

# DEBITMETRE SEMI MODULAIRE. THEORIE ET PRATIQUE

**BOUZIANE MOHAMED TEWFIK, KECHIDA SAÏD, ACHOUR BACHIR**

Université Mohamed Khider, département d'hydraulique  
Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur  
Laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface -LARHYSS  
BP 145 RP, 07000, Biskra, Algérie

## RESUMÉ

Une étude particulière d'un débitmètre semi modulaire de section rectangulaire, à parois épaisses et à contraction latérale, est présentée. Cet appareil est d'abord examiné d'un point de vue théorique, puis soumis à des essais expérimentaux en variant ses dimensions géométriques.

Le développement théorique vise, dans un premier temps, à identifier les paramètres hydrauliques de l'écoulement et géométriques de l'appareil influençant le débit volume qui s'y écoule. Dans un second temps, l'expression du coefficient de débit est établie en ayant recours à l'équation de la quantité de mouvement appliquée entre deux sections judicieusement choisies.

Sous diverses dimensions géométriques, le dispositif est soumis à essais expérimentaux intenses dans le but de valider ou de corriger les relations théoriques proposées.

## ABSTRACT

A particular study of a semi modular rectangular flowmeter, characterized by both a broad crested sill and lateral contraction, is presented. This is firstly theoretically examined and secondly experimentally tested under various geometrical dimensions. The theoretical development aims, on one hand, to identify the main characteristics of the flow and the geometrical parameters of the flowmeter which influence the discharge. On the second hand, discharge coefficient is expressed with the help of the momentum equation applied between two sections judiciously chosen.

Under various geometrical dimensions, the considered flow meter is intensively tested in order to corroborate or to correct the proposed theoretical relationships.

## 1 INTRODUCTION

La mesure du débit écoulé par une conduite ou par un canal est l'un des problèmes les plus anciens rencontrés dans la pratique de l'ingénieur. De nos jours, ce problème est différemment résolu selon le type d'appareil de mesure choisi. Dans le domaine de l'écoulement à surface libre, les appareils à libre déversement sont préférentiellement utilisés pour évaluer la quantité d'eau écoulée. Le déversoir en mince paroi et à échancrure triangulaire, connu sous le nom de déversoir Thomson [1,2,3], est recommandé pour sa grande précision surtout lorsqu'il s'agit surtout de mesurer de faibles débits. Les déversoirs de même type mais à échancrure rectangulaire [4,5,6] sont également largement utilisés. Cependant, ils sont vivement déconseillés pour évaluer les faibles débits contrairement au déversoir Thomson.

Dans la pratique, les jaugeurs dits à ressaut sont parfois utilisés pour la mesure des débits écoulés. A l'exception du jaugeur Achour [7] dont la section droite est de forme triangulaire, les jaugeurs à ressaut sont de forme

transversale rectangulaire. Les plus connus d'entre eux sont le Parshall et le venturimètre [1] ou le venturimètre modifié [8]. Ces appareils ont la capacité non seulement de mesurer le débit volume qui s'y écoule mais aussi de surélever le plan de charge aval, ce qui constitue un réel avantage en zone à faible déclivité [7].

Les appareils de mesure de débits peuvent également être constitués de parois épaisses, à échancrure triangulaire [9,10] ou rectangulaire [11,12], dotés ou non de hauteur de pelle. Leur profil en long peut prendre la forme triangulaire ou la forme plane. Ils peuvent être également caractérisés par une contraction latérale locale ou par un rétrécissement de leur section transversale.

Tous ces dispositifs ainsi décrits sont qualifiés d'appareils semi modulaires en raison du fait que le débit qui s'y écoule dépend à la fois de la hauteur de déversement et des caractéristiques géométriques de ces appareils. Leur particularité est de provoquer à l'amont un écoulement de nature fluviale et à l'aval un écoulement de nature torrentielle. Leur section transversale est alors le siège d'un

écoulement de nature critique. C'est cette particularité qui a permis d'exprimer, de manière théorique, le débit volume en fonction de la profondeur aval et des caractéristiques géométriques du dispositif considéré [13].

Dans la présente étude, un débitmètre semi modulaire à parois épaisses, de section droite rectangulaire dotée d'une contraction latérale est rigoureusement examiné du point de vue théorique puis soumis à des expérimentations au laboratoire. Le développement théorique vise à établir l'expression du coefficient de débit et par conséquent celle du débit volume, en négligeant dans un premier temps l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement et en tenant compte de cet effet dans un second temps. Les paramètres influençant le débit volume écoulé par le dispositif sont clairement identifiés puis transformés en termes adimensionnels afin de leur donner un caractère de validité générale. Sous diverses dimensions géométriques, l'appareil est testé au laboratoire dans le but de vérifier la validité des relations théoriques établies.

## 2 DESCRIPTION DU DEBITMETRE

La figure 1 représente en perspective le schéma du débitmètre semi modulaire étudié. Il s'agit d'un déversoir à seuil épais de section droite rectangulaire de largeur  $b$ , s'étendant sur une certaine longueur  $L$ . Comme pour la plupart des déversoirs usuels, le débitmètre considéré est muni d'une hauteur de pelle  $P$  qui provoque ainsi une contraction verticale de l'écoulement. En outre, sa mise en place dans un canal d'amenée de forme rectangulaire de largeur  $B > b$ , provoque une contraction latérale de la section droite et donc de celle de l'écoulement.

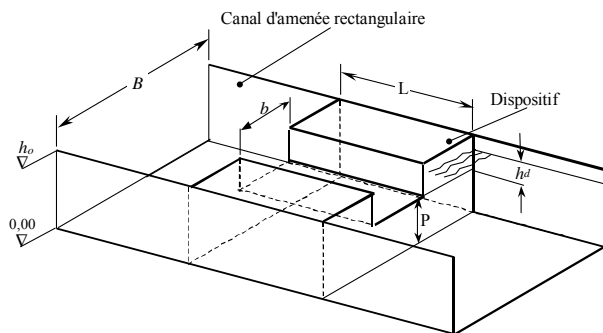


Figure 1 : Schéma de définition du déversoir semi modulaire étudié, placé dans un canal d'amenée de forme rectangulaire

Sur la figure 1, l'écoulement s'effectue de la droite vers la gauche et il est caractérisé par la hauteur de déversement  $h_d$ . Il s'agit de la profondeur de l'écoulement amont, comptée au-dessus de la hauteur de pelle  $P$ . Le dispositif étudié est inséré dans un canal d'amenée de forme rectangulaire de largeur  $B$  et de hauteur  $h_0$ , de pente géométrique nulle ou pouvant être considérée comme telle.

Compte tenu de la forme du débitmètre et de celle du canal

d'amenée, les paramètres  $L$ ,  $P$ ,  $h_d$ ,  $b$  et  $B$  jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement de l'appareil. L'effet de la longueur  $L$  sur le fonctionnement correct du dispositif n'a pas fait l'objet d'une étude au cours de la présente recherche. Cependant, il est à préciser que cette longueur doit être suffisante pour que l'écoulement critique s'installe dans l'une des sections droites de l'échancrure de largeur  $b$ .

En considérant les paramètres  $P$ ,  $h_d$ ,  $b$  et  $B$ , il est possible de former les variables adimensionnelles  $P^* = P/h_d$  (ou  $h_d^* = h_d/P$ ) qui représente la hauteur relative de pelle et  $\beta = b/B$  qui traduit le taux de contraction latérale. En outre,  $P^*$  et  $\beta$  peuvent former le paramètre adimensionnel composé  $\psi = \beta/(1+P^*)$ . Le sens physique du paramètre  $\psi$  devient évident en écrivant que :

$$\psi = \frac{b/B}{1 + \frac{P}{h_d}} = \frac{bh_d}{B(P + h_d)} = \frac{\text{section contractée}}{\text{pleine section}} \quad (1)$$

Ainsi :

$\psi$  = Taux de contraction de la section de l'écoulement d'entrée

## 3 DESCRIPTION DE L'ECOULEMENT

La figure 2 montre, de manière schématique, l'écoulement franchissant le débitmètre étudié. L'écoulement s'effectue de gauche vers la droite et il est caractérisé à l'amont de l'appareil par la profondeur  $h_1$  comptée à partir du fond du canal d'amenée, par la hauteur de déversement  $h_d$ , par la charge totale  $H_1$  et par la vitesse d'approche  $V$  traduite en mètres de colonne d'eau par la quantité  $V^2/(2g)$ .

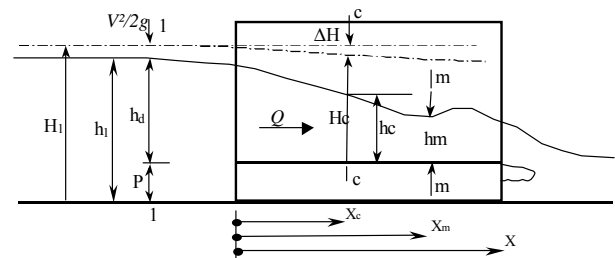


Figure 2 : Profil en long de l'écoulement dans le canal d'amenée et à l'intérieur du débitmètre

À l'intérieur du débitmètre, l'écoulement subit un abaissement de sa surface libre jusqu'à la section m-m au-delà de laquelle un exhaussement de la surface est perceptible. La section m-m est donc caractérisée par la

profondeur minimale notée  $h_m$  située à une distance  $X_m$  de l'entrée du dispositif. Lorsque la longueur  $L$  n'est pas suffisante, la section de profondeur minimale ne peut être observée. Cet état de l'écoulement est clairement mis en évidence par la photographie 1.



Photographie 1 : Vue de profil de l'écoulement

La quantité  $\Delta H$  (figure 2) représente la perte de charge due principalement aux contractions verticale et latérale de la section. Il s'agit d'un paramètre extrêmement délicat à évaluer par voie analytique.

En passant de la section pleine du canal d'amenée vers l'intérieur du débitmètre, l'écoulement change de régime. Il est de nature fluviale dans le canal d'amenée tout en étant caractérisé par une faible vitesse d'approche. La surface libre de l'écoulement est très peu perturbée comme le montre clairement la photographie 1. A l'intérieur du débitmètre, l'écoulement est de nature torrentielle sur toute la longueur  $L$  de son parcours. Le changement du régime de l'écoulement est accompagné par l'apparition d'une section de contrôle à l'intérieur du débitmètre et dont la localisation est quasiment impossible à l'œil nu. Seul le tracé graphique permet de la situer, comme il est indiqué sur la figure 2. La section de contrôle étant a fortiori caractérisée par une profondeur critique  $h_c$ , il est alors possible de la représenter par une ligne horizontale distante de la quantité  $h_c$  par rapport au fond du débitmètre de largeur  $b$ . La profondeur critique est aisément évaluée par la relation bien connue :

$$h_c = 3\sqrt{\frac{Q^2}{gb^2}} \quad (2)$$

où  $Q$  est le débit volume écoulé.

Afin de tenir compte de l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement, il est recommandé de considérer que la hauteur capable  $V^2/(2g)$  correspondante est une fraction  $\delta$  de la hauteur de déversement  $h_d$ , soit :

$$\frac{V^2}{2g} = \delta \times h_d \quad (3)$$

Ainsi, la charge totale de déversement  $H_d$ , comptée au-dessus de la hauteur de pelle  $P$ , est donc :

$$H_d = h_d + \frac{V^2}{2g} = (1 + \delta)h_d \quad (4)$$

Il est évident que  $\delta < 1$  et que pour  $\delta \rightarrow 0$  la charge de déversement  $H_d$  peut être assimilée à la hauteur de déversement  $h_d$ . Le paramètre  $\delta$  est donc tel que  $0 \leq \delta < 1$ .

## 4 THEORIE

### 4.1 Hauteur relative de déversement

Nous définissons la hauteur relative de déversement  $h_d^*$  comme étant le rapport entre la hauteur de déversement  $h_d$  et la profondeur critique  $h_c$ , soit :

$$h_d^* = \frac{h_d}{h_c} \quad (5)$$

Appliquons, entre la section 1-1 de profondeur  $h_d$  et la section critique c-c de profondeur  $h_c$ , l'équation de la quantité de mouvement tout en tenant compte des forces de réaction de la face amont du débitmètre. Il vient alors que :

$$\rho Q (V_c - V_1) = F_1 - F_c - F_x \quad (6)$$

où  $\rho$  est la masse volumique du liquide écoulé,  $V_1$  est la vitesse moyenne de l'écoulement dans la section 1-1,  $V_c$  est la vitesse moyenne de l'écoulement dans la section critique c-c,  $F_1$  est la force de pression hydrostatique appliquée à la section 1-1,  $F_c$  est la force de pression hydrostatique appliquée à la section critique c-c et  $F_x$  est la force de réaction de la face amont du débitmètre.

Il est aisé de montrer que la relation (6) s'écrit, en définitive, sous la forme adimensionnelle suivante :

$$h_d^{*3} - 3h_d^* + \frac{2\beta}{1 + P^*} = 0 \quad (7)$$

Les paramètres  $\beta = b/B$  et  $P^* = P/h_d$  ont été déjà définis. En tenant compte de la relation (1), l'équation (7) peut également s'écrire :

$$h_d^{*3} - 3h_d^* + 2\psi = 0 \quad (8)$$

Nous pouvons ainsi relever que la hauteur relative de déversement  $h_d^*$  est liée au paramètre adimensionnel  $\psi$  par une équation de troisième ordre, sans terme du second ordre, de la forme :

$$h_d^{*3} - ph_d^* + q = 0 \quad (9)$$

où  $p = 3$ ,  $q = 2\psi$ . Le discriminant de l'équation (9) est :

$$\Delta = \left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3 = \psi^2 - 1$$

Compte tenu de la signification physique du paramètre  $\psi$  dont nous rappelons qu'il correspond au taux de contraction de la section de l'écoulement d'entrée, nous pouvons écrire que  $\psi < 1$ . Ainsi, le discriminant  $\Delta$  est négatif et la racine réelle de l'équation (8) s'écrit :

$$h_d^* = 2 \cos(\alpha/3) \quad (10)$$

L'angle  $\alpha$  est tel que :

$$\cos(\alpha) = -\frac{3q}{2\sqrt{p^3/3}} = -\frac{3 \times 2\psi}{2 \times \sqrt{3^3/3}} = -\psi \quad (11)$$

Les relations (1), (10) et (11) permettent le calcul explicite de la hauteur relative de déversement  $h_d^*$  pour les valeurs connues des paramètres  $b$ ,  $B$ ,  $P$  et  $h_d$ .

#### 4.2 Coefficient de débit à vitesse d'approche négligeable

Désignons par  $\mu_o$  le coefficient de débit correspondant à la vitesse d'approche de l'écoulement négligeable. Pour une section de forme rectangulaire, nous pouvons écrire que le débit volume  $Q$  est proportionnel à  $H_d^{3/2}$ . Compte tenu du fait que la charge totale de déversement  $H_d$  peut être assimilée à la hauteur de déversement  $h_d$ , il est alors possible d'écrire que :

$$Q = \mu_o b \sqrt{2g} h_d^{3/2} \quad (12)$$

En éliminant le débit volume  $Q$  entre les relations (2) et (12), il vient que :

$$\mu_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \left( \frac{h_c}{h_d} \right)^{3/2} \quad (13)$$

Cette dernière relation s'écrit également, compte tenu de la relation (5) :

$$\mu_o = \frac{\sqrt{2}}{2} h_d^{*-3/2} \quad (14)$$

La relation (14) révèle que le coefficient de débit  $\mu_o$  ne dépend que de la hauteur relative de déversement  $h_d^*$  et donc du seul paramètre  $\psi(\beta, P^*)$  au regard des relations (10) et (11). La relation (14) peut également s'écrire :

$$\mu_o = \frac{1}{4} \cos^{-3/2}(\alpha/3) \quad (15)$$

En éliminant  $\mu_o$  entre les relations (12) et (15), il vient que :

$$Q = \frac{1}{4} \sqrt{2g} b \left[ \cos^{-3/2}(\alpha/3) \right] h_d^{3/2} \quad (16)$$

La relation (16) constitue l'expression du débit volume  $Q$  écoulé par le débitmètre lorsque la vitesse d'approche de l'écoulement dans le canal d'amenée est négligeable. Rappelons que l'angle  $\alpha$  figurant dans la relation (16) est donné par la relation (11) pour les valeurs connues des paramètres  $\beta$  et  $P^*$ .

#### EXEMPLE D'APPLICATION 1

Il s'agit d'évaluer le débit volume  $Q$  écoulé par un canal d'amenée de section droite rectangulaire, au moyen du débitmètre représenté par la figure 1. La largeur du canal d'amenée est  $B = 1m$ , tandis que la largeur de l'échancrure du débitmètre est  $b = 0,5m$  et que la hauteur de pelle est  $P = 0,4m$ . Une lecture limnimétrique a indiqué que la hauteur de déversement est  $h_d = 0,6m$ .

- i. Admettons que la vitesse d'approche de l'écoulement est négligeable de sorte que la relation (16) soit applicable.
- ii. En vertu de la relation (1), le paramètre adimensionnel  $\psi$  est :

$$\psi = \frac{b/B}{1 + P/h_d} = \frac{0,5/1}{1 + 0,4/0,6} = 0,3$$

- iii. Selon la relation (11), l'angle  $\alpha$  est tel que :

$$\alpha = \cos^{-1}(-\psi) = \cos^{-1}(-0,3) = 1,87548898 \text{ radian}$$

- iv. Le débit volume  $Q$  recherché est, par suite, en application de la relation (16) :

$$Q = \frac{1}{4} \sqrt{2g} b \left[ \cos^{-3/2}(\alpha/3) \right] h_d^{3/2} = \frac{1}{4} \times \sqrt{2 \times 9,81} \times 0,5 \times \left[ \cos^{-3/2}(1,87548898/3) \right] \times 0,6^{3/2}$$

$$\text{soit : } Q \approx 0,3524 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 4.3 Coefficient de débit à vitesse d'approche non négligeable

Lorsque la vitesse d'approche de l'écoulement dans le canal d'amenée ne peut être négligée, la relation (12) doit s'écrire sous la forme :

$$Q = \mu_o b \sqrt{2g} H_d^{3/2} \quad (17)$$

En éliminant la charge totale de déversement  $H_d$  entre les relations (4) et (17), il vient que :

$$Q = \mu_o b \sqrt{2g} (1 + \delta)^{3/2} h_d^{3/2} \quad (18)$$

La relation (18) s'écrit plus simplement :

$$Q = \mu b \sqrt{2g} h_d^{3/2} \quad (19)$$

où :

$$\mu = \mu_o (1 + \delta)^{3/2} \quad (20)$$

En faisant tendre le facteur cinétique  $\delta$  vers zéro, la relation (19) mène alors à la relation (12) qui exprime le débit volume écoulé lorsque la vitesse d'approche de l'écoulement est négligée. Ceci correspond à  $\mu = \mu_o$ .

La charge totale de déversement  $H_d$  est donnée par la relation :

$$H_d = h_d + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (21)$$

L'aire de la section mouillée  $A$  correspond à la section pleine du canal d'amenée de forme rectangulaire et s'écrit par conséquent :

$$A = B(h_d + P) \quad (22)$$

La relation (2) devient :

$$H_d = h_d + \frac{Q^2}{2gB^2(h_d + P)^2} \quad (23)$$

En éliminant le débit volume  $Q$  entre les relations (2) et (23), il vient que :

$$H_d = h_d + \frac{b^2 h_c^3}{2B^2(h_d + P)^2} \quad (24)$$

La relation (24) peut également s'écrire sous la forme :

$$\frac{H_d}{h_c} = \frac{h_d}{h_c} + \frac{(b/B)^2}{2(h_d/h_c)^2(1 + P/h_d)^2}$$

ou bien :

$$H_d^* = h_d^* + \frac{\beta^2}{2h_d^{*2}(1 + P^*)^2} \quad (25)$$

En introduisant dans la relation (25) le paramètre adimensionnel  $\Psi$ , nous pouvons écrire que :

$$H_d^* = h_d^* + \frac{\Psi^2}{2h_d^{*2}} \quad (26)$$

En comparant les relations (4) et (26), il est possible d'écrire que le facteur cinétique  $\delta$  est tel que :

$$\delta = \frac{\Psi^2}{2h_d^{*3}} \quad (27)$$

Compte tenu des relations (10), (11) et (27), il apparaît clairement que le facteur cinétique  $\delta$  ne dépend que du paramètre  $\Psi$ , donc de  $\beta$  et de  $P^*$ .

Selon la relation (20), nous pouvons alors écrire, en tenant compte de la relation (27), que :

$$\mu = \mu_o \left( 1 + \frac{\Psi^2}{2h_d^{*3}} \right)^{3/2} \quad (28)$$

Or, selon la relation (14), il est aisé de montrer que :

$$\mu_o^2 = \frac{1}{2h_d^{*3}} \quad (29)$$

Ainsi, en tenant compte des relations (28) et (29), il vient que :

$$\mu = \mu_o \left( 1 + \mu_o^2 \Psi^2 \right)^{3/2} \quad (30)$$

La relation (30) exprime le coefficient de débit du dispositif, prenant en compte l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement.

#### EXEMPLE D'APPLICATION 2

Reprenons les données de l'exemple d'application 1 et évaluons le débit écoulé par le dispositif tout en tenant compte de l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement.

i. Selon la relation (15), le coefficient de débit  $\mu_o$  est :

$$\begin{aligned} \mu_o &= \frac{1}{4} \cos^{-3/2}(\alpha/3) \\ &= \frac{1}{4} \times \cos^{-3/2}(1,87548898/3) = 0,34238519 \end{aligned}$$

ii. Le coefficient de débit  $\mu$  est, en vertu de la relation (30) :

$$\begin{aligned}\mu &= \mu_o \left(1 + \mu_o^2 \psi^2\right)^{3/2} \\ &= 0,34238519 \times \left(1 + 0,34238519^2 \times 0,3^2\right)^{3/2} \\ &= 0,34781795 \cong 0,3478\end{aligned}$$

iii. En application de la relation (19), le débit volume recherché est donc :

$$\begin{aligned}Q &= \mu \sqrt{2g} b h_d^{3/2} \\ &= 0,34781795 \times \sqrt{2 \times 9,81} \times 0,5 \times 0,6^{3/2} \\ &\cong 0,358 m^3 / s\end{aligned}$$

iv. Il apparaît ainsi que lorsque la vitesse d'approche de l'écoulement est négligée, l'erreur relative sur le calcul du débit volume Q est :

$$\Delta Q / Q = 100 \times \frac{0,358 - 0,3524}{0,358} \cong 1,56\%$$

## 5 PRATIQUE

Dans cette partie de l'étude, le protocole expérimental, ayant servi à la vérification des relations théoriques

proposées, est présenté. Le dispositif étudié a été soumis à un programme expérimental intense, pour différentes valeurs du taux de contraction  $\beta$  et de la hauteur relative de pelle  $P^*$ .

### 5.1 Caractéristiques des dispositifs testés

Afin d'étudier l'effet du taux de contraction  $\beta$  et celui de la hauteur relative de pelle  $P^*$ , plusieurs dispositifs ont été conçus et testés. Ceux-ci ont été construits en plexiglas transparent pour permettre la visualisation de l'écoulement. Tous les dispositifs testés ont été insérés dans un canal rectangulaire dont on désire évaluer le débit volume  $Q$  écoulé. Treize dispositifs dotés d'une hauteur de pelle ont été testés et soumis à de larges gammes du débit volume  $Q$  et de la hauteur de déversement  $h_d$ . Les essais expérimentaux ont permis d'obtenir 260 points de mesures de la loi hauteur-débit. L'expérimentation a aussi concerné huit dispositifs à hauteur de pelle nulle et a permis d'obtenir plus de 157 points de mesures de la loi hauteur-débit.

Les tableaux 1 et 2 regroupent les caractéristiques géométriques des dispositifs testés et hydrauliques de l'écoulement qui en est résulté.

**Tableau 1 :** Caractéristiques géométriques des dispositifs testés et hydrauliques de l'écoulement (Dispositifs dotés d'une hauteur de pelle)

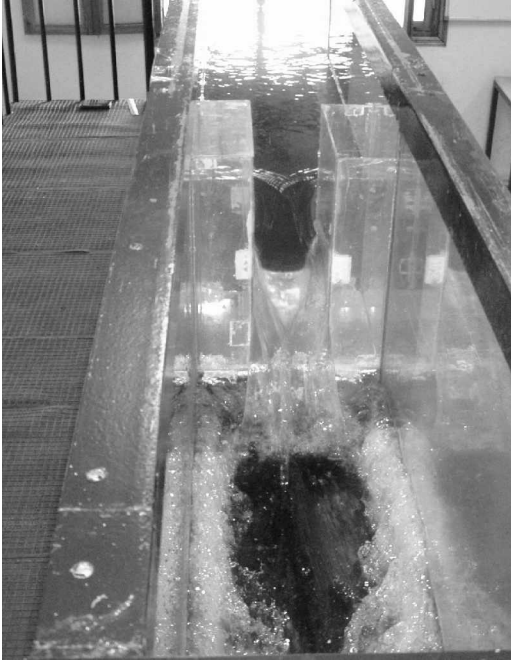
Dispositif	Taux de contraction $\beta$	Hauteur de pelle $P$ (cm)	Nombre de mesures	Gamme des débits	Gamme de la hauteur de déversement $h_d$
1	0,501	10	20	2,08 l/s $\leq Q \leq$ 26,60 l/s	4,63 cm $\leq h_d \leq$ 23,97 cm
2	0,501	8	20	1,45 l/s $\leq Q \leq$ 23,47 l/s	3,66 cm $\leq h_d \leq$ 21,99 cm
3	0,501	6	20	2,00 l/s $\leq Q \leq$ 23,17 l/s	4,41 cm $\leq h_d \leq$ 21,62 cm
4	0,45	8	20	1,63 l/s $\leq Q \leq$ 24,67 l/s	4,26 cm $\leq h_d \leq$ 24,70 cm
5	0,45	6	20	2,00 l/s $\leq Q \leq$ 21,52 l/s	4,80 cm $\leq h_d \leq$ 22,32 cm
6	0,399	10	20	2,37 l/s $\leq Q \leq$ 22,13 l/s	5,90 cm $\leq h_d \leq$ 25,33 cm
7	0,399	8	20	1,67 l/s $\leq Q \leq$ 24,92 l/s	4,64 cm $\leq h_d \leq$ 27,02 cm
8	0,399	6	20	1,88 l/s $\leq Q \leq$ 19,73 l/s	5,03 cm $\leq h_d \leq$ 23,07 cm
9	0,348	8	20	2,02 l/s $\leq Q \leq$ 18,82 l/s	5,83 cm $\leq h_d \leq$ 24,83 cm
10	0,348	6	20	2,90 l/s $\leq Q \leq$ 23,50 l/s	7,30 cm $\leq h_d \leq$ 28,74 cm
11	0,3	10	20	2,68 l/s $\leq Q \leq$ 18,30 l/s	7,76 cm $\leq h_d \leq$ 27,20 cm
12	0,3	8	20	2,77 l/s $\leq Q \leq$ 18,22 l/s	7,89 cm $\leq h_d \leq$ 27,20 cm
13	0,3	6	20	1,40 l/s $\leq Q \leq$ 17,77 l/s	5,06 cm $\leq h_d \leq$ 26,53 cm

**Tableau 2 :** Caractéristiques géométriques des dispositifs testés et hydrauliques de l'écoulement (Dispositifs à hauteur de pelle nulle)

Dispositif	Taux de contraction $\beta$	Nombre de mesures	Gamme des débits	Gamme des profondeurs
1	$\beta = 0,15$	19	2,38 l/s $\leq Q \leq$ 13,18 l/s	9,94 cm $\leq h_d \leq$ 31,49 cm
2	$\beta = 0,181$	20	2,76 l/s $\leq Q \leq$ 17,11 l/s	10,04 cm $\leq h_d \leq$ 33,02 cm
3	$\beta = 0,201$	19	2,15 l/s $\leq Q \leq$ 18,11 l/s	7,66 cm $\leq h_d \leq$ 32,02 cm
4	$\beta = 0,253$	19	1,61 l/s $\leq Q \leq$ 18,18 l/s	5,58 cm $\leq h_d \leq$ 27,46 cm
5	$\beta = 0,30$	20	2,95 l/s $\leq Q \leq$ 24,77 l/s	7,28 cm $\leq h_d \leq$ 29,51 cm
6	$\beta = 0,35$	20	2,00 l/s $\leq Q \leq$ 24,01 l/s	5,10 cm $\leq h_d \leq$ 26,31 cm
7	$\beta = 0,40$	20	1,81 l/s $\leq Q \leq$ 25,11 l/s	4,34 cm $\leq h_d \leq$ 24,60 cm
8	$\beta = 0,45$	20	2,33 l/s $\leq Q \leq$ 28,18 l/s	4,72 cm $\leq h_d \leq$ 24,37 cm

## 5.2 Déroulement des essais

Chacun des dispositifs des tableaux 1 et 2 a été testé dans un canal de section droite rectangulaire de largeur fixée égale à  $B = 0,293\text{ m}$ . A partir de la vanne de réglage du circuit fermé du banc d'essais, un débit volume  $Q$  est choisi. L'écoulement qui en résulte est clairement montré par la photographie 2.



Photographie 2 : Vue de l'amont du dispositif étudié et de l'écoulement



Photographie 3 : Limnimètre à vernier à double précision ayant servi à la mesure de la hauteur de déversement  $h_d$

La mesure de la hauteur de déversement  $h_d$ , comptée au-dessus de la pelle  $P$  du dispositif, a été effectuée à l'aide d'un limnimètre à vernier à double précision. Celui-ci est représenté par la photographie 3.

Chacun des débitmètres testés a été soumis à une large gamme du débit volume  $Q$  (Tableaux 1 et 2) dont la valeur a été soigneusement déterminée à l'aide d'un débitmètre à ultrasons.

Les valeurs connues de l'échancrure  $b$  du dispositif, de la hauteur de pelle  $P$ , de la largeur  $B$  du canal d'amenée et de la hauteur de déversement  $h_d$  ont permis de calculer les paramètres suivants :

- Le taux de contraction  $\beta = b/B$
- la hauteur relative de pelle  $P^* = P/h_d$ , pour chaque débit écoulé
- Le paramètre adimensionnel  $\psi = \beta/(1+P^*)$
- le coefficient de débit  $\mu_o$  à vitesse d'approche négligeable tel que  $\mu_o = Q/(b\sqrt{2g}h_d^{3/2})$ , pour chaque débit écoulé

## 5.3 Coefficient de débit à vitesse d'approche non négligeable

A partir des valeurs connues des paramètres  $\mu_o$  et  $\psi$ , le coefficient de débit  $\mu$  à vitesse d'approche non négligeable est calculé conformément à la relation (30). Toutes les valeurs obtenues du coefficient de débit  $\mu$  sont représentées sur la figure 3. Sur la même figure sont représentées les courbes  $\mu_{th}$  et  $0,99\mu_{th}$ , où  $\mu_{th}$  désigne le coefficient de débit  $\mu$  théorique calculé selon la relation (30) pour des valeurs arbitrairement choisies du paramètre  $\psi$ . En outre, les coefficients de débit  $\mu(P^* = 0)$  sont représentés en cercles vides sur la figure 3.

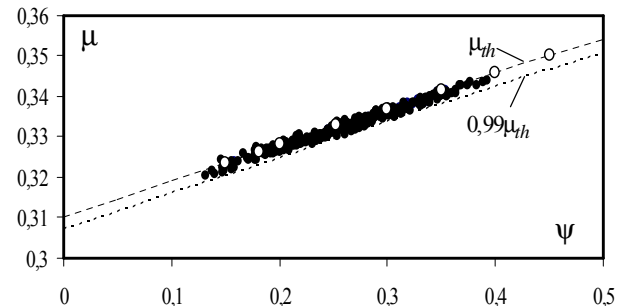


Figure 3 : Coefficient de débit  $\mu(\psi)$  à vitesse d'approche non

négligeable. (•) Points expérimentaux pour  $P^* \neq 0$ .

(o) Points expérimentaux pour  $P^* = 0$ .

(- -) Courbes théoriques tracées selon la relation (30).

Au regard de la figure 3, il apparaît que les points expérimentaux se situent dans leur totalité entre les courbes  $\mu_{th}$  et  $0,99\mu_{th}$ . Ceci permet de conclure que la relation théorique (30) peut être utilisée, avec une incertitude tout à fait acceptable. Cette relation demeure applicable à tous les dispositifs de même type testé y compris ceux dépourvus de hauteur de pelle.

## 6 CONCLUSION

L'étude d'un débitmètre semi modulaire de section droite rectangulaire dotée d'une contraction latérale a été présentée. L'objectif principal a été de définir l'expression du coefficient de débit du dispositif ainsi que celle du débit volume qui s'y écoule en tenant compte de la vitesse d'approche de l'écoulement.

Une approche théorique a été proposée pour modéliser le coefficient de débit recherché dans le cas général d'un dispositif muni d'une hauteur de pelle. Cette approche théorique a fait appel à l'équation de la quantité de mouvement, appliquée entre deux sections bien choisies de l'écoulement. La relation obtenue a été présentée en termes adimensionnels [Eq.(8)], après avoir défini les paramètres  $\Psi$  qui correspond au taux de contraction de la section de l'écoulement d'entrée. Ce paramètre englobe à la fois l'effet du taux de contraction latérale du dispositif  $\beta$  et celui de la hauteur relative de pelle  $P^*$ . L'équation (8) a montré que la hauteur relative de déversement  $h_d^*$  était liée au seul paramètre  $\Psi$ . En ayant recours aux fonctions trigonométriques, il a été possible de déterminer la relation explicite  $h_d^*(\Psi)$  [Eq.(10)].

En pratique, le paramètre connu du problème étant  $\Psi$ , l'équation (10) permet alors de calculer la hauteur relative de déversement  $h_d^*$  et, par suite, d'évaluer le coefficient de débit  $\mu_o$  à vitesse d'approche de l'écoulement négligeable, par application de la relation (14). La relation (16) permet ainsi d'en déduire le débit volume écoulé. Dans le cas où l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement doit être pris en considération, le coefficient de débit  $\mu$  peut être explicitement évalué en faisant appel à la relation (30). Le débit écoulé est alors immédiatement évalué par application de la relation explicite (19).

L'application pratique des relations théoriques obtenues à été illustrée à travers quelques exemples numériques.

Le dispositif étudié a été ensuite soumis à un programme expérimental intense. Il a été testé sous plusieurs dimensions géométriques. Le but recherché a été de vérifier la validité des relations théoriques proposées, plus particulièrement la relation (30) qui exprime le coefficient

de débit théorique  $\mu_{th}$ . Il a été observé (Fig.3) que les points expérimentaux se situent entre les courbes  $\mu_{th}$  et  $0,99\mu_{th}$ , ce qui a permis de conclure à la validité de la relation (30).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Bos M.G. (1976). Discharge measurement structures, Laboratorium voor hydraulica aan Afvoerhydrologie, Landbouwhogeschool, Wageningen, The Netherlands, Rapport 4, May.
- [2] De Coursey D.E., Blanchard B.J. (1970). Flow analysis over large triangular weir, Proc. ASCE, J. Hyd. Div., Vol. 96, HY7, 1435-1454.
- [3] Rao N.S.L. (1963). Theory of weir, Advances in hydrodynamics, Ed. Ven Te Chow, N.Y.
- [4] Bazin H. (1898). Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir, Ed. Dunod, Paris.
- [5] Kindsvater C.E, Carter R.W. (1957). Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs, Proc. ASCE, J. Hyd. Div., Vol. 83, HY6, 1453/1-6.
- [6] SIA (1926). Contribution à l'étude des méthodes de jaugeage, Bull. 18, Schw. Bureau Wasserforschung, Bern.
- [7] Achour B. (1989). Débitmètre à ressaut en canal de section droite triangulaire sans seuil, J. Hydr. Research, 27(2), 205-214.
- [8] Hager W.H. (1985). Modified Venturi channel, Proc. ASCE, J. Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 111, IR1, 19-35.
- [9] Bouslah S. (2006). Analyses théorique et expérimentale d'un déversoir à paroi épaisse et de section triangulaire, Mémoire de Magister en sciences hydrauliques, Département d'hydraulique, Laboratoire LARHYSS, Université de Biskra, Algérie.
- [10] Achour B., Bouziane M.T., Nebbar K. (2003). Débitmètre triangulaire à paroi épaisse dans un canal rectangulaire, Larhyss Journal, n°03, 7-43.
- [11] Kechida S. (2006). Analyses théorique et expérimentale d'un écoulement franchissant un seuil large rectangulaire, Mémoire de Magister en sciences hydrauliques, Département d'hydraulique, Laboratoire LARHYSS, Université de Biskra, Algérie.
- [12] Hachemi Rachedi L. (2006). Analyse d'un écoulement au travers d'une contraction latérale, Mémoire de Magister en sciences hydrauliques, Département d'hydraulique, Laboratoire LARHYSS, Université de Biskra, Algérie.
- [13] Hager W.H. (1986). Discharge measurement structures, Communication 1, Département de Génie-Civil, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.