

DEBITMETRE TRIANGULAIRE A PAROI EPAISSE

(1)S. BOUSLAH, (2) Bachir ACHOUR

(1) Laboratoire Biogéochimie des milieux aride université de Ouargla E-mail : s.bouslah@yahoo.fr

(2) Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS)

Faculté des sciences et des Sciences de l'Ingénieur, Département d'hydraulique

Université de Biskra, B.P. 145, R.P., 07000, Biskra, Algérie

E_mail : info@larhyss.net , bachir.achour@larhyss.net

Résumé :

Le problème souvent rencontré dans la pratique est la mesure du débit volume Q écoulé par un canal ou une conduite. Plusieurs dispositifs sont actuellement utilisés à cet effet, mais leur emploi est tributaire de conditions d'application souvent contraignantes.

L'objectif principal de notre étude est de proposer un nouveau type d'appareil semi-modulaire destiné à la mesure du débit volume dans les canaux ouverts. Nous nous intéresserons en particulier à l'expression du débit volume écoulé par un canal rectangulaire de la largeur B . Le dispositif étudié repose sur le libre écoulement de la lame liquide au travers d'une contraction latérale à parois épaisses, munie ou non d'une hauteur de pelle P . Afin d'assurer la meilleure précision possible au dispositif, la forme triangulaire a été adoptée pour la contraction.

Notre étude repose sur un développement théorique rigoureux, faisant appel à l'équation de la quantité de mouvement. L'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement ainsi que la réaction de la face amont du dispositif sont pris en compte. En désignant par m la tangente du demi angle au centre la section triangulaire, par h_d la hauteur de la lame d'eau à l'amont du dispositif et par P^* la hauteur relative de pelle, nous avons montré que la loi hauteur - débit $Q=f(h_d)$ est telle que :

$$Q = \mu_o (1 + \mu_o^2 \psi^2)^{5/2} m \sqrt{2g} h_d^{5/2}$$

Le paramètre ψ a été défini comme étant : $\psi = M_d/(1 + P^*)$ Où $M_d = mh_d/B$ et $P^* = h_d/P$.

Nous avons également montré que le coefficient μ_o ne dépend que du paramètre adimensionnel ψ et répond à la relation :

$$\mu_o \approx \frac{1}{2} (0,1004 \psi^{1,0787} + 0,7368)^{5/2}$$

Une étude expérimentale, menée sur divers modèles physiques, a confirmé la validité et la fiabilité des relations théoriques proposées.

Mots clés : Coefficient de débit, débit, débitmètre, hauteur de déversement, triangulaire.

ABSTRACT:

The main objective of our work is the survey of a new thick plate triangular device of discharge measurement provided by a water heave. The theoretical development will take in account the influence of the approach speed of the out-flow in the upstream of the studied device, represented by the quantity $v^2/(2g)$. Our theoretical process rests on the application of the quantity of movement equation, under the double condition of a hydrostatic distribution of the pressures and a uniform distribution of the speeds. The expression of the law height - discharge and discharge coefficient obtained are in conformity with the devices semi modular, because the discharge also depends of geometric features of the device that of the depth to the uphill of airflow. Finally, the experimental results will be presented then analyzed and some conclusions will be pulled, notably with regard to the limits of validity of the law "height - discharge".

Key words : Flow meter, outfall, semi modular, measure flow, coefficient of discharge.

1. INTRODUCTION

Le débit d'un cours d'eau peut être mesuré en utilisant des déversoirs sur des orifices normalisés, dont la relation hauteur- débit théorique est $Q = f(h)$ (Rajaratnam et Muralidhar, 1968 ; SIA, 1926). Ces techniques, adaptées surtout aux petits débits.

Cela nécessite la mise en place d'un dispositif qui modifie le régime d'écoulement et qui permet d'utiliser la relation hauteur- débit théorique du dispositif, moyennant le strict respect de conditions normalisées de mise en œuvre (De Coursey et Blanchard, 1970). Même en respectant ces conditions, une vérification de la validité de la loi hauteur- débit reste toujours nécessaire. Parmi les appareils de mesure du débit, nous pouvons citer ceux qui utilisent le libre déversement par-dessus une paroi plane verticale placée en travers de l'écoulement (Benjamin, 1956 ; Rao, 1975). Ces appareils sont appelés déversoirs et les plus utilisés sont dotés d'une échancrure de forme rectangulaire ou de forme triangulaire (Kindsvater et Carter, 1957 ; Achour, 1989 ; Achour et al. 2003).

En ce qui concerne les dispositifs de mesure de débit dotés d'un seuil large, la recherche bibliographique a montré que les études effectuées à l'heure actuelle n'ont concerné que le seuil large de forme rectangulaire, dotée ou non d'une contraction latérale.

La présente étude se propose d'analyser le seuil large à échancrure de forme triangulaire doté d'une hauteur de pelle et d'en définir notamment la loi hauteur-débit. Afin de déterminer cette loi ainsi que l'expression du coefficient de débit, une analyse théorique est proposée.

2. GEOMETRIE DU DISPOSITIF ET PARAMETRES ADIMENSIONNELS

Le nouveau type d'appareil semi- modulaire destiné à la mesure du débit dans les canaux ouverts se caractérise par une section de forme triangulaire à paroi épaisse et d'angle d'ouverture constant θ . Il est muni d'une hauteur de pelle et son axe longitudinal se confond avec celui du canal d'amenée de forme rectangulaire dans lequel il est inséré.

L'appareil provoque un rétrécissement brusque de la section du canal d'amenée et la veine liquide s'y écoule subit une contraction latérale. La figure 1 montre, en perspective, le schéma simplifié du dispositif étudié lorsqu'il est inséré dans un canal d'amenée de section rectangulaire. Tandis que la photographie (1) montre le dispositif expérimenté au laboratoire

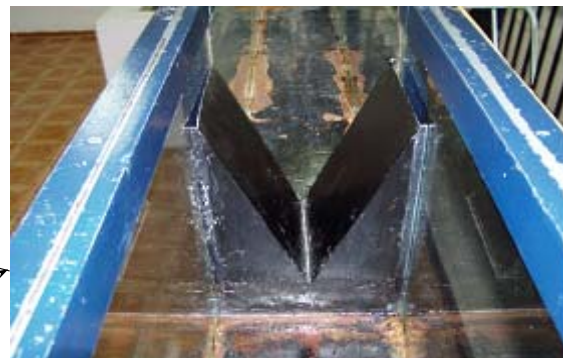
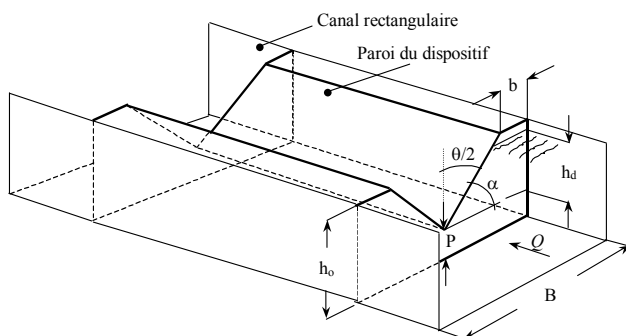


Fig.1. Schéma en perspective du dispositif étudié placé dans un canal d'amenée rectangulaire.

Photographie .1. Vue du dispositif testé

Les caractéristiques du dispositif sont :

h_o : La hauteur géométrique

P : La hauteur de pelle

h_d : La hauteur de déversement comptée au-dessus de la hauteur de pelle P

b : Largeur de la contraction latérale du dispositif

θ : L'angle d'ouverture de la section triangulaire du dispositif

α : L'angle d'inclinaison des parois du dispositif par rapport à l'horizontale

Il est à noter que l'angle d'ouverture maximale du dispositif s'obtient pour $b = 0$.

La hauteur maximale de déversement sera donc $h_{d, \max} = (h_o - P)$.

En introduisant le paramètre $M_d = mh_d/B$, il apparaît ainsi que la valeur maximale de M_d est $M_{d, \max} = 1/2$. Pour les faibles valeurs de la profondeur de déversement h_d ou pour les grandes valeurs de la largeur B du canal d'amenée, nous pouvons écrire que $M_d \rightarrow 0$. Il est donc possible d'écrire que $0 \leq M_d \leq 1/2$. Le paramètre sans dimension M_d correspond au rapport de la section triangulaire (mh_d^2) et de la section rectangulaire (Bh_d). Il s'agit donc d'un paramètre qui traduit l'effet de la contraction de la section transversale du canal d'amenée, située au-dessus de la hauteur de pelle P .

En outre, l'effet de la contraction transversale de toute la section d'amenée du canal, située à l'amont du dispositif, peut se traduire par le paramètre sans dimension :

$$\psi = mh_d^2/[B(h_d + P)]$$

Soit : $\psi = M_d / (1 + P^*)$

3. CONSIDÉRATION THÉORIQUE

3.1. Application de l'équation de la quantité de mouvement

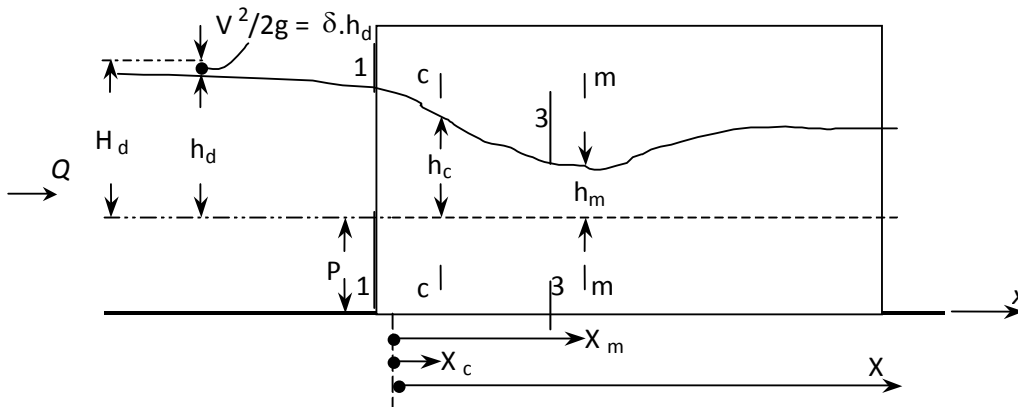


Fig. 2. Profil en long de l'écoulement dans le canal d'amenée et à l'intérieur du dispositif

L'équation de la quantité de mouvement peut être appliquée entre les sections 1-1 et 3-3 indiquées sur la figure 2. Cette équation doit prendre en considération la force de réaction de la face amont du dispositif correspondant au rétrécissement brusque de la section droite du canal amenée. En considérant d'une part une répartition hydrostatique des pressions dans toute section et que la condition de criticité est satisfaite dans la section 3-3 d'autre part, l'application de l'équation de la quantité de mouvement mène à écrire :

$$h_d^{*5} - \frac{5}{2}h_d^{*2} + \frac{3}{2} \frac{M_d}{(1+P^*)} = 0 \tag{1}$$

Ou bien :

$$h_d^{*5} - \frac{5}{2}h_d^{*2} + \frac{3}{2}\psi = 0 \quad (2)$$

Où : $h_d^* = h_d/h_c$, $M_d = mh_d/B$, $P^* = P/h_d$ et $\psi = M_d/(1 + P^*)$.

La relation (1) est donc composée de paramètres adimensionnels, ce qui lui confère un caractère de validité générale. La relation (1) montre que h_d^* est liée aux paramètres M_d et P^* par une équation de degré cinq dont la résolution nécessite alors un procédé itératif. Une étude particulière de la relation (1) a montré que h_d^* augmente avec l'accroissement de la valeur de P^* et diminue avec l'augmentation du paramètre M_d . Nous avons pu également constater que dans toute la gamme $0 \leq M_d \leq 0,5$, le paramètre h_d^* est tel que $1,266 \leq h_d^* \leq 1,357$.

L'équation de la quantité de mouvement, exprimée par la relation (2), permet alors la détermination de la hauteur relative de déversement h_d^* . Cependant, étant donné le caractère implicite de l'équation (2), la détermination de h_d^* ne peut se faire que par la voie graphique ou en s'aidant d'un procédé itératif.

3.2. Expression approchée de la hauteur relative de déversement

Afin de permettre une estimation aisée de h_d^* , nous proposons une relation approchée $h_d^* = f(\psi)$ en ayant recours à la méthode des moindres carrés non linéaires. Cette relation, obtenue avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,9997$, est :

$$h_d^{*-1} \approx 0,1004\psi^{1,0787} + 0,7368 \quad (3)$$

Les valeurs exactes de h_d^{*-1} , calculées pour diverses valeurs du paramètre ψ en application de la relation implicite (2), ont été confrontées à celles issues de l'équation approchée (3). Les écarts relatifs calculés sont représentés sur la figure 2 en fonction du paramètre ψ . L'écart relatif maximal observé est de l'ordre de 0,65%.

Ceci permet de conclure à la fiabilité de la relation approchée (3), dont l'application est explicite.

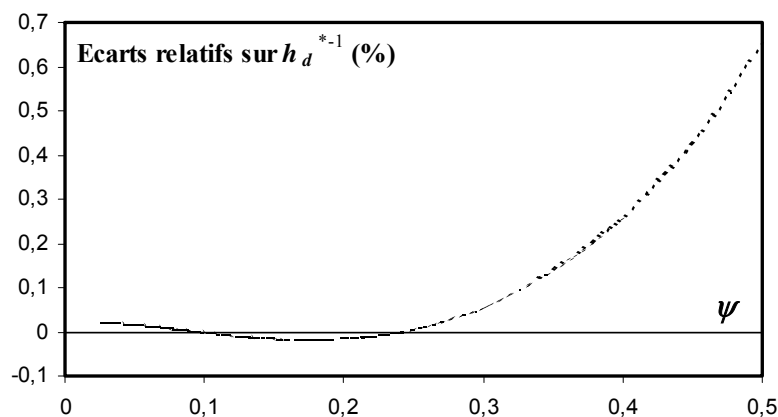


Figure .3 . Ecarts relatifs entre les valeurs exactes et approchées de h_d^{*-1} , en fonction du paramètre adimensionnel ψ .

3.3. Charge totale relative de déversement

La charge totale H_d est, par rapport au fond du dispositif (figure 2) :

$$H_d = h_d + V^2/2g$$

Avec :

$$V_1 = \frac{Q}{B(h_d + P)}$$

Ainsi, la charge totale déversée est :

$$H_d = h_d + \frac{m^2 h_c^5}{4 B^2 (h_d + P)^2} \quad (4)$$

Nous rappelons que la profondeur critique h_c dans une section triangulaire est telle que :

$$h_c = \left[\frac{2Q^2}{gm^2} \right]^{1/5} \quad (5)$$

En introduisant la relation (5) dans (4) et après arrangements, il vient que :

$$H_d^* = h_d^* + \frac{\psi^2}{4 h_d^{*4}} \quad (6)$$

Où $H_d^* = H_d/h_c$, $h_d^* = h_d/h_c$, et $\psi = M_d / (1 + P^*)$,

En tenant compte de la relation (1), nous pouvons conclure que la charge relative déversée, exprimée par la relation (6), ne dépend que du paramètre ψ . Une étude statistique des relations (1) et (6) a montré que la charge relative répond, avec une excellente approximation avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,9996$, à la relation :

$$H_d^{*-1} \approx 0,0768\psi + 0,7368 \quad (7)$$

Le paramètre sans dimension ψ étant mesurable en pratique, la relation (7) permet alors une évaluation explicite de la charge relative déversée.

3.4. Coefficient de débit du dispositif et expression du débit

3.4.1. Vitesse d'approche de l'écoulement négligée

Le débit volume Q écoulé par le dispositif s'écrit :

$$Q = \mu_o m \sqrt{2g} h_d^{5/2} \quad (8)$$

En éliminant le débit volume Q entre les relations (6) et (8), il est aisé de montrer que :

$$\mu_o h_d^{5/2} = \frac{1}{2} h_c^{5/2}$$

On peut écrire que :

$$\mu_o = \frac{1}{2h_d^{*5/2}} \quad (9)$$

Cependant, nous pouvons faire appel à la relation (3) dont la fiabilité a déjà été démontrée.

Ainsi, en éliminant h_d^* entre les relations (3) et (9), nous pouvons écrire que :

$$\mu_o \approx \frac{1}{2}(0,1004 \psi^{1,0787} + 0,7368)^{5/2} \quad (10)$$

En substituant la relation (10) dans (8), le débit volume Q écoulé par le dispositif est :

$$Q = \frac{1}{2}(0,1004 \psi^{1,0787} + 0,7368)^{5/2} m \sqrt{2g} h_d^{5/2} \quad (11)$$

La relation (11) permet ainsi l'estimation théorique du débit volume Q écoulé par l'appareil étudié, après avoir évalué le paramètre ψ . Notons cependant que l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement est laissé hors considération de cette approche théorique. Nous examinerons la possibilité de tenir compte de cet effet dans le paragraphe suivant.

3.4.2. Vitesse d'approche de l'écoulement non négligée

Dans le domaine de la débitmétrie, l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement peut avoir une influence non négligeable sur la loi hauteur -débit et par voie de conséquence sur la valeur du coefficient de débit μ . Nous pouvons écrire que :

$$Q = \mu_o m \sqrt{2g} (1 + \delta)^{5/2} h_d^{5/2} \quad (12)$$

En outre, la relation (12) peut s'écrire :

$$Q = \mu m \sqrt{2g} h_d^{5/2} \quad (13)$$

Dans laquelle :

$$\mu = \mu_o (1 + \delta)^{5/2} \quad (14)$$

μ est le coefficient de débit lorsque $\delta \neq 0$.

Où δ est un paramètre sans dimension qui représente la fraction de la charge en rapport avec la hauteur capable de la vitesse d'approche de l'écoulement.

D'autre part, la relation (6) peut se mettre sous la forme :

$$H_d^* = \left(1 + \frac{\psi^2}{4h_d^{*5}} \right) h_d^* \quad (15)$$

Nous pouvons déduire que :

$$\delta = \frac{\psi^2}{4h_d^{*5}} \quad (16)$$

Le coefficient de débit μ s'exprime par la relation suivante :

$$\mu = \mu_o (1 + \mu_o^2 \psi^2)^{5/2} \quad (17)$$

La relation (17) montre bien que lorsque $\psi \rightarrow 0$ correspondant à $\delta \rightarrow 0$, $\mu \rightarrow \mu_o$.

En ce qui concerne l'expression théorique du débit volume écoulé par le dispositif, tenant compte de l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement, elle peut être obtenue en substituant (17) dans (13). Ainsi :

$$Q = \mu_o (1 + \mu_o^2 \psi^2)^{5/2} m \sqrt{2g} h_d^{5/2} \quad (18)$$

Rappelons que le coefficient de débit μ_o est donné par la relation (10).

4. CONCLUSION

Notre travail a eu pour objectif l'étude d'un nouveau type d'appareil semi modulaire destiné à la mesure des débits dans les canaux ouverts. Notre choix s'est porté sur un élément de forme triangulaire à paroi épaisse et d'angle d'ouverture constant. Il est muni d'une hauteur de pelle et son axe longitudinal se confond avec celui du canal d'amenée de forme rectangulaire dans lequel il est inséré. L'appareil provoque un rétrécissement brusque de la section du canal d'amenée et la veine liquide s'y écoule subit une contraction latérale.

L'écoulement dans le canal d'amené rectangulaire est en régime fluvial et se transforme en un écoulement en régime torrentiel à l'intérieur du dispositif. Cette transformation s'opère par une section de contrôle qui apparaît alors quelque part à l'aval du rétrécissement.

En faisant appel à l'équation de la quantité de mouvement, nous avons proposé un développement théorique visant à définir l'expression de la loi hauteur -débit ainsi que celle du coefficient de débit, tout en tenant compte de la hauteur capable de la vitesse d'approche de l'écoulement. Les relations obtenues permettent un calcul aisé, puisque tous les paramètres qui les composent sont facilement mesurables.

PRINCIPALES NOTATIONS UTILISEES

- A** (m) Aire d'une section mouillée
- B** (m) Largeur d'un canal rectangulaire
- b** (m) Largeur d'une échancrure rectangulaire
- F** (N) Force
- g** (m/s²) Accélération de la pesanteur
- H** (m) Charge totale d'un écoulement
- Hc** (m) Charge totale critique
- Hd** (m) Charge totale de déversement
- Hd*** (-) Charge totale relative de déversement (Hd/hc)
- h** (m) Profondeur d'un écoulement
- hc** (m) Profondeur critique
- hd** (m) Hauteur de déversement
- hd*** (-) Hauteur relative de déversement (hd/hc)
- I** (-) Pente d'une seuil épais

P (m) Hauteur de pelle
P* (-) Hauteur relative de pelle (P/hd)
Q (m³/s) Débit volume
q* (m²/s) Débit unitaire (Q/B, Q/b)
μ (-) Coefficient de débit
V (m/s) Vitesse moyenne d'un écoulement
X (m) Coordonnées longitudinale

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACHOUR B. (1989). Débitmètre à ressaut en canal de section droite triangulaire sans seuil, J. Hydraulic Research, Vol. 27, n°2, 205-214.

ACHOUR B., BOUZIANE T., NEBBAR K. (2003). Débitmètre triangulaire à paroi épaisse dans un canal rectangulaire, Larhyss/Journal, N° 02, pp.7-43, Juin.

BENJAMIN, T.B, (1956). On the flow in channels when rigid obstacles are placed in the stream, J. Fluid Mechanics, Vol. 1, 227-248.

DE COURSEY D.E., BLANCHARD B.J. (1970). Flow analysis over large triangular weir, Proc. ASCE, J. Hydraulics Division, Vol. 96, HY7, 1435-1454.

HAGER W.H. (1986). Discharge measurement structures, Communication 1, Département de Génie Civi, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.

KINDSVATER C.E., CARTER R.W. (1957). Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs, Proc. ASCE, J. Hydraulics Division, Vol. 83, HY6, 1453/1-6.

RAJARATNAM, N., MURALIDHAR, D. (1968). Characteristics of the rectangular free overfall, J. Hydraulic Research, Vol. 6, 233-258.

RAO, N.S.L. (1975). Theory of weirs, Advances in Hydrodynamics, ed. By Ven Te Chow.

SARGINSON E.J. (1973). The influence of surface tension on weir flow, J. Hydraulic Research, Vol. 11, 299-306.

SIA (1926). Contribution à l'étude des méthodes de jaugeages, Bull. 18, Schw. Bureau Wasserforschung, Bern.