l > 0,31 L$  ;  $0,025 L/l \leq h \leq 0,8$  m et  $h \leq P$ .

### 4.3. Déversoir triangulaire

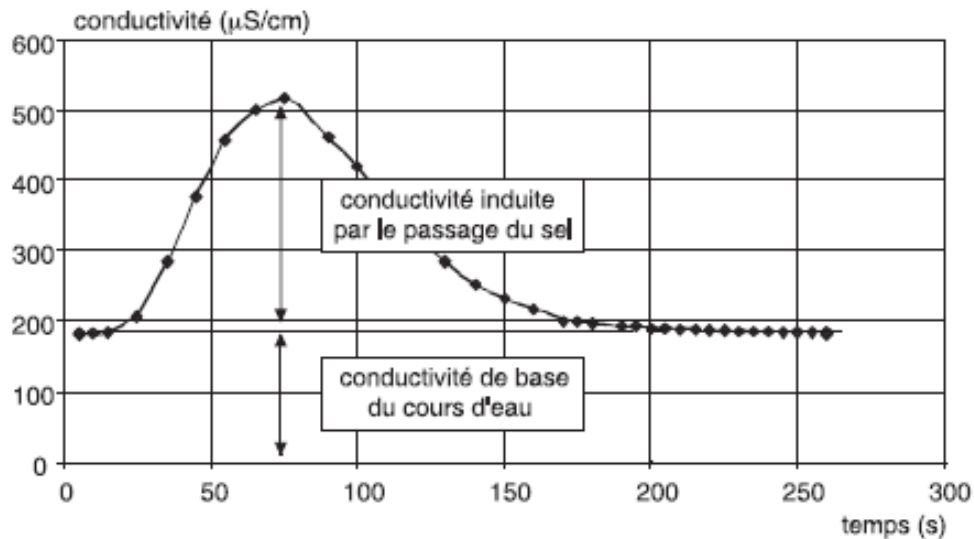
Pour ce type de déversoir (cf figure 2), la formule générale est :

$$Q = \frac{4}{5} \mu \times h^2 \sqrt{2 \times g \times \tan \frac{\alpha}{2}}$$

où Q est le débit (m<sup>3</sup>/s),  $\mu$  le coefficient de débit du déversoir rectangulaire de Bazin, sans contraction latérale, h l'épaisseur de la lame (m) et  $\alpha$  l'angle du déversoir.

## 5. Jaugeage chimique

Cette méthode est adaptée à des conditions d'écoulement turbulent. Elle consiste à analyser les caractéristiques de passage d'un volume de solution saline introduit dans le cours d'eau (figure 7). Deux personnes doivent intervenir : un premier opérateur prépare une solution de sel puis l'introduit dans le cours d'eau ; en aval, un second opérateur mesure la variation de conductivité induite par le passage du sel, à l'aide d'un conductimètre de terrain.



**Figure 7 -** Méthode du jaugeage chimique.

La solution de NaCl est préparée en veillant à ne pas dépasser le seuil de solubilité de 300 g/l à 20 °C. La quantité de sel à utiliser est fonction du débit de la rivière et de sa conductivité de base : l'objectif est de doubler la conductivité de la rivière afin de marquer clairement le passage du nuage. Pour des débits de 100 à 3000 l/s, une quantité de 1 kg de NaCl pour 100 l/s permet de multiplier par environ 2,5 la conductivité de base d'une rivière peu minéralisée (conductivité d'environ 200  $\mu\text{S/cm}$  à 25 °C).

La solution est injectée rapidement, dans une zone où les turbulences facilitent le mélange avec l'eau de la rivière. La distance entre le point d'injection et le point de mesure est choisie de façon à obtenir une courbe de passage du nuage  $\chi = f(t)$  à distribution gaussienne (figure 4). Une distance moyenne de 80 à 100 mètres permet généralement d'obtenir de bons résultats.

Il est important de choisir une longueur de cours d'eau où les pertes et les zones mortes soient les plus faibles possibles afin de ne pas perdre ni immobiliser une partie du NaCl.

Le débit du cours d'eau est donné par la formule :

$$Q = \frac{M_{\text{NaCl}}}{k \times \bar{\chi} \times t}$$

où Q est le débit du cours d'eau (l/s), M la masse de sel utilisée pour préparer la solution (g),  $\chi$  la conductivité moyenne induite par NaCl sur la période t ( $\mu\text{S/cm}$ ), k le facteur de conversion conductivité/concentration ( $k \approx 5,48 \cdot 10^{-4}$ ) et t le temps de passage du nuage de sel.

Pendant le temps dt, la conductivité de l'eau mesurée lors du passage du nuage de sel est  $\chi$ . Cette conductivité peut être exprimée en terme de concentration :

$$c = k \times \chi$$

où c est la concentration (g/l),  $\chi$  la conductivité ( $\mu\text{S/cm}$ ) et k un facteur de conversion.

Pendant le même temps  $dt$ , le volume d'eau qui s'écoule est  $Q \times dt$ . La masse moyenne de sel qui passe pendant  $dt$  est donc :  $\chi \times k \times Q \times dt$ . Sur l'ensemble de la période de passage du nuage de sel, on a :

$$M_{NaCl} = \sum \chi \times k \times Q \times dt$$

Ou :

$$M_{NaCl} = k \times Q \times \int \chi \times dt$$

Le débit du cours d'eau est donc donné par la formule :

$$Q = \frac{M_{NaCl}}{k \times \int \chi \times dt}$$

où  $Q$  est le débit (l/s),  $M$  la masse de sel (g),  $k$  le facteur de conversion et  $\int \chi \, dt$  l'intégrale sur l'ensemble de la période de passage du nuage [( $\mu\text{S/cm}$ ).s].

#### *Facteur de conversion $k$*

Le facteur  $k$  varie avec la température et la minéralisation de l'eau. Pour une eau à 25 °C (correction automatique du conductimètre) et faiblement minéralisée ( $\chi_{\text{eau brute}} \approx 200 \mu\text{S/cm}$ ),  $k = 5,48 \cdot 10^{-4}$ .

#### *Concentration moyenne*

La formule  $Q = M_{NaCl} / k \cdot \int \chi \cdot dt$  est peu différente de  $Q = M_{NaCl} / c \cdot t$  lorsque la courbe  $\chi = f(t)$  est gaussienne,  $c$  étant la concentration moyenne de NaCl sur la période  $t$  ( $c = k \cdot \chi$ ) et  $t$  le temps de passage du nuage de sel.

Il est conseillé de tracer la courbe  $\chi = f(t)$  sur un papier millimétré et d'intégrer pour obtenir une précision correcte (méthode des petits carreaux). Le calcul par conductivité moyenne n'est justifiable que si la courbe est gaussienne.

## 6. Moulinet hydrométrique

Le moulinet hydrométrique, appelé aussi courantomètre, comporte une hélice fixée à l'extrémité d'un axe. La rotation de l'hélice est libre et sa vitesse est proportionnelle à la vitesse du courant lorsque l'hélice est immergée.

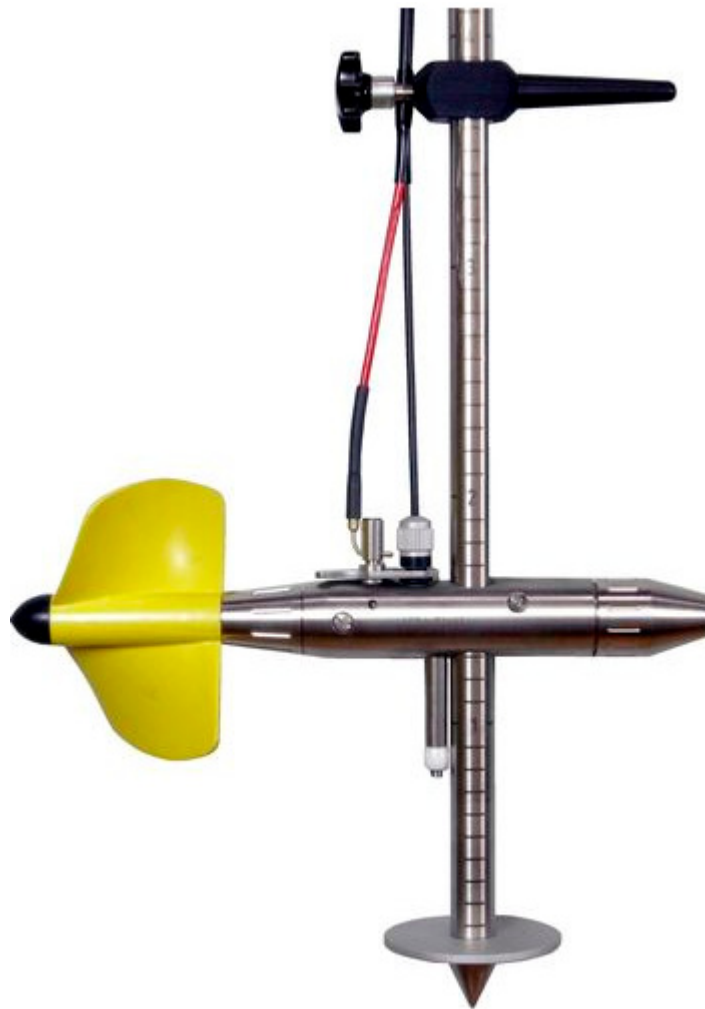
Cette méthode n'est utilisée que dans des conditions d'écoulement laminaire<sup>3</sup>. Elle consiste à mesurer le nombre de tours fait par l'hélice du moulinet entraînée par le flux, sur une section normale à l'écoulement, à différentes profondeurs et différentes distances de la berge.

---

<sup>3</sup> Les **écoulements turbulents** se caractérisent donc par une apparence très désordonnée, un comportement difficilement prévisible et l'existence de nombreuses échelles spatiales et temporelles. De tels écoulements apparaissent lorsque la source d'**énergie cinétique** qui met le fluide en mouvement est relativement intense devant les forces de **viscosité** que le fluide oppose pour se déplacer. À l'inverse, on appelle **laminaire** le caractère d'un écoulement régulier. Dans un **écoulement laminaire** deux particules fluides voisines à un instant donné restent voisines aux instants suivants.

L'écoulement transitoire est un écoulement dont les caractéristiques hydrauliques sont sujettes à variation dans le temps.

Après transformation du nombre de tours en vitesse, il devient possible de calculer le débit qui transite dans la section mesurée.



**Figure 8 -** Courantomètre universel à moulinet SEBA F1

## 7. Sources

ACTION CONTRE LA FAIM (2006), *Eau – Assainissement – Hygiène pour les populations à risques*, HERMANN, Paris