

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOHAMED KHIDER –BISKRA–

Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur

Département d'Hydraulique

N°d'ordre :.....

Série :.....

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

MEMOIRE DE MAGISTER EN HYDRAULIQUE

Option : Sciences Hydrauliques

Présenté par

Lamia HACHEMI RACHEDI

Ingénieur d'Etat en Hydraulique

THEME

ANALYSE D'UN ECOULEMENT AU TRAVERS D'UNE CONTRACTION LATÉRALE

Soutenue le :01/03/2006

Devant le jury :

Président : DJABRI.M	Professeur	Univ. Annaba
Examineur :DEBABECHE.M	Maître de conférence	Univ. Biskra.
Examineur :MOUMI.A	Docteur	Univ.Biskra..
Rapporteur : ACHOUR.B	Professeur	Univ. Biskra

INTRODUCTION GENERALE

Les appareils ordinairement utilisés pour la mesure des débits dans les canaux ouverts présentent tous une loi hauteur – débit unique. La hauteur correspond à la profondeur de la lame liquide déversée, mesurée à l'amont du dispositif considéré. Le débit est non seulement fonction de cette hauteur, mais il est également dépendant des caractéristiques géométriques de l'appareil de mesure utilisé. Tout appareil de mesure de débit qui dépend à la fois de ses caractéristiques géométriques et de la hauteur déversée est appelé " appareil semi-modulaire" (Achour, 1989).

Parmi les appareils de mesure de débit existants, nous pouvons distinguer ceux utilisant le libre déversement de la lame liquide et ceux utilisant la particularité d'un ressaut hydraulique à surélever le plan de charge amont. La première catégorie est la plus largement répandue et l'on peut citer, à titre d'exemple, les déversoirs triangulaire et rectangulaire avec ou sans contraction latérale (Bazin, 1898; SIA, 1926; Bos, 1976). L'un des inconvénients de cette première catégorie d'appareils et qu'il sont souvent dotés d'un seuil, appelé pelle, entraînant des dépôts solides qui s'y accumulent. En outre, la charge amont n'est plus restituée à l'aval, puisque ces appareils utilisent un libre déversement de la lame liquide.

Les inconvénients ci-dessus indiqués sont par contre éliminés lorsque l'on utilise la seconde catégorie d'appareils, c'est à dire ceux qui se basent sur la formation d'un ressaut hydraulique. L'un des plus connus est certainement le Parshall .

Les déversoirs à échancrure triangulaire (De Coursey et Blanchard, 1970) sont préférentiellement utilisés lorsque les débits à mesurer sont relativement faibles. Ils permettent une meilleure précision dans la mesure de ces débits, contrairement aux appareils dotés d'échancrure rectangulaire (Kindsvater et Carter, 1957; Rehbock, 1929).

Peu de développement théorique a caractérisé les études sur les appareils de mesure des débits. Nous pouvons cependant citer l'une des premières études dans le domaine (Boussinesq, 1877), suivies par d'autres plus récentes et qui se sont intéressé à l'effet de la tension superficielle sur le coefficient de débit (Lenz, 1943; Ramponi, 1949; Sarginson, 1972; 1973).

En règle générale, le développement des connaissances sur les appareils de mesure des débits n'a pu être obtenu que grâce aux essais au laboratoire. Il s'agit de déterminer la formule dite "débit-hauteur" et d'exprimer le coefficient de débit des appareils testés. Pour un même type d'appareil, nous pouvons rencontrer, dans la bibliographie, diverses formules du

coefficient de débit. Mais toutes ces formules mènent le plus souvent au même résultat (Hager, 1986).

Cependant, l'application de ces formules doit se faire avec précaution lorsque l'on utilise un type donné d'appareil. Ces formules imposent en effet que la géométrie de celui-ci soit bien respectée avec une tolérance souvent contraignante. Ce sont donc des contraintes géométriques qui peuvent engendrer, lorsqu'elles ne sont pas strictement respectées, à des erreurs considérables sur l'évaluation du coefficient de débit et par conséquent sur l'estimation du débit.

Dans notre étude, nous proposons de tester deux différentes catégories de dispositif de mesure des débits dans les canaux ouverts, dont l'avantage majeur est d'éliminer certaines contraintes constructives rencontrées dans divers appareils courants. Il s'agit de tester deux appareils simples appartenant à la catégorie des appareils semi-modulaires, le premier est constitué de deux plaques verticales planes et minces placées en travers de l'écoulement, tandis que second est constitué également de deux paroi verticale mais épaisse et le seuil de déversement s'étend sur une longueur l du canal d'amenée. Aucune contrainte constructive particulière ne caractérise ces dispositifs. En outre, ils permettent l'élimination automatique des dépôts solides par dégrèvement, puisqu'ils ne sont pas dotés de hauteur de pelle. Il s'agit donc de proposer la formule de débit et celle du coefficient de débit caractérisant ces deux catégories de dispositifs.

I.1.INTRODUCTION

Le débit est un élément de base dans la construction hydraulique d'où sa mesure demeure nécessaire même primordiale.

Actuellement les méthodes et les appareils qui permettent de mesurer le débit diffèrent, parmi les appareils qui sont utilisés pour la mesure du débit à l'air libre, un grand nombre sont des structures hydrauliques appartenant à la famille des déversoirs et des canaux.

Ces derniers utilisent la capacité du ressaut pour surélever la charge aval d'où leur nom jaugeur à ressaut, tandis que pour les déversoirs le principe est simple, ce sont ceux qui utilisent le libre déversement par-dessus une paroi verticale et pour le quel la charge aval est faible, et chacun de ces appareils présente ces propres avantages et ces inconvénients.

Ce premier chapitre de notre étude présentera une recherche bibliographique dans la quelle sont décrits quelques-uns des déversoirs les plus couramment utilisés.

I.2. DEVERSOIRS

I.2.1 Définition

Les déversoirs comptent parmi les plus simples et les plus anciens appareils de mesure du débit. Ce sont des structures hydrauliques formant un obstacle par exemple une paroi verticale disposée en travers de l'écoulement et comportant une ouverture ou une entaille de forme particulière, elle peut être rectangulaire triangulaire, trapézoïdale ou même circulaire, aussi elle peut être à paroi mince ou à paroi épaisse.

Le débit est déterminé à partir d'une simple lecture limnimétrique du plan d'eau amont au-dessus de l'arête du déversoir.

I.2.2.Déversoir à paroi mince

I.2.2.1.Déversoir rectangulaire en mince paroi sans contraction latérale

Le déversoir rectangulaire est le plus classique, qui à été le mieux étudié, de part sa géométrie simple qui est représentée schématiquement par la figure (1.1), d'où les multiples observations qui ont été effectuées ce qui à permis de donner des valeurs plus exactes du débit.

Il est aussi le plus ancien car les premières études relèvent au 18^{ème} siècle dû à (G.Poloni ,1717) qui donna l'équation de base du débit qui est donnée par :

$$Q = \frac{2}{3} \mu . B . h \sqrt{2g . h} \quad (1.1)$$

Où Q est le débit volume, B : la largeur du canal, μ coefficient du débit et g l'accélération de la pesanteur.

h : représente la hauteur de la lame d'eau au-dessus du déversoir et c'est de ce là que né la définition du coefficient du débit. Puisqu'il est plus facile de mesurer la hauteur d'eau h que de mesurer la charge totale H d'où il revient à négliger la vitesse d'approche on aura alors $h \approx H$ (en général dans cette zone la ligne de charge coïncide avec la surface libre).

Les erreurs qui résultent de cette approximation sont corrigées par le coefficient de débit.

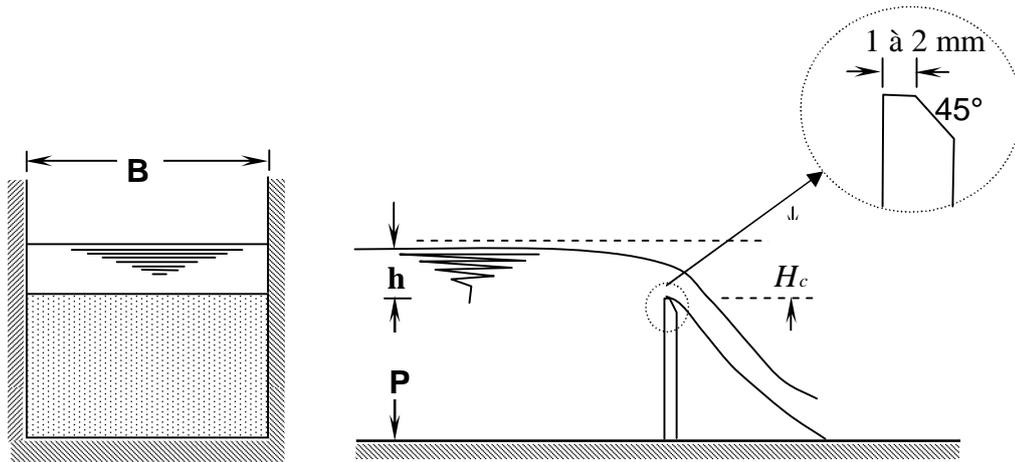


Figure 1.1 : Schéma de définition et détails du déversoir rectangulaire en mince paroi sans contraction latérale

En admettant que le seuil est franchit par un écoulement en régime critique avec une charge totale H_c et de profondeur d'écoulement h_c , alors on peut écrire que :

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3} = \frac{2}{3} H_c$$

$$q = \frac{2}{3\sqrt{3}} \sqrt{2g} H_c^{3/2} \quad (1.2)$$

Où q est le débit unitaire $q = Q/B$

En admettant également en première approximation que H_c est égale à la hauteur h de déversement les relations (1.1) et (1.2) permettent d'écrire que :

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577.$$

Cependant les observations de Polony donnent $\mu=0,64$, ce qui permet de conclure un écart d'environ 11%. Cet écart a été attribué par (Boussinesq, 1817) à l'effet de la courbure des filets liquides franchissant l'arête du déversoir, cette courbure joue un rôle significatif et l'augmentation de la valeur du coefficient du débit est essentiellement due à son effet.

Les résultats de (Boussinesq, 1817) ont permis d'écrire que :

$$\mu = 0,651 \left(1 - 0,391 \frac{i}{\pi} \right) \quad (1.3)$$

Où i désigne l'angle d'inclinaison du déversoir par rapport à la verticale comme l'indique la figure (1.2).

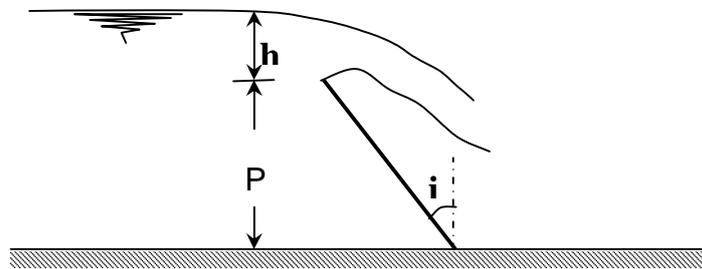


Figure 1.2 : Déversoir en mince paroi inclinée d'un angle i par-rapport à la verticale. lame d'eau inférieure complètement aérée.

La relation (1.3) ne peut être appliquée que si $P/h \gg 1$.

Dans la pratique, le cas usuel d'un déversoir en mince paroi consiste en une plaque verticale dont la largeur est égale à celle amont et aval du canal dans le quel elle est insérée.

Plusieurs relations du coefficient du débit ont été proposées par le passé et dont les plus importantes sont regroupées dans le tableau (1.1).

Tableau 1.1 Coefficient de débit selon l'équation 1.1 selon quelques auteurs et leurs limites d'application.

<i>Auteur</i>	<i>Année</i>	<i>Coefficient de débit μ</i>	<i>Limite d'application</i>	<i>N=°</i>
Bazin	1888 1898	$\mu = 0,6075 \left(1 + \frac{0,074}{h} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+P} \right)^2 \right]$	0,08m<h<0,70m B>4h 0,2m<P<2m	1.4
Rehbock	1913 1929	$\mu = 0,6050 \left(1 + \frac{0,0019}{h} \right) \left(1 + 0,138 \frac{h}{P} \right)$	h>0,05m	1.5
SIA	1924	$\mu = 0,615 \left(1 + \frac{0,001}{h} \right) \left[1 + 0,5 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right]$	0,025m<h<0,8m P<0,30m h≤p	1.6
Kindsvater-Carter	1957	$\mu = 0,602 \left(1 + 0,125 \frac{h}{P} \right)$	L≥0,15m, h≥0,03m h/P≤2	1.7
Sarginson	1972 1973	$\mu = 0,613 \left(1 + \frac{2,33}{W} + 0,122 \frac{h}{P} \right)$		1.8

Dans la relation (1.8) de Sarginson, le paramètre W représente le nombre de Weber tel que $W = \rho h^2 / \sigma$ où ρ est la masse volumique du liquide et σ est la tension superficielle exprimée en Kg/m.

On peut également écrire que : $W = \rho g h^2 / \sigma$. On peut constater à partir du Tableau (1.1) que toute relations, à l'exception de la formule de Kindsvater-Carter, contiennent trois termes :

- Une constante dont la valeur moyenne est de l'ordre de 0,61
- Un terme qui tient compte de l'effet de la tension superficielle et proportionnel à $1/h$ où h est exprimé en mètre. Ce terme se trouve, à travers le nombre de Weber, dans la relation (1.8) de Sarginson.
- Un terme qui tient compte de l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement à travers le rapport h/P. Lorsque $h/P \ll 1$, la hauteur capable de la vitesse d'approche de l'écoulement est faible ($V^2/2g = 0$).

Le coefficient de débit μ de Kindsvater donné par la formule (1.7) se rapporte à la formule du débit suivante :

$$q = \mu \sqrt{g h_e^3} \quad (1.9)$$

$$h_e = h + 0,9$$

Où h_e représente la hauteur effective de la lame d'eau

La valeur 0,9 est une longueur déterminée expérimentalement pour tenir compte l'effet de la tension superficielle et de la viscosité.

La relation du débit unitaire la plus acceptée de nos jours est la deuxième version de (Rehbock, 1929) donnée par :

$$q = \mu \sqrt{2g h_e^3}$$

Avec :

$$\mu = 0,4023 + 0,0542 \frac{h_e}{P}$$

$$\text{et } h_e = h + 0,0011$$

Ce qui revient à écrire que :

$$q = 0,4023 \sqrt{2g(h + 0,0011)^3} \left(1 + 0,135 \frac{h}{P}\right) \quad (1.10)$$

Dans cette relation h s'exprime en mètre.

En principe cette relation est applicable pour toute la gamme de variation des paramètres notamment de la charge, mais il est préférable de prendre $h/P > 0,50$.

Cette formule est applicable au déversoir de type Rehbock dont la crête présente le profil de figure (1.1) ainsi que la nappe inférieure soit complètement aérée.

La précision obtenue sur la mesure de débit est de l'ordre de 0,10 à 0,20%.

Notons également la deuxième version de (Kindsvater-Carter, 1959) concernant le calcul du débit Q véhiculé par un canal.

En considérant le coefficient de débit donné par la formule (1.7) du tableau (1.1), Kindsvater-Carter propose d'évaluer le débit Q par la relation :

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu (B - 0,001) (h + 0,001)^{\frac{3}{2}} \quad (1.11)$$

Cette relation est applicable pour les considérations suivantes :

- Hauteur de pelle $P > 0,1$ m
- Hauteur de la lame déversante $h_{\text{minimal}} > 0,08$ m
- Hauteur relative $h/P < 0,25$

I.2.2.2 Déversoir rectangulaire à contraction latérale

On dit qu'il y a contraction latérale lorsque la largeur B du canal est supérieure à la largeur b du déversoir, ce qui définit la valeur du taux de contraction $\beta = \frac{b}{B}$.

Le cas le plus usuel du déversoir rectangulaire à crête mince avec contraction latérale est représenté par la figure (1.3)

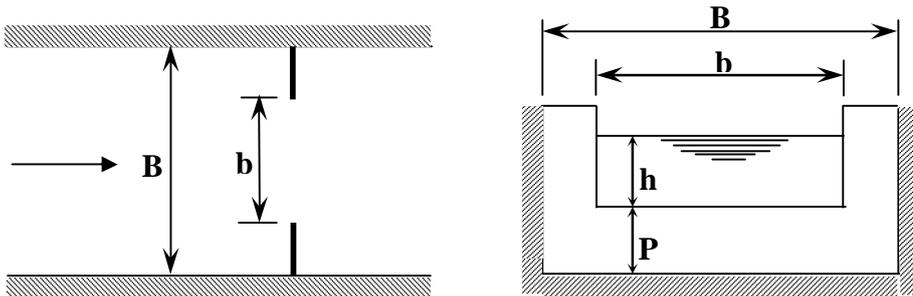


Figure 1.3 : Déversoir rectangulaire en mince paroi avec contraction latérale

Pour ce type de déversoir de très nombreux tests ont été effectués par (SIA, 1926). Ces tests ont montrés que le débit unitaire q pouvait être calculé en application de la relation (1.1).

- Pour un taux de contraction $0,30 < \beta < 1$,
- Une hauteur de pelle $P \geq 0,30\text{m}$;
- Une hauteur de la lame déversante $0,025B/b < h < 0,80\text{m}$, où $h \leq P$;

La relation du coefficient du débit μ s'écrit :

$$\mu = 0,578 \left[1 + 0,065\beta^2 + \frac{6,25 - 5,19\beta^2}{1000(h + 0,016)} \right] \left[1 + 0,5\beta^4 \left(\frac{h}{h + P} \right)^2 \right] \quad (1.12)$$

Il est à noter que pour $\beta=1$ les relations (1.6) et (1.12) sont identiques.

Pour un déversoir vertical, à crête mince, et à nappe libre avec une contraction latérale (Hégly, 1921) proposa une formule pour le calcul du coefficient de débit μ qui s'écrit :

$$\mu = \left[0,405 + \frac{0,0027}{h} - 0,03(1 - \beta) \right] \left[1 + 0,55 \left(\frac{\beta h}{(h + P)} \right)^2 \right] \quad (1.13)$$

Pour les limites d'application suivantes :

- La hauteur $0,10m < h < 0,60m$
- La largeur du déversoir $0,40m < b < 1,80m$
- La hauteur de pelle $0,40m < P < 0,80m$
- $0 < 1 - \beta < 0,90$

D'autres formules ont été proposées par plusieurs chercheurs, mais ces formules convergent dans leur ensemble vers la même valeur du débit unitaire calculé par application des relations que nous venant de citer.

Notons que toutes ces formules doivent être appliquées sous les conditions suivantes :

- $B - b > 4h$
- $\frac{h}{P} \leq 0,50$
- $\frac{h}{b} \geq 0,50$
- $P \geq 0,30m$
- $\frac{0,025}{\beta} \geq h \geq 0,80m$
- $b \geq 0,30m$

Si l'une de ces conditions n'est pas remplie la valeur calculée du débit peut être entachée d'une erreur significative.

1.2.2.3. Déversoir triangulaire à paroi mince

Le dispositif est représenté par une plaque verticale mince disposée en travers de l'écoulement dans un canal généralement de forme rectangulaire de largeur B, dont le profil de l'échancrure est un triangle d'angle d'ouverture θ .

Le déversoir est représenté schématiquement par la figure (1.4).

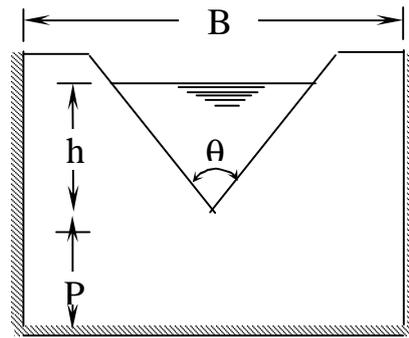


Figure 1.4 : Déversoir triangulaire en mince paroi
– Schéma de définition-

Elle demeure la section la plus avantageuse pour la mesure des très faibles débits, de plus les valeurs calculées du débit seront données avec une précision raisonnable.

Thomson a donné la relation suivante pour le calcul du débit :

$$Q = \frac{8}{15} \mu h^2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \sqrt{2gh} \quad (1.14)$$

Une autre approche, et, en admettant que le seuil est franchit par un écoulement en régime critique de charge totale H_c on aura $H_c = \frac{5}{4} h_c$, où h_c étant la profondeur critique de l'écoulement, et en tenant compte de la condition de criticité on aura :

$$h_c = \left(\frac{2Q^2}{gm^2} \right)^{\frac{1}{5}}, \text{ où } m \text{ est la tangente de l'angle } \frac{\theta}{2} \quad m = \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}.$$

Donc la relation du débit s'écrit :

$$Q = \frac{16}{25} m \sqrt{\frac{2}{5} g H_c^5} \quad (1.15)$$

En admettant en outre que la vitesse d'approche de l'écoulement est faible on peut écrire que $H_c = H = h$ d'où la relation (1.15) devient :

$$Q = \frac{16}{25} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \sqrt{\frac{2}{5} g h^5} \quad (1.16)$$

Ou bien :

$$Q = \frac{8}{15} \mu \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \sqrt{2g h^5} \quad (1.17)$$

Donc $\mu = \frac{6}{5\sqrt{5}} = 0,5366$

La contraction est dite pleine lorsque la hauteur relative $\frac{h}{P} \leq 0,40$ et que $\frac{P}{B} \leq 0,20$, dans ce cas le coefficient de débit μ ne dépend que de l'angle d'ouverture θ .

Le tableau (1.2) regroupe les valeurs de μ pour quelques valeurs de θ

Tableau 1.2 coefficient de débit μ de l'équation (1.16) en fonction de θ

θ	20	40	60	80	90	100
μ	0,597	0,582	0,577	0,577	0,578	0,580

La figure ci-après représente la variation du coefficient de débit μ en fonction de l'angle d'ouverture de l'échancrure θ mentionné précédemment dans le tableau (1.2).

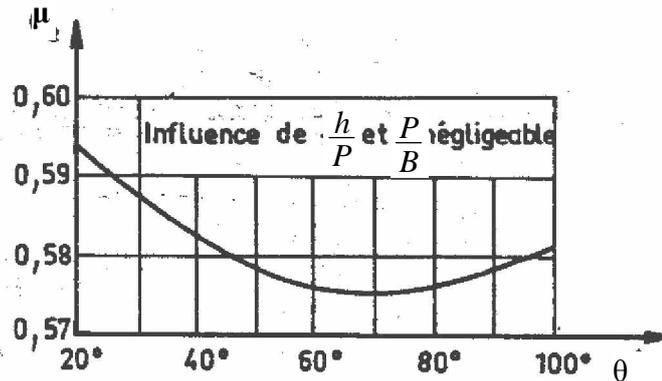


Figure 1.5 : variation du coefficient de débit en fonction de l'angle de l'ouverture de l'échancrure d'un déversoir triangulaire à paroi mince pour une contraction pleine.

D'après la figure(1.5) on remarque que la courbe obtenue est en forme de cloche composée de deux branches une ascendante et l'autre descendante, et représente un minimum de θ et de μ , pour $\theta=70^\circ$ $\mu=0,577$.

Lorsque :

- La hauteur relative $\frac{h}{P} \leq 1,20$
- $\frac{h}{B} \leq 0,40$
- La hauteur de la lame d'eau $0,05 \leq h \leq 0,60m$
- La hauteur de pelle $P \geq 0,10m$
- La largeur du canal d'amenée $B \geq 0,60m$

La contraction est dite partielle. La vitesse d'approche ainsi que la largeur B du canal d'amenée, ont alors un effet très important sur le coefficient de débit. Pour illustrer cet effet Kindsvater a effectué des essais sur un déversoir triangulaire a angle d'ouverture d'échancrure $\theta=90^\circ$.

La figure (1.6) représente pour un angle d'ouverture $\theta=90^\circ$ la variation du coefficient de débit en fonction de P/B et h/B.

Il est à noter que le canal d'amenée doit être de forme rectangulaire ou pouvant être assimilé comme tel.

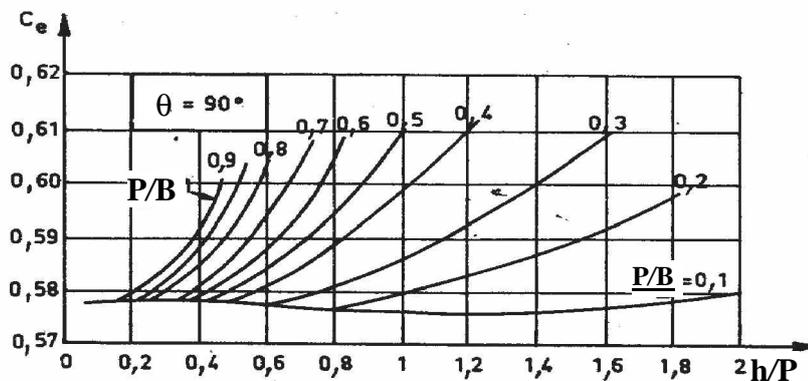


Figure 1.6 : Valeurs du coefficient de débit pour $\theta=90^\circ$ en fonction de h/P et P/B, selon Kindsvater

(Kindsvater ,1957) a introduit dans l'équation du débit une longueur qui tient compte de l'effet de la viscosité et de la tension superficielle, pour un liquide donné et dans une marge limitée de la température, alors l'équation (1.14) devient :

$$Q = \frac{8}{15} \mu \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} (h + Kh)^{\frac{5}{2}} \quad (1.18)$$

K_h est fonction uniquement de l'angle d'ouverture de l'échancrure θ . Pour $\theta=90^\circ$ et pour l'eau à température ordinaire on peut prendre $K_h=0,85$ mm.

La courbe de la figure (1.7) donne les valeurs de k_h en fonction de l'angle d'ouverture θ .

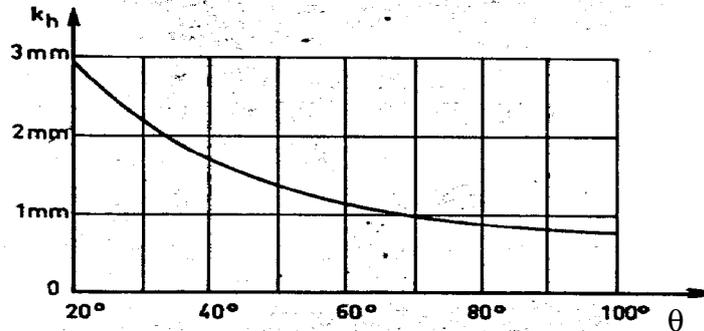


Figure 1.7 : Valeurs de k_h en fonction de l'angle d'ouverture θ , selon Kindsvater

D'autres formules ont été également proposées pour le calcul du débit ; on cite celle de (Cone, 1916) qui pour : $20^\circ < \theta < 90^\circ$ et $0,06\text{m} < h < 0,41\text{m}$, la relation du débit s'écrit comme suit :

$$Q = \left(0,3065 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}} \sqrt{2g} + 0,0031 h^{\frac{5}{2}} \sqrt{2g} \right) (3,28h)^{-\frac{0,0195}{0,75\theta/2}} \quad (1.19)$$

Il a aussi donné une forme simplifiée de la relation pour un angle d'ouverture de l'échancrure $\theta=90^\circ$, dans un déversoir triangulaire à crête verticale en mince paroi la relation (1.19) devient :

$$Q = 0,303 h^{-0,02} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} h^{\frac{5}{2}} \quad (1.20)$$

Pour le calcul du coefficient de débit μ , (Héyndrickx, 1948) à proposé en une formule qui est donnée par :

$$\mu = \left(0,5775 + 0,214 h^{-1,25} \right) \left(1 + \frac{h^2}{B^2 (h + P)^2} \right) \quad (1.21)$$

Le déversoir triangulaire à paroi mince a également fait l'objet d'investigation de la part de (Lenz, 1943), qui s'est intéressé en particulier aux effets de la viscosité du liquide et de la tension superficielle sur le coefficient du débit μ .

De même (Ramponi, 1949) analyse les effets du canal d'amenée sur les caractéristiques de l'écoulement.

I.2.2.4. Déversoir trapézoïdal

Dans ce type de déversoir la forme de l'échancrure est un trapèze isocèle envasé vers le haut, la figure (1.8) montre schématiquement la forme du déversoir.

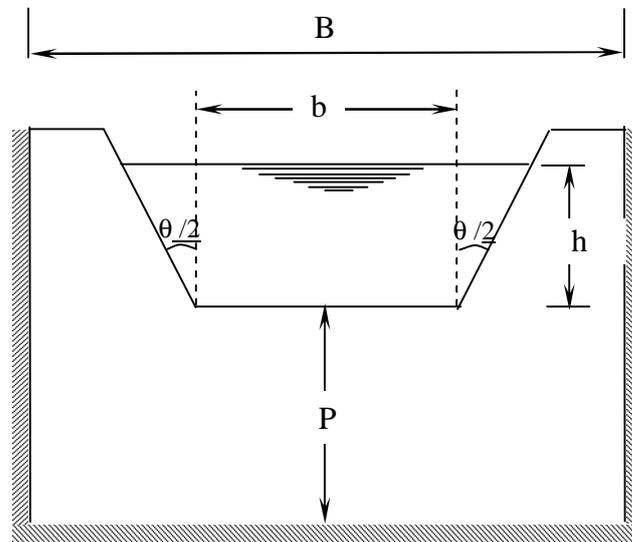


Figure 1.8 : Déversoir trapézoïdal –Schéma de définition-

Le déversoir le plus fréquemment utilisé est celui de (Cipolletti, 1963), dont la crête est constituée par la plus petite base **b** et d'angle d'inclinaison θ tel que $\text{tg}\theta = 1/4$, ce qui permet de compenser l'influence de contraction due aux joues par l'augmentation de la largeur de la surface libre de manière à conservé le plus possible un coefficient de débit μ constant pour une large gamme de la variation de la charge h .

La relation générale du débit pour un déversoir de type Cipolletti est donnée par :

$$q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}} \quad (1.22)$$

Où q est le débit unitaire

Lorsque :

- $0,06\text{m} < h < 0,60\text{m}$

- $h/P < 0,50$

- $P > 2h$ avec une valeur minimale de $0,30\text{m}$

La valeur du coefficient de débit $\mu \approx 0,422$ d'où la forme simplifiée de la relation de Cipolletti qui s'écrit :

$$q = 1,86 b h^{3/2} \quad (1.23)$$

Pour une valeur quelconque de l'angle d'inclinaison des joues du déversoir sur la verticale (Gourley et Crimp) ont donné la formule suivante pour le calcul du débit :

$$Q = 1,32 h^{2,47} \operatorname{tg}(\theta/2) + 1,69 b^{1,02} h^{1,47} \quad (1.24)$$

b : est la petite base du trapèze

h : la hauteur d'écoulement

1.2.2.5. Déversoir circulaire

Le déversoir circulaire a fait l'objet de plusieurs études, vues les avantages qu'il présente, une simplicité et une facilité d'exécution (il n'y a ni à placer le seuil parfaitement horizontal comme pour le déversoir rectangulaire ni à placer la bissectrice parfaitement verticale tel est le cas pour le déversoir triangulaire) et une précision meilleure pour la mesure des petits débits.

Le déversoir est de forme circulaire de diamètre D et de hauteur d'écoulement h, la figure (1.9) ci-après représente schématiquement le déversoir circulaire à paroi mince.

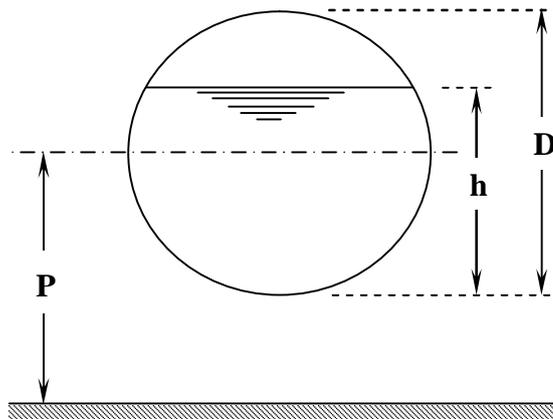


Figure 1.9 : Déversoir circulaire –Schéma de définition-

D'après les résultats de Stauss et Von Sanden, la forme générale de la formule de débit est donnée par :

$$Q = C K D^{5/2} \quad (1.25)$$

D : est le diamètre du cercle

K : est fonction du taux de remplissage h/D, dont la valeur dépend des considérations théoriques, il est donné par des tables numériques ou par application de la formule de

Ramponi qui s'écrit :

$$K=3,203\left(\frac{h}{D}\right)^{1,975} - 0,842\left(\frac{h}{D}\right)^{3,78} \quad (1.26)$$

C : coefficient expérimental, il est fonction des rapports h/D et ω/Ω où ω est la surface mouillée et Ω est la surface totale $\Omega=\pi D^2/4$.

En 1930 Stauss a donné la formule suivante pour le calcul de C :

$$C=\left[0,555 + \frac{D}{110h} + 0,041\frac{h}{D}\left[\frac{2D}{L}\right]^{0,0625}\right] \quad (1.27)$$

Ainsi (Jorissen, 1941) a proposé pour $0,10m < D < 1m$ et $L/P < 2$

Avec L : largeur du canal d'amenée, P est la hauteur de pelle

La valeur du coefficient C donnée par :

$$C=\left[0,558D^{-0,025} + 0,08 - \frac{\omega}{10Dh}\right]\left[1 + \left(\frac{\omega}{\Omega}\right)^2\right] \quad (1.28)$$

Les expériences de (Hégly, 1927) sur un déversoir de 1m de diamètre et en faisant varier la hauteur de pelle $0,40m < P < 0,80m$, ont permis d'établir la formule générale du débit qui est donnée par :

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gh} \quad (1.29)$$

Et il a proposé la relation du coefficient de débit :

$$\mu = \left(0,350 + \frac{0,002}{h}\right)\left[1 + \left(\frac{\omega}{\Omega}\right)^2\right] \quad (1.30)$$

En suite (Ramponi, 1949) a proposé la généralisation de la formule en introduisant le diamètre D du déversoir de la façon suivante :

$$\mu = \left(0,350 + 0,002\frac{D}{h}\right)\left[1 + \left(\frac{\omega}{\Omega}\right)^2\right] \quad (1.31)$$

I.2.3. Déversoir à seuil épais

I.2.3.1 Définition

Comparé au déversoir à paroi mince le paramètre supplémentaire est l'épaisseur de la paroi. On désigne par déversoir à seuil épais un déversoir dans le quel l'écoulement de la crête peut être assimilé à un écoulement dans un canal de faible longueur ou, les filets liquides sont considérés pratiquement parallèles tel qu'on peut admettre une distribution hydrostatique des pressions dans la section de contrôle ou l'écoulement passe par un régime critique.

La figure (1.10) présente le profil d'un déversoir à seuil épais.

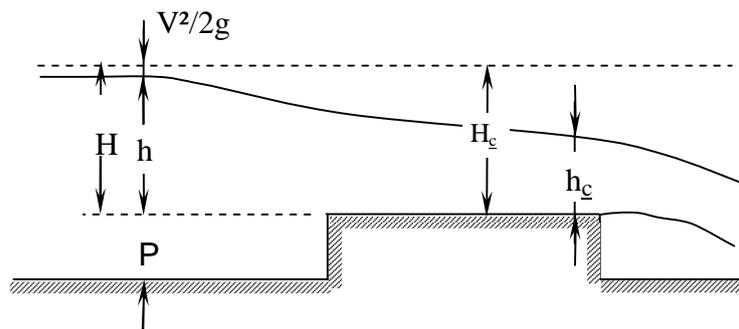


Figure 1.10 : Déversoir à paroi épaisse –Schéma de description-

Pour avoir une distribution hydrostatique des pressions et une perte d'énergie faible et il faut que la valeur de h/B soit comprise entre $0,08 \leq h/B \leq 0,50$.

Un régime critique s'établit au-dessus du seuil, de telle manière à ce que l'on obtient un écoulement dénoyé à l'aval du déversoir. L'équation de Bernoulli entre la section à l'amont du déversoir et la section de contrôle $H=hc$ est tel que :

$$H = hc + \alpha \frac{V_c^2}{2g}$$

hc : est la hauteur d'écoulement dans la section de contrôle

V_c : est la vitesse moyenne dans la section de contrôle, et le coefficient α est considérée $\alpha=1$.

Donc la relation du débit s'écrit :

$$Q = Sc \sqrt{2g(H - hc)} \quad (1.32)$$

Sc : est l'aire de la section de contrôle.

Afin de tenir compte de tous les effets secondaires on introduit deux coefficients. D'une part un coefficient de débit C_d , qui tient de la répartition non uniforme de la vitesse et un parallélisme non total des lignes de courant. Il est fonction de la forme du seuil et des conditions d'amenée. D'autre part un coefficient de vitesse C_v qui tient compte de l'effet de la hauteur cinématique qui est négligé (du fait qu'il est plus facile de mesurer la hauteur d'eau h que de mesurer la charge totale H). Ce qui revient à écrire :

$$Q = C_d C_v S_c \sqrt{2g(H - hc)} \quad (1.33)$$

C'est l'équation du débit pour les différents profils de déversoir à paroi épaisse.

I.2.3.2. Déversoir rectangulaire à paroi épaisse sans contraction latérale

Le seuil est de forme régulière représenté par un rectangle de hauteur a de largeur B qui est celle du canal d'amenée et longueur du seuil L_c , il est représenté schématiquement par la figure (1.11).

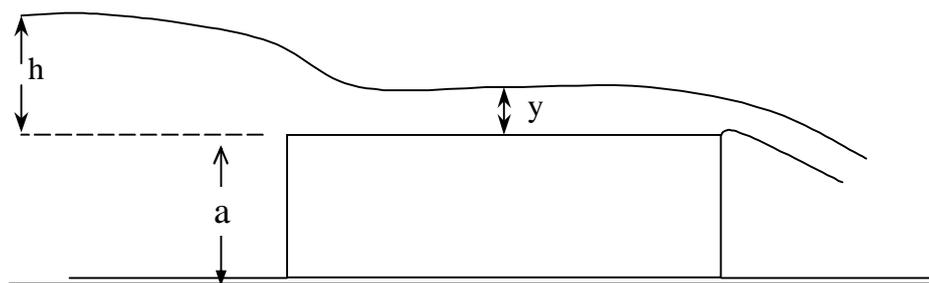


Figure 1.11 : Ecoulement par-dessus un seuil à paroi épaisse

De la notion de débit maximum, Bélanger a établi que sur un très large seuil horizontal, on devrait avoir :

$$Q = 0,385 L H \sqrt{2gH} \quad (1.34)$$

où L est la largeur du seuil. On peut donc conclure que le coefficient de débit est égal à 0,385. La relation (1.34) peut être obtenue en appliquant le théorème de Bernoulli, et en admettant que:

- L'écoulement sur le seuil s'effectue par filets liquides parallèles.
- La vitesse d'approche de l'écoulement est nulle.

Ainsi, par rapport à un plan de référence horizontal arbitrairement choisie, le théorème de Bernoulli permet d'écrire que :

$$h = y + \frac{V^2}{2g} = y + \frac{Q^2}{2gL^2y^2} \quad (1.35)$$

En posant $q = Q/L$, le débit unitaire, la relation (1.35) permet finalement d'écrire que :

$$q^2 = 2g(h - y)y^2$$

Soit :

$$q = y\sqrt{2g(h - y)} \quad (1.36)$$

En exprimant que le débit unitaire q passe par un maximum, c'est-à-dire $\partial q/\partial y = 0$, la relation (1.36) permet d'écrire :

$$\partial q/\partial y = \frac{2\sqrt{2g}(2h - 3y)}{\sqrt{h - y}} = 0 \quad (1.37)$$

soit :

$$y = 2h/3 \quad (1.38)$$

En introduisant la relation (1.38) dans l'équation (1.36), il vient que :

$$q = \frac{2\sqrt{3}}{9}\sqrt{2g}h^{3/2}$$

Ou bien :

$$q = 0,3849\sqrt{2g}h^{3/2} \cong 0,385\sqrt{2g}h^{3/2} \quad (1.39)$$

La relation (1.34) ainsi reproduite et le coefficient de débit est $m = C_d = \mu = 0,385$.

(Bazin, 1898) a constaté un chiffre assez voisin, soit $m = 0,373$. Certains auteurs préférèrent prendre $m = 0,35$ et même $m = 0,33$.

Selon certains essais, rapportés par (Varlet, 1958), effectués sur des déversoirs à seuil épais rectangulaire de hauteur variant entre 1,35 m et 1,50 m de hauteur, et de longueur L en crête égale à 2,60 m, les valeurs de m sont celles regroupées dans les tableaux (1.5) et (1.6), selon la valeur de l'épaisseur a du seuil.

Tableau 1.3 : Valeurs du coefficient de débit m pour des déversoirs à paroi épaisse.

Epaisseur $e = 0,80$ m ; $L = 2,60$ m, hauteur variant entre 1,35 m et 1,50 m.

Charge H (en mètres)	0,15	0,30	0,45	0,60	1,50
m Avec arêtes vives	0,324	0,384	0,342	0,353	0,422
m Avec arête amont arrondie ($R = 0,10$ m)	0,368	0,375	0,377	0,382	0,431

Tableau 1.4 : Valeurs du coefficient de débit m pour des déversoirs à paroi épaisse.

Epaisseur $e = 2,00$ m ; $L = 2,60$ m , hauteur variant entre 1,35 m et 1,50 m.

Charge H (en mètres)	0,15	0,30	0,45	0,60	1,50
m Avec arêtes vives	0,311	0,324	0,316	0,308	0,336
m Avec arête amont arrondie ($R = 0,10$ m)	0,337	0,352	0,353	0,353	0,366

Il ressort des tableaux (1.3) et (1.4) que :

- les faibles coefficients de débit égaux à 0,35 et même à 0,33 se rencontrent effectivement avec des seuils épais, surtout si les arêtes du bord aval du seuil sont vives.
- pour une même charge H et une même configuration, les coefficients de débit sont meilleurs avec le seuil de 0,80 m d'épaisseur qu'avec le seuil de 2 m d'épaisseur.

I.2.3.3. Déversoir à seuil épais à profil en long triangulaire

Il s'agit d'un déversoir créant une contraction verticale de l'écoulement par sa surélévation en formant un seuil dit " seuil épais " (figure 1.12). Il est en général inséré dans un canal d'amenée de section rectangulaire et l'écoulement s'y étend sur toute la largeur et reste en contact avec le seuil sur une certaine longueur.

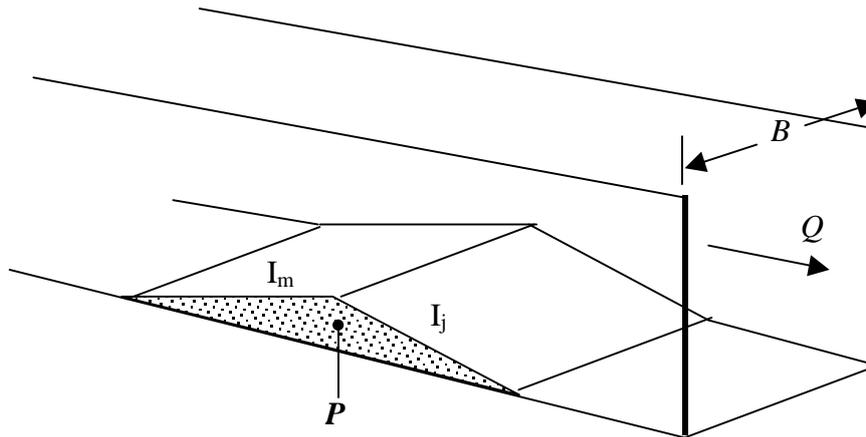


Figure 1.12 : Représentation schématique du déversoir à paroi épaisse a profil en long triangulaire.

Le débit est donné, après étalonnage de l'appareil, par mesure de la profondeur de la lame déversante.

Si B est la largeur du canal d'amenée, sur une longueur d'eau moins de $10B$ les caractéristiques suivantes doivent être respectées :

- Le canal d'amenée doit être rectiligne.
- La section transversale du canal d'amenée doit être rectangulaire et constante.
- La pente du canal d'amenée doit être inférieure à 2%.
- Les parois du canal d'amenée doivent être lisses.
- L'arête déterminée par l'intersection des parements amont et aval de pente respective I_m et I_j doit être horizontale avec cependant une tolérance de 0,2%.

1.2.3.3.1. Déversoir à seuil épais à profil triangulaire type Bazin

Les caractéristiques de l'appareil, basé sur une contraction verticale telle que représentée par la figure (1.12) sont :

- Hauteur de pelle $P=50\text{cm}$ en admettant une tolérance de 2cm.
- Le bon fonctionnement de l'appareil est conditionné par les quatre combinaisons suivantes des pentes des parements amont et aval I_m et I_j :

Tableau 1.5 : Valeur de pentes amont et aval du déversoir à seuil épais à profil triangulaire type Bazin.

I_m	1/1	1/1	1/1	1/2
I_j	1/1	1/2	1/3	1/2

Le débit passant par l'appareil se calcule par la relation suivante :

$$Q = \mu B \sqrt{2gh}^{3/2} \quad (1.40)$$

Rappelons que μ est le coefficient de débit et que B est la largeur du canal dans le quel est inséré le dispositif de mesure. La profondeur h correspond à l'épaisseur de la lame d'eau et doit être mesurée à 2,5 fois la profondeur hmax à l'amont. Afin de simplifier les calculs, la formule du débit peut également s'écrire :

$$Q = KBh^{3/2} \quad (1.41)$$

Où $K = \mu \sqrt{2g}$. Dans la relation (1.41), la profondeur h ainsi que la largeur B, sont mesurées en centimètres et le débit Q est exprimé en litres par seconde.

Les valeurs de K sont consignées dans le tableau (1.6), en fonction de h et des pentes I_m et I_j du parement amont et aval du seuil

Tableau 1.6 : Valeurs du paramètre K de la relation (1.37) en fonction de h, I_m et I_j

$h(cm)$	$I_m=1/1$ $I_j=1/1$	$I_m=1/1$ $I_j=1/2$	$I_m=1/2$ $I_j=1/3$	$I_m=1/2$ $I_j=1/2$
6	0,0211	0,0211	0,0211	0,0211
9	0,0235	0,0210	0,0192	0,0213
12	0,0232	0,0208	0,0194	0,0211
15	0,0228	0,0208	0,0192	0,0212
18	0,0227	0,0209	0,0191	0,0212
21	0,0227	0,0211	0,0190	0,0211
24	0,0227	0,0212	0,0191	0,0213
27	0,0226	0,0213	0,0192	0,0213
30	0,0225	0,0213	0,0192	0,0213
36	0,0217	0,0213	0,0192	0,0213
45	0,0207	0,0212	0,0191	0,0213

I.2.3.3.2. Déversoir à seuil épais à profil triangulaire type Crump

La forme de ce déversoir est également caractérisée par un profil en long triangulaire mais les pentes amont et aval du seuil ont des valeurs différentes de celles du seuil à profil triangulaire de type Bazin que nous avons décrit précédemment. La figure (1.13) représente schématiquement ce déversoir.

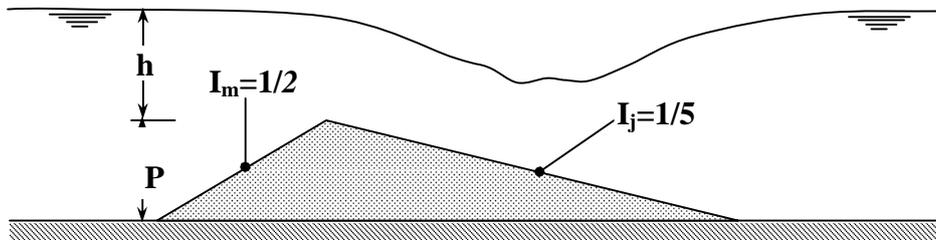


Figure 1.13 : Déversoir à seuil épais à profil triangulaire de type Crump. Représentation schématique de l'écoulement

Le dispositif de mesure ainsi décrit possède des limites d'utilisation comme tous ses homologues. Celle-ci est:

- Charge relative maximale: $h/P < 3$.
- Charge minimale $h : h > 8\text{cm}$.

La formule du débit issue de l'étalonnage de l'appareil est:

$$Q = C_e C_v \sqrt{g} B h^{3/2} \quad (1.42)$$

- C_e est un coefficient sans dimension et dont la valeur est 0,626
- C_v désigne le coefficient de vitesse, fonction de la largeur B , de la hauteur du plan d'eau h et la hauteur de pelle P .
- La hauteur du plan d'eau h doit être mesurée entre 3 et 4 fois la hauteur maximale du plan d'eau à l'amont de la crête du déversoir.

I.3. CONCLUSION

Le premier chapitre de notre mémoire a eu pour objectif de passer en revue les principaux appareils de mesure du débit dans les canaux ouverts utilisés dans la pratique de l'ingénieur. Nous pouvons noter que ces appareils présentent tous une loi hauteur – débit. Cette hauteur correspond à l'épaisseur de la lame d'eau franchissant l'appareil et elle est mesurée à l'amont. Notre étude a montré deux grandes catégories d'appareils. La première catégorie correspond aux appareils utilisant le libre déversement par-dessus une paroi plane mince verticale placée en travers de l'écoulement. Ces appareils sont appelés déversoirs à paroi mince et sont dotés

soit d'une échancrure de forme rectangulaire, soit d'une échancrure de forme triangulaire circulaire ou trapézoïdale. Ce sont les deux premières formes qui sont les plus utilisées. La deuxième catégorie correspond également à un écoulement à libre déversement, mais par-dessus une paroi épaisse.

Lorsque le déversoir est doté d'une échancrure rectangulaire ou trapézoïdale, le débit volume Q est proportionnel à la puissance $3/2$ de la hauteur de déversement mesurée à l'amont. Par contre, lorsque le déversoir est doté d'une échancrure de forme triangulaire ou de forme circulaire, le débit volume Q est proportionnel à la puissance $5/2$ de la hauteur de déversement.

Nous avons montré que toutes les relations exprimant le débit transitant à travers ces déversoirs contiennent des termes correctifs. Le plus important d'entre eux est sans aucun doute le coefficient de débit μ .

Nous avons alors indiqué les paramètres dont dépend ce coefficient et nous avons également présenté les relations qui permettent de l'évaluer, selon divers auteurs.

Le déversoir à paroi mince et à échancrure rectangulaire peut être avec contraction latérale ou sans contraction latérale. Le coefficient de débit correspondant dépend essentiellement de la hauteur relative h/P , où h est la hauteur de déversement et P est la hauteur de pelle du déversoir. Certains auteurs ont pu définir l'influence de la tension superficielle sur le coefficient de débit μ et cette influence est appréhendée par le terme $1/h$.

Nous avons tenté de définir aussi clairement que possible les limites d'applicabilité des divers déversoirs présentés, en indiquant les gammes de valeurs des paramètres hydrauliques de l'écoulement et géométriques de l'appareil.

Les déversoirs présentent un certain nombre de contraintes liées d'une part aux dépôts solides qui s'y accumulent et nécessitent alors un nettoyage périodique. D'autre part, en raison du caractère déversant de l'écoulement, la charge à l'amont se transforme à l'aval en énergie cinétique dans sa quasi-globalité. Toute la charge amont est ainsi perdue à l'aval et cela constitue un inconvénient certain surtout dans les zones à faible déclivité.

II.1. INTRODUCTION

Au cours du premier chapitre de notre étude, nous avons passé en revue les divers appareils de mesure de débit dans les canaux ouverts. Nous avons également donné les relations de débit qui les régissent ainsi que les expressions du coefficient de débit pour chacun de ces dispositifs, ainsi nous avons présenté leurs conditions d'application.

Nous avons pu constater qu'ils présentent dans leurs majorités de multiples contraintes, soit constructives ou dans leurs domaine d'application.

Nous avons également constaté que les différents déversoirs étudiés sont en mince paroi ou à paroi épaisse et présentent dans leur majorité une hauteur appelée pelle, cette dernière permet d'avoir un libre déversement au-dessous de la crête de celui ci.

Ce second chapitre de notre étude se propose d'étudier les différentes caractéristiques géométriques de deux catégories de dispositifs de mesure de débit dans les canaux ouverts basé essentiellement sur une contraction latérale de l'écoulement.

Nous allons également tenter d'établir une approche théorique exprimant les relations de la loi hauteur-débit ainsi que l'expression du coefficient de débit, tout en tenant compte des différents paramètres susceptibles d'influencer le coefficient de débit, et d'exprimer ainsi les différentes équations qui régissent l'écoulement et qui y transitent pour chacun des dispositifs étudiés.

II.2. DISPOSITIF EN MINCE PAROI

II.2.1. Description du dispositif

La figure (2.1) représente, une vue en perspective, du dispositif testé. Celui-ci est inséré dans une section droite d'un canal rectangulaire de largeur B et dont on désire évaluer le débit écoulé.

Le dispositif est constitué de deux saillies à paroi mince placées de part et d'autre des parois du canal. Une échancrure de forme rectangulaire de largeur b apparaît entre les deux saillies du dispositif. Cette échancrure est dépourvue de hauteur de pelle, contrairement aux appareils classiques de mesure de débit.

La mise en place du dispositif de mesure dans le canal engendre une réduction ou un rétrécissement de la section de celui-ci. Le rapport $\beta = b/B$ définit le taux de contraction de la section du canal à l'endroit de la mise en place du dispositif. Le taux de contraction peut être également défini comme étant égal à $\sigma = 1 - b/B = 1 - \beta$. Lorsque la largeur b de l'échancrure

est égale à zéro ($b = 0$), correspondant à $\beta = 0$, le taux de contraction est $\sigma = 1$, indiquant que toute la section du canal est à 100% obturée. Par contre, lorsque la largeur de l'échancrure est égale à B ($b = B$), correspondant à $\beta = 1$, le taux de contraction est $\sigma = 0$, indiquant que toute la section du canal est à 100% ouverte.

Il est donc possible de noter que le paramètre adimensionnel β est tel que $0 \leq \beta \leq 1$ ou que le paramètre σ est tel que $0 \leq \sigma \leq 1$.

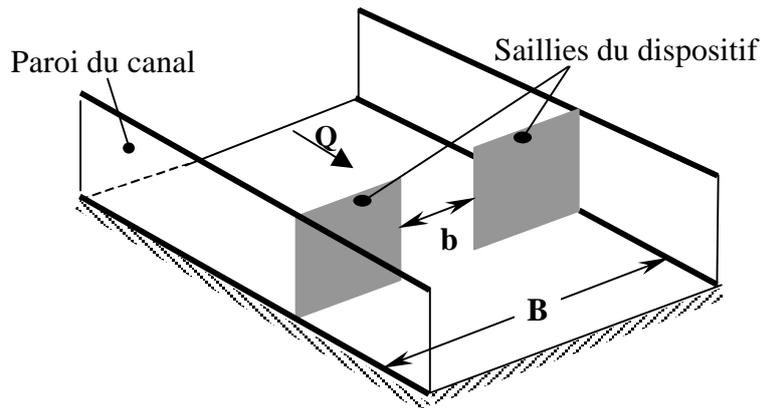


Figure 2.1 : Représentation schématique en perspective du dispositif testé.

Nous pouvons également noter que grâce à la géométrie du dispositif testé, l'axe longitudinal du canal n'est pas affecté et demeure horizontal sur toute la longueur du canal, depuis l'amont jusqu'à l'aval et à travers l'échancrure du dispositif. Cette particularité est intéressante car elle évite tout dépôt solide qui pourrait être entraîné par l'écoulement. Cette géométrie confère donc au dispositif un caractère auto-dégrevant.

II.2.2. Développement théorique

L'objectif visé par cette étude et l'établissement de la loi hauteur débit et l'expression du coefficient de débit.

Nous présentant ci-dessous les différentes équations qui régissent l'écoulement et qui y transitent. Nous établirons en particulier les expressions théoriques du débit ainsi que celle du coefficient de débit.

II.2.2.1. description de l'écoulement

La figure (2.2) représente un schéma simplifié de l'écoulement à l'amont et à l'aval du dispositif testé.

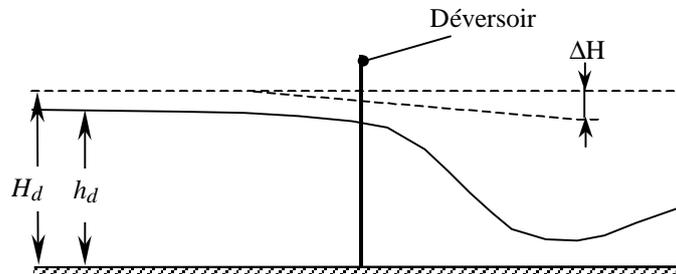


Figure 2.2 : Schéma simplifié de l'écoulement à l'amont et à l'aval du dispositif testé.

Ecoulement de gauche à droite.

La figure (2.2) montre que le plan d'eau à l'amont du débitmètre étudié est quasi horizontal. Un léger abaissement du plan d'eau peut cependant être observé à l'approche immédiate du dispositif. A l'aval du dispositif, la profondeur de l'écoulement subit une nette diminution et l'écoulement qui règne est de nature torrentielle.

II.2.2.2. Loi hauteur déversée – débit écoulé et charge déversée – débit écoulé

Nous savons, grâce à la recherche bibliographique que nous avons effectuée, que dans le cas d'une section rectangulaire le débit Q écoulé est proportionnel à la puissance $3/2$ de la profondeur déversée. La relation s'écrit de manière identique à la relation (1.39) ou (1.40) :

$$Q = m_1 B \sqrt{2g} h_d^{3/2} \quad (2.1)$$

m_1 désigne le coefficient de débit, B est la largeur du canal d'amenée rectangulaire, h_d et la profondeur déversée à travers l'échancrure du dispositif testé et g est l'accélération de la pesanteur prise égale à $9,81 \text{ m/s}^2$.

Le débit unitaire q écoulé par le canal d'amenée est donc, en vertu de la relation (2.1) :

$$q = Q/B = m_1 \sqrt{2g} h_d^{3/2} \quad (2.2)$$

Lors de nos essais, les paramètres mesurés sont le débit volume Q , la largeur B du canal d'amenée et par conséquent le débit unitaire q , ainsi que la profondeur déversée h_d .

Grâce à ces paramètres mesurés, nous avons pu déterminer, compte tenu de la relation (2.2), le coefficient de débit m_1 , soit :

$$m_1 = \frac{Q/B}{\sqrt{2g} h_d^{3/2}} \quad (2.3)$$

En outre, la relation (2.1) peut s'écrire, en multipliant et en divisant le second membre par la largeur b de l'échancrure du dispositif testé :

$$Q = m_1 \frac{B}{b} b \sqrt{2g} h_d^{3/2}$$

Nous faisons ainsi apparaître le paramètre adimensionnel $\beta = b/B$, et nous pouvons finalement écrire que :

$$Q = m_1 \beta^{-1} b \sqrt{2g} h_d^{3/2} \quad (2.4)$$

D'un autre point de vue, nous pouvons exprimer le débit écoulé par l'échancrure rectangulaire de largeur b du dispositif testé en fonction de la charge totale déversé H_d . La relation s'écrit :

$$Q = m_2 b \sqrt{2g} H_d^{3/2} \quad (2.5)$$

m_2 est le coefficient de débit et H_d est la charge déversée à travers l'échancrure du dispositif. Mais la relation (2.5) peut également s'écrire, en introduisant le paramètre adimensionnel $\beta = b/B$:

$$Q = m_2 \beta B \sqrt{2g} H_d^{3/2}$$

Par suite, le débit unitaire écoulé par le canal d'amenée est :

$$q = Q/B = m_2 \beta \sqrt{2g} H_d^{3/2} \quad (2.6)$$

La charge H_d correspond également à la charge de l'écoulement à l'amont du dispositif, dans le canal d'amenée de largeur B . Nous pouvons donc écrire, selon la définition de la charge totale par rapport au fond du canal d'amenée :

$$H_d = h_d + \frac{Q^2}{2gB^2h_d^2} \quad (2.7)$$

En introduisant la relation (2.1) dans l'équation (2.7), il est aisé d'écrire :

$$H_d = h_d + \frac{m_1^2 2g B^2 h_d^3}{2g B^2 h_d^2}$$

Après arrangement et en divisant les deux membres de l'équation obtenue par h_d , nous pouvons finalement écrire que :

$$\frac{H_d}{h_d} = 1 + m_1^2 \quad (2.8)$$

L'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement dans le canal d'amenée peut être exprimé comme étant une fraction δ de la profondeur déversée h_d . La charge totale H_d peut donc s'écrire, compte tenu de cette hypothèse :

$$H_d = (1 + \delta) h_d \quad (2.9)$$

Ainsi, la relation (2.6) devient :

$$q = Q/B = m_2 \beta \sqrt{2g} (1 + \delta)^{3/2} h_d^{3/2} \quad (2.10)$$

De même, en tenant compte de la relation (2.9), l'équation (2.8) permet d'écrire :

$$\frac{(1 + \delta) h_d}{h_d} = 1 + m_1^2$$

Soit :

$$\delta = m_1^2 \quad (2.11)$$

Par suite, le débit unitaire exprimé par la relation (2.10) devient :

$$q = Q/B = m_2 \beta \sqrt{2g} (1 + m_1^2)^{3/2} h_d^{3/2} \quad (2.12)$$

Nous pouvons également remarquer que la combinaison des relations (2.3) et (2.5) mène à écrire que :

$$m_1 / m_2 = \beta (H_d / h_d)^{3/2} \quad (2.13)$$

Cependant les paramètres m_1 et m_2 ne peuvent être évalués ou estimés que par la voie de l'expérimentation au laboratoire.

II.3.DEVERSOIR A PAROI EPAISSE

II.3.1.Description du dispositif

La figure (2.3) montre une vue en perspective du dispositif étudié.

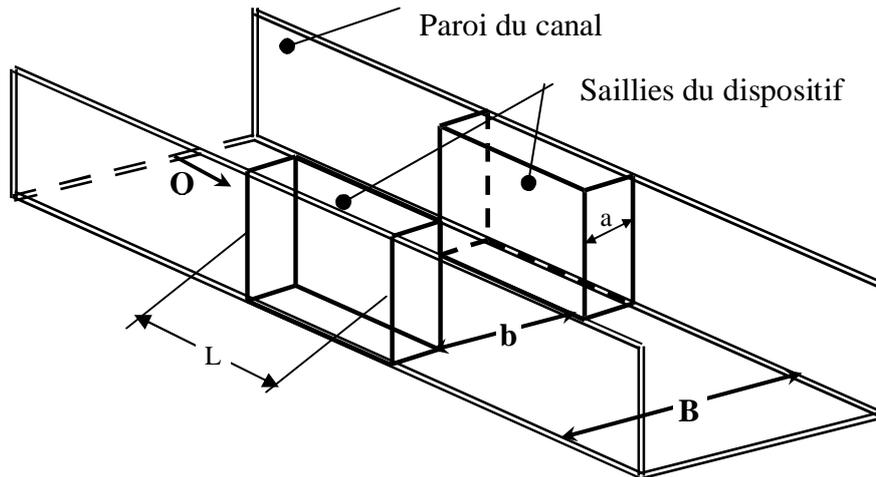


Figure 2.3 : Représentation schématique en perspective du dispositif testé

Le dispositif étudié est constitué de deux parois verticales de largeur a placées de part et d'autre d'un canal de forme rectangulaire de largeur B , et le seuil est de type large s'étendant sur longueur L des parois du canal d'amenée.

Selon la largeur de la saillie une ouverture de forme rectangulaire de largeur b est obtenue perpendiculairement à l'axe longitudinal du canal d'amenée et s'étend sur toute la hauteur de celui-ci puisqu'il est démuné d'une hauteur de pelle.

La section transversale du canal d'amenée subit un rétrécissement brusque caractérisé par le paramètre géométrique $\beta = b/B$, et l'écoulement à l'intérieur du dispositif est assimilé à un écoulement dans un canal de longueur L et de largeur b .

II.3.2. Développement théorique

Notons que l'objectif principal recherché par cette étude est de définir l'expression de la loi hauteur-débit ainsi que celle du coefficient de débit μ .

Ainsi nous présentons les différentes équations qui régissent l'écoulement et qui y transitent.

Nous établirons les expressions théoriques du débit ainsi que du coefficient de débit.

L'approche théorique tiendra compte également des différents paramètres susceptibles d'influencer le coefficient de débit tel que le paramètre géométrique β et l'effet de la vitesse d'approche.

II.3.2.1. Description de l'écoulement

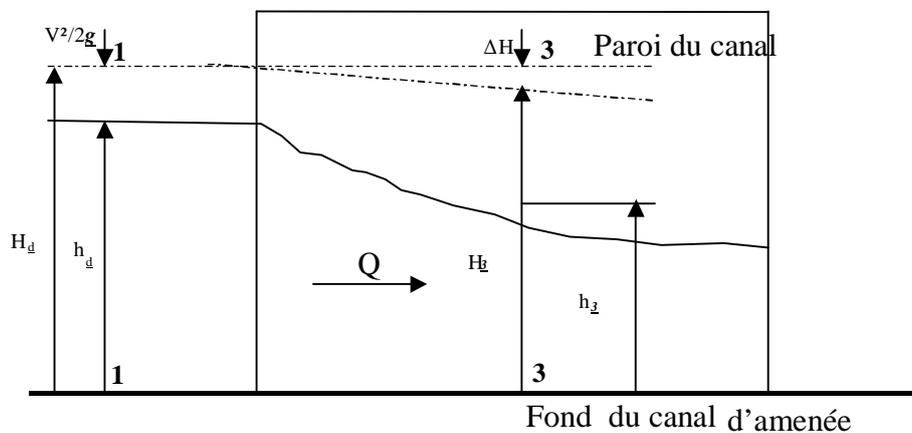


Figure 2.4 : profil en long de l'écoulement dans le débitmètre

L'écoulement est de nature fluviale à l'amont, et la ligne d'eau est quasi horizontale, à l'approche immédiate de la contraction la ligne d'eau subit un léger abaissement, puis elle diminue progressivement à l'intérieur même du dispositif jusqu'à atteindre une hauteur minimum inférieure à la hauteur critique. Cette hauteur minimale disparaît au fur et à mesure que le débit augmente.

Le régime qui règne à l'aval est de nature torrentielle. Entre les régimes fluviale à l'amont et torrentiel à l'aval la transition s'effectue par le passage à la section critique de hauteur h_c situé à une distance x à l'intérieur du dispositif. Comme pour le cas du dispositif en mince paroi la ligne longitudinale du canal n'est pas affecté par l'écoulement. Le tracé du profil en long de l'écoulement montre la nature des régimes qui règnent d'amont en aval.

La hauteur capable de la vitesse d'approche de l'écoulement amont $v^2/2g$ est considérée comme étant égale à une fraction δ de la profondeur de déversement h_d , soit :

$$v^2/2g = \delta \cdot h_d$$

Ceci permet d'écrire que la charge totale $h_d = (h_d + v^2/2g)$ est telle que :

$$h_d = (1 + \delta) h_d \quad (2.14)$$

Lorsque $\delta \rightarrow 0$, la charge totale H_d peut alors être assimilée à la profondeur de déversement h_d .

II.3.2.2. Hauteur relative de déversement

II.3.2.2.1. Définition

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 dans la section de contrôle à l'intérieur de la section rectangulaire du dispositif, soit $h_d^* = h_d/h_c$. Il est à noter que la hauteur relative h_d^* est supérieure à l'unité, puisque la hauteur de déversement h_d est supérieure à la profondeur critique h_c . Il est universellement connu que la profondeur critique h_c d'un écoulement dans une section rectangulaire est telle que :

$$h_c = \left[\frac{Q^2}{gb^2} \right]^{1/3} \quad (2.15)$$

Où Q est le débit volume écoulé par le dispositif ainsi que par le canal d'amenée, g est l'accélération de la pesanteur et b est la largeur de l'échancrure.

Dans cette partie de notre étude, nous tenterons de déterminer les paramètres dont dépend la hauteur relative de déversement h_d^* en ayant recours à l'équation de la quantité de mouvement.

II.3.2.2.2. Calcul de la hauteur relative de déversement

Le calcul de la hauteur relative de déversement est possible en ayant recours à l'équation de la quantité de mouvement. L'application de cette équation repose sur le choix de deux sections et sur quelques hypothèses simplificatrices que nous allons préciser.

- Les sections choisies sont d'une part la section de l'écoulement à l'amont du dispositif, située dans le canal d'amenée et de profondeur (h_d), et la section 3-3 (Figure 2.4) à l'intérieur du dispositif et de profondeur h_c , d'autre part.

- La répartition de la pression est supposée hydrostatique en toute section de l'écoulement, que ce soit dans le canal d'amenée ou à l'intérieur du dispositif.
- La répartition de la vitesse est supposée uniforme dans les sections choisies.
- La perte de charge par frottement est supposée négligeable, sur la courte distance séparant les deux sections choisies.
- La résistance de l'air est négligeable.

En règle générale, les hypothèses ci-dessus mentionnées ont été confirmées dans un bon nombre de cas pratiques. Mais qu'en est-il de leur validité pour le dispositif faisant l'objet de la présente étude ? Seule l'expérimentation au laboratoire pourra répondre de manière définitive à cette question.

L'équation de la quantité de mouvement exprime que la variation de la quantité (ρQV) entre les deux sections choisies est égale à la somme de toutes les forces extérieures agissant sur ces mêmes sections, après les avoir projetées sur un axe longitudinal, dont le sens est généralement choisi identiquement à celui de l'écoulement. Rappelons que ρ désigne la masse volumique du liquide en écoulement. Si :

- V_c est la vitesse moyenne critique dans la section 3-3 de profondeur h_c .
- V_1 est la vitesse moyenne dans une section située à l'amont du dispositif, dans le canal d'amenée.
- F_c est la force hydrostatique agissant sur la section 3-3.
- F_1 est la force hydrostatique agissant sur la section à l'amont du dispositif, dans le canal d'amenée.
- F_x est la force de réaction de la face amont du dispositif.

Alors l'équation de la quantité de mouvement s'écrit :

$$\rho Q(V_c - V_1) = F_1 - F_c - F_x \quad (2.16)$$

Etant donné le caractère supposé hydrostatique des forces mises en jeu, nous pouvons alors écrire que :

$F_1 = \varpi \bar{h}_1 A_1$, $F_c = \varpi \bar{h}_c A_c$ et $F_x = \varpi \bar{h}_x A_x$, où $\varpi = \rho g$ désigne le poids spécifique du liquide en écoulement.

Les profondeurs \bar{h}_1 , \bar{h}_c et \bar{h}_x désignent respectivement la position du centre de gravité des sections A_1 , A_c et A_x , comptée à partir de la surface libre de l'écoulement, et s'expriment respectivement par :

$$\begin{aligned} \bar{h}_d &= h_d/2 & A_1 &= B\bar{h}_d \\ \bar{h}_c &= h_c/2 & A_c &= b\bar{h}_c \\ \bar{h}_x &= h_x/2 & A_x &= B\bar{h}_d - b\bar{h}_c \end{aligned}$$

En remplaçant dans l'équation (2.16), et après arrangement on aboutit à l'équation suivante :

$$h_d^{*3} - 3h_d^* + 2\beta = 0 \quad (3.17)$$

Où

h_d^* est la hauteur relative de déversement $h_d^* = h_d/h_c$;

β est le taux de contraction $\beta = b/B$

Nous rappelons que :

h_d est la hauteur déversée dans la section d'entrée

h_c est la hauteur critique dans la section de contrôle

b est la largeur de l'échancrure

B est la largeur du canal d'amenée

La relation (2.17) obtenu est une équation implicite de 3^{ème} degré.

La résolution de l'équation du troisième degré est obtenue par un procédé mathématique, après simplification, le calcul du discriminant aboutit à 3 racines réelles donnée par la méthode trigonométrique, ce qui permet d'écrire le résultat final suivant :

$$h_d^* = 2 \cos(\alpha - 60^\circ) \quad (2.18)$$

Avec $\cos 3\alpha = \beta$

Pour simplifier la relation obtenue on pose $(\alpha - 60^\circ) = \frac{\theta}{3}$

Avec $\cos \theta = -\beta$

A cet effet la relation de la hauteur relative s'écrit :

$$h_d^* = 2 \cos\left(\frac{\theta}{3}\right) \quad (2.19)$$

Nous constatons que la relation obtenue (2.19), exprimant la hauteur relative déversée, est une relation explicite qui ne dépend que du paramètre géométrique β , elle est également adimensionnelle a fin de lui donner un caractère d'applicabilité générale.

Ainsi la relation de la charge relative s'écrit :

$$H_d^* = h_d^* + \frac{\beta^2}{2h_d^{*2} (1+P^*)^2} \quad (2.20)$$

II.3.2.3. relation de la loi hauteur débit et du coefficient de débit

Le but visé par cette étude est d'exprimer les relations théoriques de la loi hauteur débit et du coefficient de débit, tout en tenant compte l'ensemble des paramètres influençant le coefficient de débit μ , tel que la vitesse d'approche exprimée par le terme $V^2/2g$ et du paramètre géométrique β .

II.3.2.3. Charge totale relative de déversement

II.3.2.3.1. Définition

Nous définissons la charge totale relative H_d^* de déversement, la charge totale de déversement H_d rapportée à la profondeur critique h_c de l'écoulement dans la section rectangulaire du dispositif, soit $H_d^* = H_d/h_c$. La profondeur critique h_c répond à la relation (2.15). Comme pour la hauteur relative de déversement h_d^* , il est intéressant de savoir quels sont les paramètres dont dépend la charge totale relative de déversement H_d^* .

II.3.2.3.2. Calcul de la charge totale relative de déversement

En se rapportant à la figure (2.4), nous pouvons établir l'équation suivante :

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

En outre, la vitesse moyenne V , dans le canal d'aménée rectangulaire de la largeur B , s'écrit $V = Q/A$ où A est l'aire de la section mouillée qui s'exprime par $A = B(h_d + P)$ avec $P = 0$.

Tenant compte de ces considérations, la charge totale H_d s'écrit :

$$H_d = h_d + \frac{Q^2}{2gB^2(h_d + P)^2} \quad (2.21)$$

En éliminant le débit volume Q entre les relations (2.15) et (2.21), il vient que :

$$H_d = h_d + \frac{b^2 h_c^5}{4 B^2 (h_d + P)^2} \quad (2.22)$$

En introduisant les paramètres $H_d^* = H_d/h_c$, $h_d^* = h_d/h_c$, $\beta = \frac{b}{B}$ et $P^* = P/h_d$, la relation (2.22) peut aisément s'écrire :

$$H_d^* = h_d^* + \frac{\beta^2}{2 B^2 h_d^{*2} (1 + P^*)^2} \quad (2.23)$$

Et $P^* = 0$

Ou bien :

$$H_d^* = h_d^* + \frac{\beta^2}{2 h_d^{*2} (1 + P^*)^2} \quad (2.24)$$

Tenant compte des relations (2.20) et (2.24), il apparaît clairement que la charge totale relative de déversement H_d^* ne dépend que du paramètre β (puisque $P^*=0$) et par conséquent des paramètres B et b .

II.3.2.4. Coefficient de débit du dispositif et expression du débit

II.3.2.4.1. Vitesse d'approche de l'écoulement négligée

Nous rappelons que lorsque la vitesse d'approche est négligée, la charge totale de déversement est assimilée à la hauteur de déversement, Cela revient à écrire que le paramètre δ , figurant dans la relation (2.1), est tel que $\delta \rightarrow 0$. $H_d \approx h_d$. Dans ce cas, le débit volume Q écoulé par le dispositif s'écrit :

$$Q = \mu_o b \sqrt{2g} h_d^{3/2} \quad (2.25)$$

Le paramètre μ_o est le coefficient de débit du dispositif étudié, et l'indice "o" est affecté pour rappeler que $\delta \rightarrow 0$.

En éliminant le débit volume Q entre les relations (2.15) et (2.25), il est aisé de montrer que :

$$\mu_o h_d^{3/2} \sqrt{2} = h_c^{3/2}$$

En introduisant le paramètre $h_d^* = h_d/h_c$, la relation précédente permet d'écrire :

$$\mu_o = \frac{1}{\sqrt{2} h_d^{*3/2}} \quad (2.26)$$

Il est ainsi démontré que le coefficient de débit μ_o est exclusivement lié à la hauteur relative de déversement h_d^* .

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

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2} h_d^{*3/2}} b \sqrt{2g} h_d^{3/2} \quad (2.27)$$

II.3.2.4.2. *Vitesse d'approche de l'écoulement non négligée*

Dans le cas où la vitesse d'approche de l'écoulement n'est pas négligée, il est possible de proposer deux méthodes visant à définir l'expression théorique du coefficient de débit du dispositif étudié.

a) La première méthode consiste à écrire que le débit volume Q écoulé par le canal doit s'écrire en réalité :

$$Q = \mu b \sqrt{2g} H_d^{3/2} \quad (2.28)$$

Le paramètre μ correspond au coefficient de débit lorsque $\delta \neq 0$. L'inconvénient majeur dans l'application de la relation (2.28) est que la charge totale de déversement H_d ne peut être déterminée en pratique, puisque le débit volume Q n'est pas connu. C'est d'ailleurs le paramètre que l'on cherche à déterminer lors de l'utilisation pratique du dispositif étudié. Pour exprimer le coefficient de débit μ , nous pouvons faire appel à la relation (2.15) qui exprime la profondeur critique dans la section rectangulaire du dispositif. Ainsi, en éliminant le débit volume Q entre les relations (2.15) et (2.28), nous pouvons écrire que :

$$\mu H_d^{3/2} \sqrt{2} = h_c^{5/2}$$

En introduisant le paramètre $H_d^* = H_d/h_c$, la relation précédente permet d'écrire :

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{2} H_d^{*3/2}} \quad (2.29)$$

Il est évident que lorsque $\delta \rightarrow 0$, $\mu \rightarrow \mu_o$ et $H_d^* \rightarrow h_d^*$, et la relation (2.26) est alors reproduite.

Il est à noter que cette méthode ne permet pas d'exprimer le débit volume Q en fonction de la hauteur de déversement h_d .

b) La deuxième méthode consiste à écrire que le débit volume Q s'exprime par la relation :

$$Q = \mu_o b \sqrt{2g} H_d^{3/2}$$

Il s'agit en fait de la relation (2.25) dans laquelle la hauteur de déversement h_d est remplacée par la charge de déversement H_d . En tenant compte de la relation (2.15), nous pouvons écrire :

$$Q = \mu_o b \sqrt{2g} (1 + \delta)^{3/2} h_d^{3/2} \quad (2.30)$$

Nous pouvons ainsi constater que lorsque $\delta = 0$, la relation (2.25) est alors reproduite. En outre, la relation (2.30) peut s'écrire :

$$Q = \mu b \sqrt{2g} h_d^{3/2} \quad (2.31)$$

Dans laquelle :

$$\mu = \mu_o (1 + \delta)^{3/2} \quad (2.32)$$

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

D'autre part, la relation (2.24) peut se mettre sous la forme :

$$H_d^* = \left(1 + \frac{\beta^2}{2h_d^3 (1+P^*)^2} \right) h_d^* \quad (2.33)$$

Il est également utile de constater que la relation (2.14) peut s'écrire, en divisant ses deux membres par h_c :

$$H_d^* = (1 + \delta) h_d^* \quad (2.34)$$

Par identification, nous pouvons déduire des relations (2.33) et (2.34) que :

$$\delta = \frac{\beta^2}{h_d^{*3} (1+P^*)^2} \quad (2.35)$$

En tenant compte de la relation (2.26), le paramètre cinétique δ , exprimé par la relation (2.35), s'écrit :

$$\delta = \mu_o^2 \beta^2 \quad (2.36)$$

En substituant (2.36) dans (2.32), le coefficient de débit μ s'exprime par la relation suivante :

$$\mu = \mu_o (1 + \mu_o^2 \beta^2)^{3/2} \quad (2.37)$$

La relation (2.37) montre que le coefficient de débit μ ne dépend que du paramètre β .

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 (2.37) dans (2.31). Ainsi :

$$Q = \mu_o (1 + \mu_o^2 \beta^2)^{3/2} b \sqrt{2g} h_d^{3/2} \quad (2.38)$$

Rappelons que le coefficient de débit μ_o est donné par la relation (2.26).

Il sera aisé d'écrire que la relation du débit unitaire s'écoulant dans le canal d'amenée s'écrit :

$$q = \frac{Q}{b} = \mu_o (1 + \mu_o^2 \beta^2)^{3/2} \sqrt{2g} h_d^{3/2} \quad (2.39)$$

II.4. CONCLUSION

Au cours de ce second chapitre nous avons donné dans un premier temps les différentes caractéristiques géométriques des dispositifs étudiés, nous avons indiqué qu'ils présentent globalement les mêmes caractéristiques géométriques, mais à l'encontre de la première catégorie la seconde à un seuil plus large ζ à dire qu'il s'étend sur une longueur L à l'intérieur du canal d'amenée.

Nous avons décrit ensuite, les différents régimes d'écoulement qui règnent d'amont en aval, et nous avons mis le point sur la quasi-tranquillité de l'écoulement par la mise en place des dispositifs à l'amont et sa nature torrentielle à l'aval et transitoire à l'intérieur du dispositif pour le cas du dispositif à paroi épaisse.

Puis dans un second temps, nous nous sommes intéressés à l'établissement des relations théoriques exprimant la loi hauteur – débit et l'expression du coefficient de débit tout en exprimant les relations régissant l'écoulement et influencent le coefficient de débit pour chacun des dispositifs étudiés.

Pour le dispositif en mince paroi la relation exprimant le débit unitaire et donnée par la relation (2.12), nous avons pu constater que la relation exprimée comporte deux termes du coefficient de débit m_1 et m_2 , cependant le développement théorique n'a pu évaluer quantitativement les valeurs de m_1 et m_2 .

En ce qui concerne celui à seuil épais, nous avons donné la relation de la hauteur relative déversée $h_d^* = h_d/hc$, nous avons constaté qu'elle peut être obtenue par application de l'équation de quantité de mouvement entre les deux sections à l'amont et à l'aval, cette équation aboutie à une relation de 3^{ème} degré qui est résolue par la méthode trigonométrique. La relation de la hauteur relative déversée obtenue dépend uniquement du paramètre β .

Puis nous avons donné la relation exprimant le coefficient de débit, sans tenir compte de l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement, ensuite en tenant compte de l'effet de la vitesse d'approche et nous avons mis le point de la dépendance exclusive au paramètre géométrique β .

En fin nous avons donné la relation du débit unitaire dans le canal d'aménagé exprimé par la relation (2.39).

III.1. INTRODUCTION

Au cours du précédent chapitre nous avons présenté les différentes caractéristiques géométriques des dispositifs étudiés, ce sont deux catégories de dispositifs de mesure de débit dans les canaux ouverts, constitués essentiellement de deux parois verticale, formant une échancrure de forme rectangulaire plus au moins large lorsqu'elles sont placées dans un canal d'amenée de forme rectangulaire et ils peuvent être ou en mince paroi ou à paroi épaisse.

Ainsi nous avons présenté notre approche théorique, exprimant les relations de la loi hauteur-débit ainsi que l'expression du coefficient de débit pour chacun des dispositifs, nous avons constaté que les relations obtenues sont fonction uniquement du paramètre géométrique β pour les deux catégories de dispositifs. Cependant le développement théorique n'a pu aboutir à estimer quantitativement les valeurs des coefficients de débit m_1 et m_2 pour le dispositif en mince paroi, ceci n'a été possible que par la voie de l'expérimentation au laboratoire.

Cette partie se propose de présenter dans un premier temps le banc d'essai dans le quel ces dispositifs en été mis en ouvres, les différents appareillages de mesure utilisés lors de l'expérimentation au laboratoire et la procédure suivie dans la mesure de la profondeur et du débit volume, ainsi que la description détaillée de l'écoulement d'amont en aval pour les différents dispositifs testés.

Puis dans un second temps l'ensemble des résultats des essais effectués sur les différents dispositifs, en mince paroi et à paroi épaisse. Ces résultats comportent l'expression du coefficient de débit pour le dispositif en mince paroi, et la vérification des relations exprimées lors du développement théorique pour le dispositif à paroi épaisse. Ensuite ils seront discutés en fonction des résultats obtenus.

III.2. DESCRIPTION DU BANC D'ESSAIS

La figure (3.1) représente le schéma du banc d'essais destiné à tester les dispositifs ci-dessus décrits. Comme l'indique la figure (3.1), le banc d'essais est constitué essentiellement d'un canal de forme rectangulaire alimenté en circuit fermé par une pompe axiale. Celle-ci aspire de l'eau d'un réservoir ouvert de récupération et la refoule dans un bassin, également ouvert, alimentant le canal. Le système *bassin de récupération – pompe – bassin d'alimentation* est relié par une conduite circulaire en PVC. Le bassin de récupération est doté d'un tranquillisateur d'eau spécialement aménagé afin d'éviter les perturbations de la surface libre qui peuvent perturber le fonctionnement de la pompe.

Une plaque perforée, insérée dans le bassin d'alimentation, joue également le rôle de tranquillisation de l'écoulement avant son entrée dans le canal principal. Cette plaque perforée n'est pas représentée sur le schéma de la figure (3.1).

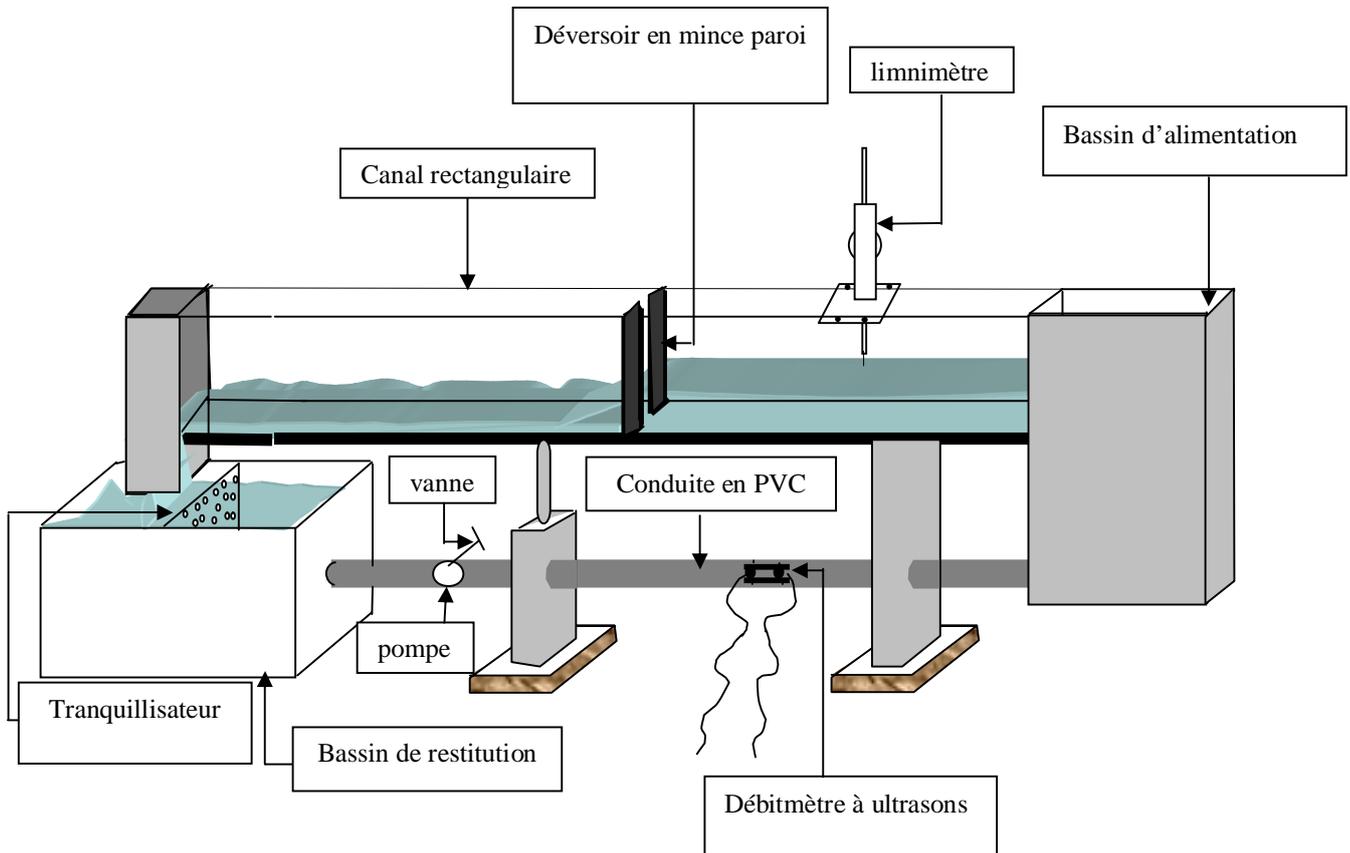


Figure 3.1 : Schéma du banc d'essais utilisé.

La pompe axiale est dotée d'une vanne de réglage des débits et permet ainsi d'effectuer les essais dans une large gamme de débits.

La vue d'ensemble du banc d'essais ainsi décrit est représentée sur les photographies 1 à 4.



Photographie 3.1 : Vue d'ensemble du banc d'essais montrant :
le réservoir de récupération des eaux, - la vanne de réglage des débits, - la conduite
circulaire d'alimentation, - le bassin d'alimentation, - le canal de mesures



Photographie 3.2 : Vue de la partie aval du canal de mesures, montrant :
le réservoir de récupération des eaux, - la grille perforée de tranquillisation, - la vanne de
réglage des débits.



Photographie 3.3 : Vue de la pompe axiale utilisée insérée dans la conduite circulaire à l'aval du bassin de récupération des eaux



Photographie 3.4 : Vue du bassin d'alimentation, montrant :
l'écoulement fluvial dans le canal de mesures, - le limnimètre ayant servi à la mesure des profondeurs

III.3. APPAREILLAGE DE MESURE

III.3.1. Mesure de la profondeur

Lors de nos essais, la mesure de la profondeur de l'écoulement à l'aval du dispositif testé est un élément important dans l'évaluation du débit écoulé. Cette profondeur correspond également, dans le cas qui intéresse notre étude, à la profondeur déversée en travers de l'échancrure du dispositif. Plus la mesure de la profondeur s'effectue avec précision et plus l'évaluation du débit est acceptable. Il est donc recommandé de procéder aux mesures de la profondeur par un appareillage aussi précis que possible.

Dans le cas des essais que nous avons effectués, nous avons utilisé un limnimètre à vernier à double précision, gradué au $1/10^{\text{ème}}$. Il s'agit donc d'un limnimètre dont la précision est tout à fait requise pour la nature des essais envisagés. De plus, la géométrie des dispositifs testés a pour particularité de rendre quasi horizontal le plan d'eau à l'amont du dispositif, éliminant toute perturbation de la surface libre. Ceci contribue sans doute à une meilleure précision dans la lecture des profondeurs au moyen du limnimètre utilisé.

La figure (3.2) montre le schéma simplifié du limnimètre utilisé, représenté également sur la photographie (3.5).

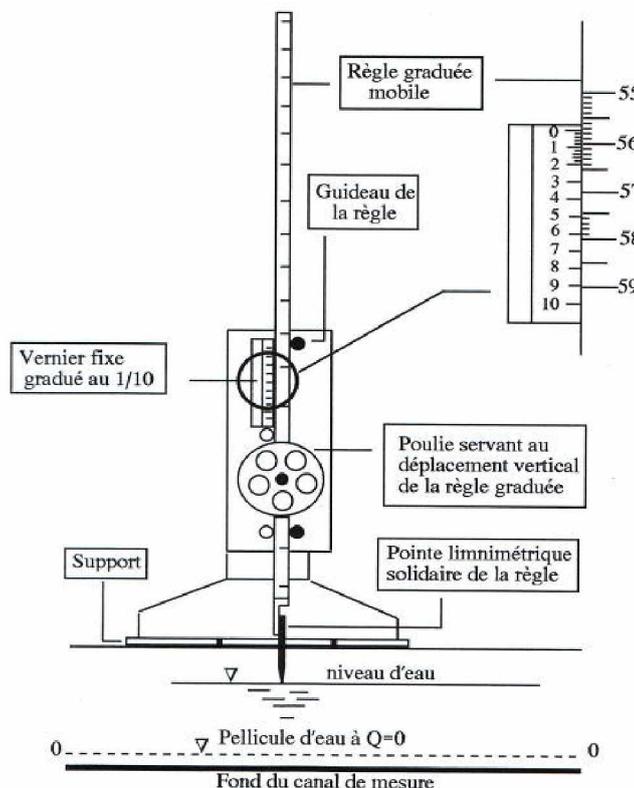


Figure 3.2 : Schéma détaillé du limnimètre à vernier utilisé.



Photographie 3.5 : Vue de profil du limnimètre à vernier utilisé.

Le limnimètre est formé d'une règle métallique profilée en "U" et graduée sur une seule face. Elle est munie, à sa partie inférieure d'une pointe verticale, appelée pointe limnimétrique, dont le rôle est d'effleurer la surface de l'eau.

Après avoir alimenté le canal de mesure avec un débit volume Q quelconque, la pompe d'alimentation est arrêtée. Le canal se vide au fur et à mesure et une fine pellicule d'eau demeure au fond du canal. Dans cette position, nous procédons à la lecture de la graduation sur la règle, coïncidant avec l'origine O du vernier. Cette graduation correspond alors au "Zéro" du limnimètre et toutes les profondeurs obtenues à différents débits volumes Q sont mesurées par rapport à cette origine.

Le vernier est gradué en 50 parties égales et à chaque millimètre de la règle correspond une graduation de $49/50$ de mm. L'erreur absolue commise sur la lecture est donc de :

$$(1 - 49/50) = 0,02 \text{ mm}$$

Il faut cependant signaler que cette erreur absolue est liée à l'utilisation de l'appareil et ne correspond pas à l'erreur commise sur la mesure de la profondeur dans le canal de mesure si aucune perturbation n'affecte la surface libre de l'écoulement.

La lecture sur le limnimètre s'effectue en deux étapes : On procède d'abord à la lecture de la graduation sur la règle, située immédiatement en haut du zéro du vernier, puis on effectue la lecture du nombre de cinquantièmes en face de la division qui coïncide ou qui est la plus rapprochée d'une division de la règle. Un exemple est donné par le détail du vernier représenté

sur la figure 2.13 qui montre, dans la position indiquée, que la mesure correspond à 55,72 mm.

III.3.2. Mesure du débit Q

La mesure du débit volume Q écoulé par le canal doit être mesuré et comparé avec celui calculé par la formule du débit du dispositif étudié, dans le cas où celle-ci peut être déterminée.

Etant donné que notre étude s'intéresse à la mesure des débits dans les canaux ouverts, la mesure du débit volume doit donc être déterminée avec la plus grande précaution et précision possible. A cet effet, nous avons opté pour un débitmètre à ultrasons, dont la précision est de l'ordre de 0,1 à 0,2 l/s. Cet appareil est représenté sur la photographie (3.6).



Photographie 3.6 : Vue du débitmètre à ultrasons inséré dans la conduite d'alimentation du canal de mesures.

Le débitmètre à ultrasons utilisé est constitué de trois parties distinctes.

- Une règle graduée dotée d'une chaîne inoxydable. La règle graduée sert à fixer la position désirée des sondes de l'appareil (transducteurs), tandis que la chaîne sert à maintenir l'ensemble contre la conduite d'alimentation. La distance entre les sondes est dictée par l'appareil lui-même.
- Deux sondes identiques (transducteurs), placées à l'extérieur de la conduite d'alimentation et maintenues fixes grâce à la règle graduée et à la chaîne. Chacun des transducteurs joue le rôle d'émetteur et de récepteur des ondes ultrasonores. Les transducteurs sont placés dans un plan horizontal à la canalisation, en évitant les points bas et haut de celle-ci. En effet, le point

haut, sujet à une éventuelle cavitation, risque de fausser les calculs de l'unité électronique. Le point bas de la canalisation risque également de fausser le calcul de l'unité électronique car il est sujet à d'éventuels dépôts solides.

- Un tableau numérique à cristaux liquides (unité électronique) qui affiche la valeur du débit écoulé par la conduite d'alimentation. L'affichage peut être obtenu, selon la préférence, en m^3/s ou en l/s. L'appareil affiche également la valeur de la vitesse moyenne de l'écoulement dans la conduite d'alimentation.

- Deux câbles, transmettant les signaux émis, relient entre-eux les sondes et le tableau d'affichage numérique.

L'affichage du débit sur le tableau d'affichage numérique est tributaire de la valeur du diamètre intérieur de la conduite d'alimentation, de son épaisseur ainsi que de la nature du matériau la constituant. Ce sont des valeurs que l'utilisateur doit introduire dans le programme du logiciel de calcul du débitmètre. Le mode de calcul utilisé par l'unité électronique est le principe du mode de transit. Le transducteur convertit une énergie électrique en une énergie mécanique sous forme de vibrations d'un cristal piézo-électrique qui émet des pulsations lorsqu'il fonctionne en mode émission. Inversement, lorsqu'il fonctionne en mode réception, le transducteur convertit la pulsation en énergie électrique. Les pulsations sont traitées et transformées en valeurs numériques (débit, vitesse, volume...).

L'un des avantages certain du débitmètre à ultrasons et d'avoir la capacité de mesurer le débit écoulé sans perturbation de l'écoulement dans la conduite d'alimentation. Les sondes se fixent sur la conduite sans pénétration à l'intérieur.

L'un des inconvénients que nous pouvons observer, lors de l'utilisation du débitmètre à ultrasons, est sa sensibilité aux vibrations de la conduite d'alimentation engendrées par le fonctionnement de la pompe.

III.4. PROCEDURE EXPERIMENTALE

Avant d'entamer la procédure expérimentale, il est nécessaire de rappeler l'objectif principal de cette partie de notre étude. Il s'agit donc de tester les dispositifs de mesure de débit que nous avons décrits précédemment, dans le but de définir l'expression du débit s'y écoulant.

Pour ce faire, nous installons dans le canal de mesures un dispositif de caractéristiques géométriques connues. Après avoir procédé à la meilleure étanchéité possible entre les

parois du dispositif et celles du canal, nous faisons fonctionner la pompe à un débit donné par manipulation de la vanne de réglage du débit. Après une certaine durée, l'écoulement peut être considéré comme étant permanent. Ses caractéristiques ne varient ni dans l'espace ni dans le temps.

Après cette première étape, nous procédons à la mesure de la profondeur de l'écoulement à l'amont du dispositif testé, grâce au limnimètre à vernier. L'analyse des résultats des nombreux essais que nous avons effectués, a montré que l'écoulement est quasi parallèle au fond du canal, à la distance de 105 cm comptée à l'amont du dispositif. A la profondeur ainsi mesurée, correspond une valeur du débit écoulé que le débitmètre à ultrasons nous indique sur le tableau d'affichage numérique.

Cette opération se répète en modifiant le débit par manipulation de la vanne de réglage du débit. Nous obtenons ainsi, pour le même dispositif testé, un échantillon de valeurs des profondeurs mesurées à l'amont du dispositif ainsi que les valeurs des débits qui leurs correspondent.

III.5. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES DISPOSITIFS TESTES

La présente partie de notre mémoire se propose de tester quelques dispositifs décrits précédemment dans le 2^{ème} chapitre, tout en considérant une large gamme de valeurs de l'échancrure b . Tous ces dispositifs sont insérés dans le même canal de largeur B , ce qui permet d'obtenir une gamme assez large du taux de contraction β ou σ .

En fait, notre étude s'est intéressée à huit (08) dispositifs en mince paroi et huit (08) à paroi épaisse et présentant les mêmes caractéristiques géométriques et qui sont regroupées dans le tableau (3.1), sauf que la longueur du seuil pour le dispositif à paroi épaisse est prise comme étant constante pour tout les dispositifs et elle est telle que de $l=30\text{cm}$.

Tableau 3.1 : Caractéristiques géométriques des dispositifs testés

<i>Dispositif</i>	<i>Largeur de la saillie (cm)</i>	<i>Hauteur du dispositif (cm)</i>	<i>Largeur du canal B (cm)</i>	<i>Largeur de l'échancrure b (cm)</i>	<i>Taux de contraction $\beta = b/B$</i>
01	12,45	48,50	29,3	4,40	0,150
02	12,00	48,50	29,3	5,30	0,181
03	11,70	48,50	29,3	5,90	0,201
04	10,95	48,50	29,3	7,40	0,253
05	10,25	48,50	29,3	8,80	0,300
06	9,525	48,50	29,3	10,25	0,350
07	8,80	48,50	29,3	11,70	0,400
08	8,05	48,50	29,3	13,20	0,450

Comme l'indique le tableau (3.1), nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux faibles valeurs du paramètre β ($\beta < 1/2$). En effet, les faibles valeurs de β entraînent de grandes valeurs de la profondeur de l'écoulement et dont la lecture est par suite aisée. Si dans un canal de forme rectangulaire le débit à mesurer est associé à une faible profondeur, la lecture de celle-ci risque d'entraîner des erreurs relatives assez importantes. Afin de réduire ces erreurs, il est recommandé de surélever le plan d'eau par la mise en place d'un dispositif à faible échancrure b et donc à faible valeur de β . En outre, les profondeurs importantes liées aux faibles valeurs de β induisent une faible valeur de la hauteur capable de la vitesse d'approche de l'écoulement. Celle-ci peut donc être négligée sans entraîner une erreur notable sur la mesure du débit.

III.6. DESCRIPTION DE L'ÉCOULEMENT

Cette partie de notre étude a pour but de décrire le comportement de l'écoulement d'amont, en aval. Notre attention portera plus particulièrement sur la nature quasi tranquille de l'écoulement à l'amont, grâce à la mise en place des dispositifs testés.

III.6.1. Dispositif en mince paroi

Afin d'observer plus en détails l'écoulement à l'amont, à l'aval et au droit du dispositif, nous présentons sur les photographies (3.7) à (3.12) quelques vues de cet écoulement.



Photographie 3.7 : Vue de l'écoulement à l'amont et à l'aval du dispositif.

Écoulement de droite à gauche.

La photographie (3.7) montre clairement la nature fluviale de l'écoulement dans le canal de mesures, à l'amont immédiat du dispositif. Cet état de l'écoulement peut être observé pour tous les dispositifs testés. Elle montre également la nature torrentielle de l'écoulement à l'aval du dispositif ainsi que la masse d'eau entourant la lame liquide le franchissant. Cette masse d'eau peut être observée sur la photographie (3.8).



Photographie 3.8 : Vue du profil en long de l'écoulement à travers le dispositif, montrant la masse d'eau entourant la lame d'eau déversée. Ecoulement de gauche à droite.

La masse d'eau entourant la lame liquide déversante se crée car les filets liquides de la lame déversante tombe sur ceux de l'écoulement de fond. La contraction est incomplète puisque les filets liquides de l'écoulement de fond sont directement entraînés vers la sortie de l'échancrure, sans subir de contraction dans l'axe central de l'échancrure. En retombant, les filets liquides de la lame déversante gênent l'évolution naturelle des filets de fond qui n'ont d'autres possibilités que de s'épanouir latéralement en occupant l'espace libre situé de part et d'autre de la lame déversante. La masse liquide peut prendre des proportions non négligeables, selon la valeur de la charge déversante ainsi que celle du taux de contraction β .



Photographie 3.9 : Vue de l'écoulement à l'aval du dispositif.
Ecoulement de droite à gauche.

La photographie 3.9 montre l'écoulement à l'aval d'un des dispositifs testés. Nous pouvons observer la lame liquide déversante qui tombe comme une masse d'eau et qui crée une perturbation de l'écoulement à la surface. Nous pouvons également observer la masse d'eau tourbillonnante qui occupe l'espace situé sur le côté de la lame déversante. Celle-ci est alors en partie noyée.

La photographie 3.10 montre par contre l'écoulement contracté en franchissant l'échancrure de l'un des dispositifs testés.



Photographie 3.10 : Vue de travers de la lame liquide déversante, montrant clairement la contraction latérale de l'écoulement.

En raison de la contraction que subit l'écoulement à travers le dispositif, la relation suivante peut être établie :

Soit :

$$A_c = C_c \times B h_d$$

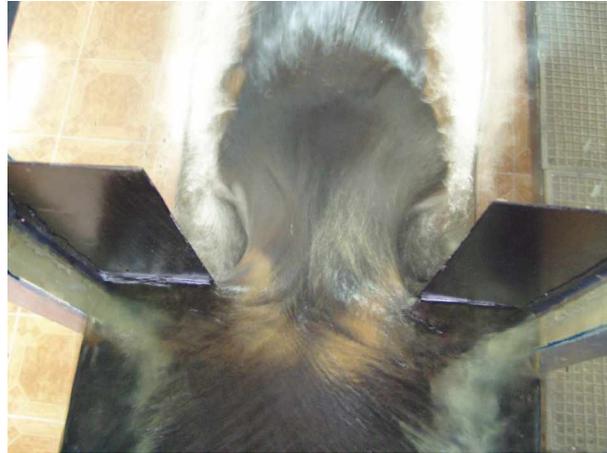
où :

C_c est le coefficient de contraction dépendant de la géométrie du dispositif ainsi que de la charge aval déversée.

B est la largeur du canal

h_d est la profondeur de l'écoulement correspondant à la profondeur déversée.

La photographie (3.11) montre clairement la section contractée de l'écoulement franchissant l'échancrure de l'un des dispositifs testés. Elle montre également la masse d'eau entourant de part et d'autre la veine liquide déversante.



Photographie 3.11 : Vue d'en haut de l'écoulement franchissant l'échancrure du dispositif. Formation de la section contractée à l'aval immédiat du dispositif. Formation d'une masse d'eau occupant l'espace situé de part et d'autre la lame liquide déversante.

III.6.2. Dispositif a paroi épaisse

Les photographies de (3.12) à (3.16) présentent clairement la nature de l'écoulement à l'amont, à l'aval et à l'intérieur du dispositif



Photographie 3.12 : vue d'ensemble de l'écoulement d'amont en aval



Photographie 3.13 montrant la nature quasi tranquille de l'écoulement à l'amont du dispositif et l'abaissement de la ligne d'eau à l'intérieur même du dispositif

La photographie (2.13) montre la nature quasi tranquille de l'écoulement à l'amont du dispositif, puis l'abaissement que subi le plan d'eau à l'entrée immédiate, ainsi qu'à l'intérieur même du dispositif.



Photographie 3.14 Vue d'en haut de l'écoulement sortant du dispositif, qui indique la nature torrentiel de l'écoulement à l'aval du dispositif. La section contractée s'étend sur une certaine longueur à l'aval du dispositif avant de se disperser dans le canal d'amenée

La photographie 3.14 montre la nature torrentiel de l'écoulement à l'aval du dispositif, ainsi que la section contractée sortant du dispositif qui est maintenue jusqu'à une longueur x de celui-ci pour se disperser ensuite dans le canal d'amenée.



Photographie 3.15 : Vue d'en haut de l'écoulement franchissant le dispositif. Formation de la section contractée l'entrée immédiate du dispositif.



Photographie 3.16 : Vue montrant la nature de l'écoulement à l'aval du dispositif

III.7. RESULTATS ET DISCUSSION

La présente partie a pour but de présenter les résultats des essais effectués sur les différents dispositifs testés. Ces résultats comportent la relation hauteur déversée – débit écoulé, charge déversée H_d , coefficient de débit m , μ ou C_d des dispositifs.

III.7.1. Dispositif en mince paroi

Lors de nos essais nous avons testés huit (08) dispositifs correspondant à huit valeurs du paramètre géométrique β tel que :

$$0,15 \leq \beta \leq 0,45 .$$

Le débit volume Q ainsi mesuré varie dans la large gamme :

$$1,6 \text{ l/s} \leq Q \leq 28,20 \text{ l/s}$$

Tandis que la profondeur de déversement h_d est telle que :

$$4,3 \text{ cm} \leq h_d \leq 33,02 \text{ cm}$$

Les essais que nous avons effectués nous ont permis d'obtenir un échantillon de 157 couples de valeurs (Q , h_d), et sur lesquels s'est reposée l'interprétation de nos résultats.

Le tableau (3.2) indique la gamme utilisée des débits volumes Q ainsi que celle des profondeurs mesurées h_d pour chacun des dispositifs testés.

Tableau 3.2. : Gamme des débits et des profondeurs utilisée pour chaque dispositif testé.

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

III.7.1.1. Loi hauteur déversée – débit écoulé et charge déversée – débit écoulé

Nous avons présenté au cours du chapitre précédant notre modeste contribution dans l'élaboration de la loi hauteur débit et celle du coefficient de débit qui répond à la relation :

$$q = Q/B = m_2 \beta \sqrt{2g} (1 + m_1^2)^{3/2} h_d^{3/2}$$

Néanmoins les paramètres m_1 et m_2 ne peuvent être évalués ou estimés que par la voie de l'expérimentation au laboratoire.

Le tableau (3.3) regroupe les mesures expérimentales brutes que nous avons effectuées sur les huit (08) dispositifs que nous avons précédemment décrits.

Tableau 3.3.a : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , m_1 et m_2 calculés
selon les relations (2.3) et (2.5)
 $\beta = 0,15$; $B = 29,3$ cm ; $b = 4,4$ cm

$Q(m^3/s)$	$h_d (m)$	m_1	m_2	m_1/m_2
0,00238333	0,09938	0,0586164	0,38832887	0,15094527
0,00321667	0,12538	0,05582729	0,37002775	0,15087325
0,00363333	0,13218	0,05825584	0,3859645	0,15093576
0,0042	0,14858	0,05650562	0,37448111	0,15089044
0,00448333	0,15698	0,05554148	0,36815089	0,15086607
0,00551667	0,17674	0,05720808	0,37909125	0,15090846
0,00596667	0,18498	0,05778665	0,38288707	0,15092347
0,00646667	0,19598	0,05743091	0,38055335	0,15091422
0,00703333	0,21046	0,05612931	0,37201079	0,15088088
0,00766667	0,22132	0,05673597	0,37599304	0,15089632
0,0084	0,23598	0,0564611	0,37418891	0,1508893
0,00903333	0,24528	0,05729777	0,37967976	0,15091078
0,00966667	0,25782	0,05689639	0,3770459	0,15090044
0,01058333	0,2727	0,05726347	0,3794547	0,15090989
0,0107	0,27488	0,05720737	0,37908658	0,15090844
0,01136667	0,28574	0,05734023	0,37995838	0,15091188
0,01213333	0,30038	0,05678799	0,37633446	0,15089766
0,01303333	0,31162	0,05772985	0,38251447	0,15092199
0,01318333	0,3149	0,05748428	0,3809035	0,15091561

Il en ressort du tableau (3.3) que l'augmentation du débit Q ainsi que de la profondeur déversée h_d , n'entraîne aucune modification sensible sur la valeur du coefficient de débit m_1 . Celui-ci, oscillant autour de la valeur moyenne de 0,0570793, peut être considéré comme étant constant.

Comme nous allons l'observer dans les tableaux suivants, la valeur moyenne de m_1 varie suivant la valeur du paramètre β . De même, nous pouvons remarquer que la valeur du coefficient de débit m_2 ainsi que celle du rapport m_1/m_2 ne varie pratiquement pas.

Tableau 3.3.b : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , m_1 et m_2 calculés selon les relations (2.3) et (2.5).

$$\beta = 0,181 ; B = 29,3 \text{ cm} ; b = 5,3 \text{ cm}$$

$Q(m^3/s)$	$h_d (m)$	m_1	m_2	m_1/m_2
0,00276667	0,10042	0,06698991	0,36786142	0,18210638
0,00315	0,10798	0,06840352	0,37551664	0,18215843
0,0045	0,13708	0,06831786	0,37505294	0,18215524
0,0059	0,16318	0,06896591	0,37856037	0,18217944
0,00646667	0,1738	0,06876836	0,37749133	0,18217204
0,00738333	0,18846	0,0695355	0,38164192	0,18220089
0,0078	0,19494	0,06982743	0,38322088	0,18221196
0,00816667	0,20278	0,06891123	0,37826448	0,18217739
0,00893333	0,21458	0,06924885	0,38009123	0,18219007
0,00963333	0,224	0,07001441	0,38423207	0,18221907
0,01005	0,23278	0,06894939	0,37847096	0,18217882
0,01086667	0,2423	0,07020194	0,38524608	0,18222622
0,0118	0,25128	0,07218185	0,39594459	0,18230291
0,01206667	0,26198	0,06933747	0,38057067	0,18219341
0,01328333	0,277	0,07020536	0,38526461	0,18222635
0,01378333	0,28928	0,06825894	0,37473398	0,18215305
0,0151	0,299	0,0711628	0,39043984	0,18226317
0,01623333	0,31288	0,07147002	0,39209975	0,18227509
0,01673333	0,32144	0,07074821	0,38819924	0,18224717
0,01711667	0,33018	0,06951458	0,38152879	0,1822001

Comme pour le dispositif précédent, l'augmentation du débit Q et de la profondeur h_d n'entraîne aucune modification sensible de la valeur du coefficient de débit m_1 . Pour le dispositif testé, m_1 peut être considéré comme étant constant et oscille autour de la valeur moyenne 0,0695507.

Tableau 3.3.c : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , m_1 et m_2 calculés selon les relations (2.3) et (2.5).

$$\beta = 0,201 ; B = 29,3 \text{ cm} ; b = 5,9 \text{ cm.}$$

$Q(m^3/s)$	$h_d (m)$	m_1	m_2	m_1/m_2
0,00215	0,07664	0,07807969	0,38423267	0,20320941
0,00266667	0,08788	0,07887085	0,38805415	0,20324703
0,00428333	0,1257	0,07405627	0,36476611	0,20302399
0,00685	0,16666	0,07757582	0,38179775	0,20318565
0,00733333	0,17776	0,07539338	0,37124143	0,20308451
0,0083	0,1886	0,07808155	0,38424165	0,2032095
0,00866667	0,19768	0,07597853	0,37407328	0,20311134
0,00936667	0,20778	0,07620129	0,37515107	0,20312161
0,01031667	0,2208	0,07661674	0,37716069	0,20314085
0,011	0,23018	0,07674926	0,37780158	0,203147
0,01186667	0,24032	0,07761162	0,38197077	0,20318733
0,01285	0,25464	0,07705416	0,37927593	0,20316121
0,01361667	0,26398	0,07735656	0,38073791	0,20317535
0,01421667	0,27328	0,07667767	0,37745535	0,20314367
0,01556667	0,2823	0,07996725	0,39334646	0,2032998
0,01578333	0,29204	0,07705806	0,37929483	0,20316139
0,0167	0,3031	0,07711173	0,37955429	0,2031639
0,01751667	0,31108	0,07779044	0,38283496	0,20319575
0,01811667	0,32018	0,07704951	0,37925346	0,20316099

Pour le dispositif ainsi testé, nous pouvons également observer que le coefficient de débit m_1 oscille autour de la valeur moyenne 0,07712, et ne subit aucune variation sensible malgré l'augmentation du débit Q et de la profondeur déversée h_d . Cette remarque concerne également les coefficients de débit m_1 et m_2 ainsi que leur rapport.

Tableau 3.3.d : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , m_1 et m_2 calculés selon les relations(2.3) et (2.5).

$$\beta = 0,253 ; B = 29,3 \text{ cm} ; b = 7,4 \text{ cm.}$$

$Q(m^3/s)$	$h_d (m)$	m_1	m_2	m_1/m_2
0,00161667	0,05578	0,09455524	0,36942224	0,25595438
0,00211667	0,06628	0,09557881	0,37331324	0,25602844
0,00251667	0,07434	0,09566977	0,37365888	0,25603506
0,0044	0,10738	0,09634972	0,37624154	0,25608475
0,00548333	0,12398	0,09678322	0,37788733	0,25611661
0,00616667	0,1345	0,09632742	0,37615686	0,25608311
0,00685	0,14334	0,09725733	0,37968657	0,25615163
0,00755	0,15318	0,09703463	0,37884149	0,25613516
0,00843333	0,16426	0,09760778	0,38101601	0,25617762
0,00931667	0,1754	0,09772351	0,38145497	0,25618623
0,00976667	0,18054	0,09810002	0,38288269	0,25621429
0,01156667	0,201	0,09890016	0,38591527	0,2562743
0,01186667	0,20592	0,09785068	0,38193724	0,25619569
0,01276667	0,21688	0,09739376	0,38020418	0,25616174
0,0136	0,22604	0,09750881	0,3806406	0,25617027
0,01505	0,24088	0,09808854	0,38283917	0,25621343
0,01575	0,24992	0,09713191	0,37921066	0,25614235
0,01673333	0,25928	0,0976589	0,38120991	0,25618142
0,01818333	0,27464	0,09734434	0,38001667	0,25615807

Tableau 3.3.e : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , m_1 et m_2 calculés selon les relations (2.3) et (2.5).

$\beta = 0,30$; $B = 29,3$ cm ; $b = 8,8$ cm.

$Q(m^3/s)$	$h_d (m)$	m_1	m_2	m_1/m_2
0,00295	0,07282	0,11567217	0,37753333	0,30638929
0,003466667	0,08062	0,116689229	0,38071965	0,30649647
0,004316667	0,09204	0,119115006	0,38830544	0,30675595
0,005533333	0,10978	0,117215453	0,3823669	0,3065523
0,006883333	0,12768	0,11625118	0,37934771	0,30645019
0,0088	0,14918	0,117679183	0,38381776	0,30660171
0,01005	0,16218	0,118564042	0,38658421	0,30669654
0,010833333	0,17206	0,1169567	0,38155703	0,30652482
0,011933333	0,183	0,117454055	0,3831135	0,3065777
0,012966667	0,194	0,116925337	0,38145886	0,30652149
0,014016667	0,20494	0,116409259	0,37984288	0,30646687
0,0152	0,21518	0,117333928	0,38273764	0,30656491
0,015866667	0,2211	0,117594081	0,38355156	0,30659263
0,017033333	0,23182	0,11758615	0,38352675	0,30659178
0,017616667	0,23868	0,116407931	0,37983872	0,30646673
0,018916667	0,24914	0,117209361	0,38234784	0,30655165
0,0201	0,25866	0,117729426	0,38397491	0,30660708
0,021266667	0,27	0,116798336	0,38106126	0,30650803
0,0226	0,2951	0,116011759	0,378596	0,30642497
0,024766667	0,2951	0,119041015	0,38807435	0,30674796

Tableau 3.3.f : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , m_1 et m_2 calculés selon les relations (2.3) et (2.5).

$$\beta = 0,35 ; B = 29,3 \text{ cm} ; b = 10,25 \text{ cm.}$$

$Q(m^3/s)$	$h_d (m)$	m_1	m_2	m_1/m_2
0,002	0,05108	0,13348625	0,37159917	0,35922107
0,00283333	0,0643	0,13389492	0,37267679	0,35927892
0,00345	0,07458	0,1305174	0,36375456	0,35880622
0,00413333	0,08412	0,13053724	0,36380707	0,35880896
0,00516667	0,09496	0,1360449	0,37833735	0,35958623
0,0072	0,11814	0,13662178	0,37985363	0,35966953
0,00808333	0,12916	0,134178	0,37342295	0,3593191
0,0094	0,14146	0,13613201	0,37856638	0,35959878
0,0101	0,14844	0,13607484	0,37841607	0,35959054
0,01135	0,16008	0,13654416	0,37964968	0,3596583
0,01215	0,16772	0,13629561	0,37899646	0,35962239
0,01348333	0,17906	0,13711415	0,38114695	0,35974092
0,01486667	0,19092	0,13731543	0,38167542	0,35977017
0,01698333	0,20896	0,136997	0,38083931	0,35972391
0,01821667	0,2194	0,13658307	0,37975191	0,35966393
0,01965	0,23472	0,1331436	0,3706952	0,35917271
0,02101667	0,24072	0,13711294	0,38114377	0,35974074
0,02201667	0,24834	0,13707695	0,38104926	0,35973551
0,02288333	0,25436	0,137445	0,38201554	0,35978903
0,02401667	0,26316	0,13707738	0,38105038	0,35973557

Tableau 3.3.g : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , m_1 et m_2 calculés selon les relations (2.3) et (2.5).

$$\beta = 0,40 ; B = 29,3 \text{ cm} ; b = 11,70 \text{ cm.}$$

$Q(m^3/s)$	$h_d (m)$	m_1	m_2	m_1/m_2
0,00181667	0,04344	0,15460495	0,37369487	0,41371976
0,00303333	0,06128	0,15407241	0,37249737	0,41362014
0,00525	0,08772	0,15570202	0,37615897	0,41392611
0,00646667	0,10038	0,15667243	0,3783354	0,41410988
0,00745	0,11172	0,15372438	0,37171429	0,41355522
0,00886667	0,12388	0,15669007	0,37837493	0,41411323
0,00968333	0,13104	0,1572903	0,37971959	0,4142275
0,01051667	0,13892	0,15649981	0,37794848	0,41407711
0,01178333	0,1491	0,15770105	0,38063911	0,41430595
0,01301667	0,15986	0,15691807	0,37888584	0,41415658
0,01458333	0,17158	0,15810285	0,38153806	0,4143829
0,0154	0,17722	0,1590503	0,38365577	0,41456513
0,01645	0,18538	0,15880145	0,38309982	0,41451716
0,01725	0,19204	0,1579372	0,38116752	0,41435115
0,01846667	0,20202	0,15670391	0,37840596	0,41411586
0,01993333	0,21102	0,15844458	0,38230221	0,4144485
0,02103333	0,21914	0,15798232	0,38126847	0,41435979
0,02246667	0,22868	0,15829939	0,3819776	0,41442061
0,0237	0,23738	0,15789379	0,38107039	0,41434284
0,02511667	0,24604	0,15857558	0,38259505	0,41447368

Tableau 3.3.h : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , m_1 et m_2 calculés selon les relations (2.3) et (2.5).

$$\beta = 0,45 ; B = 29,3 \text{ cm} ; b = 13,20 \text{ cm.}$$

$Q(m^3/s)$	$h_d (m)$	m_1	m_2	m_1/m_2
0,00233333	0,04718	0,17543763	0,37210757	0,4714702
0,00305	0,05646	0,17517471	0,37159975	0,47140696
0,00403333	0,06774	0,17627033	0,37371445	0,47167115
0,00503333	0,07868	0,17572844	0,37266899	0,47154027
0,00586667	0,08746	0,17476726	0,37081237	0,47130914
0,00725	0,09916	0,17890238	0,37877946	0,47231276
0,00816667	0,10764	0,17818337	0,37739799	0,47213652
0,00926667	0,1167	0,17910188	0,37916249	0,4723618
0,01025	0,12634	0,17587149	0,37294506	0,47157478
0,01165	0,13604	0,17889939	0,37877374	0,47231203
0,0131	0,14654	0,17993676	0,38076406	0,4725676
0,01448333	0,15672	0,1798725	0,38064087	0,47255172
0,01583333	0,1663	0,17989407	0,38068223	0,47255705
0,01725	0,17646	0,1793092	0,3795604	0,47241281
0,01911667	0,18858	0,17986704	0,38063041	0,47255038
0,02176667	0,20582	0,17961535	0,38014775	0,47248825
0,02331667	0,21486	0,18039146	0,38163541	0,4726801
0,0252	0,22656	0,1800564	0,38099339	0,47259717
0,0266	0,23384	0,18125346	0,38328546	0,47289418
0,02818333	0,24376	0,18043948	0,3817274	0,472692

Au regard de l'ensemble des résultats consignés dans les tableaux (3.3.a) à (3.3.h), nous pouvons confirmer que pour la même valeur de β , les coefficients de débit m_1 et m_2 ne subissent aucune variation sensible lorsque le débit Q et la hauteur déversée h_d varient. Les coefficients de débit m_1 et m_2 oscillent autour d'une valeur moyenne pour chaque valeur de β . En ce qui concerne le coefficient de débit m_1 , sa valeur moyenne varie cependant lorsque β change. Par contre, le coefficient de débit m_2 garde une valeur quasi constante pour toutes les valeurs testées du paramètre β .

Les résultats obtenus montrent en effet que, pour l'ensemble des valeurs de β testés, nous pouvons écrire :

$$m_2 \approx 0,3794 \quad (3.1)$$

De même, le rapport m_1/m_2 peut être considéré comme étant constant pour une valeur donnée du paramètre β .

Le tableau (3.4) regroupe la valeur moyenne du rapport m_1/m_2 pour chacune des valeurs de β considérées.

Nous avons représenté sur les figures (3.3) et (3.4) la variation du rapport moyen m_1/m_2 en fonction du paramètre β , et la variation du coefficient de débit m_1 en fonction de la hauteur déversée h_d .

Tableau 3.4 : Valeur moyenne du rapport m_1/m_2 pour chacune des valeurs de β testées.

β	m_1/m_2
0,15	0,1509053
0,181	0,1822019
0,201	0,2031648
0,253	0,2561402
0,3	0,3065545
0,35	0,3595116
0,4	0,4141895
0,45	0,4722043

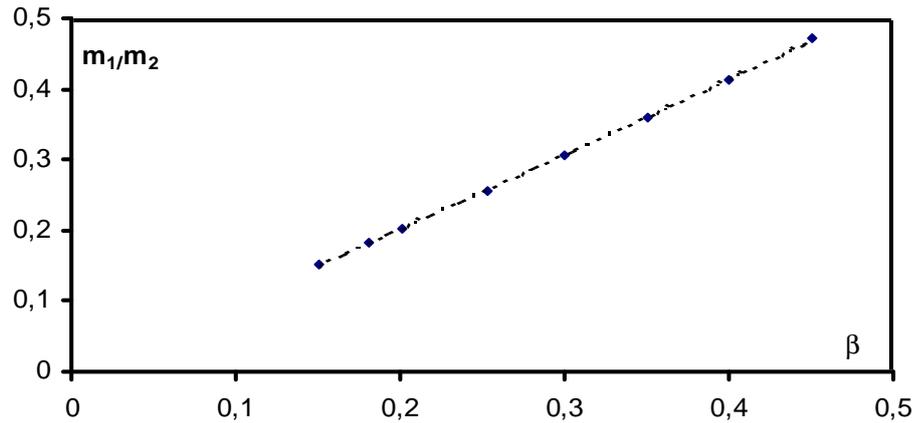


Figure 3.3 : Variation du rapport moyen m_1/m_2 en fonction des valeurs testées de β .

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.4.

Ainsi, la variation de m_1/m_2 en fonction de β se traduit par une courbe unique. Un ajustement, basé sur la méthode des moindres carrés non linéaires, a permis d'écrire, avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,9998$:

$$\frac{m_1}{m_2} = 1,0705\beta^{1,0358} \quad (3.2)$$

La figure (3.4) montre ainsi que le coefficient de débit m_1 n'est nullement influencé par la variation de la profondeur déversée h_d . Il oscille autour d'une valeur moyenne qui dépend seulement de la valeur de β considéré. Comme l'indique la figure(3.4), la valeur de m_1 augmente au fur et à mesure que le paramètre β croît.

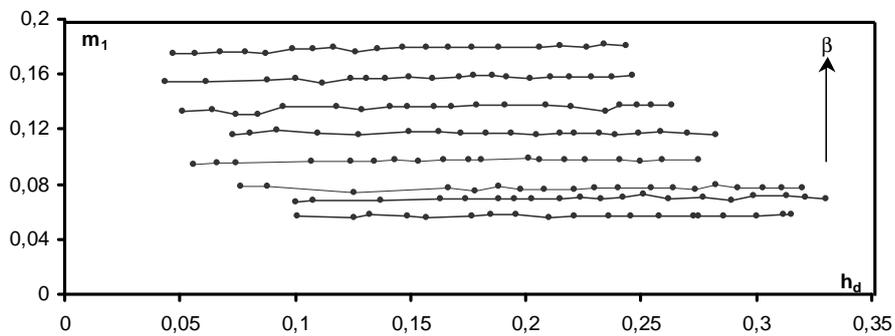


Figure 3.4 : Représentation graphique du coefficient de débit m_1 en fonction de la profondeur déversée h_d .

En tenant compte des considérations ci-dessus exposées, nous regroupons dans le tableau (3.5), la valeur moyenne du coefficient de débit m_1 , pour chacune des valeurs considérées du paramètre β .

Tableau 3.5 : Valeur moyenne du coefficient de débit m_1
pour les diverses valeurs de β testées

β	m_1
0,15	0,0570793
0,181	0,0695507
0,201	0,07712
0,253	0,0970981
0,3	0,1172322
0,35	0,13550963
0,4	0,1570833
0,45	0,1784486

En considérant les résultats consignés dans le tableau (3.5), nous représentons sur la figure (3.5) la variation de la valeur moyenne du coefficient de débit m_1 en fonction de β . Comme pour le cas du rapport m_1/m_2 , les valeurs moyennes du coefficient de débit correspondants aux valeurs testées de β , se présentent sur une courbe unique montrant ainsi la dépendance exclusive de m_1 vis-à-vis de β . Un ajustement, basé sur la méthode des moindres carrés non linéaires, a permis d'écrire avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,9998$.

$$m_1 = 0,4043\beta^{1,0324} \tag{3.3}$$

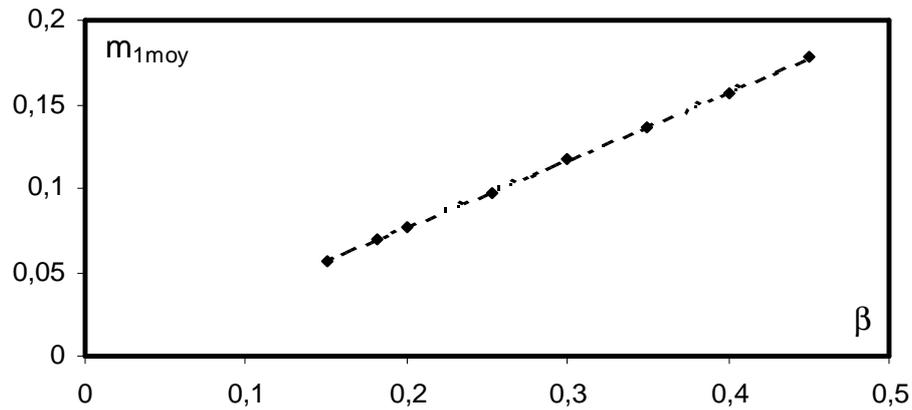


Figure 3.5 : représentation graphique de la valeur moyenne du coefficient de débit m_1 en fonction de β .

III.7.1.2. Expression du débit écoulé par le dispositif testé

L'évaluation des coefficients de débit m_1 et m_2 que nous avons effectués précédemment et qui s'expriment respectivement par les relations (3.1) et (3.2), permet aisément d'établir la relation liant le débit écoulé par le dispositif et la hauteur de déversement h_d .

Pour définir le débit unitaire q_b s'écoulant au travers de l'échancrure de largeur b du dispositif testé, il suffit pour cela de considérer la relation (2.12) qui s'écrit alors :

$$q_b = Q/b = m_2 \sqrt{2g} (1 + m_1^2)^{3/2} h_d^{3/2} \quad (3.4)$$

La combinaison des relations (3.1), (3.2) et (3.4) permet aisément d'écrire :

$$q_b = Q/b = 0,3794 \sqrt{2g} (1 + 0,16496\beta^{2,0716})^{3/2} h_d^{3/2} \quad (3.5)$$

C'est la relation (3.5) qui sera confrontée, dans cette partie de notre étude, aux valeurs issues de l'expérimentation des dispositifs considérés. Pour cela, nous considérons les valeurs des débits Q ainsi que celles des profondeurs déversées h_d consignées dans le tableau (3.6). Les débits unitaires sont obtenus par le rapport de ces débits à la largeur de l'échancrure b du dispositif.

Pour le même dispositif, c'est à dire pour la même valeur du paramètre β , nous calculons le débit unitaire écoulé par l'échancrure du dispositif par application de la relation (3.5), et ceci pour un même couple (Q, h_d) mesuré. Nous désignerons par $q_{b,\text{exp}}$ le débit unitaire Q/b

expérimental, et nous noterons $q_{b,th}$ le débit unitaire théorique ou calculé, selon la relation (3.5). Les résultats de tous nos calculs sont consignés dans le tableau (3.6) et dans lequel nous avons indiqué les écarts relatifs $\left| 1 - \frac{q_{b,exp}}{q_{b,th}} \right| \times 100$ exprimés en %. Ceci permet d'apprécier le degré de fiabilité que peut atteindre la relation (3.5). Au tableau (3.6) est associée la figure (3.6) représentant la variation de $q_{b,th}$ en fonction $q_{b,exp}$, ce qui permet de mieux préciser leurs écarts. Toutes les courbes ont été ajustées selon la méthode des moindres carrés linéaires et les coefficients de corrélation qui leurs correspondent ont été évalués et indiqués.

Tableau 3.6.a : Valeurs des débits unitaires expérimentaux et calculés selon la relation(3.5).

$$\beta = 0,15 ; b = 4,4 \text{ cm}$$

$Q_{exp} (m^3/s)$	$q_{b,exp} = Q_{exp}/b$	$h_d(m)$	$q_{b,th} = Q_{th}/b$	$ (1 - q_{b,exp} / q_{b, th}) \% $
0,00238333	0,054166667	0,09938	0,05290568	2,38
0,00321667	0,073106061	0,12538	0,0749715	2,49
0,00363333	0,082575758	0,13218	0,0811526	1,75
0,0042	0,095454545	0,14858	0,09671511	1,3
0,00448333	0,101893939	0,15698	0,10503168	2,99
0,00551667	0,125378788	0,17674	0,12547468	0,08
0,00596667	0,135606061	0,18498	0,13435102	0,93
0,00646667	0,146969697	0,19598	0,14651141	0,31
0,00703333	0,159848485	0,21046	0,16304525	1,96
0,00766667	0,174242424	0,22132	0,17582669	0,90
0,0084	0,190909091	0,23598	0,19358273	1,38
0,00903333	0,20530303	0,24528	0,20513842	0,08
0,00966667	0,21969697	0,25782	0,22106944	0,62
0,01058333	0,240530303	0,2727	0,24048141	0,02
0,0107	0,243181818	0,27488	0,24337083	0,08
0,01136667	0,258333333	0,28574	0,25793505	0,15
0,01213333	0,275757576	0,30038	0,27800994	0,81
0,01303333	0,296212121	0,31162	0,29375941	0,83
0,01318333	0,299621212	0,3149	0,2984096	0,41

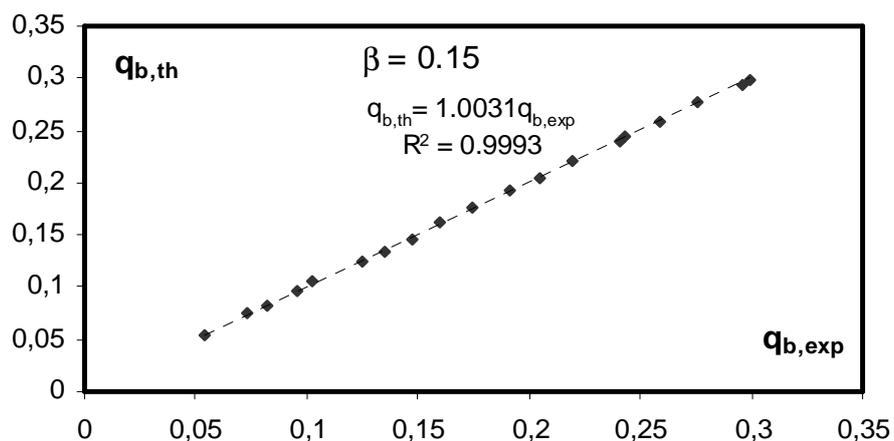


Figure 3.6.a : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,15$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.6.a.

Tableau 3.6.b : Valeurs des débits unitaires expérimentaux et calculés selon la relation (3.5).

$$\beta = 0,181 ; b = 5,3 \text{ cm}$$

$Q_{exp} (m^3/s)$	$q_{b,exp} = Q_{exp}/b$	$h_d(m)$	$q_{b,th} = Q_{th}/b$	$ (1 - q_{b,exp}/q_{b,th}) \% $
0,00276667	0,052201258	0,10042	0,05386223	3,08
0,00315	0,059433962	0,10798	0,06005774	1,04
0,0045	0,08490566	0,13708	0,08590435	1,16
0,0059	0,111320755	0,16318	0,11157179	0,22
0,00646667	0,122012579	0,1738	0,12263902	0,51
0,00738333	0,139308176	0,18846	0,13847864	0,60
0,0078	0,147169811	0,19494	0,14568185	1,02
0,00816667	0,15408805	0,20278	0,15455807	0,30
0,00893333	0,168553459	0,21458	0,16824333	0,18
0,00963333	0,181761006	0,224	0,1794428	1,29
0,01005	0,189622642	0,23278	0,19009579	0,25
0,01086667	0,205031447	0,2423	0,20187574	1,56
0,0118	0,222641509	0,25128	0,21320181	4,43
0,01206667	0,227672956	0,26198	0,2269636	0,31
0,01328333	0,250628931	0,277	0,24675937	1,57
0,01378333	0,260062893	0,28928	0,26334896	1,25
0,0151	0,28490566	0,299	0,27673289	2,95
0,01623333	0,306289308	0,31288	0,29622432	3,40
0,01673333	0,31572327	0,32144	0,30846357	2,35
0,01711667	0,322955975	0,33018	0,32112946	0,57

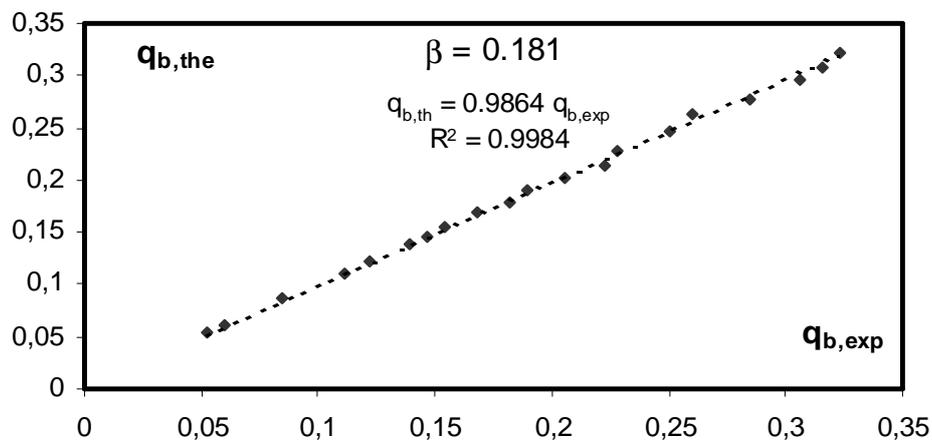


Figure 3.6.b : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,181$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.6.b.

Tableau 3.6.c : Valeurs des débits unitaires expérimentaux et calculés selon la relation(3.5).

$$\beta = 0,201 ; b = 5,9 \text{ cm}$$

$Q_{exp} (m^3/s)$	$q_{b,exp} = Q_{exp}/b$	$h_d(m)$	$q_{b,th} = Q_{th}/b$	$ (1 - q_{b,exp}/q_{b,th}) \%$
0,00215	0,036440678	0,07664	0,03597399	1,30
0,00266667	0,04519774	0,08788	0,04417132	2,32
0,00428333	0,07259887	0,1257	0,07556283	3,92
0,00685	0,116101695	0,16666	0,11535924	0,64
0,00733333	0,124293785	0,17776	0,12707391	2,19
0,0083	0,140677966	0,1886	0,13887301	1,30
0,00866667	0,146892655	0,19768	0,14902167	1,43
0,00936667	0,158757062	0,20778	0,1605872	1,14
0,01031667	0,174858757	0,2208	0,17591543	0,60
0,011	0,186440678	0,23018	0,18724348	0,43
0,01186667	0,201129944	0,24032	0,19975157	0,69
0,01285	0,21779661	0,25464	0,21786891	0,03
0,01361667	0,23079096	0,26398	0,22996506	0,36
0,01421667	0,240960452	0,27328	0,24222396	0,52
0,01556667	0,263841808	0,2823	0,2543148	3,75
0,01578333	0,267514124	0,29204	0,26758936	0,03
0,0167	0,283050847	0,3031	0,28293341	0,04
0,01751667	0,296892655	0,31108	0,29418022	0,92
0,01811667	0,307062147	0,32018	0,30718261	0,04

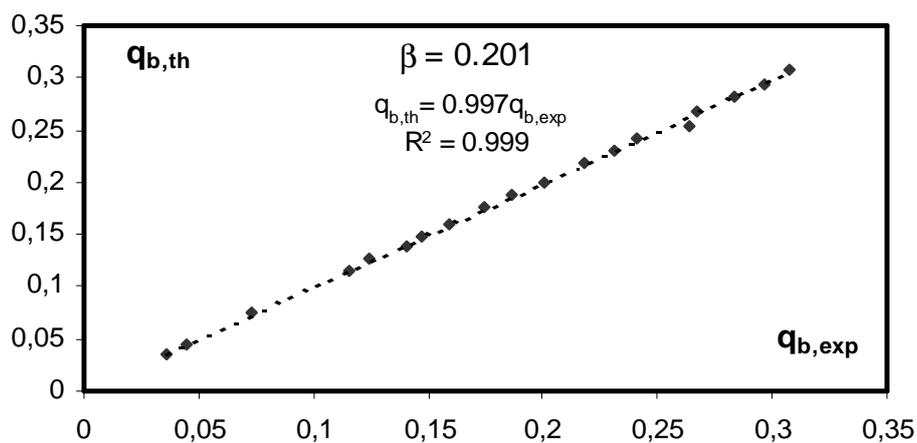


Figure 3.6.c : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,201$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.6.c.

Tableau 3.6.d : Valeurs des débits unitaires expérimentaux et calculés selon la relation(3.5).

$$\beta = 0,253 ; b = 7,4 \text{ cm}$$

$Q_{exp} (m^3/s)$	$q_{b,exp} = Q_{exp}/b$	$h_d(m)$	$q_{b,th} = Q_{th}/b$	$ (1 - q_{b,exp}/q_{b,th}) \%$
0,00161667	0,021846847	0,05578	0,02245786	2,72
0,00211667	0,028603604	0,06628	0,0290887	1,67
0,00251667	0,034009009	0,07434	0,03455289	1,57
0,0044	0,059459459	0,10738	0,05998403	0,87
0,00548333	0,074099099	0,12398	0,074418	0,43
0,00616667	0,083333333	0,1345	0,08408799	0,9
0,00685	0,092567568	0,14334	0,09251277	0,06
0,00755	0,102027027	0,15318	0,10220065	0,17
0,00843333	0,113963964	0,16426	0,11348757	0,42
0,00931667	0,125900901	0,1754	0,12522613	0,54
0,00976667	0,131981982	0,18054	0,13077078	0,93
0,01156667	0,156306306	0,201	0,1536189	1,75
0,01186667	0,16036036	0,20592	0,15929361	0,67
0,01276667	0,172522523	0,21688	0,17217886	0,20
0,0136	0,183783784	0,22604	0,18320129	0,32
0,01505	0,203378378	0,24088	0,20153556	0,91
0,01575	0,212837838	0,24992	0,21298651	0,07
0,01673333	0,226126126	0,25928	0,225063	0,47
0,01818333	0,245720721	0,27464	0,24535576	0,15

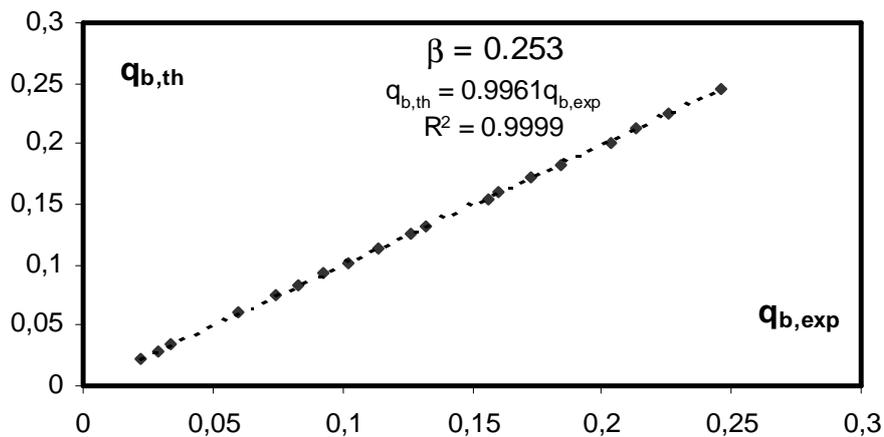


Figure 3.6.d : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,253$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.6.d.

Tableau 3.6.e : Valeurs des débits unitaires expérimentaux et calculés selon la relation(3.5).

$$\beta = 0,30 ; b = 8,8 \text{ cm}$$

$Q_{exp} (m^3/s)$	$q_{b,exp} = Q_{exp}/b$	$h_d(m)$	$q_{b,th} = Q_{th}/b$	$ (1 - q_{b,exp} / q_{b, th}) \% $
0,00295	0,033522727	0,07282	0,03370041	0,53
0,003466667	0,039393939	0,08062	0,03925756	0,35
0,004316667	0,04905303	0,09204	0,04788771	2,43
0,005533333	0,062878788	0,10978	0,0623798	0,80
0,006883333	0,078219697	0,12768	0,07824263	0,03
0,0088	0,1	0,14918	0,09881549	1,20
0,01005	0,114204545	0,16218	0,11200956	1,96
0,010833333	0,123106061	0,17206	0,12239932	0,58
0,011933333	0,135606061	0,183	0,13425664	1,01
0,012966667	0,147348485	0,194	0,14654187	0,55
0,014016667	0,159280303	0,20494	0,15911064	0,11
0,0152	0,172727273	0,21518	0,17118353	0,90
0,015866667	0,18030303	0,2211	0,17829627	1,13
0,017033333	0,193560606	0,23182	0,19141919	1,12
0,017616667	0,200189394	0,23868	0,19997844	0,11
0,018916667	0,214962121	0,24914	0,21326733	0,79
0,0201	0,228409091	0,25866	0,22560725	1,24
0,021266667	0,241666667	0,27	0,24060507	0,44
0,0226	0,256818182	0,28244	0,25742365	0,24
0,024766667	0,281439394	0,2951	0,27492419	2,37

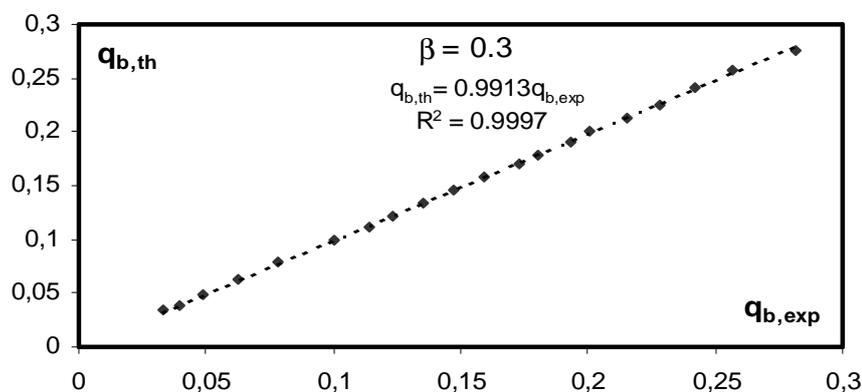


Figure 3.6.e : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,30$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.6.e.

Tableau 3.6.f : Valeurs des débits unitaires expérimentaux et calculés selon la relation(3.5).

$$\beta = 0,35 ; b = 10,25 \text{ cm}$$

$Q_{exp} (m^3/s)$	$q_{b,exp} = Q_{exp}/b$	$h_d(m)$	$q_{b,th} = Q_{th}/b$	$ (1 - q_{b,exp}/q_{b,th}) \% $
0,002	0,019512195	0,05108	0,01994896	2,19
0,0028333333	0,027642276	0,0643	0,02817477	1,89
0,00345	0,033658537	0,07458	0,03519472	4,36
0,004133333	0,040325203	0,08412	0,04215925	4,35
0,005166667	0,050406504	0,09496	0,05056559	0,31
0,0072	0,070243902	0,11814	0,07016805	0,11
0,008083333	0,078861789	0,12916	0,08021139	1,68
0,0094	0,091707317	0,14146	0,09193788	0,25
0,0101	0,098536585	0,14844	0,09882581	0,29
0,01135	0,110731707	0,16008	0,11067502	0,05
0,01215	0,118536585	0,16772	0,11869195	0,13
0,013483333	0,131544715	0,17906	0,13093081	0,47
0,014866667	0,14504065	0,19092	0,14415215	0,62
0,016983333	0,165691057	0,20896	0,16505881	0,38
0,018216667	0,177723577	0,2194	0,17758199	0,08
0,01965	0,191707317	0,23472	0,19650297	2,44
0,021016667	0,20504065	0,24072	0,20408554	0,47
0,022016667	0,214796748	0,24834	0,21385233	0,44
0,022883333	0,223252033	0,25436	0,22167525	0,71
0,024016667	0,234308943	0,26316	0,23327801	0,44

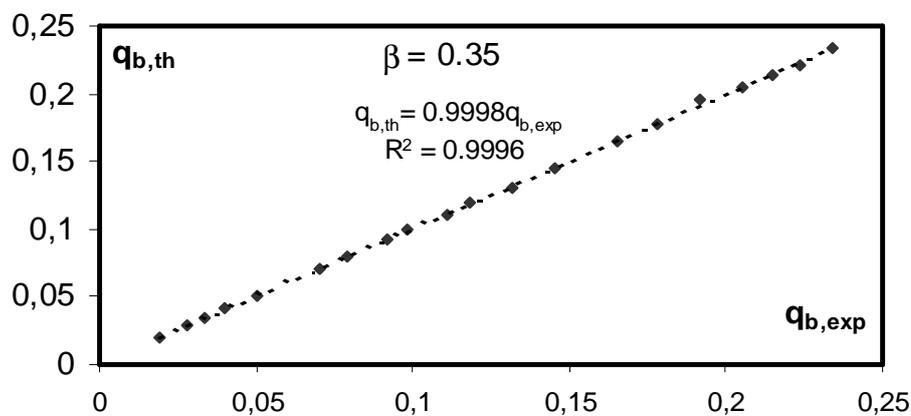


Figure 3.6.f : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,35$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.6.f.

Tableau 3.6.g : Valeurs des débits unitaires expérimentaux et calculés selon la relation (3.5).

$$\beta = 0,40 ; b = 11,70 \text{ cm}$$

$Q_{exp} (m^3/s)$	$q_{b,exp} = Q_{exp}/b$	$h_d(m)$	$q_{b,th} = Q_{th}/b$	$ (1 - q_{b,exp} / q_{b, th}) \% $
0,001816667	0,015527066	0,04344	0,01578291	1,62
0,003033333	0,025925926	0,06128	0,0264442	1,96
0,00525	0,044871795	0,08772	0,04528979	0,92
0,006466667	0,055270655	0,10038	0,05543999	0,31
0,00745	0,063675214	0,11172	0,06509517	2,18
0,008866667	0,075783476	0,12388	0,0760071	0,29
0,009683333	0,082763533	0,13104	0,08269099	0,09
0,010516667	0,08988604	0,13892	0,09026087	0,42
0,011783333	0,100712251	0,1491	0,10036189	0,35
0,013016667	0,111253561	0,15986	0,11141972	0,15
0,014583333	0,124643875	0,17158	0,12389459	0,60
0,0154	0,131623932	0,17722	0,13005332	1,21
0,01645	0,140598291	0,18538	0,1391383	1,05
0,01725	0,147435897	0,19204	0,14670331	0,50
0,018466667	0,157834758	0,20202	0,15828651	0,29
0,019933333	0,17037037	0,21102	0,16898097	0,82
0,021033333	0,17977208	0,21914	0,17882772	0,53
0,022466667	0,192022792	0,22868	0,19063149	0,73
0,0237	0,202564103	0,23738	0,20161301	0,47
0,025116667	0,214672365	0,24604	0,21274577	0,91

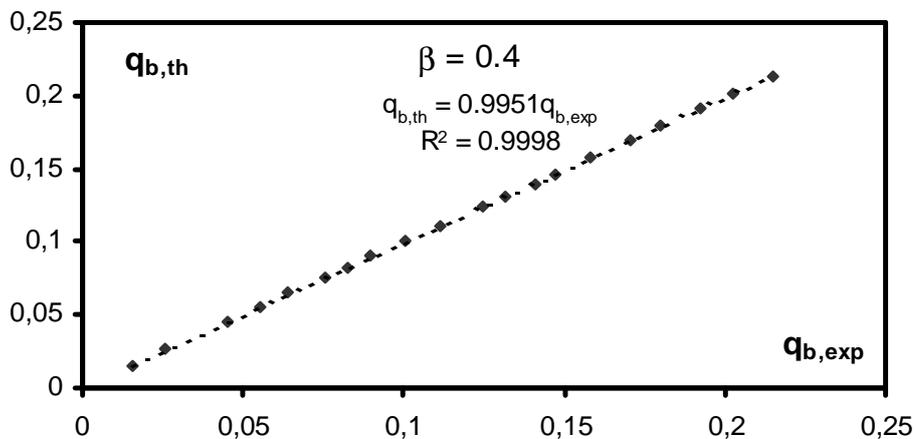


Figure 3.6.g : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,40$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.6.g.

Tableau 3.6.h : Valeurs des débits unitaires expérimentaux et calculés selon la relation (3.5).

$$\beta = 0,45 ; b = 13,20 \text{ cm}$$

$Q_{exp} (m^3/s)$	$q_{b,exp} = Q_{exp}/b$	$h_d(m)$	$q_{b,th} = Q_{th}/b$	$ (1 - q_{b,exp} / q_{b, th}) \% $
0,002333333	0,017676768	0,04718	0,01804335	2,03
0,00305	0,023106061	0,05646	0,02362063	2,18
0,004033333	0,030555556	0,06774	0,03104188	1,57
0,005033333	0,038131313	0,07868	0,03885767	1,87
0,005866667	0,044444444	0,08746	0,04554015	2,41
0,00725	0,054924242	0,09916	0,0549775	0,10
0,008166667	0,061868687	0,10764	0,06217857	0,50
0,009266667	0,07020202	0,1167	0,07019182	0,01
0,01025	0,077651515	0,12634	0,07906632	1,79
0,01165	0,088257576	0,13604	0,08834463	0,10
0,0131	0,099242424	0,14654	0,0987676	0,48
0,014483333	0,109722222	0,15672	0,10923627	0,44
0,015833333	0,119949495	0,1663	0,11940392	0,46
0,01725	0,130681818	0,17646	0,13051175	0,13
0,019116667	0,144823232	0,18858	0,14418619	0,44
0,021766667	0,16489899	0,20582	0,16440369	0,30
0,023316667	0,176641414	0,21486	0,17535315	0,73
0,0252	0,190909091	0,22656	0,18986944	0,55
0,0266	0,201515152	0,23384	0,19909411	1,22
0,028183333	0,213510101	0,24376	0,21189654	0,76

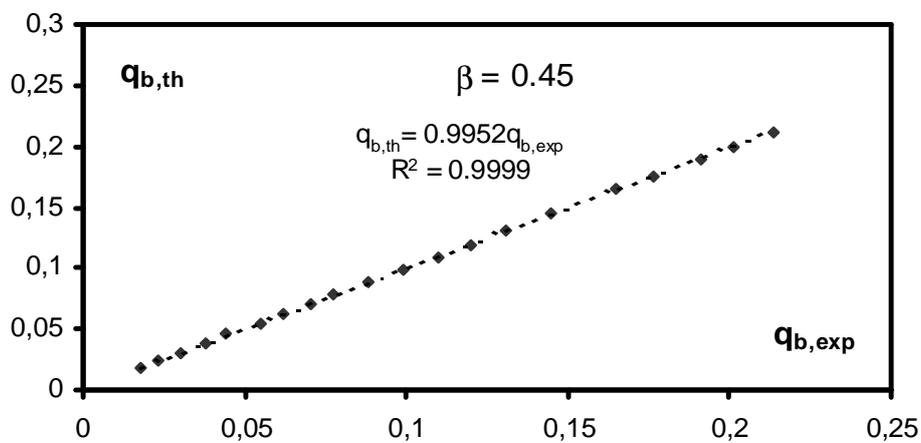


Figure 3.6.h : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,45$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.6.h.

Il ressort ainsi des tableaux (3.6.a) à (3.6.h) et des figures (3.6.a) à (3.6.h) que les écarts entre les valeurs expérimentales et calculées du débit unitaire $q = Q/b$, s'écoulant par les dispositifs testés, sont très acceptables. Les figures (3.6.a) à (3.6.h) indiquent clairement que les débits unitaires expérimentaux et calculés en application de la relation (3.18) suivent la première bissectrice, avec un coefficient de corrélation supérieur dans tous les cas à 0,998, atteignant parfois des valeurs exceptionnelles de 0,9999. Au regard de nos résultats, nous pouvons ainsi conclure à la fiabilité de la relation (3.5) qui permet, avec une excellente approximation, d'évaluer le débit unitaire s'écoulant par l'échancrure du dispositif que nous avons testé.

Nos résultats montrent également que la fiabilité de la relation (3.5) concernant l'ensemble des dispositifs testés et n'indiquent aucune restriction sur l'application de cette relation.

Il est cependant recommandé de procéder à de plus vastes investigations expérimentales, notamment sur des dispositifs caractérisés par des valeurs de β supérieures à 0,45. Ces investigations pourront éventuellement étendre l'application de la relation (3.5) à une plus grande gamme de valeurs de β que celle que nous avons utilisée lors de nos essais.

III.7.1.3. Expression du débit unitaire écoulé par le canal

Comme nous l'a indiqué la recherche bibliographique que nous avons effectuée sur les déversoirs et les appareils de mesure de débit de formes diverses, la relation exprimant le débit se rapporte en règle générale au débit unitaire écoulé par le canal d'amenée de forme rectangulaire. En effet, quelque soit la forme de l'échancrure du déversoir utilisé, les relations débit-hauteur proposées estiment le débit unitaire s'écoulant par le canal dans lequel est inséré le dispositif de mesure du débit. Toutes les relations sont mises sous la forme de celle de l'équation (1.1), soit $q_B = Q/B = \frac{2}{3}\mu\sqrt{2g}h_d^{3/2}$, où q_B est le débit unitaire dans le canal d'amenée de forme généralement rectangulaire de largeur B , μ est le coefficient de débit et h_d est la hauteur de déversement, excluant la vitesse d'approche de l'écoulement. D'un point de vue théorique, il existe une relation entre le débit unitaire q_B qui transite par le canal d'amenée et le débit unitaire $q_b = Q/b$ qui s'écoule par l'échancrure du dispositif que nous avons testé. En effet, nous pouvons aisément montré que $q_B/q_b = b/B = \beta$, où β est le taux de réduction de la section du canal d'amenée à l'endroit du dispositif de mesure du débit étudié.

Compte tenu de cette remarque et en faisant appel à la relation (3.5), nous pouvons écrire :

$$q_B = Q/B = 0,3794 \sqrt{2g} \beta (1 + 0,16496\beta^{2,0716})^{3/2} h_d^{3/2}$$

En mettant la relation précédente sous la forme de la relation (1.1), il vient que :

$$q_B = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} h_d^{3/2} \quad (3.6)$$

avec :

$$\mu = 0,5685 \beta (1 + 0,16496\beta^{2,0716})^{3/2} \quad (3.7)$$

La relation (3.7) montre que le coefficient de débit μ n'est fonction que du paramètre β .

Nous avons donc confronté les résultats des mesures expérimentales du coefficient de débit μ_{exp} à ceux calculés par la relation (3.7) et que nous avons désignés par $\mu_{\text{calculé}}$, ceci pour la même valeur du paramètre β . Nous présentons, dans les tableaux (3.7.a) à (3.7.h), les résultats de nos essais et de nos calculs.

Nous pouvons constater, au regard des résultats consignés dans les tableaux (3.7.a) à (3.7.h), que le coefficient de débit μ_{exp} prend une valeur moyenne qui ne dépend que du paramètre β . Nous avons donc calculé, pour chaque valeur de β , la valeur moyenne de μ_{exp} et que nous avons indiquée en haut des tableaux.

Tableau 3.7.a : Valeurs expérimentales et calculées du coefficient de débit μ pour le dispositif caractérisé par $\beta = 0,15$. $\mu_{\text{exp, moyen}} = 0,08562$

$q_B = Q/B$	$h_d (m)$	μ_{exp}	$\mu_{\text{calculé}}$
0,008134243	0,09938	0,08792	0,08569
0,010978385	0,12538	0,08374	0,08569
0,012400455	0,13218	0,08738	0,08569
0,014334471	0,14858	0,08476	0,08569
0,015301479	0,15698	0,08331	0,08569
0,018828214	0,17674	0,08581	0,08569
0,020364050	0,18498	0,08668	0,08569
0,022070535	0,19598	0,08615	0,08569
0,024004551	0,21046	0,08419	0,08569
0,026166098	0,22132	0,08510	0,08569
0,028668942	0,23598	0,08469	0,08569
0,030830489	0,24528	0,08595	0,08569
0,032992036	0,25782	0,08534	0,08569
0,036120592	0,27270	0,08590	0,08569
0,036518771	0,27488	0,08581	0,08569
0,038794084	0,28574	0,08601	0,08569
0,041410694	0,30038	0,08518	0,08569
0,044482366	0,31162	0,08659	0,08569
0,044994312	0,31490	0,08623	0,08569

Tableau 3.7.b : Valeurs expérimentales et calculées du coefficient de débit μ pour le dispositif caractérisé par $\beta = 0,181$. $\mu_{\text{exp, moyen}} = 0,10433$

$q_B = Q/B$	$h_d (m)$	μ_{exp}	$\mu_{\text{calculé}}$
0,009442548	0,10042	0,10048	0,10364
0,010750853	0,10798	0,10261	0,10364
0,015358362	0,13708	0,10248	0,10364
0,020136519	0,16318	0,10345	0,10364
0,022070535	0,1738	0,10315	0,10364
0,025199090	0,18846	0,10430	0,10364
0,026621160	0,19494	0,10474	0,10364
0,027872582	0,20278	0,10337	0,10364
0,030489192	0,21458	0,10387	0,10364
0,032878271	0,224	0,10502	0,10364
0,034300341	0,23278	0,10342	0,10364
0,037087600	0,2423	0,10530	0,10364
0,040273038	0,25128	0,10827	0,10364
0,041183163	0,26198	0,10401	0,10364
0,045335609	0,277	0,10531	0,10364
0,047042093	0,28928	0,10239	0,10364
0,051535836	0,299	0,10674	0,10364
0,055403868	0,31288	0,10721	0,10364
0,057110353	0,32144	0,10612	0,10364
0,058418658	0,33018	0,10427	0,10364

Tableau 3.7.c : Valeurs expérimentales et calculées du coefficient de débit μ pour le dispositif caractérisé par $\beta = 0,201$. $\mu_{exp, moyen} = 0,11568$

$q_B = Q/B$	$h_d (m)$	μ_{exp}	$\mu_{calculé}$
0,007337884	0,07664	0,11712	0,11529
0,009101251	0,08788	0,11831	0,11529
0,014618885	0,1257	0,11108	0,11529
0,023378840	0,16666	0,11636	0,11529
0,025028441	0,17776	0,11309	0,11529
0,028327645	0,1886	0,11712	0,11529
0,029579067	0,19768	0,11397	0,11529
0,031968146	0,20778	0,11430	0,11529
0,035210466	0,2208	0,11493	0,11529
0,037542662	0,23018	0,11512	0,11529
0,040500569	0,24032	0,11642	0,11529
0,043856655	0,25464	0,11558	0,11529
0,046473265	0,26398	0,11603	0,11529
0,048521047	0,27328	0,11502	0,11529
0,053128555	0,2823	0,11995	0,11529
0,053868032	0,29204	0,11559	0,11529
0,056996587	0,3031	0,11567	0,11529
0,059783845	0,31108	0,11669	0,11529
0,061831627	0,32018	0,11557	0,11529

Tableau 3.7.d : Valeurs expérimentales et calculées du coefficient de débit μ pour le dispositif caractérisé par $\beta = 0,253$. $\mu_{exp, moyen} = 0,14565$

$q_B = Q/B$	$h_d (m)$	μ_{exp}	$\mu_{calculé}$
0,005517634	0,05578	0,14183	0,14590
0,007224118	0,06628	0,14337	0,14590
0,008589306	0,07434	0,14350	0,14590
0,015017065	0,10738	0,14452	0,14590
0,018714448	0,12398	0,14517	0,14590
0,021046644	0,1345	0,14449	0,14590
0,023378840	0,14334	0,14589	0,14590
0,025767918	0,15318	0,14555	0,14590
0,028782708	0,16426	0,14641	0,14590
0,031797497	0,1754	0,14659	0,14590
0,033333333	0,18054	0,14715	0,14590
0,039476678	0,201	0,14835	0,14590
0,040500569	0,20592	0,14678	0,14590
0,043572241	0,21688	0,14609	0,14590
0,046416382	0,22604	0,14626	0,14590
0,051365188	0,24088	0,14713	0,14590
0,053754266	0,24992	0,14570	0,14590
0,057110353	0,25928	0,14649	0,14590
0,062059158	0,27464	0,14602	0,14590

Tableau 3.7.e : Valeurs expérimentales et calculées du coefficient de débit μ pour le dispositif caractérisé par $\beta = 0,30$. $\mu_{exp, moyen} = 0,17585$

$q_B = Q/B$	$h_d(m)$	μ_{exp}	$\mu_{calculé}$
0,010068259	0,07282	0,17351	0,17405
0,011831627	0,08062	0,17503	0,17405
0,014732651	0,09204	0,17867	0,17405
0,018885097	0,10978	0,17582	0,17405
0,023492605	0,12768	0,17438	0,17405
0,030034130	0,14918	0,17652	0,17405
0,034300341	0,16218	0,17785	0,17405
0,036973834	0,17206	0,17544	0,17405
0,040728100	0,183	0,17618	0,17405
0,044254835	0,194	0,17539	0,17405
0,047838453	0,20494	0,17461	0,17405
0,051877133	0,21518	0,17600	0,17405
0,054152446	0,2211	0,17639	0,17405
0,058134243	0,23182	0,17638	0,17405
0,060125142	0,23868	0,17461	0,17405
0,064562002	0,24914	0,17581	0,17405
0,068600683	0,25866	0,17659	0,17405
0,072582480	0,27	0,17520	0,17405
0,077133106	0,28244	0,17402	0,17405
0,084527873	0,2951	0,17856	0,17405

Tableau 3.7.f : Valeurs expérimentales et calculées du coefficient de débit μ pour le dispositif caractérisé par $\beta = 0,35$. $\mu_{exp, moyen} = 0,20326$

$q_B = Q/B$	$h_d (m)$	μ_{exp}	$\mu_{calculé}$
0,006825939	0,05108	0,20023	0,20460
0,009670080	0,0643	0,20084	0,20460
0,011774744	0,07458	0,19578	0,20460
0,014106940	0,08412	0,19581	0,20460
0,017633675	0,09496	0,20407	0,20460
0,024573379	0,11814	0,20493	0,20460
0,027588168	0,12916	0,20127	0,20460
0,032081911	0,14146	0,20420	0,20460
0,034470990	0,14844	0,20411	0,20460
0,038737201	0,16008	0,20482	0,20460
0,041467577	0,16772	0,20444	0,20460
0,046018203	0,17906	0,20567	0,20460
0,050739477	0,19092	0,20597	0,20460
0,057963595	0,20896	0,20550	0,20460
0,062172924	0,2194	0,20487	0,20460
0,067064846	0,23472	0,19972	0,20460
0,071729238	0,24072	0,20567	0,20460
0,075142207	0,24834	0,20562	0,20460
0,078100114	0,25436	0,20617	0,20460
0,081968146	0,26316	0,20562	0,20460

Tableau 3.7.g : Valeurs expérimentales et calculées du coefficient de débit μ pour le dispositif caractérisé par $\beta = 0,40$. $\mu_{exp, moyen} = 0,23563$

$q_B = Q/B$	$h_d (m)$	μ_{exp}	$\mu_{calculé}$
0,006200228	0,04344	0,23191	0,23588
0,010352673	0,06128	0,23111	0,23588
0,017918089	0,08772	0,23355	0,23588
0,022070535	0,10038	0,23501	0,23588
0,025426621	0,11172	0,23059	0,23588
0,030261661	0,12388	0,23504	0,23588
0,033048919	0,13104	0,23594	0,23588
0,035893060	0,13892	0,23475	0,23588
0,040216155	0,1491	0,23655	0,23588
0,044425484	0,15986	0,23538	0,23588
0,049772469	0,17158	0,23715	0,23588
0,052559727	0,17722	0,23858	0,23588
0,056143345	0,18538	0,23820	0,23588
0,058873720	0,19204	0,23691	0,23588
0,063026166	0,20202	0,23506	0,23588
0,068031854	0,21102	0,23767	0,23588
0,071786121	0,21914	0,23697	0,23588
0,076678043	0,22868	0,23745	0,23588
0,080887372	0,23738	0,23684	0,23588
0,085722412	0,24604	0,23786	0,23588

Tableau 3.7.h : Valeurs expérimentales et calculées du coefficient de débit μ pour le dispositif caractérisé par $\beta = 0,45$. $\mu_{exp, moyen} = 0,26767$.

$q_B = Q/B$	$h_d (m)$	μ_{exp}	$\mu_{calculé}$
0,007963595	0,04718	0,26316	0,26803
0,010409556	0,05646	0,26276	0,26803
0,013765643	0,06774	0,26441	0,26803
0,017178612	0,07868	0,26359	0,26803
0,020022753	0,08746	0,26215	0,26803
0,024744027	0,09916	0,26835	0,26803
0,027872582	0,10764	0,26728	0,26803
0,031626849	0,1167	0,26865	0,26803
0,034982935	0,12634	0,26381	0,26803
0,039761092	0,13604	0,26835	0,26803
0,044709898	0,14654	0,26991	0,26803
0,049431172	0,15672	0,26981	0,26803
0,054038680	0,1663	0,26984	0,26803
0,058873720	0,17646	0,26896	0,26803
0,065244596	0,18858	0,26980	0,26803
0,074288965	0,20582	0,26942	0,26803
0,079579067	0,21486	0,27059	0,26803
0,086006826	0,22656	0,27008	0,26803
0,090784983	0,23384	0,27188	0,26803
0,096188851	0,24376	0,27066	0,26803

Les valeurs $\mu_{exp, moyen}$, issues des tableaux (3.7.a) à (3.7.h) ont été confrontées aux valeurs calculées $\mu_{calculé}$, issues de l'application de la relation (3.7) et figurant dans la dernière colonne des tableaux. Nous présentons, dans le tableau (3.8), les couples de valeurs $\mu_{exp, moyen}$ et $\mu_{calculé}$, ainsi que leur écart relatif en %.

Tableau 3.8 : Valeurs de $\mu_{exp, moyen}$ et $\mu_{calculé}$ pour chaque valeur de β .

β	$\mu_{exp, moyen}$	$\mu_{calculé}$	$\Delta\mu/\mu$ (%)
0,15	0,08562	0,08569	0,082
0,181	0,10433	0,10364	0,666
0,201	0,11568	0,11529	0,338
0,253	0,14565	0,14590	0,171
0,30	0,17585	0,17405	1,034
0,35	0,20326	0,20460	0,655
0,40	0,23563	0,23588	0,106
0,45	0,26767	0,26803	0,134

Ainsi, les écarts relatifs, figurant dans la dernière colonne du tableau (3.8), sont très révélateurs de la fiabilité de la relation (3.5) destinée au calcul du débit μ du dispositif que nous avons étudié.

Pour montrer la fiabilité et la validité des mesures expérimentales, il est nécessaire de déterminer les erreurs relatives commises sur l'estimation du coefficient de débit μ .

Les erreurs relatives commises sur l'estimation de μ sont liées à celles du débit volume Q , mesuré à l'aide du débitmètre à ultrasons, ainsi qu'à celles des profondeurs h_d mesurées au moyen du limnimètre à vernier. Selon la relation (3.6), nous pouvons écrire, en estimant qu'aucune erreur n'a été commise sur l'estimation du paramètre β :

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{3}{2} \frac{\Delta h_d}{h_d} \quad (3.8)$$

Le calcul des erreurs relatives commises sur la mesure du coefficient de débit μ se feront sur la base de conditions les plus contraignantes qui sont :

- $\Delta Q = 0,1$ l/s : Erreur absolue de $1/10^{\text{ème}}$ de litre/seconde attribuée au débitmètre à ultrasons.
- $\Delta h_d = 0,02$ mm : Erreur absolue de $2/100^{\text{ème}}$ de millimètre attribuée au limnimètre à vernier à double précision. Lors de nos essais, la mise en place dans le canal des dispositifs testés a

Contribué à la tranquillisation du plan d'eau dans le canal. La surface libre de l'écoulement, à l'endroit où nous avons mesuré les profondeurs h_d , n'a été caractérisée par aucune perturbation. Nous pouvons donc estimer que l'erreur absolue commise sur la mesure de la profondeur h_d n'est due qu'à celle du limnimètre utilisé.

Pour chacune des valeurs du paramètre β , nous avons estimé les erreurs relatives sur la mesure du coefficient de débit μ par application de la relation (3.8). Les résultats de nos calculs sont consignés dans les tableaux (3.9.a) à (3.9.h).

Tableau 3.9.a : Valeurs des écarts relatifs sur la mesure du coefficient de débit μ .

$$\beta = 0,15.$$

μ_{exp}	$\mu_{calculé}$	$\mu_{exp}/\mu_{calculé}$ ou $\mu_{calculé}/\mu_{exp}$	$\Delta\mu/\mu$ % Selon (3.8)
0,08792	0,08569	1,026	4,226
0,08374	0,08569	1,023	3,133
0,08738	0,08569	1,020	2,775
0,08476	0,08569	1,011	2,401
0,08331	0,08569	1,029	2,250
0,08581	0,08569	1,001	1,830
0,08668	0,08569	1,012	1,692
0,08615	0,08569	1,005	1,562
0,08419	0,08569	1,018	1,436
0,08510	0,08569	1,007	1,318
0,08469	0,08569	1,012	1,203
0,08595	0,08569	1,003	1,119
0,08534	0,08569	1,004	1,046
0,08590	0,08569	1,002	0,956
0,08581	0,08569	1,001	0,945
0,08601	0,08569	1,004	0,890
0,08518	0,08569	1,006	0,834
0,08659	0,08569	1,011	0,777
0,08623	0,08569	1,006	0,768

Tableau 3.9.b : Valeurs des écarts relatifs sur la mesure du coefficient de débit μ .

$$\beta = 0,181.$$

μ_{exp}	$\mu_{calculé}$	$\mu_{exp}/\mu_{calculé}$ ou $\mu_{calculé}/\mu_{exp}$	$\Delta\mu/\mu$ % Selon (3.8)
0,10048	0,10364	1,031	3,644
0,10261	0,10364	1,010	3,202
0,10248	0,10364	1,011	2,244
0,10345	0,10364	1,002	1,713
0,10315	0,10364	1,005	1,564
0,10430	0,10364	1,006	1,370
0,10474	0,10364	1,011	1,297
0,10337	0,10364	1,003	1,239
0,10387	0,10364	1,002	1,133
0,10502	0,10364	1,013	1,051
0,10342	0,10364	1,002	1,008
0,10530	0,10364	1,016	0,933
0,10827	0,10364	1,045	0,859
0,10401	0,10364	1,004	0,840
0,10531	0,10364	1,016	0,764
0,10239	0,10364	1,012	0,736
0,10674	0,10364	1,030	0,672
0,10721	0,10364	1,034	0,626
0,10612	0,10364	1,024	0,607
0,10427	0,10364	1,006	0,593

Tableau 3.9.c : Valeurs des écarts relatifs sur la mesure du coefficient de débit μ .

$$\beta = 0,201.$$

μ_{exp}	$\mu_{calculé}$	$\mu_{exp}/\mu_{calculé}$ ou $\mu_{calculé}/\mu_{exp}$	$\Delta\mu/\mu$ % Selon (3.8)
0,11712	0,11529	1,016	4,690
0,11831	0,11529	1,026	3,784
0,11108	0,11529	1,038	2,358
0,10965	0,11529	1,051	1,724
0,11636	0,11529	1,009	1,478
0,11309	0,11529	1,019	1,381
0,11712	0,11529	1,016	1,221
0,11397	0,11529	1,012	1,169
0,11430	0,11529	1,009	1,082
0,11493	0,11529	1,003	0,983
0,11512	0,11529	1,001	0,922
0,11642	0,11529	1,010	0,855
0,11558	0,11529	1,003	0,790
0,11603	0,11529	1,006	0,746
0,11502	0,11529	1,002	0,714
0,11995	0,11529	1,040	0,653
0,11559	0,11529	1,003	0,644
0,11567	0,11529	1,003	0,609
0,11669	0,11529	1,012	0,581
0,11557	0,11529	1,002	0,561

Tableau 3.9.d : Valeurs des écarts relatifs sur la mesure du coefficient de débit μ .

$$\beta = 0,253.$$

μ_{exp}	$\mu_{calculé}$	$\frac{\mu_{exp}}{\mu_{calculé}}$ ou $\frac{\mu_{calculé}}{\mu_{exp}}$	$\frac{\Delta\mu}{\mu} \%$ Selon (3.8)
0,14183	0,14590	1,029	6,239
0,14337	0,14590	1,018	4,770
0,14350	0,14590	1,017	4,014
0,14452	0,14590	1,009	2,301
0,14517	0,14590	1,005	1,848
0,14449	0,14590	1,010	1,644
0,14589	0,14590	1,000	1,481
0,14555	0,14590	1,002	1,344
0,14641	0,14590	1,004	1,204
0,14659	0,14590	1,005	1,090
0,14715	0,14590	1,009	1,041
0,14835	0,14590	1,017	0,879
0,14678	0,14590	1,006	0,857
0,14609	0,14590	1,001	0,797
0,14626	0,14590	1,003	0,749
0,14713	0,14590	1,008	0,677
0,14570	0,14590	1,001	0,647
0,14649	0,14590	1,004	0,609
0,14602	0,14590	1,001	0,561

Tableau 3.9.e : Valeurs des écarts relatifs sur la mesure du coefficient de débit μ .

$$\beta = 0,30.$$

μ_{exp}	$\mu_{calculé}$	$\frac{\mu_{exp}}{\mu_{calculé}}$ ou $\frac{\mu_{calculé}}{\mu_{exp}}$	$\frac{\Delta\mu}{\mu} \%$ Selon (3.8)
0,17351	0,17405	1,003	3,431
0,17503	0,17405	0,994	2,922
0,17867	0,17405	0,974	2,349
0,17582	0,17405	0,990	1,835
0,17438	0,17405	0,998	1,476
0,17652	0,17405	1,014	1,156
0,17785	0,17405	1,022	1,014
0,17544	0,17405	1,008	0,941
0,17618	0,17405	1,012	0,854
0,17539	0,17405	1,008	0,787
0,17461	0,17405	1,003	0,728
0,17600	0,17405	0,989	0,672
0,17639	0,17405	1,013	0,644
0,17638	0,17405	1,013	0,600
0,17461	0,17405	1,003	0,580
0,17581	0,17405	1,010	0,541
0,17659	0,17405	1,015	0,509
0,17520	0,17405	1,007	0,481
0,17402	0,17405	1,000	0,453
0,17856	0,17405	1,026	0,414

Tableau 3.9.f : Valeurs des écarts relatifs sur la mesure du coefficient de débit μ .

$$\beta = 0,35.$$

μ_{exp}	$\mu_{calculé}$	$\frac{\mu_{exp}}{\mu_{calculé}}$ ou $\frac{\mu_{calculé}}{\mu_{exp}}$	$\Delta\mu/\mu$ % Selon (3.8)
0,20023	0,20460	1,022	5,059
0,20084	0,20460	1,019	3,576
0,19578	0,20460	1,045	2,939
0,19581	0,20460	1,045	2,455
0,20407	0,20460	1,003	1,967
0,20493	0,20460	1,002	1,414
0,20127	0,20460	1,016	1,260
0,20420	0,20460	1,002	1,085
0,20411	0,20460	1,002	1,010
0,20482	0,20460	1,001	0,900
0,20444	0,20460	1,001	0,841
0,20567	0,20460	1,005	0,758
0,20597	0,20460	1,007	0,688
0,20550	0,20460	1,004	0,603
0,20487	0,20460	1,001	0,563
0,19972	0,20460	1,024	0,522
0,20567	0,20460	1,005	0,488
0,20562	0,20460	1,005	0,466
0,20617	0,20460	1,008	0,449
0,20562	0,20460	1,005	0,428

Tableau 3.9.g : Valeurs des écarts relatifs sur la mesure du coefficient de débit μ .

$$\beta = 0,40.$$

μ_{exp}	$\mu_{calculé}$	$\frac{\mu_{exp}}{\mu_{calculé}}$ ou $\frac{\mu_{calculé}}{\mu_{exp}}$	$\Delta\mu/\mu$ % Selon (3.8)
0,23191	0,23588	1,017	5,574
0,23111	0,23588	1,021	3,346
0,23355	0,23588	1,010	1,939
0,23501	0,23588	1,004	1,576
0,23059	0,23588	1,023	1,369
0,23504	0,23588	1,004	1,152
0,23594	0,23588	1,000	1,056
0,23475	0,23588	1,005	0,972
0,23655	0,23588	1,003	0,869
0,23538	0,23588	1,002	0,787
0,23715	0,23588	1,005	0,703
0,23858	0,23588	1,011	0,666
0,23820	0,23588	1,010	0,624
0,23691	0,23588	1,004	0,595
0,23506	0,23588	1,003	0,556
0,23767	0,23588	1,008	0,516
0,23697	0,23588	1,005	0,489
0,23745	0,23588	1,007	0,458
0,23684	0,23588	1,004	0,435
0,23786	0,23588	1,008	0,410

Tableau 3.9.h : Valeurs des écarts relatifs sur la mesure du coefficient de débit μ .

$$\beta = 0,45.$$

μ_{exp}	$\mu_{calculé}$	$\mu_{exp}/\mu_{calculé}$ ou $\mu_{calculé}/\mu_{exp}$	$\Delta\mu/\mu$ % Selon (3.8)
0,26316	0,26803	1,018	4,349
0,26276	0,26803	1,020	3,332
0,26441	0,26803	1,014	2,524
0,26359	0,26803	1,017	2,025
0,26215	0,26803	1,022	1,739
0,26835	0,26803	1,001	1,410
0,26728	0,26803	1,003	1,252
0,26865	0,26803	1,002	1,105
0,26381	0,26803	1,016	0,999
0,26835	0,26803	1,001	0,880
0,26991	0,26803	1,007	0,784
0,26981	0,26803	1,007	0,710
0,26984	0,26803	1,007	0,650
0,26896	0,26803	1,004	0,597
0,26980	0,26803	1,007	0,539
0,26942	0,26803	1,005	0,474
0,27059	0,26803	1,010	0,443
0,27008	0,26803	1,008	0,410
0,27188	0,26803	1,014	0,389
0,27066	0,26803	1,010	0,367

Il ressort ainsi des tableaux (3.9.a) à (3.9.h) que les écarts relatifs obtenus sur le coefficient de débit μ , par application de la relation (3.8) sont nettement supérieurs à ceux obtenus entre μ_{exp} et $\mu_{calculé}$, ou sont parfois du même ordre de grandeur. Les tableaux (3.9.a) à (3.9.h) mettent également en évidence l'effet prépondérant des erreurs systématiques sur l'estimation du coefficient de débit μ pour les gammes réduites des profondeurs déversées h_d . Pour ces gammes, l'effet de la tension superficielle peut jouer un rôle considérable en influençant la valeur de μ .

Cependant, au regard des résultats consignés dans les tableaux (3.9.a) à (3.9.h), nous pouvons confirmer la validité de la relation (3.7), et ceci pour toute la gamme testée de β .

III.7.2. Dispositif a paroi épaisse

Cette partie sera consacrée à la validation des relations exprimées précédemment dans la partie théorique tel que la hauteur relative de déversement h_d^* , la charge relative H_d^* , le coefficient de débit et plus particulièrement la relation du débit, et de donner ainsi les différents écarts relatifs.

Des essais effectués sur une gamme comportant huit (08) valeur de β tel que :

$$0,15 \leq \beta \leq 0,45 .$$

Le débit volume Q ainsi mesuré varie dans la large gamme :

$$1,0667 \text{ l/s} \leq Q \leq 30,2 \text{ l/s}$$

Tandis que la profondeur de déversement h_d est telle que :

$$3,936 \text{ cm} \leq h_d \leq 40,024 \text{ cm}$$

Les essais que nous avons effectués nous ont permis d'obtenir un échantillon de 152 couples de valeurs (Q, h_d) et sur lesquels s'est reposée l'interprétation de nos résultats.

Le tableau 3.10 indique la gamme utilisée des débits volumes Q ainsi que celle des profondeurs mesurées h_d pour chacun des dispositifs testés.

Tableau 3.10: Gamme des débits et des profondeurs utilisées pour chaque dispositif testé.

<i>Dispositif</i>	<i>Nombre de mesures</i>	<i>Gamme des débits</i>	<i>Gamme des profondeurs</i>
$\beta = 0,15$	18	$1,80 \text{ l/s} \leq Q \leq 14,48 \text{ l/s}$	$9,488 \text{ cm} \leq h_d \leq 36,356 \text{ cm}$
$\beta = 0,181$	19	$2,50 \text{ l/s} \leq Q \leq 19,42 \text{ l/s}$	$10,308 \text{ cm} \leq h_d \leq 40,024 \text{ cm}$
$\beta = 0,201$	19	$2,3 \text{ l/s} \leq Q \leq 17,63 \text{ l/s}$	$9,032 \text{ cm} \leq h_d \leq 34,904 \text{ cm}$
$\beta = 0,253$	19	$1,77 \text{ l/s} \leq Q \leq 22,45 \text{ l/s}$	$6,368 \text{ cm} \leq h_d \leq 34,788 \text{ cm}$
$\beta = 0,30$	20	$1,076 \text{ l/s} \leq Q \leq 24,33 \text{ l/s}$	$4,052 \text{ cm} \leq h_d \leq 32,342 \text{ cm}$
$\beta = 0,35$	17	$1,57 \text{ l/s} \leq Q \leq 26,567 \text{ l/s}$	$4,65 \text{ cm} \leq h_d \leq 30,636 \text{ cm}$
$\beta = 0,40$	20	$1,70 \text{ l/s} \leq Q \leq 26,30 \text{ l/s}$	$4,454 \text{ cm} \leq h_d \leq 27,462 \text{ cm}$
$\beta = 0,45$	20	$1,63 \text{ l/s} \leq Q \leq 30,2 \text{ l/s}$	$3,936 \text{ cm} \leq h_d \leq 27,348 \text{ cm}$

III.7.2.1. La hauteur relative de déversement

Comme déjà mentionnée dans le chapitre précédant, le calcul de la hauteur relative h_d^* est possible en ayant recours à l'équation de quantité de mouvement, et elle est définie comme étant le rapport entre la hauteur de déversement h_d et la profondeur critique h_c dans la section de contrôle à l'intérieur du dispositif.

Les tableaux (11.a) à (11.f) donnent les valeurs des débits Q et des hauteurs déversées h_d mesurés, la hauteur relative h_d^* expérimentale et le rapport $h_{d\text{ th}}^* / h_{d\text{ exp}}^*$.

Tableau 3.11.a : Valeurs expérimentales de la hauteur relative
pour $\beta = 0.15$ avec $h_d^* \text{ thé} = 1,69578$

Paramètres mesurés Q et h_d

$Q(m^3/s)$	$Hd(m)$	h_d^*
0,00180	0,09488	1,71074
0,00223	0,10918	1,70490
0,00283	0,12814	1,70744
0,00332	0,14384	1,72559
0,00617	0,21296	1,68962
0,00667	0,22418	1,68856
0,00722	0,23694	1,69280
0,00783	0,24960	1,68839
0,00847	0,26368	1,69353
0,00907	0,27130	1,66432
0,00933	0,28024	1,68667
0,00973	0,28798	1,68544
0,01012	0,29580	1,68719
0,01088	0,31040	1,68631
0,01123	0,31760	1,68974
0,01240	0,33646	1,67563
0,01300	0,34866	1,68254
0,01408	0,36356	1,66354

Il en ressort du tableau 3.11 que la hauteur relative oscille autour d'une valeur moyenne de 1.69016 ç à dire que la hauteur relative ne varie pas avec l'augmentation du débit et de la hauteur déversée h_d .

Comme nous allons le constater dans les tableaux suivant la valeur moyenne de h_d^* varie uniquement en fonction du paramètre β .

Tableau 3.11.b : Valeurs expérimentales de la hauteur relative

pour $\beta = 0.181$ avec $h_{d \text{ thé}}^* = 1,68363$ et

Paramètres mesurés Q et h_d

$Q(m^3/s)$	$Hd(m)$	$h_{d \text{ exp}}^*$
0,00250	0,10308	1,69026
0,00343	0,12782	1,69750
0,00550	0,17412	1,68790
0,00632	0,18910	1,67150
0,00740	0,21176	1,68434
0,00833	0,22978	1,68852
0,00917	0,24418	1,68387
0,01028	0,26300	1,67986
0,01173	0,28358	1,65914
0,01230	0,29954	1,69795
0,01323	0,31112	1,67966
0,01422	0,32410	1,66809
0,01473	0,33248	1,67123
0,01563	0,34468	1,66539
0,01610	0,35550	1,68408
0,01702	0,36822	1,68112
0,01773	0,37778	1,67798
0,01862	0,39068	1,67974
0,01942	0,40024	1,67344

Comme pour le tableau précédant la valeur de h_d^* n'est affectée aucunement par l'augmentation du débit Q et de la hauteur déverée h_d et la valeur moyenne est de 1,68008.

Le rapport $h_{d \text{ exp}}^* / h_{d \text{ thé}}^*$ est presque égale à l'unité.

Tableau 3.11.c : Valeurs expérimentales de la hauteur relative
pour $\beta = 0,201$ avec $h_d^*_{thé} = 1,67567$

Paramètres mesurés Q et h_d

$Q(m^3/s)$	$Hd(m)$	$h_d^*_{exp}$
0,00230	0,09032	1,68173
0,00297	0,10608	1,66691
0,00365	0,12098	1,65568
0,00447	0,13880	1,66032
0,00607	0,17026	1,66062
0,00698	0,18938	1,68171
0,00820	0,20998	1,67530
0,00885	0,22054	1,67231
0,00938	0,23028	1,67935
0,01025	0,24366	1,67530
0,01100	0,25528	1,67448
0,01203	0,27118	1,67542
0,01245	0,27700	1,67298
0,01357	0,29298	1,67101
0,01400	0,29890	1,66942
0,01518	0,31676	1,67601
0,01592	0,32648	1,67396
0,01682	0,33788	1,67004
0,01763	0,34904	1,67151

Tableau 3.11.d : Valeurs expérimentales de la hauteur relative
pour $\beta = 0,253$ avec $h_d^*_{thé} = 1,65445$

Paramètres mesurés Q et h_d

$Q(m^3/s)$	$Hd(m)$	$h_d^*_{exp}$
0,00177	0,06368	1,64416
0,00245	0,08072	1,67590
0,00618	0,14862	1,66459
0,00725	0,16596	1,67169
0,00830	0,17988	1,65567
0,00923	0,19338	1,65787
0,01033	0,20888	1,66130
0,01127	0,22050	1,65547
0,01230	0,23338	1,65261
0,01343	0,24718	1,65045
0,01435	0,25958	1,65862
0,01547	0,27230	1,65511
0,01637	0,28146	1,64748
0,01770	0,29648	1,64712
0,01915	0,31254	1,64754
0,01992	0,32138	1,65038
0,02103	0,33264	1,64720
0,02167	0,33948	1,64815
0,02245	0,34788	1,64941

Tableau 3.11.e : Valeurs expérimentales de la hauteur relative
pour $\beta = 0,30$ avec $h_d^* \text{ thé} = 1,63458$

Paramètres mesurés Q et h_d

$Q(m^3/s)$	$Hd(m)$	$h_d^* \text{ exp}$
0,00107	0,04052	1,64385
0,00137	0,04708	1,61910
0,00202	0,06110	1,62118
0,00310	0,08124	1,61835
0,00365	0,09162	1,63684
0,00463	0,10630	1,61988
0,00583	0,12388	1,61908
0,00705	0,14090	1,62304
0,00823	0,15652	1,62579
0,00930	0,16980	1,62615
0,01042	0,18268	1,62212
0,01130	0,19372	1,62930
0,01268	0,20810	1,62055
0,01345	0,21730	1,62726
0,01548	0,23802	1,62274
0,01648	0,24868	1,62613
0,01808	0,26364	1,62070
0,01898	0,27352	1,62787
0,02233	0,30536	1,63075
0,02433	0,32342	1,63121

Tableau 3.11.f : Valeurs expérimentales de la hauteur relative
pour $\beta = 0,35$ avec $h_d^* \text{ thé} = 1,61266$

Paramètres mesurés Q et h_d

$Q(m^3/s)$	$Hd(m)$	$h_d^* \text{ exp}$
0,00157	0,04650	1,60127
0,00253	0,06436	1,57728
0,00653	0,12058	1,61111
0,00872	0,14596	1,59027
0,00967	0,15718	1,60326
0,01062	0,16664	1,58340
0,01263	0,18746	1,59632
0,01375	0,19718	1,59403
0,01477	0,20738	1,59549
0,01582	0,21702	1,59768
0,01673	0,22504	1,59674
0,01780	0,23590	1,59539
0,02078	0,25880	1,59335
0,02333	0,27990	1,57969
0,02453	0,29022	1,58913
0,02562	0,29878	1,57901
0,02657	0,30636	1,59206

Tableau 3.11.g : Valeurs expérimentales de la hauteur relative

pour $\beta = 0,40$ avec $h_d^* \text{ thé} = 1,58982$

Paramètres mesurés Q et h_d

$Q(m^3/s)$	$hd(m)$	$h_d^* \text{ exp}$
0,00170	0,04454	1,60127
0,00237	0,05470	1,57728
0,00290	0,06398	1,61111
0,00425	0,08148	1,59027
0,00508	0,09256	1,60326
0,00627	0,10510	1,58340
0,00812	0,12590	1,59632
0,00938	0,13848	1,59403
0,01047	0,14908	1,59549
0,01182	0,16186	1,59768
0,01332	0,17518	1,59674
0,01543	0,19312	1,59539
0,01665	0,20288	1,59335
0,01833	0,21448	1,57969
0,01950	0,22482	1,58913
0,02133	0,23718	1,57901
0,02250	0,24778	1,59206
0,02352	0,25628	1,59886
0,02495	0,26498	1,58920
0,02630	0,27462	1,59016

Tableau 3.11.h : Valeurs expérimentales de la hauteur relative

pour $\beta = 0,45$ avec $h_d^* \text{ thé} = 1,56594$

Paramètres mesurés Q et h_d

$Q(m^3/s)$	$hd(m)$	$h_d^* \text{ exp}$
0,00163	0,03936	1,57714
0,00247	0,05146	1,56435
0,00308	0,05960	1,56137
0,00407	0,07072	1,53964
0,00598	0,09278	1,56230
0,00702	0,10254	1,55218
0,00823	0,11516	1,56744
0,00945	0,12562	1,55971
0,01050	0,13470	1,55900
0,01173	0,14576	1,56662
0,01302	0,15578	1,56237
0,01473	0,16892	1,55986
0,01582	0,17724	1,56108
0,01735	0,18958	1,56988
0,01927	0,20138	1,55507
0,02067	0,21206	1,56273
0,02168	0,21810	1,55660
0,02322	0,22762	1,55221
0,02518	0,24204	1,56345
0,03020	0,27348	1,56504

Au regard des résultats présentés dans les tableaux (3.11.a) à (3.11.h), nous pouvons confirmer que la hauteur relative de déversement dépend exclusivement de paramètre géométrique $\beta=b/B$, elle ne subit aucune variation lorsque le débit et la hauteur déversée augmente.

Le tableau (3.12) comporte l'ensemble des valeurs de la hauteur relative moyennes expérimentales et théoriques correspondant à chaque valeur de β

Tableau 3.12 : Valeur moyenne de la hauteur relative pour les divers valeur de β testés

β	$h_d^*_{exp}$	$h_d^*_{th}$
0,15	1,69016	1,6797
0,181	1,68008	1,66823
0,201	1,67179	1,6607
0,253	1,65478	1,6406
0,30	1,62559	1,62174
0,35	1,61533	1,60085
0,40	1,59269	1,57904
0,45	1,5609	1,55617

Toute en considérant les résultats consignés dans le tableau (3.12), nous avons représenté dans la figure (3.7) la variation de la hauteur relative moyenne en fonction de β nous avons présenté la courbe théorique et les points expérimentaux. Les valeurs moyennes de la hauteur relative se disposant au-dessus de la courbe théorique et forme une courbe unique montrant la dépendance de la hauteur relative vis-à-vis de β .

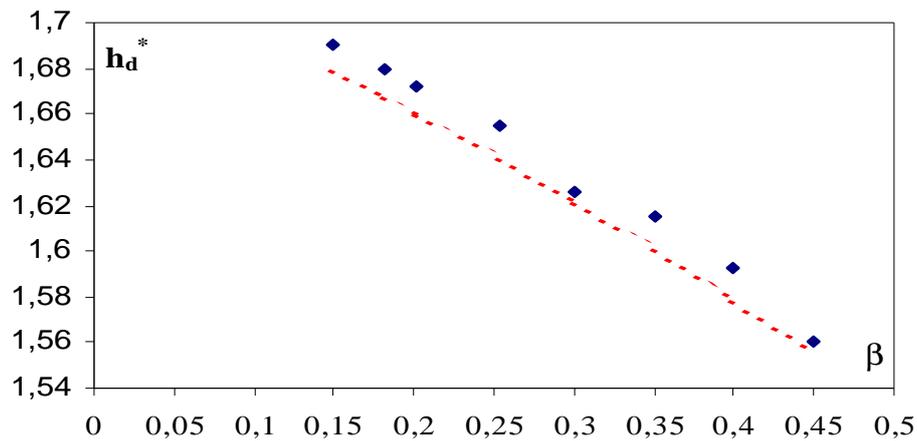


Figure 3.7 : Graphique présentant la variation de h_d^* en fonction de β courbe théorique et points expérimentaux.

III.3.2. La charge totale relative

En entend par charge relative totale, la charge totale H_d porté à la hauteur critique h_c de l'écoulement à l'intérieur du dispositif.

La charge totale est donnée comme étant la somme de l'énergie cinétique représenté par le

terme $\frac{V^2}{2g}$ et de l'énergie potentiel donnée par le terme $Z + \frac{P}{\rho g}$ ce dernier est facilement

déterminé par une simple mesure de la profondeur h_d de l'écoulement, par contre le second est déterminé par mesurage du débit.

Dans les tableaux de (3.13.a) à (3.13.h) nous avons regroupé les valeurs de la charge relative totale correspondant à chaque valeur de β mesuré.

Tableau 3.13.a : Valeurs expérimentales de la charge relative

pour $\beta = 0.15$ avec

$$H_d^* \text{ thé} = 1,69555$$

$Q(m^3/s)$	$Hd(m)$	$H_d^* \text{ exp}$
0,00180	0,09488	1,71459
0,00223	0,10918	1,70878
0,00283	0,12814	1,71130
0,00332	0,14384	1,72937
0,00617	0,21296	1,69357
0,00667	0,22418	1,69251
0,00722	0,23694	1,69673
0,00783	0,24960	1,69234
0,00847	0,26368	1,69746
0,00907	0,27130	1,66839
0,00933	0,28024	1,69063
0,00973	0,28798	1,68941
0,01012	0,29580	1,69115
0,01088	0,31040	1,69028
0,01123	0,31760	1,69368
0,01240	0,33646	1,67964
0,01300	0,34866	1,68652
0,01408	0,36356	1,66761

Comme pour la hauteur déversée relative la charge relative totale ne varie nullement avec l'augmentation de débit et de la hauteur déversée et elle oscille autour d'une moyenne de 1.694 qui est proche de la valeur théorique.

Tableau 3.13.b : Valeurs expérimentales de la charge relative
pour $\beta = 0.181$ avec $H_{d \text{ thé}}^* = 1,68681$

$Q(m^3/s)$	$Hd(m)$	$H_{d \text{ exp}}^*$
0,00250	0,10308	1,69599
0,00343	0,12782	1,70318
0,00550	0,17412	1,69364
0,00632	0,18910	1,67736
0,00740	0,21176	1,69011
0,00833	0,22978	1,69426
0,00917	0,24418	1,68964
0,01028	0,26300	1,68566
0,01173	0,28358	1,66509
0,01230	0,29954	1,70363
0,01323	0,31112	1,68546
0,01422	0,32410	1,67397
0,01473	0,33248	1,67709
0,01563	0,34468	1,67129
0,01610	0,35550	1,68985
0,01702	0,36822	1,68691
0,01773	0,37778	1,68379
0,01862	0,39068	1,68554
0,01942	0,40024	1,67929

Tableau 3.13.c : Valeurs expérimentales de la charge relative
pour $\beta = 0,201$ avec $H_{d \text{ thé}}^* = 1,68021$

$Q(m^3/s)$	$hd(m)$	$H_{d \text{ exp}}^*$
0,00230	0,09032	1,68890
0,00297	0,10608	1,67421
0,00365	0,12098	1,66307
0,00447	0,13880	1,66767
0,00607	0,17026	1,66797
0,00698	0,18938	1,68887
0,00820	0,20998	1,68253
0,00885	0,22054	1,67956
0,00938	0,23028	1,68654
0,01025	0,24366	1,68252
0,01100	0,25528	1,68171
0,01203	0,27118	1,68265
0,01245	0,27700	1,68023
0,01357	0,29298	1,67828
0,01400	0,29890	1,67669
0,01518	0,31676	1,68323
0,01592	0,32648	1,68120
0,01682	0,33788	1,67731
0,01763	0,34904	1,67877

Tableau 3.13.d : Valeurs expérimentales de la charge relative
pour $\beta = 0,253$ avec $H_{d \text{ thé}}^* = 1,66338$

$Q(m^3/s)$	$h_d(m)$	$H_{d \text{ exp}}^*$
0,00177	0,06368	1,65596
0,00245	0,08072	1,68725
0,00618	0,14862	1,67610
0,00725	0,16596	1,68310
0,00830	0,17988	1,66731
0,00923	0,19338	1,66947
0,01033	0,20888	1,67285
0,01127	0,22050	1,66711
0,01230	0,23338	1,66429
0,01343	0,24718	1,66216
0,01435	0,25958	1,67022
0,01547	0,27230	1,66675
0,01637	0,28146	1,65923
0,01770	0,29648	1,65887
0,01915	0,31254	1,65929
0,01992	0,32138	1,66209
0,02103	0,33264	1,65896
0,02167	0,33948	1,65989
0,02245	0,34788	1,66114

Tableau 3.13.e : Valeurs expérimentales de la charge relative
pour $\beta = 0,30$ avec $H_{d \text{ thé}}^* = 1,64857$

$Q(m^3/s)$	$hd(m)$	$H_{d \text{ exp}}^*$
0,00107	0,04052	1,66054
0,00137	0,04708	1,63630
0,00202	0,06110	1,63834
0,00310	0,08124	1,63557
0,00365	0,09162	1,65367
0,00463	0,10630	1,63707
0,00583	0,12388	1,63628
0,00705	0,14090	1,64016
0,00823	0,15652	1,64285
0,00930	0,16980	1,64321
0,01042	0,18268	1,63926
0,01130	0,19372	1,64629
0,01268	0,20810	1,63772
0,01345	0,21730	1,64429
0,01548	0,23802	1,63987
0,01648	0,24868	1,64319
0,01808	0,26364	1,63788
0,01898	0,27352	1,64489
0,02233	0,30536	1,64771
0,02433	0,32342	1,64816

Tableau 3.13.f : Valeurs expérimentales de la charge relative
pour $\beta = 0,35$ avec $H_d^*_{thé} = 1,63327$

$Q(m^3/s)$	$Hd(m)$	$H_d^*_{exp}$
0,00157	0,04650	1,63967
0,00253	0,06436	1,64699
0,00653	0,12058	1,64106
0,00872	0,14596	1,63918
0,00967	0,15718	1,64720
0,01062	0,16664	1,64082
0,01263	0,18746	1,64363
0,01375	0,19718	1,63435
0,01477	0,20738	1,63886
0,01582	0,21702	1,63830
0,01673	0,22504	1,63631
0,01780	0,23590	1,64563
0,02078	0,25880	1,62894
0,02333	0,27990	1,63084
0,02453	0,29022	1,63518
0,02562	0,29878	1,63559
0,02657	0,30636	1,63680

Tableau 3.13.g : Valeurs expérimentales de la charge relative
pour $\beta = 0,40$ avec $H_d^*_{thé} = 1,61846$

$Q(m^3/s)$	$hd(m)$	$H_d^*_{exp}$
0,00170	0,04454	1,63236
0,00237	0,05470	1,60933
0,00290	0,06398	1,64183
0,00425	0,08148	1,62180
0,00508	0,09256	1,63428
0,00627	0,10510	1,61520
0,00812	0,12590	1,62761
0,00938	0,13848	1,62540
0,01047	0,14908	1,62681
0,01182	0,16186	1,62891
0,01332	0,17518	1,62801
0,01543	0,19312	1,62672
0,01665	0,20288	1,62475
0,01833	0,21448	1,61164
0,01950	0,22482	1,62070
0,02133	0,23718	1,61099
0,02250	0,24778	1,62351
0,02352	0,25628	1,63005
0,02495	0,26498	1,62077
0,02630	0,27462	1,62169

Tableau 3.13.h : Valeurs expérimentales de la charge relative
pour $\beta = 0,45$ avec $H_d^*_{thé} = 1,60417$

$Q(m^3/s)$	$H_d(m)$	$H_d^*_{exp}$
0,00163	0,03936	1,61793
0,00247	0,05146	1,60582
0,00308	0,05960	1,60299
0,00407	0,07072	1,58245
0,00598	0,09278	1,60388
0,00702	0,10254	1,59430
0,00823	0,11516	1,60874
0,00945	0,12562	1,60142
0,01050	0,13470	1,60076
0,01173	0,14576	1,60797
0,01302	0,15578	1,60394
0,01473	0,16892	1,60157
0,01582	0,17724	1,60272
0,01735	0,18958	1,61105
0,01927	0,20138	1,59704
0,02067	0,21206	1,60428
0,02168	0,21810	1,59848
0,02322	0,22762	1,59433
0,02518	0,24204	1,60497
0,03020	0,27348	1,60648

Au regard des résultats consignés dans les tableaux (3.13.a) à (3.13.h) nous pouvons constater que pour chaque valeur de β correspond une seule et unique valeur de la charge relative.

Dans le tableau (3.14) nous avons regroupé les valeurs moyennes de la charge relative totale expérimentales et théoriques pour chaque valeur de β . Au tableau (3.14) est associé la figure(3.8) qui représente la variation de la charge relative en fonction du paramètre β .

Tableau 3.14. Valeur moyenne le la charge relative totale
pour les différentes valeurs de β testés

β	$H_d^*_{exp}$	$H_d^*_{th}$
0,15	1,69411	1,68369
0,181	1,68588	1,67412
0,201	1,67905	1,66803
0,253	1,66642	1,65249
0,30	1,64266	1,63885
0,35	1,63879	1,62475
0,40	1,62412	1,61112
0,45	1,60256	1,59798

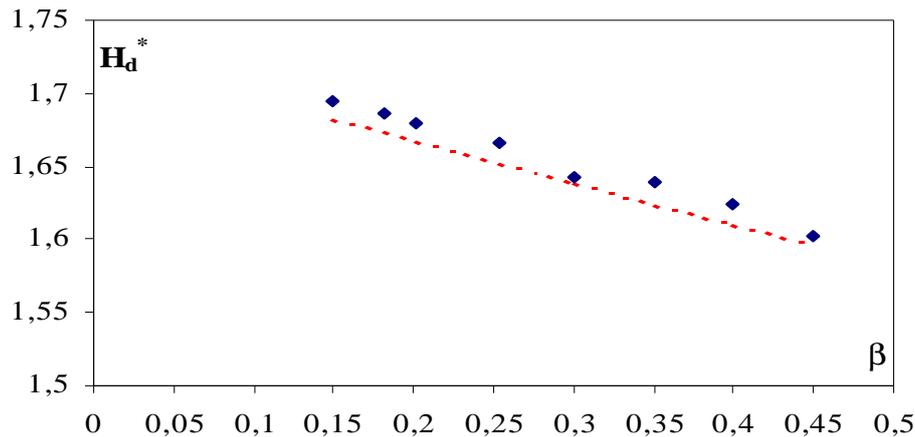


Figure 3.8 : Représentation graphique de la charge totale relative en fonction de β ,
courbe théorique et points expérimentaux

De même que pour celle de la hauteur relative déversé h_d^* , la courbe présentée ci-dessus montre clairement que le paramètre β est le seul paramètre dont dépend la relation de la charge relative totale H_d^* du faite que cette dernière ne variant nullement avec la variation du débit et de la hauteur déversée comme le montre le graphique ci-dessus, où les points expérimentaux se dispose au-dessus de la courbe théorique.

III.3.3. Le coefficient de débit

Au cours de la partie théorique nous avons pu démontrer que l'expression du débit était donnée en fonction de la charge totale, hors cette dernière n'est mesurable dans la pratique donc on la remplacée par la hauteur déversé, du faite que celle ci est aisément mesuré à partir d'une simple lecture de la profondeur h_d . C'est d'ailleurs pourquoi en fait recours à la notion du coefficient de débit. Ce dernier est définie comme étant un coefficient de correction des différentes erreurs.

Nous avons également précisé lors du développement théorique que le coefficient de débit pour le dispositif étudié dépend uniquement du taux de contraction $\beta = b/B$, et elle s'écrit sous la forme suivante :

$$\mu = \mu_o (1 + \mu_o^2 \beta^2)^{3/2}$$

Où μ_o est le coefficient de débit sans tenir compte de l'effet de la vitesse d'approche et il est donné par la relation suivante :

$$\mu_o = \frac{1}{\sqrt{2} h_d^{*3/2}}$$

h_d^* est la hauteur relative déversée donnée par la relation (2.19).

Tableau 3.15 valeurs moyennes du coefficient de débit μ_0 expérimentales et théorique

β	μ_{0th}	μ_{0exp}
0,15	0,32482	0,32185
0,181	0,32817	0,32473
0,201	0,33041	0,32713
0,253	0,33650	0,33220
0,30	0,34239	0,34118
0,35	0,34911	0,34443
0,40	0,35637	0,35181
0,45	0,36425	0,36261

Au regard des résultats consignés dans la tableau (3.15) nous pouvons constater que les écarts entre les valeurs moyennes du coefficient de débit théorique obtenu par l'application de la relation(2.26) et expérimentales sont de l'ordre de 1,36%. Au tableau (3.15) est associé la figure (3.9) présentant la variation du coefficient de débit μ_0 expérimentale en fonction de μ_0 théorique.

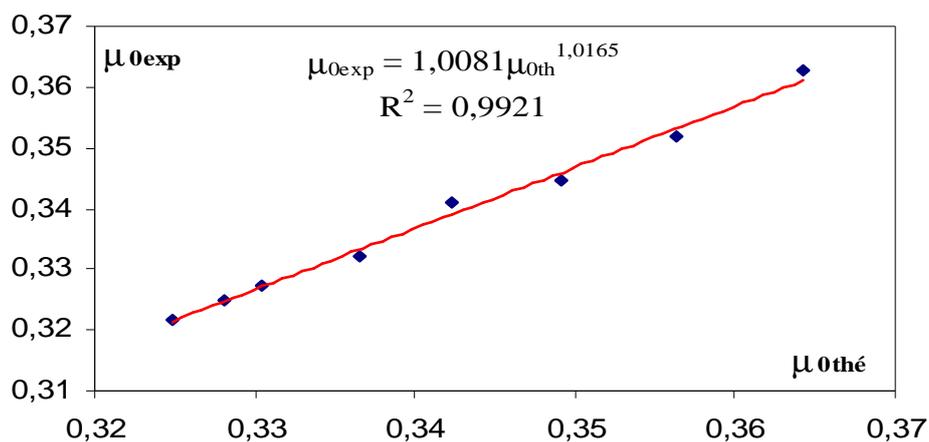


Figure 3.9 : graphique présentant la variation du coefficient de débit μ_0 expérimentale en fonction de μ_0 théorique.

De la figure (3.9) il en ressort que la variation de μ_0 expérimentale en fonction μ_0 est une courbe de type puissance, un ajustement avec la méthode des moindres carrés a permis d'écrire la relation suivante :

$$\mu_{0\text{exp}} = 1,0081\mu_{0\text{thé}}^{1,0165} \quad (3.9)$$

Avec : $R^2 = 0,9921$

Ce qui revient à écrire la relation du coefficient de débit μ_0 théorique qui s'écrit :

$$\mu_0 = \frac{1}{1,411h_d^{*1,525}} \quad (3.10)$$

En appliquant la relation(3.10) l'écart relatif entre la coefficient de débit μ_0 serai de l'ordre de 0,6%.

Tout les calculs du coefficient de débit μ seront effectués par l'application de la relation(3.10)

Les tableaux de (3.16.a) à (3.16.h) regroupe les valeur du coefficient de débit μ expérimentale et théorique ainsi que leur erreur relative.

Tableau 3.16.a. Valeurs expérimentales du coefficient de débit μ et l'erreur relative

pour $\beta = 0,15$ avec $\mu_{\text{thé}} = 0,32140$

Q(m ³ /s)	hd(m)	μ_{exp}	$ (1 - \mu_{\text{exp}}/\mu_{\text{thé}}) * 100\% $
0,00223	0,10918	0,31605	1,66415
0,00283	0,12814	0,31768	1,15812
0,00332	0,14384	0,31697	1,37832
0,00617	0,21296	0,31198	2,93069
0,00667	0,22418	0,32200	0,18575
0,00722	0,23694	0,32230	0,27998
0,00783	0,24960	0,32109	0,09613
0,00847	0,26368	0,32235	0,29520
0,00910	0,27130	0,32088	0,16100
0,00933	0,28024	0,32937	2,42020
0,00973	0,28798	0,32284	0,44708
0,01012	0,29580	0,32320	0,55629
0,01088	0,31040	0,32269	0,40089
0,01170	0,31760	0,32294	0,47867
0,01215	0,32708	0,32196	0,17554
0,01250	0,33646	0,32604	1,42369
0,01322	0,34866	0,32403	0,81298
0,01440	0,36356	0,32960	2,48893

Tableau 3.16.b. Valeurs expérimentales du coefficient de débit et l'erreur relative
pour $\beta = 0,181$ avec $\mu_{thé} = 0,32480$

$Q(m^3/s)$	$hd(m)$	μ_{exp}	$ (1-\mu_{exp}/\mu_{thé}) * 100\% $
0,0025	0,1031	0,32184	0,91237
0,0034	0,1278	0,31978	1,54556
0,0055	0,1741	0,32252	0,70410
0,0063	0,1891	0,32728	0,75609
0,0074	0,2118	0,32354	0,38878
0,0083	0,2298	0,32234	0,75883
0,0092	0,2442	0,32367	0,34735
0,0104	0,2630	0,32484	0,01008
0,0118	0,2836	0,33094	1,85530
0,0127	0,2995	0,31966	1,58480
0,0132	0,3111	0,32489	0,02783
0,0142	0,3241	0,32828	1,05942
0,0149	0,3325	0,32736	0,77982
0,0157	0,3447	0,32908	1,29977
0,0164	0,3555	0,32361	0,36568
0,0170	0,3682	0,32447	0,10204
0,0177	0,3778	0,32538	0,17849
0,0189	0,3907	0,32487	0,02104
0,0194	0,4002	0,32671	0,58291

Tableau 3.16.c. Valeurs expérimentales du coefficient de débit et l'erreur relative
pour $\beta = 0,201$ avec $\mu_{thé} = 0,32708$

$Q(m^3/s)$	$hd(m)$	μ_{exp}	$ (1-\mu_{exp}/\mu_{thé}) * 100\% $
0,00297	0,10608	0,32432	0,84388
0,00362	0,12098	0,32866	0,48030
0,00447	0,13880	0,33201	1,48527
0,00607	0,17026	0,33062	1,07047
0,00698	0,18938	0,33053	1,04353
0,00820	0,20998	0,32432	0,84167
0,00895	0,22054	0,32619	0,27211
0,00955	0,23028	0,32706	0,00394
0,01038	0,24366	0,32501	0,63323
0,01120	0,25528	0,32619	0,27198
0,01217	0,27118	0,32643	0,19841
0,01250	0,27700	0,32615	0,28302
0,01357	0,29298	0,32687	-0,06446
0,01400	0,29890	0,32745	0,11214
0,01533	0,31676	0,32792	0,25544
0,01600	0,32648	0,32598	0,33537
0,01682	0,33788	0,32658	0,15246
0,01763	0,34904	0,32773	0,19957

Tableau 3.16.d. Valeurs expérimentales du coefficient de débit et l'erreur relative pour $\beta = 0,253$ avec $\mu_{thé} = 0,33331$

Q(m³/s)	hd(m)	μ_{exp}	$(1-\mu_{exp}/\mu_{thé}) * 100\%$
0,00173	0,06368	0,33561	0,68414
0,00245	0,08072	0,32610	2,16284
0,00618	0,14862	0,32944	1,16204
0,00723	0,16596	0,32734	1,79240
0,00830	0,17988	0,33211	0,36156
0,00923	0,19338	0,33145	0,55961
0,01038	0,20888	0,33042	0,86788
0,01127	0,22050	0,33217	0,34345
0,01230	0,23338	0,33303	0,08402
0,01343	0,24718	0,33369	0,11291
0,01435	0,25958	0,33122	0,62751
0,01547	0,27230	0,33228	0,31064
0,01637	0,28146	0,33459	0,38245
0,01770	0,29648	0,33470	0,41576
0,01915	0,31254	0,33457	0,37674
0,01992	0,32138	0,33371	0,11857
0,02103	0,33264	0,33468	0,40800
0,02167	0,33948	0,33439	0,32168
0,02245	0,34788	0,33400	0,20695

Tableau 3.16.e Valeurs expérimentales du coefficient de débit et l'erreur relative pour $\beta = 0,30$ avec $\mu_{thé} = 0,33940$

Q(m³/s)	hd(m)	μ_{exp}	$(1-\mu_{exp}/\mu_{thé}) * 100\%$
0,00107	0,04052	0,33584	1,04795
0,00137	0,04708	0,34360	1,22191
0,00202	0,06110	0,34293	1,03105
0,00310	0,08124	0,34383	1,29009
0,00365	0,09162	0,33801	0,40989
0,00463	0,10630	0,34335	1,15017
0,00583	0,12388	0,34360	1,22353
0,00705	0,14090	0,34234	0,85951
0,00823	0,15652	0,34147	0,60688
0,00928	0,16980	0,34136	0,57370
0,01042	0,18268	0,34263	0,94413
0,01130	0,19372	0,34037	0,28397
0,01268	0,20810	0,34314	1,08887
0,01345	0,21730	0,34101	0,47173
0,01548	0,23802	0,34244	0,88737
0,01648	0,24868	0,34136	0,57538
0,01808	0,26364	0,34308	1,07430
0,01910	0,27352	0,34082	0,41566
0,02233	0,30536	0,33991	0,14996
0,02433	0,32342	0,33976	0,10762

Tableau 3.16.f : Valeurs expérimentales du coefficient de débit et l'erreur relative pour $\beta = 0,35$ avec $\mu_{thé} = 0,34642$

$Q(m^3/s)$	$hd(m)$	μ_{exp}	$(1-\mu_{exp}/\mu_{thé}) * 100\%$
0,00157	0,04650	0,34473	0,48786
0,00208	0,05458	0,34232	1,18304
0,00252	0,06436	0,34427	0,62028
0,00653	0,12058	0,34489	0,44121
0,00872	0,14596	0,34225	1,20305
0,00967	0,15718	0,34435	0,59787
0,01062	0,16664	0,34342	0,86538
0,01263	0,18746	0,34650	0,02278
0,01375	0,19718	0,34500	0,41067
0,01477	0,20738	0,34519	0,35691
0,01582	0,21702	0,34585	0,16586
0,01673	0,22504	0,34277	1,05493
0,01780	0,23590	0,34832	0,54455
0,02078	0,25880	0,34768	0,36103
0,02333	0,27990	0,34623	0,05657
0,02453	0,29022	0,34609	0,09594
0,02562	0,29878	0,34568	0,21297
0,02657	0,30636	0,34473	0,48786

Tableau 3.16.g. Valeurs expérimentales du coefficient de débit et l'erreur relative pour $\beta = 0,40$ avec $\mu_{thé} = 0,35412$

$Q(m^3/s)$	$hd(m)$	μ_{exp}	$(1-\mu_{exp}/\mu_{thé}) * 100\%$
0,00170	0,04454	0,34992	1,18529
0,00237	0,05470	0,35800	1,08478
0,00288	0,06398	0,34669	2,09664
0,00418	0,08148	0,35358	0,15013
0,00508	0,09256	0,34926	1,37092
0,00633	0,10510	0,35591	0,50335
0,00812	0,12590	0,35156	0,72186
0,00920	0,13848	0,35233	0,50555
0,01025	0,14908	0,35184	0,64342
0,01182	0,16186	0,35111	0,84933
0,01332	0,17518	0,35142	0,76112
0,01543	0,19312	0,35187	0,63430
0,01665	0,20288	0,35255	0,44112
0,01785	0,21448	0,35717	0,85596
0,01950	0,22482	0,35397	0,04115
0,02250	0,24778	0,35741	0,92050
0,02352	0,25628	0,35299	0,31906
0,02495	0,26498	0,35072	0,96021
0,02630	0,27462	0,35395	0,04841

Tableau 3.16.h Valeurs expérimentales du coefficient de débit et l'erreur relative pour $\beta = 0,45$ avec $\mu_{thé} = 0,36262$

$Q(m^3/s)$	$hd(m)$	μ_{exp}	$ 1 - \mu_{exp}/\mu_{thé} * 100\%$
0,00167	0,03936	0,35849	1,13730
0,00247	0,05146	0,36295	0,09219
0,00308	0,05960	0,36401	0,38332
0,00407	0,07072	0,37184	2,48164
0,00598	0,09278	0,36367	0,29218
0,00703	0,10254	0,36729	1,27165
0,00823	0,11516	0,36187	0,20674
0,00945	0,12562	0,36459	0,54560
0,01050	0,13470	0,36484	0,61464
0,01173	0,14576	0,36215	0,12744
0,01302	0,15578	0,36365	0,28530
0,01473	0,16892	0,36454	0,53054
0,01582	0,17724	0,36411	0,41171
0,01735	0,18958	0,36101	0,44208
0,01927	0,20138	0,36625	0,99137
0,02067	0,21206	0,36352	0,25023
0,02168	0,21810	0,36570	0,84354
0,02322	0,22762	0,36727	1,26867
0,02537	0,24204	0,36327	0,18016
0,03020	0,27348	0,36271	0,02517

Nous pouvons constater au regard des résultats présentés dans les tableaux (3.16.a) à (3.16.h) que le coefficient de débit prend une valeur moyenne pour chaque valeur de β . Les valeurs moyennes du coefficient pour chaque valeur de β ont été confrontées au valeur théorique issue de l'application de la relation(2.37). Dans le tableau(3.17) nous présentant les couples de valeurs μ_{exp} et $\mu_{thé}$ moyen ainsi que leur écart relatif en %.

Tableau 3.17 valeurs de μ_{exp} moyen et $\mu_{théorique}$ pour chaque valeur de β

β	μ_{exp} moyen	$\mu_{thé}$	$ E (\%) $
0,15	0,32189	0,32148	0,12737
0,181	0,32479	0,32489	0,03079
0,201	0,32723	0,32717	0,01834
0,253	0,3324	0,33342	0,30686
0,30	0,34154	0,33925	0,67049
0,35	0,34503	0,34655	0,44054
0,40	0,35279	0,35426	0,41668
0,45	0,36419	0,36271	0,40638

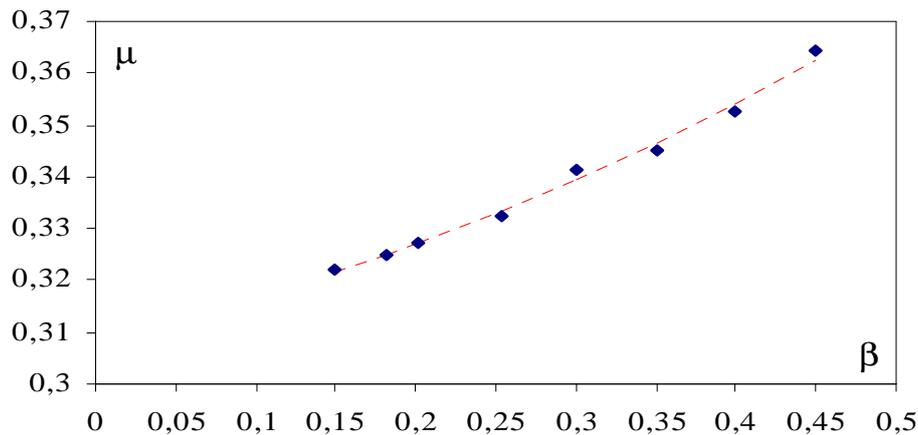


Figure3.10 : Graphique présentant la variation du coefficient de débit μ en fonction de β
courbe théorique et points expérimentaux

Nous avons présenté dans la figure (3.10) la variation du coefficient de débit expérimentale et théorique en fonction du paramètre β , celle-ci confirme la dépendance exclusive du coefficient de débit au paramètre β ce-ci se traduit par la disposition des points expérimentaux en une gamme de point oscillant autour d'une moyenne vis-à-vis de la courbe théorique et ils sont distinctifs pour chaque valeur de β testé. Au regard également de nos résultats nous pouvons conclure sur la validité de la relation (2.37) théorique avec une erreur très acceptable.

III.3.4. Le débit unitaire

Le débit unitaire est obtenue par le rapport de débit volume rapporté à la largeur de l'ouverture.

Il est donné lors du développement théorique par la relation (2.39) et il s'écrit sous la forme suivante :

$$q = \frac{Q}{b} = \mu_0 (1 + \mu_0^2 \beta^2)^{3/2} \sqrt{2g} h_d^{3/2}$$

Les tableaux de (3.18.a) à (3.18.h) donnent les valeur du débit unitaire calculé et mesuré ainsi que les valeurs de l'erreur relative.

Au tableau (3.18) est associée la figure (3.11) représentant la variation de $q_{b,th}$ en fonction $q_{b,exp}$, ce qui permet de mieux préciser leurs écarts. Toutes les courbes ont été ajustées selon

la méthode des moindres carrés linéaires et les coefficients de corrélation qui leurs correspondent ont été évalués et indiqués.

Tableau 3.18.a Valeurs de l'écart relatif du débit unitaire expérimentale et théorique donnée par la relation (2.39)
Pour $\beta = 0,15$

$q_{exp}=Q/b$	$Q_{thé}$	$ (1-q_{th}/q_{exp}) * 100 $
0,04091	0,04154	1,51939
0,05076	0,05128	1,01277
0,06439	0,06520	1,23323
0,07538	0,07754	2,78740
0,14015	0,13969	0,33187
0,15152	0,15087	0,42592
0,16402	0,16393	0,05049
0,17803	0,17724	0,44112
0,19242	0,19245	0,01452
0,20614	0,20085	2,56227
0,21212	0,21086	0,59273
0,22121	0,21966	0,70174
0,22992	0,22867	0,54662
0,24735	0,24580	0,62426
0,25523	0,25441	0,32168
0,28182	0,27740	1,56757
0,29545	0,29262	0,95796
0,32000	0,31158	2,63088

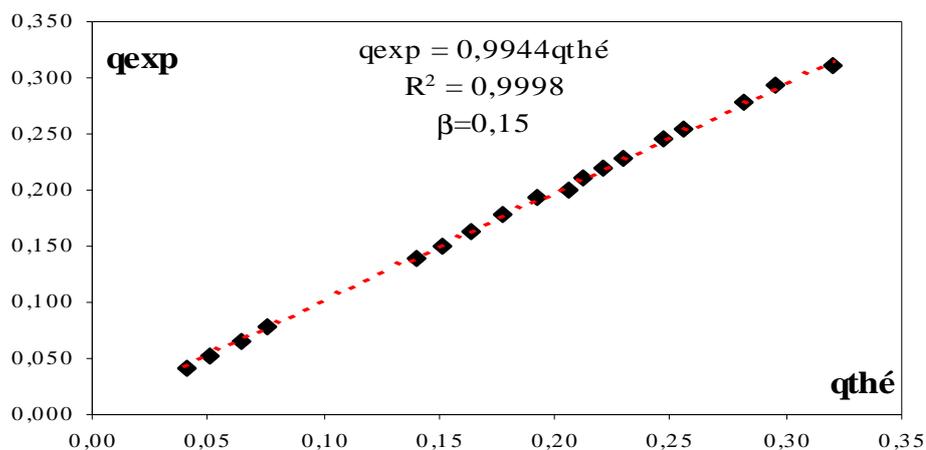


Figure 3.11.a : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,15$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.18.a.

Tableau 3.18.b Valeurs de l'écart relatif du débit unitaire expérimentale et théorique donnée par la relation (2.39)

Pour $\beta = 0,181$

$q_{exp}=Q/b$	$Q_{thé}$	$ (1-q_{th}/q_{exp}) * 100 $
0,04717	0,04756	0,81293
0,06472	0,06567	1,44638
0,10377	0,10440	0,60458
0,11918	0,11816	0,85458
0,13962	0,14003	0,28913
0,15723	0,15828	0,65933
0,17296	0,17339	0,24768
0,19403	0,19381	0,10977
0,22132	0,21700	1,95201
0,23208	0,23558	1,48564
0,24969	0,24937	0,12749
0,26824	0,26513	1,15742
0,27792	0,27548	0,87827
0,29491	0,29078	1,39738
0,30377	0,30458	0,26602
0,32107	0,32108	0,00228
0,33459	0,33366	0,27791
0,35132	0,35090	0,12072
0,36635	0,36385	0,68168

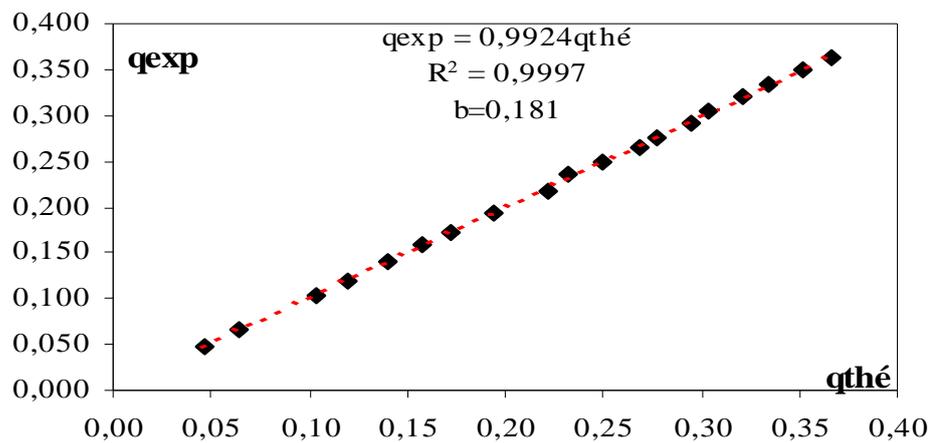


Figure 3.11.b : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b, pour $\beta = 0,181$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.18.b.

Tableau 3.18.c Valeurs de l'écart relatif du débit unitaire expérimentale et théorique donnée par la relation (2.39)

Pour $\beta = 0,201$

$q_{exp}=Q/b$	$q_{thé}$	$ (1-q_{th}/q_{exp}) * 100 $
0,03898	0,03929	0,77610
0,05028	0,05001	0,54717
0,06186	0,06091	1,55059
0,07571	0,07485	1,13643
0,10282	0,10168	1,10953
0,11836	0,11928	0,77389
0,13898	0,13927	0,20442
0,15000	0,14990	0,06367
0,15904	0,15994	0,56548
0,17373	0,17408	0,20429
0,18644	0,18668	0,13073
0,20395	0,20439	0,21533
0,21102	0,21101	0,00324
0,22994	0,22953	0,17957
0,23729	0,23652	0,32265
0,25734	0,25804	0,26766
0,26977	0,27000	0,08479
0,28503	0,28427	0,26687
0,29887	0,29847	0,13484

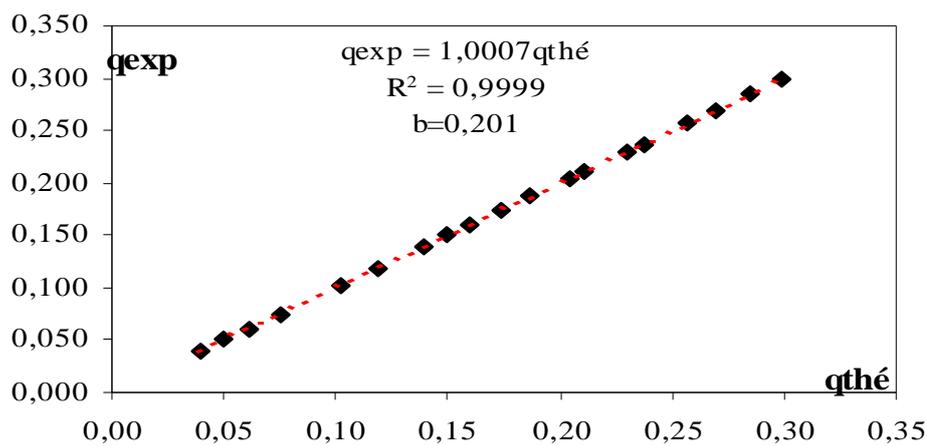


Figure 3.11.c : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,201$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.18.c.

Tableau 3.18.d Valeurs de l'écart relatif du débit unitaire expérimentale et théorique donnée par la relation (2.39)

Pour $\beta=0,253$

$q_{exp}=Q/b$	$q_{thé}$	$ (1-q_{th}/q_{exp}) * 100 $
0,02387	0,02372	0,65774
0,03311	0,03385	2,18391
0,08356	0,08456	1,18504
0,09797	0,09978	1,81417
0,11216	0,11260	0,38616
0,12477	0,12551	0,58381
0,13964	0,14090	0,89146
0,15225	0,15281	0,36808
0,16622	0,16640	0,10918
0,18153	0,18137	0,08740
0,19392	0,19519	0,65158
0,20901	0,20971	0,33534
0,22117	0,22038	0,35653
0,23919	0,23826	0,38978
0,25878	0,25788	0,35083
0,26914	0,26889	0,09305
0,28423	0,28315	0,38203
0,29279	0,29193	0,29584
0,30338	0,30283	0,18130

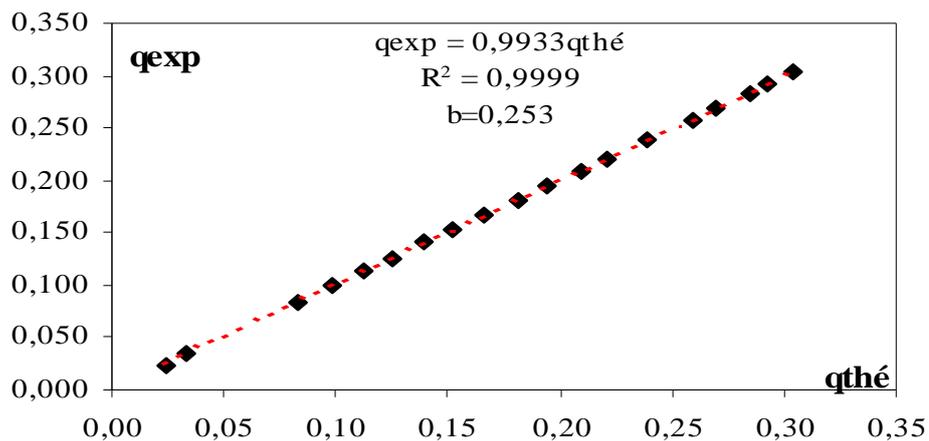


Figure 3.11.d : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,253$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.18.d.

Tableau 3.18.e Valeurs de l'écart relatif du débit unitaire expérimentale et théorique donnée par la relation (2.39)

Pour $\beta = 0,30$

$q_{exp}=Q/b$	$q_{thé}$	$ (1-q_{th}/q_{exp}) * 100 $
0,01212	0,01226	1,16825
0,01553	0,01536	1,09456
0,02292	0,02271	0,90408
0,03523	0,03482	1,16261
0,04148	0,04170	0,53293
0,05265	0,05211	1,02296
0,06629	0,06556	1,09617
0,08011	0,07953	0,73287
0,09356	0,09311	0,48074
0,10568	0,10521	0,44761
0,11837	0,11740	0,81732
0,12841	0,12821	0,15844
0,14413	0,14274	0,96178
0,15284	0,15231	0,34585
0,17595	0,17461	0,76067
0,18731	0,18647	0,44929
0,20549	0,20355	0,94724
0,21572	0,21509	0,28988
0,25379	0,25373	0,02469
0,27652	0,27656	0,01768

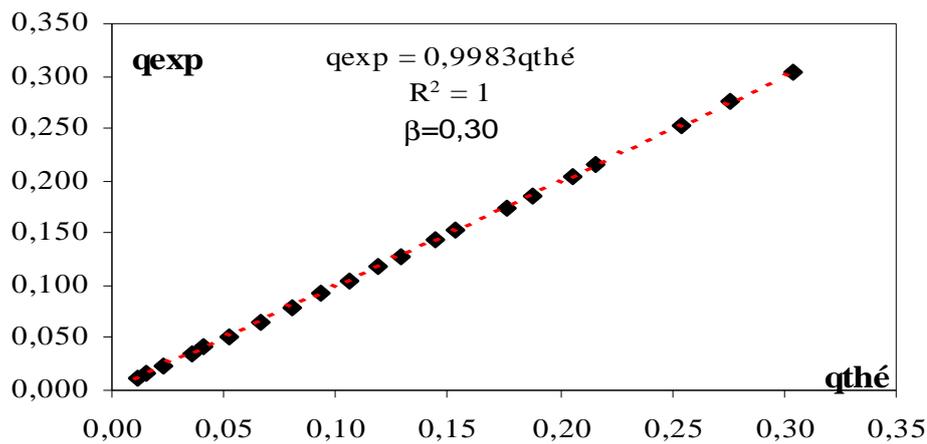


Figure 3.11.e : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,30$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.18.e.

Tableau 3.18.f Valeurs de l'écart relatif du débit unitaire expérimentale et théorique donnée par la relation (2.39)

Pour $\beta = 0,35$

$q_{exp}=Q/b$	$q_{thé}$	$ (1-q_{th}/q_{exp}) * 100 $
0,01528	0,01540	0,73688
0,02472	0,02507	1,42676
0,06374	0,06430	0,86828
0,08504	0,08563	0,69059
0,09431	0,09569	1,44661
0,10358	0,10446	0,84604
0,12325	0,12464	1,11150
0,13415	0,13446	0,23019
0,14407	0,14502	0,66028
0,15431	0,15525	0,60693
0,16325	0,16394	0,41736
0,17366	0,17595	1,29961
0,20276	0,20218	0,28960
0,22764	0,22740	0,10660
0,23935	0,24009	0,30892
0,24992	0,25079	0,34798
0,25919	0,26040	0,46410

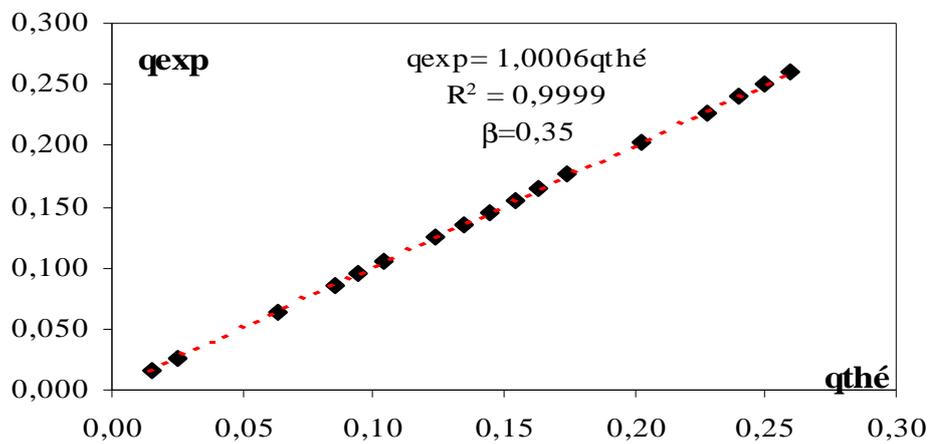


Figure 3.11.f : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,35$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.18.f.

Tableau 3.18.g Valeurs de l'écart relatif du débit unitaire expérimentale et théorique donnée par la relation (2.39)

Pour $\beta = 0,40$

$q_{exp}=Q/b$	$q_{thé}$	$ (1-q_{th}/q_{exp}) * 100 $
0,01453	0,01476	1,58193
0,02023	0,02009	0,66721
0,02479	0,02542	2,48243
0,03632	0,03653	0,55942
0,04345	0,04423	1,76533
0,05356	0,05351	0,08833
0,06937	0,07016	1,12412
0,08020	0,08094	0,91046
0,08946	0,09040	1,04664
0,10100	0,10228	1,25004
0,11382	0,11516	1,16290
0,13191	0,13329	1,03763
0,14231	0,14352	0,84683
0,15670	0,15601	0,43940
0,16667	0,16742	0,45179
0,18234	0,18142	0,50365
0,19231	0,19371	0,72626
0,20100	0,20377	1,35958
0,21325	0,21423	0,45897
0,22479	0,22603	0,54909

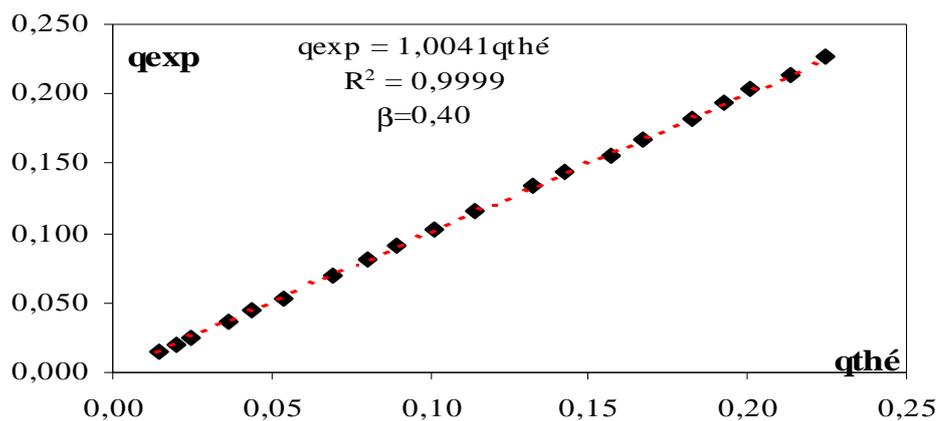


Figure 3.11.g : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,40$.

Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.18.g.

Tableau 3.18.h Valeurs de l'écart relatif du débit unitaire expérimentale et théorique donnée par la relation (2.39)

Pour $\beta = 0,45$

$q_{exp}=Q/b$	$Q_{thé}$	$ (1-q_{th}/q_{exp}) * 100 $
0,01235	0,01257	1,72607
0,01869	0,01878	0,51923
0,02336	0,02341	0,23357
0,03083	0,03026	1,85106
0,04533	0,04548	0,32299
0,05318	0,05284	0,64962
0,06237	0,06288	0,81259
0,07159	0,07164	0,07435
0,07955	0,07955	0,00662
0,08889	0,08955	0,73476
0,09861	0,09894	0,32974
0,11162	0,11172	0,08913
0,11982	0,12007	0,20571
0,13144	0,13283	1,04356
0,14596	0,14542	0,37127
0,15657	0,15714	0,36415
0,16427	0,16390	0,22445
0,17588	0,17475	0,64667
0,19078	0,19161	0,43290
0,22879	0,23013	0,58500

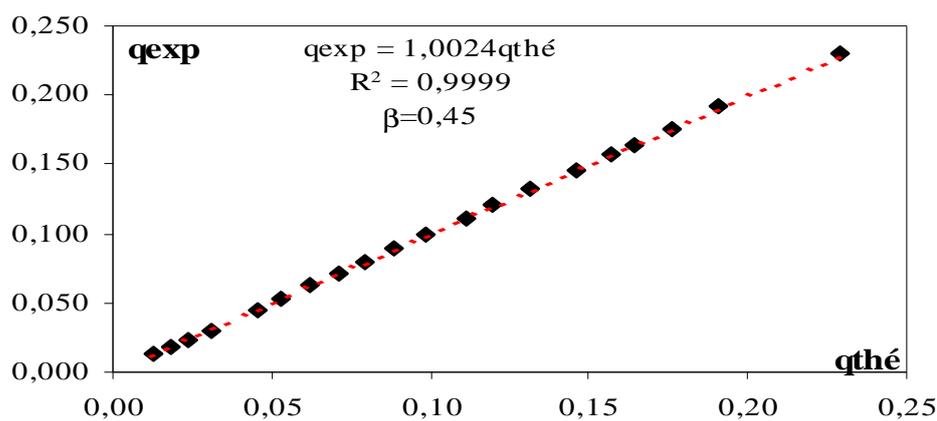


Figure 3.11.h : Variation expérimentale et théorique du débit unitaire Q/b , pour $\beta = 0,45$.
 Courbe tracée selon les valeurs du tableau 3.18.h.

Des tableau de (3.18.a) à (3.18.h) et des figures (3.11.a) à (3.11.h) il en ressort que l'écart relatif calculé entre le débit unitaire théorique et expérimentale $q = Q/b$, s'écoulant par les dispositifs testés, sont très acceptables. Les figures (3.11.a) à (3.11.h) indiquent clairement que les débits unitaires expérimentaux et calculés en application de la relation (2.39) suivent la première bissectrice, avec un coefficient de corrélation supérieur dans tous les cas à 0,9997, atteignant parfois des valeurs exceptionnelles de 1. Au regard de nos résultats, nous pouvons ainsi conclure à la fiabilité de la relation (2.39) qui permet, avec une excellente approximation, d'évaluer le débit unitaire s'écoulant par l'ouverture du dispositif que nous avons testé.

III.8. ETUDE COMPARATIVE

Notre étude s'est intéressée à l'étude et l'expérimentation de deux catégories de dispositifs de mesure de débit dans les canaux ouverts caractérisés par leur mise en oeuvre aisée, présentant les mêmes caractéristiques géométriques, l'un est en mince paroi l'autre et à paroi épaisse, et testés dans les mêmes conditions d'expérimentation au laboratoire.

Le premier type de dispositif est constitué de deux parois verticales minces placées de part et d'autre des parois du canal d'amenée de forme rectangulaire de largeur B. Une échancrure de forme rectangulaire de largeur b apparaît entre les deux saillies du dispositif. Cette échancrure est dépourvue de hauteur de pelle.

La mise en place du dispositif dans le canal d'amenée engendre une réduction ou un rétrécissement de la section de celui-ci. Le rapport $\beta = b/B$ définit le taux de contraction de la section du canal à l'endroit de la mise en place du dispositif.

Le second type de dispositif présente les mêmes caractéristiques c à dire qu'il est formé par deux parois verticales disposées de part et d'autre du canal rectangulaire et créant une ouverture rectangulaire de largeur b entre les deux saillies engendrant un taux de réduction β et démunie également d'une hauteur de pelle, mais à l'encontre du dispositif en mince paroi la paroi du second dispositif est de nature épaisse du fait que le seuil s'étend sur une certaine longueur l du paroi du canal d'amenée et l'écoulement à l'intérieur du dispositif et assimilé à un écoulement dans un canal de longueur l et de largeur b.

Par un développement théorique nous avons pu donner la relation théorique du coefficient de débit pour le cas du dispositif à paroi épaisse, cette relation a été validée par la voie de l'expérimentation au laboratoire en testant une série de dispositif englobant une large gamme du taux de contraction β . Elle s'écrit telle que

$$\mu = \mu_o (1 + \mu_o^2 \beta^2)^{3/2}$$

En ce qui concerne le dispositif en mince paroi l'élaboration d'une relation exprimant le coefficient de débit n'a été possible qu'en ayant recours à la voie de l'expérimentation au laboratoire, une série de dispositif englobant une large gamme du taux de contraction β a fin de donner la relation expérimentale du coefficient de débit.

En fonction des résultats obtenue la relation du coefficient de débit s'écrit :

$$\mu = 0,5685 \beta (1 + 0,16496 \beta^{2,0716})^{3/2}$$

les deux relations exprimant le coefficient de débit montre clairement que pour les deux types de dispositif le coefficient de débit ne dépend que du taux de contraction $\beta=b/B$. Ce qui permet de tracer en fin le graphique ci-après, exprimant la variation du coefficient de débit du dispositif à paroi épaisse en fonction de celui en mince paroi.

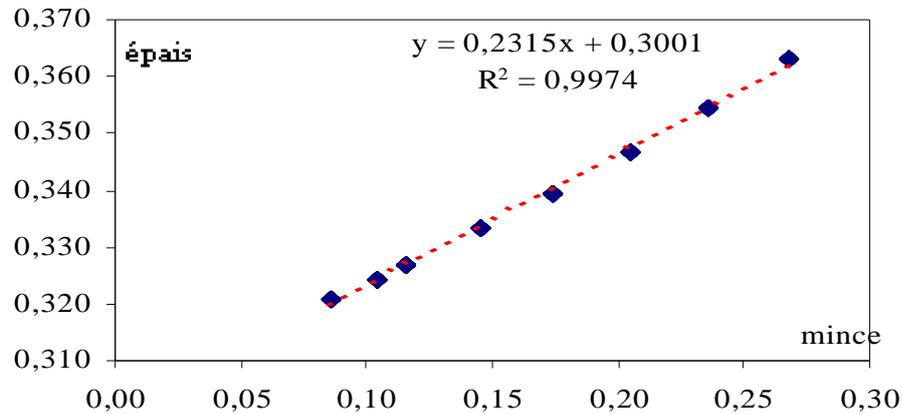


Figure 12 : Variation du coefficient de débit du dispositif à paroi épaisse en fonction de celui en mince paroi

La figure ci-dessus montre que la variation suit une droite unique. Par ajustement avec la méthode des moindres carrés linéaire avec un coefficient de corrélation de $R^2 = 0,9974$ et la relation s'écrit :

$$C_{d\text{épais}} = 0,2315C_{d\text{mince}} + 0,3001 \quad (3.11)$$

$$R^2 = 0,9974$$

CONCLUSION GENERALE

Le présent mémoire a eu pour principal objectif l'étude théorique et expérimentale de deux types de dispositif de mesure de débit dans les canaux ouverts.

Les dispositifs présentent la même échancrure de forme rectangulaire, l'un est en mince paroi et l'autre est à paroi épaisse caractérisés par une hauteur de pelle nulle. Les dispositifs entraînent une contraction latérale de l'écoulement lorsqu'ils sont placés dans un canal.

L'objectif visé par ce travail est l'établissement de l'expression de la loi *hauteur-débit* ainsi que celle du coefficient de débit de ces dispositifs.

Pour mieux mener notre étude, nous avons présenté notre travail en trois principaux chapitres. Au cours du premier chapitre, nous avons tenté de rappeler l'essentiel des connaissances sur les travaux antérieurs effectués dans le domaine de la débitmétrie dans les canaux ouverts. Nous nous sommes intéressés exclusivement aux appareils utilisant le libre déversement, et dont le fonctionnement repose sur une contraction verticale de l'écoulement ou sur la combinaison d'une contraction à la fois verticale et horizontale de l'écoulement. Les déversoirs sont dotés, dans leur ensemble, d'une hauteur de pelle qui provoque une contraction verticale de l'écoulement lorsque le dispositif est démuné d'une contraction latérale de sa géométrie. Par contre, pour ceux dotés d'une hauteur de pelle et d'une contraction latérale, l'écoulement qui les franchit subit à la fois les contractions verticale et horizontale. Ces dispositifs sont conçus sous forme d'une paroi mince verticale, dont la partie supérieure se présente sous l'aspect d'une échancrure de forme généralement rectangulaire, triangulaire, circulaire ou trapézoïdale. Nous avons indiqué l'expression du débit unitaire écoulé par le canal de forme rectangulaire dans lequel ces dispositifs sont insérés. Pour le cas des dispositifs constitués d'échancrure rectangulaire, avec ou sans contraction latérale, la relation hauteur – débit est :

$$q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} h_d^{3/2}$$

$q = Q/B$ désigne le débit unitaire écoulé par le canal rectangulaire de largeur B , Q est le débit volume, h_d est la hauteur de déversement et g représente l'accélération de la pesanteur. Le coefficient μ désigne le coefficient de débit et son évaluation n'a été possible que grâce aux essais au laboratoire. Pour un même dispositif, le coefficient de débit μ peut répondre aux diverses formules, selon l'auteur. C'est ainsi que, pour le cas du déversoir rectangulaire sans contraction latérale, nous avons regroupé dans le tableau (1.1) les principales expressions du coefficient de débit proposées par la bibliographie. Nous avons également indiqué plus

particulièrement, pour ce type de déversoir, la relation du débit unitaire proposée par Rehbock et qui semble être la mieux appréciée de nos jours.

Pour ce qui est des déversoirs en mince paroi muni d'une contraction latérale, nous avons mis en exergue l'expression du coefficient de débit μ proposée par SIA et qui semble être également la formule la plus répandue.

Pour les déversoirs utilisant une échancrure triangulaire, le débit volume Q qui s'y écoule est proportionnel à la puissance 5/2 de la profondeur déversée. C'est le cas notamment du déversoir triangulaire en mince paroi, répondant à la formule :

$$Q = \frac{8}{15} \mu \operatorname{tg}(\theta/2) \sqrt{2gh_d^5}$$

θ désigne l'angle d'ouverture de l'échancrure. Le coefficient de débit μ dépend exclusivement de la valeur de l'angle θ lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- $h_d/P \leq 0,40$
- $P/B \leq 0,20$

Où P est la hauteur de pelle du déversoir et B est la largeur du canal rectangulaire dans lequel il est inséré. Nous avons alors indiqué, dans le tableau (1.2), la valeur du coefficient de débit μ en fonction de la valeur de l'angle θ , tout en précisant la valeur minimale de $\mu_{\min} = 0,577$ atteinte pour $\theta = 70^\circ$. Pour le cas de $\theta = 90^\circ$, la variation de μ en fonction de h_d/P et P/B a été représentée sur la figure (1.6), selon les essais effectués par Bos.

D'autres types de déversoirs en mince paroi, qui ont été plus ou moins étudiés, sont indiqués et schématiquement décrits, et les relations du débit ainsi que du coefficient de débit sont mentionnées. Ces déversoirs concernent celui doté d'une échancrure trapézoïdale ainsi que celui de forme circulaire.

Nous avons poursuivi notre étude bibliographique par un rappel sur les dispositifs de mesure de débit dans les canaux ouverts, constitués d'un seuil épais ou large. Leur profil en long peut être de forme triangulaire ou rectangulaire. Nous avons alors présenté les déversoirs à paroi épaisse de type Bazin et de type Crump. Nous avons indiqué leurs caractéristiques géométriques et notamment les valeurs de leurs pente amont et aval. Les conditions de leur bon fonctionnement ont été également présentées, tout en insistant sur la nécessité de leur strict respect. Ce sont des dispositifs qui provoquent exclusivement une contraction verticale de l'écoulement en raison de leur hauteur de pelle. Ils sont par contre démunis de toute contraction latérale de leur géométrie; leur largeur correspond donc à celle du canal d'aménée rectangulaire dans lequel ils sont insérés.

En ce qui concerne le déversoir à seuil épais de type Bazin, l'expression du débit est de la forme :

$$Q=KBh_d^{3/2}$$

où le paramètre K peut être considéré comme un coefficient de débit, puisqu'il est lié à μ par la relation :

$$K=\mu\sqrt{2g}$$

La hauteur h_d ainsi que la largeur B du canal d'amenée sont en centimètres et le débit volume Q s'exprime alors en litres par seconde. Nous avons regroupé dans le tableau (1.6) les valeurs expérimentales du coefficient K, pour diverses valeurs des pentes amont et aval du dispositif ainsi que pour différentes valeurs de la hauteur déversée h_d .

Quant au déversoir à seuil épais à profil en long triangulaire de type Crump, nous avons indiqué que le débit volume Q répondait à la relation :

$$Q=C_e C_v \sqrt{g} B h_d^{3/2}$$

où C_e est un coefficient sans dimension et dont la valeur est de 0,626. Par contre, C_v désigne le coefficient de vitesse, dépendant de la largeur B du canal d'amenée, de la hauteur déversée h_d et de la hauteur de pelle P. La relation ci-dessus est applicable sous les conditions limites d'utilisation suivantes :

- Charge relative maximale : $h_d/P < 3$.
- Charge minimale h_d : $h_d > 8$ cm.

Le second chapitre de notre travail, a été consacré à l'exposé des différentes caractéristiques géométriques constituant les deux dispositifs étudiés.

Notre choix s'est donc porté sur :

- Un dispositif constitué de deux parois minces, formant deux saillies lorsqu'elles sont placées de part et d'autre des parois d'un canal rectangulaire. Selon la largeur de la saillie, une ouverture de forme rectangulaire plus ou moins large est obtenue perpendiculairement à l'axe longitudinal du canal d'amenée et sur toute la hauteur de celui-ci, et par laquelle s'écoule le débit à mesurer.
- Un dispositif constitué de deux parois épaisses, et présentant les mêmes caractéristiques de celui précédemment décrit.

Cette géométrie de dispositifs ne requiert aucune hauteur de pelle et l'écoulement la franchit sur toute la hauteur d'eau amont. L'absence d'une hauteur de pelle requiert également aux

dispositifs un caractère auto-dégradant, ne laissant s'accumuler aucun dépôt solide à proximité des parois des dispositifs.

La mise en place des dispositifs dans le canal d'amenée de forme rectangulaire de largeur B, provoque une contraction latérale de l'écoulement et dont le débit s'écoule à travers l'ouverture b située entre les deux parois. A l'endroit de la mise en place du dispositif, la section transversale du canal d'amenée subit un rétrécissement brusque caractérisé par le paramètre $\beta = b/B$.

Ce deuxième chapitre a englobé également notre approche théorique exprimant les l'expressions de la loi hauteur débit ainsi que celle du coefficient de débit tout en tenant compte l'ensemble des équations régissant l'écoulement d'amont en aval.

Pour ce qui est du dispositif en mince paroi, nous avons tenté d'établir une approche théorique, pouvant mener à l'expression du débit unitaire $q_B = Q/B$ s'écoulant dans le canal d'amenée paroi, tout en considérant l'ensemble des paramètres susceptibles d'influencer le coefficient de débit μ . Cette approche théorique a tenu compte notamment de l'effet d'approche de l'écoulement ainsi que de la caractéristique géométrique β . Notre approche théorique nous a permis alors d'écrire que :

$$q_B = Q/B = m_2 \beta \sqrt{2g} (1 + m_1^2)^{3/2} h_d^{3/2}$$

Comme tous les dispositifs constitués d'une section rectangulaire, le débit est proportionnel à la puissance 3/2 de la profondeur déversée h_d . En outre, le débit dépend également de la caractéristique géométrique β , ce qui lui confère le caractère de semi modularité.

Le développement théorique que nous avons proposé a montré que les paramètres m_1 et m_2 étaient liés, par leur rapport, à la charge relative H_d/h_d et au paramètre β . Nous avons établi en effet que :

$$m_1/m_2 = \beta (H_d/h_d)^{3/2}$$

Avec :

$$m_1 = \frac{Q/B}{\sqrt{2g} h_d^{3/2}}$$

$$m_2 = \frac{Q/b}{\sqrt{2g} H_d^{3/2}}$$

Le développement théorique n'a pas permis cependant d'estimer, quantitativement, les paramètres m_1 et m_2 . Ceci n'a été possible que par la voie de l'expérimentation au laboratoire.

Pour le dispositif a paroi épaisse, nous avons appliquée a partir d'un schéma de définition de l'écoulement et sous certaines hypothèses simplificatrices, l'équation de la quantité de mouvement entre une section amont du canal d'amenée rectangulaire et la section de contrôle à l'intérieur du dispositif, en tenant compte de force de réaction de la section amont du dispositif.

L'équation de quantité de mouvement a permis de conclure que la hauteur relative de déversement $h_d^* = h_d/h_c$ est fonction du seul paramètre adimensionnel $\beta = b/B$, où h_d est la profondeur de l'écoulement à l'amont du dispositif dans le canal d'amenée, b est la largeur de l'échancrure du dispositif et par la quelle s'écoule la débit à mesurer, h_c représente la profondeur de l'écoulement critique à l'intérieur du dispositif.

L'équation obtenue est du troisième degré vis-à-vis de la hauteur relative de déversement h_d^* , la résolution mathématique de cette dernière nous a permis de déterminer la variable recherchée, telle que :

$$h_d^* = 2 \cos(\alpha / 3) \text{ où } \cos(\alpha) = -\beta$$

La vitesse d'approche a été négligée, dans un premier temps, et le coefficient de débit a été déterminé par la combinaison de l'équation générale du débit des déversoirs à échancrure rectangulaire avec la condition de criticité, on a constaté que le coefficient de débit μ est fonction du seul paramètre β .

La relation du coefficient de débit était de la forme :

$$\mu_0 = \frac{1}{\sqrt{2} h_d^{*3/2}}$$

Dans un second temps, l'effet de la vitesse d'approche sur le coefficient d'écoulement a été quantifié à l'aide des relations exprimant le débit écoulé à travers le dispositif avec et sans tenir en compte de la vitesse d'approche de l'écoulement, dans lesquels on a introduit la relation de la charge totale relative de déversement H_d^* . On peut écrire :

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \beta^2 \mu_0^2\right)^{3/2}$$

L'expression du débit montre que l'appareil est de type semi-modulaire, dépendant des caractéristiques géométriques b, B et de la lame de déversement h_d .

La relation du débit ainsi établit est telle que :

$$Q = \left[\frac{1}{\sqrt{2} h_d^{*3/2}} \left(1 + \frac{\beta^2}{2 h_d^{*3}}\right)^{3/2} \right] b \sqrt{2g} h_d^{3/2}$$

Le troisième chapitre de notre étude a eu pour objectif l'étude et l'expérimentation du dispositif en mince paroi ainsi que l'estimation des paramètres m_1 et m_2 , aussi la validation de la relation du débit et du coefficient de débit ci-dessus indiquée pour le dispositif a seuil large.

Afin de conclure de façon fiable sur la validité des relations théoriques hauteur-débit, nous avons testé huit (08) dispositifs en mince paroi et (08) dispositif a paroi épaisse, correspondant à huit valeurs du paramètre géométrique β . La gamme choisie de β a englobé aussi bien les faibles valeurs que les valeurs plus élevées, et elle a été telle que $0,15 \leq \beta \leq 0,45$.

Pour le dispositif en mince paroi, nous avons regroupé dans le tableau (3.1) les gammes testées des débits volumes Q ainsi que celles des hauteurs déversées h_d .

L'objectif principal des essais effectués, sur les huit dispositifs choisis, a donc été d'estimer quantitativement les paramètres m_1 et m_2 , en vertu de leurs relations ci-dessus indiquées. Les débits volumes Q ont été évalués par un débitmètre à ultrasons, tandis que les hauteurs déversées h_d ont été mesurées à l'aide d'un limnimètre à vernier à double précision.

L'analyse des mesures expérimentales obtenues a permis de conclure d'une part que, quelque soit la valeur du paramètre géométrique β , m_2 est une constante telle que :

$$m_2 \approx 0,3794$$

et que, d'autre part, m_1/m_2 ne dépend que du paramètre géométrique β et répond à la relation :

$$m_1/m_2 = 1,0705 \beta^{1,0358}$$

Compte tenu de ces importants résultats, l'expression du débit unitaire s'écoulant par le canal d'amenée devient :

$$q_B = Q/B = 0,3794 \sqrt{2g} \beta (1 + 0,16496 \beta^{2,0716})^{3/2} h_d^{3/2}$$

En mettant la relation précédente sous la forme de celle des dispositifs usuels, soit

$q_B = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} h_d^{3/2}$, il vient que :

$$\mu = 0,5685 \beta (1 + 0,16496 \beta^{2,0716})^{3/2}$$

L'analyse statique des données expérimentales a clairement montré que les écarts relatifs, observés entre les coefficients de débit calculés et expérimentaux, sont du même ordre de grandeur que ceux induits par les erreurs systématiques de mesure débitmétrique et de lecture limnimétrique. Cette remarque permet enfin de conclure à la validité de la relation ci-dessus indiquée du coefficient de débit μ du dispositif étudié.

Pour le dispositif a seuil large, nous avons essayé par un procédé expérimental de valider les expressions de la loi hauteur débit et du coefficient de débit donnés lors du développement théorique.

Pour ce faire nous avons testé huit (08) dispositifs, correspondant également à huit valeurs du paramètre géométrique β et un seuil de largeur fixe $l=30cm$. La gamme choisie de β a été telle que $0,15 \leq \beta \leq 0,45$. Nous avons regroupé dans le tableau (3.9) les gammes testées des débits volumes Q ainsi que celles des hauteurs déversées h_d .

Le débit volume a été également mesuré à l'aide d'un débitmètre à ultrason et la profondeur déversée à l'aide d'un limnimètre à vernier à double précision.

L'analyse expérimentale des résultats nous a permis de corriger la relation du coefficient de débit μ_0 et elle à été tel que :

$$\mu_0 = \frac{1}{1,411 h_d^{1,525}}$$

L'ensemble des résultats obtenus et après analyse nous avons pu constater que les écarts relatifs sont très acceptables, ce qui nous a permis enfin de conclure à la validité des relations obtenues.

RÉSUMÉ

Notre travail s'est intéressé exclusivement au dispositif de mesure de débit dans les canaux ouverts. Notons que le but visé par cette étude est l'établissement de la loi hauteur-débit ainsi que l'expression du coefficient de débit, deux types de dispositifs ont été étudiés constitués essentiellement de deux parois verticales formant une échancrure rectangulaire lorsqu'ils sont placés dans un canal, l'un est en mince paroi l'autre est à paroi épaisse.

Par un développement théorique nous avons pu établir les relations de la loi hauteur-débit et l'expression du coefficient de débit, ces relations ont été validées par la voie de l'expérimentation au laboratoire.

ABSTRACT

In this work, we were interested exclusively in the device of open channels flow measurement. Let's note that the objective pursued by this study is the evaluation of the law depth-flow like that of the coefficient of discharge, two types of devices have been essentially studied constituted of two vertical plate, and forming a rectangular opening when they are placed in a channel, one is in thin plate the other is to thick plate.

By a theoretical development we could establish relationships of the law height-flow and the expression of the discharge coefficient; these relations have been validated by the way of the experimentation in the laboratory.

ملخص

تهتم هذه المذكرة حصريا بدراسة التدفق في القنوات المكشوفة. الهدف المرجو من خلال هذه الدراسة هو إنشاء العلاقة ارتفاع- تدفق و كذلك عبارة معامل التدفق. حيث تطرقنا إلى نوعين من الهذارات المشكّلة أساسا من جدارين عموديين يشكلان فتحة مستطيلة عندما يوضعان في قناة، الأول ذو جدار رفيع والأخر ذو جدار سميك. لقد استطعنا عن طريق تحليل نظري إنشاء العلاقات ارتفاع- تدفق و معامل التدفق، حيث قمنا بالتحقق من صحة هذه العلاقات عن طريق الدراسة المخبرية.