

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

Soraya BOUSLAH

Ingénieur d'Etat en Hydraulique

THEME

ANALYSES THEORIQUE ET EXPERIMENTALE D'UN

DEVERSOIR À PAROI EPAISSE ET DE SECTION

TRIANGULAIRE

Soutenu le : 01/03/2006

Devant le jury :

Président : Djabri. L

Professeur

Univ. Annaba

Examineur : Debabeche.M

Maître de conférence

Univ. Biskra

Examineur : Moumi.A

Maître de conférence

Univ. Biskra

Rapporteur : B. ACHOUR

Professeur

Univ. Biskra

INTRODUCTION GENERALE

Il est connu universellement que la mesure des débits dans les canaux ouverts repose essentiellement sur l'établissement de la loi *hauteur –débit*. D'où ce dernier est fonction de la hauteur correspond à l'épaisseur de la lame d'eau franchissant l'appareil de mesure et elle est mesurée à l'amont, ainsi des caractéristiques géométriques du dispositif testé.

Nous pouvons dire qu'il existe deux catégories d'appareils de mesure de débit. La première catégorie utilise le libre déversement de la lame liquide connue sous le nom de "déversoir", tandis que la seconde catégorie utilisant la particularité d'un ressaut hydraulique à surélever le plan de charge amont connue sous le nom "jaugeurs à ressaut". La première catégorie est largement utilisée. Les déversoirs sont caractérisés par le libre déversement par-dessus de paroi placée verticalement ou inclinée en travers un écoulement dans un canal appelé canal d'approche. On peut rencontrer des échancrures sous différentes formes conçues par ces parois et l'on peut citer, les déversoirs triangulaire et rectangulaire avec ou sans contraction latérale (Bazin, 1898; SIA, 1926; Bos, 1976) trapézoïdale ou circulaire. Les déversoirs présentent des inconvénients, parmi ces inconvénients qu'ils sont souvent dotés d'un seuil, appelé pelle, qui entraîne des dépôts solides ce qui favorise leur accumulation. Donc, la charge amont n'est plus restituée à l'aval, puisque ces appareils utilisent le libre déversement de la lame liquide.

Ces inconvénients sont 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 qui sont présentés sous forme d'un canal plus ou moins long, contient une variation géométrique graduelle ou brusque de la section transversale, ainsi une section minimale, on cite les principaux jaugeurs à ressaut "jaugeurs *Parshall*" "jaugeur *Venturi* à fond plat" et "jaugeur *Achour*". Les deux premiers sont caractérisés par une section de forme rectangulaire, tandis que le dernier cité se base sur une section triangulaire.

Lorsque on veut mesurer des débits qui sont relativement faibles à travers un déversoir on préfère ceux à échancrure triangulaire (De Coursey et Blanchard, 1970). Il permet une meilleure précision dans la mesure de ces débits, contrairement aux ceux dotés d'échancrure rectangulaire (Kindsvater et Carter, 1957; Rehbock, 1929).

D'après l'étude bibliographique on peut dire que peu de développement théorique a caractérisé les études sur les appareils de mesure des débits. Nous pouvons ainsi citer l'une des plus premières études dans ce 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).

L'expression de débit transitant par tous les dispositifs est obtenue après les avoirs étalonnés. L'expression de débit s'écrit $Q = ah^b$, et les paramètres **a** et **b** dépendent des caractéristiques géométriques de l'appareil. En effet, pour les appareils caractérisés par une section de forme rectangulaire, que se soit les déversoirs ou jaugeurs à ressaut, l'exposant $b = 3/2$. Cet exposant sera égal à $5/2$ dans le cas d'une section triangulaire. Le paramètre **a** contient le coefficient de débit qui caractérise en réalité la contraction horizontale et verticale ainsi que la distribution de la vitesse aux alentours de l'échancrure. La forme de l'expression du coefficient de débit dépend également du type d'appareil utilisé et elle est déterminée par la voie de l'expérimentation. 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).

Dans notre étude, nous proposons de tester un dispositif de mesure des débits dans les canaux ouverts. Il s'agit de tester un appareil simple appartenant à la catégorie des appareils semi-modulaires, d'une section triangulaire munie de hauteur de pelle pour mieux exploiter les avantages de l'échancrure triangulaire. Pour cela notre étude se propose d'examiner un nouveau type de déversoir épais basé sur une section triangulaire associé à une hauteur de pelle et d'angle d'ouverture θ caractérisant l'ouverture de l'échancrure tester pour une large gamme de débit. Il s'agit donc de proposer la formule de débit et celle du coefficient de débit qui caractérise ce dispositif par une approche théorique rigoureuse et fera l'objet d'essais expérimentaux.

CHAPITRE PREMIER

ETAT DES CONNAISSANCES

1.1.Introduction

La détermination du débit repose sur l'établissement provoqué, dans un tronçon d'écoulement, d'une relation bi-univoque, appelée courbe caractéristique, liant le débit écoulé Q (m^3/s) à la hauteur d'eau h (m) mesurée, sous la forme $Q = f(h)$.

Cette technique nécessite la mise en place d'un dispositif qui modifie le régime d'écoulement et qui permet d'utiliser la relation hauteur- débit théorique du dispositif moyennant le strict respect de conditions normalisées de mise en œuvre. Même en respectant ces conditions, une vérification de la validité des relations hauteur – débit appliqué reste toujours nécessaire.

La méthode consiste à procéder au mesurage de la hauteur d'eau h en amont d'une section de contrôle particulière qui crée une transition entre un régime fluvial à l'amont et un régime torrentiel à l'aval, cette transition permettant d'obtenir une relation bi- univoque entre la hauteur d'eau et le débit en imposant un passage par le régime critique.

La relation hauteur – débit étant traduite par la courbe caractéristique qui doit être valable pour toute l'étendue des débits à mesurer.

La relation $Q = f(h)$ peut être théorique ou résulter d'un étalonnage spécifique en laboratoire. Les dispositifs doivent être installés dans des ouvrages rectilignes dont la partie amont, appelé chenal d'approche, permet une répartition régulière et uniforme des vitesses, et dont la partie aval, appelé chenal de fuite, ne doit pas influencer le niveau d'eau amont. Le changement de régime hydraulique peut être obtenu par réduction de la section d'écoulement et/ou augmentation de la pente.

Une très large gamme de dispositifs ou d'ouvrages peut être utilisée pour la mesure des débits dans les canaux ouverts, les souvent pratiquées sont les déversoirs et les jaugeurs à ressaut.

Une littérature scientifique et technique très abondante a été consacrée à ces dispositifs depuis plusieurs décennies.

I.2 Déversoirs

I.2.1 Définition

Un déversoir peut être considéré comme un orifice incomplet. C'est une paroi plane verticale ou inclinée placée en travers un écoulement dans un canal appelé canal d'approche, le déversoir est caractérisé par le libre déversement par-dessus de paroi placée.

Cette paroi contient une échancrure qui peut être de forme rectangulaire, triangulaire, trapézoïdale ou circulaire et peut comporter une contraction latérale.

Un seuil peut être considéré à paroi mince lorsque $H/L > 15$, L étant l'épaisseur du seuil dans le sens de l'écoulement. Le bon fonctionnement du déversoir requiert une excellente aération sous la nappe déversante afin d'éviter qu'elle oscille, vibre ou adhère au parement aval du déversoir. Ou à large seuil sur lequel les lignes de courant peuvent atteindre, tout au moins sur une courte distance, un parallélisme tel que, dans la section de contrôle, l'on pourra admettre qu'il existe une distribution hydrostatique des pressions. Selon les auteurs, les seuils sont dits épais (ou à crête large) si la hauteur d'eau, au-dessus du seuil à l'amont, est inférieure à 1.5 ou 2 fois l'épaisseur du seuil.

I.2.2 Dispositions constructives normalisées

Les dispositifs, quels qu'ils soient, doivent respecter des dispositions constructives, d'implantation et d'utilisation pour garantir la validité et l'applicabilité de leur courbe caractéristique $Q = f(h)$. Le mesurage de la hauteur d'eau doit être fait en amont de la construction, à une distance comprise généralement entre quatre à cinq fois la hauteur d'eau maximale. Le chenal d'approche doit être rectiligne, de section uniforme, de longueur au moins égale à dix fois sa largeur, exempt de dépôt, tourbillons, de perturbation superficielle ou de la présence d'une quantité notable d'air entraîné et la répartition des vitesses doit y être régulière. L'écoulement en aval ne doit pas influencer l'amont.

I.2.3. Déversoir en mince paroi

I.2.3.1. Définition

Le déversoir en mince paroi de largeur B permet de déterminer le débit Q en connaissant uniquement la hauteur d'eau à l'amont de l'ouvrage. Ce type de déversoir constitue donc une structure qui permet une mesure de débit. Il est à mince paroi ou à crête mince si l'épaisseur de la crête est très réduite par rapport à la charge.

I.2.3.2. Déversoir rectangulaire

C'est le plus classique et celui qui a été le mieux étudié. Le théorème de Bernoulli appliqué entre un point de vitesse négligeable situé sur la surface libre à l'amont et le point de vitesse V situé dans la nappe et en négligeant la perte de charge entre ces deux points permet d'écrire :

$$V = \sqrt{2gh}$$

Le débit est égal à la vitesse V par la section que nous affecterons d'un coefficient m pour tenir compte de la contraction de la nappe à son passage dans l'échancrure pratiquée dans une paroi mince. Le débit de déversoir sera donc :

$$Q = \int_0^H mL\sqrt{2gh} \, dh$$

Ou en supposant m constant avec h :

$$Q = \frac{2}{3} mLH\sqrt{2gH} \quad (1.1)$$

C'est la formule établie par (*Poleni* ; 18^{ème} siècle)

On lui donne généralement la forme simplifiée suivante :

$$Q = \mu LH\sqrt{2gH} \quad (1.2)$$

Les déversoirs rectangulaires sont classés en deux catégories en fonction de leur géométrie :

- Sans contraction latérale $\beta = b/B = 1$ (appelés déversoirs *Rehbock*).
- Avec contraction latérale $\beta \neq 1$ et h/p variable.

On distingue les déversoirs rectangulaires à section partiellement ou complètement contractés. Cette définition est fondée sur les caractéristiques géométriques du déversoir, comme l'indique le tableau 1.1

Tableau : 1.1

| Section complètement contractée |
|---------------------------------|
| $B - b \geq 4 h$ |
| $h / p \leq 0.5$ |
| $h / b \leq 0.5$ |
| $0.07m \leq h \leq 0.6m$ |
| $p \geq 0.3 m$ |
| $b \geq 0.3 m$ |

I.2.3.2.1. Déversoir rectangulaire en mince paroi sans contraction latérale (Déversoir de Bazin)

Sur le déversoir rectangulaire sans contraction latérale, habituellement désigné par déversoir de *Bazin*, il existe un grand nombre d'observations, ce qui permet d'obtenir une bonne précision dans la mesure des débits. Le déversoir est défini par sa géométrie simple représentée par une paroi verticale en mince paroi dont les caractéristiques géométriques sont indiquées sur la figure 1.1.

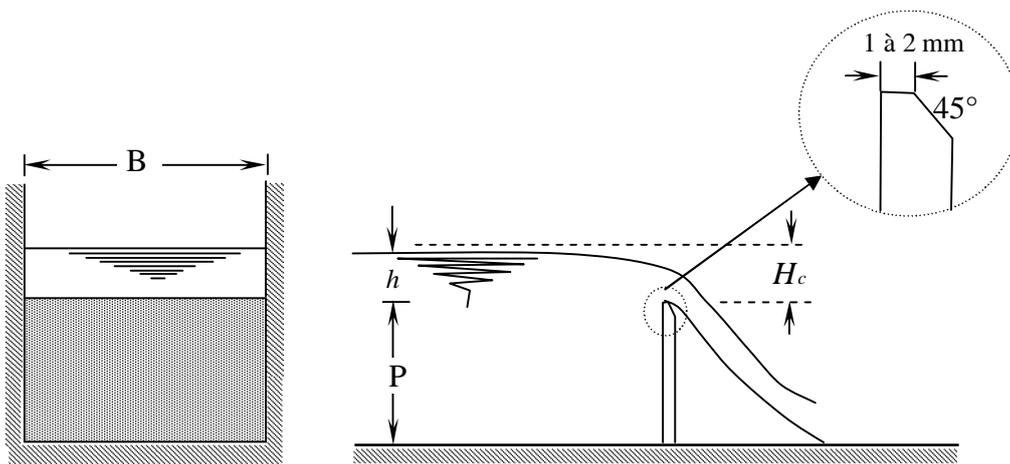


Figure 1.1 : Schéma de définition et détails du déversoir rectangulaire en mince paroi sans contraction latérale

La formule qui donne le débit déversé est la relation de (*Poleny*, 1717) :

$$Q = \frac{2}{3} \mu B \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}} \quad (1.3)$$

μ : désigne le coefficient de débit, B est la largeur du canal ou la longueur de l'échancrure ;
et g est l'accélération de la pesanteur.

Le débit unitaire est donné par la relation :

$$q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}} \quad (1.4)$$

Où $q = \frac{Q}{B}$

En admettant que le déversoir est franchi par un écoulement en régime critique de profondeur h_c et de charge totale H_c , on peut écrire en vertu de la condition de criticité

$$h_c = (q^2/g)^{1/3} = (2/3) H_c$$

$$q = \frac{2}{3\sqrt{3}} \sqrt{2g} H_c^{\frac{3}{2}} \quad (1.5)$$

En admettant également en première approximation que H_c est égale à la hauteur de déversement h , les relations (1.4) et (1.5) permettent d'écrire que $\mu = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,577$.

Cependant, les observations de *Poleny* indiquent que $\mu = 0,64$. Dont il en résulte un écart de 11%. Cet écart a été attribué par (*Boussinesq*, 1877) à l'effet de la courbure des filets liquides franchissant l'arrête du déversoir. Cette courbure joue un rôle significatif et l'augmentation de la valeur du coefficient de débit est essentiellement due à son effet.

Les résultats de (*Boussinesq*, 1877) ont permis d'écrire que :

$$\mu = 0,651 \left(1 - 0,391 \frac{i}{\pi} \right) \quad (1.6)$$

Où i est l'angle d'inclinaison du déversoir par rapport à la verticale comme l'indique la figure 1.2. La relation (1.6) ne peut être appliquée que si $P/h \gg 1$.

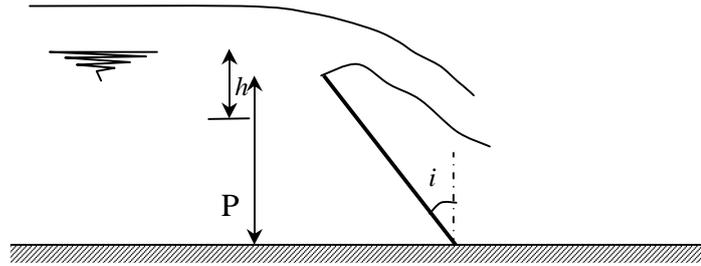


Figure1.2 : Déversoir en mince paroi incliné d'un angle i par rapport à la verticale.

Lame d'eau inférieure complètement aérée.

Plusieurs relations du coefficient de débit μ pour le déversoir rectangulaire en mince parois sans contraction latérale ont été proposées au passé, dont les plus importantes sont :

a) Bazin (1898) après de nombreuses expériences réalisées sur un déversoir vertical en mince paroi, à nappe libre, sans contraction latérale, inséré dans un canal de 23m de longueur et de section rectangulaire de 2m de large et 1,6 m de profondeur, a proposé la formule suivante :

$$\mu = \left(0,6075 + \frac{0,0045}{h} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right] \quad (1.7)$$

Les limites d'applications sont :

- $0,08 \text{ m} < h \ll 0,70 \text{ m}$
- $L > 4h$
- $0,2 \text{ m} < P < 2\text{m}$. La précision obtenue de 1% à 2%.

b) Rehbock (1912) a proposé la formule suivante :

$$\mu = \frac{2}{3} \left(0,605 + \frac{1}{1050h - 3} + 0,08 \frac{h}{P} \right)$$

(1.8)

c) En (1929), Rehbock a présenté une formule simplifiée, donnant, en unités métriques :

$$q = \left(1,782 + 0,24 \frac{h}{P} \right) h_e^{3/2} \quad (1.9)$$

Où

$h_e = h + 0,0011$. Les valeurs obtenues coïncident avec celles données par la formule de (Rehbock, 1912). Cette formule est actuellement la plus acceptée.

d) *S.I.A. (Société des Ingénieurs et Architectes Suisse, 1947)* a proposé la forme suivante du coefficient de débit :

$$\mu = \frac{2}{3} 0,615 \left(1 + \frac{1}{1000h + 1,6} \right) \left[1 + 0,5 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right] \quad (1.10)$$

Cette formule est applicable pour un déversoir de même type que celui du *Bazin* mais précédé, à l'amont, d'un canal de faible longueur, à fond sensiblement horizontal et comportant un dispositif de régularisation des vitesses. C'est le plus fréquent dans la pratique des mesures, notamment en laboratoire.

Les limites d'application sont :

- $0,025 \text{ m} < h < 0,8 \text{ m}$
- $P > 0,3 \text{ m}$
- $h \leq P$

Les formules de *Rehbock* et de *S.I.A.S.* donnent des valeurs pratiquement confondues.

e) *Kindsvater-Carter (1957)* a proposé la formule suivante :

$$\mu = 0,602 \left(1 + 0,125 \frac{h}{p} \right) \quad (1.11)$$

Les valeurs de μ varient linéairement avec le rapport h/p .

f) *Sarginson (1972-1973)* a proposé la formule qui suit :

$$\mu = 0,613 \left(1 + \frac{2,33}{W} + 0,122 \frac{h}{p} \right) \quad (1.12)$$

Dans la relation (1.12) 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 .

En peut également écrire :

$$W = \rho h^2 g / \sigma$$

Où σ est en N/m

On peut constater des formules précédentes que toutes les 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 en mètre. Ce terme se retrouve, le nombre de Weber, dans la relation (1.12) de Sarginson.
- Un terme qui tient compte de la vitesse d'approche de l'écoulement à travers le rapport $h/p \ll 1$, la hauteur capable de la vitesse d'approche de l'écoulement est faible ($V^2/2g \approx 0$)

I.2.3.2.2 Déversoir rectangulaire avec contraction latérale

Il y a contraction latérale quand la largeur L du canal est supérieure à la largeur de l'échancrure du déversoir. C'est le cas le plus rencontré en pratique schématiquement représenté sur la figure 1.3.

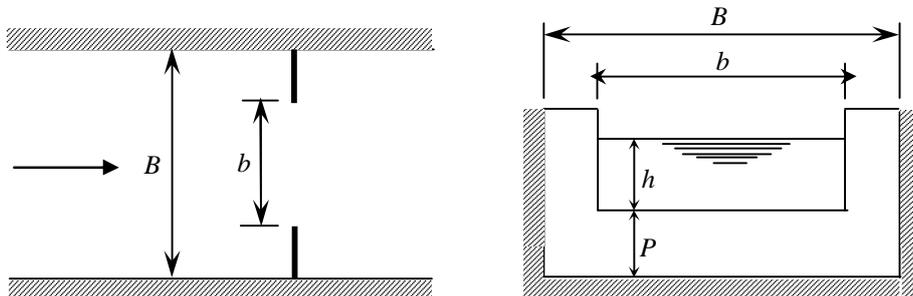


Figure 1.3 : Déversoir rectangulaire en mince paroi avec contraction latérale
-Schéma de définition-

Le taux de contraction latérale $\beta = \frac{b}{B}$ est le rapport de la largeur de l'échancrure sur la largeur du canal. Pour ce type de déversoir, de nombreux tests effectués.

Le débit peut être calculé en utilisant la formule (1.4), en tenant compte du fait que le coefficient du débit est tel que :

a) Formule de la S.I.A (1926) :

$$\mu = 0,578 \left(1 + 0,065\beta^2 + \frac{6,25 - 5,19\beta^2}{1000(h + 0,016)} \right) \left[1 + 0,5\beta^4 \left(\frac{h}{h + P} \right)^2 \right] \quad (1.13)$$

Dans la relation (1.13), le taux de contraction β doit être compris entre 0,30 et 1 ;

$$0,30 \leq \beta < 1$$

Cette formule doit être appliquée sous les conditions suivantes :

$$- B - b \geq 4h$$

$$- \frac{h}{p} \leq 0,5$$

$$- \frac{h}{b} \geq 0,5$$

$$- P \geq 0,30m.$$

$$- \frac{0,025}{\beta} \geq h \geq 0,80m.$$

$$- b \geq 0,30m.$$

$$- 0,3 \leq \beta < 1$$

b) Formule de Hégly (1921) :

$$\mu = 0.375 \left[1 + 0.08\beta + \frac{0.0072}{h} \right] \left[1 + 0.55 \left(\beta \frac{h}{h+p} \right)^2 \right] \quad (1.14)$$

Limites d'application :

$$- 0,1 m < h < 0,6 m$$

$$- 0,4 m < b < 1,8 m$$

$$- 0,4 m < P < 0,8 m$$

$$- 0,1 < \beta < 1$$

Si l'une des conditions n'est pas respectée, la valeur calculée du débit peut être entachée d'une erreur significative.

Ces deux dernières formules se composent de quatre termes :

- Le premier terme est représenté par une constante.
- Le second terme est représenté par le taux de contraction β .
- Le troisième terme tient compte de l'effet de la tension superficielle, proportionnelle à $1/h$.
- Le quatrième terme tient compte de l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement, à travers le rapport h/P . En effet, le terme $h/(h+P)$ figurant dans les deux formules peut s'écrire $h/(h+P) = (h/P) (1+h/P)$

I.2.3.3 Déversoir triangulaire

Les déversoirs triangulaires en mince paroi sont constitués d'une plaque verticale découpée selon le schéma de la figure 1.4. Ils sont classés en deux catégories en fonction de leur angle d'échancrure θ . On définit les déversoirs triangulaires à section partiellement ou complètement contractés. Cette définition est fondée sur les caractéristiques géométriques du déversoir, comme indiqué dans le tableau 1.2.

Tableau 1.2 Définition des sections partiellement ou complètement contractées pour les déversoirs triangulaires (d'après Bos, 1989)

| Section partiellement contractée | Section complètement contractée |
|----------------------------------|---------------------------------|
| $h/P \leq 1,2$ | $h/P \leq 0,4$ |
| $h/B \leq 0,4$ | $h/B \leq 0,2$ |
| $0,05m \leq h \leq 0,60m$ | $0,05m \leq h \leq 0,38m$ |
| $P \geq 0,10m$ | $P \geq 0,45m$ |
| $B \geq 0,60m$ | $B \geq 0,90m$ |

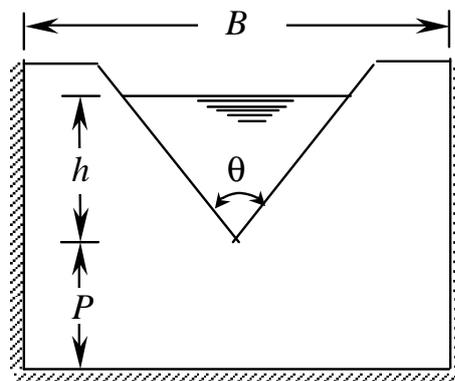


Figure 1.4: Déversoir triangulaire en mince paroi
- Schéma de définition -

Le déversoir à échancrure triangulaire est l'un des dispositifs de mesure le plus précis, englobant une large gamme de valeurs du débit, généralement pour la mesure des faibles débits. En admettant que le déversoir est franchi par un écoulement de régime critique de charge totale H_c , on peut écrire que $H_c = 5h_c/4$ où h_c est la profondeur critique telle qu'en vertu de la condition de criticité,

$h_c = [2Q^2 / (gm^2)]^{1/5}$, où m est la tangente du demi angle d'ouverture de l'échancrure, ou bien $m = \text{tg}(\theta/2)$. En tenant compte de ces considérations, le débit Q 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 négligeable, on peut écrire que $H_c = H \approx h$. la relation (1.15) s'écrit alors :

$$Q = \frac{16}{15} \text{tg}(\theta/2) \sqrt{\frac{2}{5} g h^5} \quad (1.16)$$

Ou bien :

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

Avec $\mu = \frac{6}{5\sqrt{5}} \cong 0,537$

La relation (1.17) est due à *Thomson* et le déversoir triangulaire est appelé *déversoir de Thomson*.

Entre autres formules, nous indiquons celle de *Kindsvater* (1957) recommandée par *L'Association Internationale de Normalisation (I.S.O)* :

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

Le coefficient de débit est fonction de l'angle θ et des rapports h/P et P/B .

Les valeurs du coefficient de débit μ sont données dans le tableau (1.3) en fonction des diverses valeurs de l'angle d'ouverture θ et en négligeant l'influence de h/P et P/B .

Tableau 1.3 : Coefficient de débit μ

| θ (°) | 20 | 40 | 60 | 80 | 90 | 100 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| μ | 0,597 | 0,582 | 0,577 | 0,577 | 0,578 | 0,580 |

Les valeurs des coefficients de débit μ sont données dans la figure 1.5 en fonction des divers paramètres.

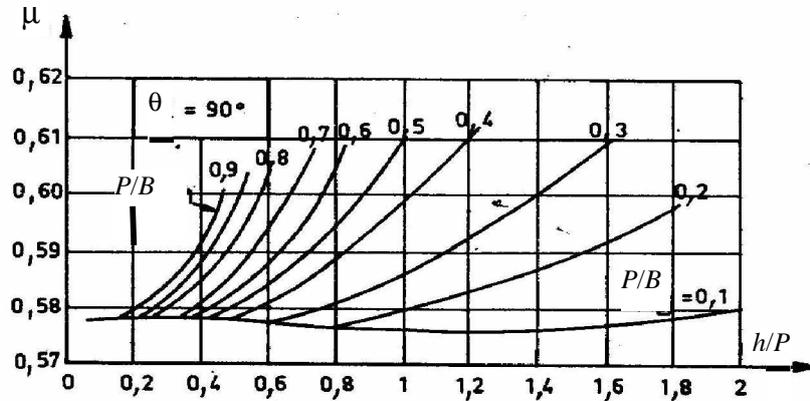


Figure 1.5 : Valeurs du coefficient de débit pour $\theta = 90^\circ$ en fonction de h/P et P/B , selon Kindsvater

k_h est une longueur tenant compte de l'influence de la tension superficielle et de viscosité.

Pour de l'eau à la température ordinaire et $\theta = 90^\circ$ on prend $k_h = 0,85\text{mm}$. Pour les autres valeurs de θ , les valeurs de k_h sont données par la figure (1.6).

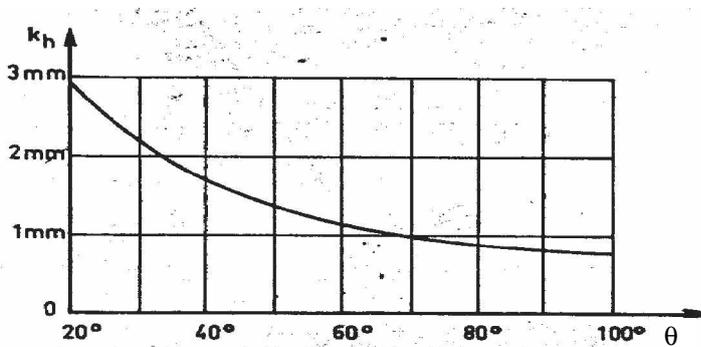


Figure 1.6 : Valeurs de k_h en fonction de l'angle d'ouverture θ , selon Kindsvater

La formule (1.18) est applicable dans les conditions suivantes :

- $h > 0.06\text{ m}$.
- $20^\circ \leq \theta \leq 100^\circ$.
- $P > 0.1\text{ m}$.

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

De même, *Ramponi* (1949) analyse les effets du canal d'amenée sur les caractéristiques de l'écoulement, tandis que *De Coursey* et *Blanchard* (1970) ont étudié les caractéristiques de l'écoulement déversant par-dessus de larges déversoirs triangulaires.

Comme formule pratique pour des calculs approchés, nous proposons celle de *Gourley et Grimp* :

$$Q = 1.32 \frac{\theta}{2} h^{2.47} \quad (1.19)$$

I.2.3.4 Déversoir trapézoïdal, Déversoir Cipolletti

L'échancrure de ce type de déversoir présente la forme d'un trapèze généralement évasé vers le haut dont les caractéristiques géométriques sont indiquées sur la figure 1.7.

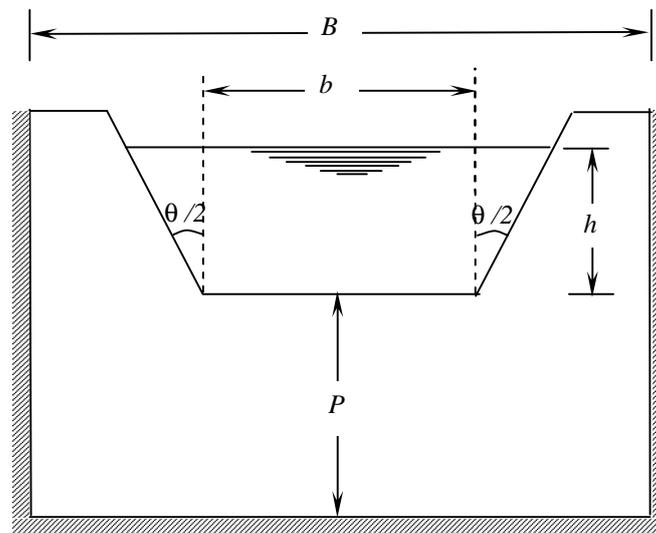


Figure 1.7 : Déversoir trapézoïdal –Schéma de définition-

Le débit peut être calculé par la somme des deux débits Q_1 et Q_2

Q_1 : débit de la partie rectangulaire

Q_2 : débit de la partie triangulaire

Gourrely et *Crimp* ont donné une formule plus simple englobant tout la gamme de l'angle d'inclinaison et qui s'écrit :

$$Q = 1,32h^{2,47} \operatorname{tg}(\theta / 2) + 1,69b^{1,02} h^{1,47} \quad (1.20)$$

Cipoletti (1963) a utilisé, pour le calcul de débit, la formule des déversoirs rectangulaires avec un coefficient de débit constant ($\mu \cong 0.633$) basé sur l'hypothèse de compenser l'influence de la contraction due aux joues par l'augmentation de la largeur superficielle de la nappe due à la forme de l'échancrure.

La formule de *Cipolitti* s'écrit donc :

$$Q = 1,86bh^{3/2} \quad (1.21)$$

Cette formule est valable dans les limites suivantes :

- $0,08 \text{ m} < h < 0,60 \text{ m}$
- $h < b/3$
- $h < P/3$

Bos (1989) et *Muller et Werren* (1981) donnent les détails nécessaires à la réalisation et à l'utilisation de ce type de déversoir.

1.2.3.5 Déversoir circulaire

Le déversoir circulaire est constitué d'une paroi mince verticale découpée selon le schéma de la figure 1.8, ce type de déversoir est rarement utilisé dans la pratique.

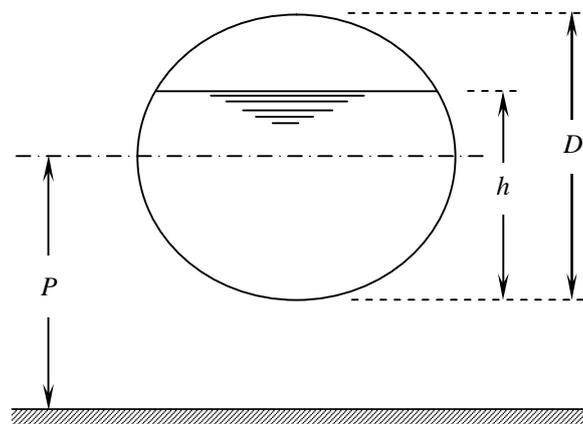


Figure 1.8 : Déversoir circulaire –Schéma de définition–

La formule générale du débit du déversoir circulaire est donnée généralement sous la forme suivante, d'après les résultats de *Stauss* et *Vonsanden* (1930) :

$$Q = \mu KD^{5/2} \quad (1.22)$$

K est une fonction compliquée de $\frac{h}{D}$, il est donné par des tables numériques ou par la formule approximative de *Ramponi* :

$$K = 3,203 \left(\frac{h}{D} \right)^{1,975} - 0,842 \left(\frac{h}{D} \right)^{3,78} \quad (1.23)$$

Plusieurs formules sont proposées pour le calcul du coefficient du débit, on cite la plus simple, celle de *Stauss* (1930).

$$\mu = \left[0,555 + \frac{D}{110 h} + 0,041 \frac{h}{D} \right] \left(\frac{2D}{L} \right)^{0,0625} \quad (1.24)$$

Par rapport aux autres types de déversoirs le déversoir circulaire présente les avantages suivants : simplicité, facilité d'exécution et de mise en place, facilité de ventilation de la nappe, plus grande précision que le déversoir rectangulaire pour la mesure des petits débits.

I.2.3.6 Choix d'un déversoir de mesure en mince paroi

Dans la description des différents types de déversoirs, nous en avons défini les limites d'application. Les déversoirs en mince paroi permettent d'obtenir une bonne précision.

Le déversoir rectangulaire est plus précis ($E \approx 1\%$), mais moins sensible que le déversoir triangulaire. Les déversoirs triangulaires sont utilisés pour la mesure des petits débits, car il est recommandé de ne pas utiliser de déversoir rectangulaire de moins de 0.30m de largeur, soit lorsque la gamme de débits à mesurer est très étendue et que l'on ne peut pas admettre une grande variation de la hauteur de lame déversante.

I.2.4 Déversoirs a seuil épais

Ces types de déversoirs ont une géométrie identique à celles des déversoirs en mince paroi sauf que ces derniers ont une épaisseur plus ou moins grande. Pour assurer une bonne performance du seuil, les conditions d'écoulement doivent être restreintes à la gamme d'opération $0.08 < H/L < 0.50$. Pour $H/L < 0.08$, les pertes de charge sur le seuil ne peuvent pas être négligées, tandis que pour $H/L > 0.50$, les lignes d'écoulement sur le seuil ne sont pas

horizontales et la pression n'est plus hydrostatique. Un seuil épais est considéré non noyé lorsque le niveau aval est à un niveau inférieur à $0.8 H$ mesuré au-dessus du seuil.

I.2.4.1 Déversoir à seuil épais à profil en long triangulaire

Les seuils triangulaires, également appelés seuils *Crump* du nom de celui qui les a décrit le premier (Crump, 1952), créent une contraction verticale progressive qu'un déversoir, en formant un seuil dit « seuil épais » (figure 1.9). Il est en général inséré dans un canal de forme rectangulaire et l'écoulement s'y étant sur toute la largeur et reste en contact avec le seuil sur une certaine longueur.

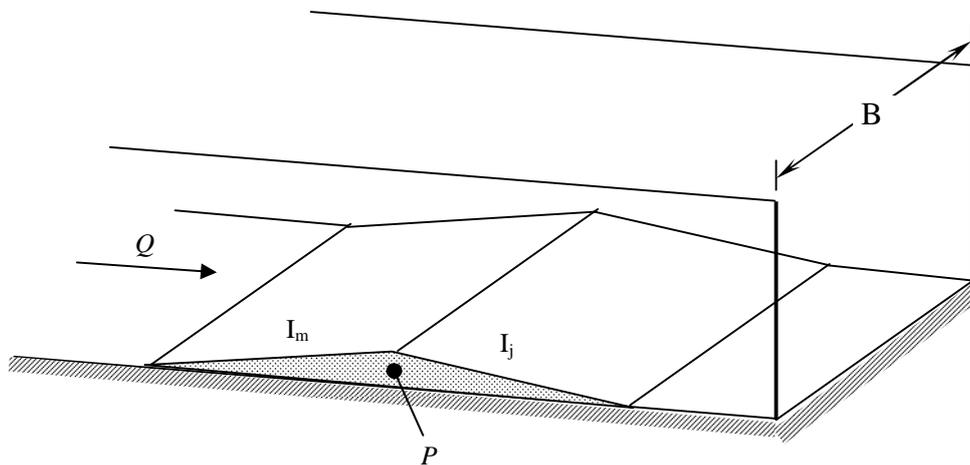


Figure 1.9 : Représentation schématique du déversoir en mince paroi à profil en long triangulaire

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

Si B est la largeur du canal d'amenée sur une longueur d'au moins $10B$, 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%.

I.2.4.2 Déversoir à seuil épais à profil en long triangulaire type Bazin

Les caractéristiques de l'appareil, basé sur une contraction verticale telle que représentée par la figure 1.9, sont :

- Hauteur de pelle $P = 50$ cm en admettant une tolérance de 2 cm.
- 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 1.4 : Valeurs des pentes amont et aval du déversoir à seuil épais à profile en long 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 calcul par la relation suivante :

$$Q = \mu B \sqrt{2g} h^{3/2} \quad (1.25)$$

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

$$Q = K B h^{3/2} \quad (1.26)$$

Où $K = \mu \sqrt{2g}$.

Dans la relation (1.26), 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 1.5, en fonction de h est des pentes I_m et I_j des parements amont et aval du seuil.

Tableau 1.5 : Valeur du paramètre K de la relation (1.26) en fonction de h, I_m et I_j

| (cm) | $I_m=1/1$ $I_j=1/1$ | $I_m=1/1$ $I_j=1/2$ | $I_m=1/1$ $I_j=1/3$ | $I_m=1/2$ $I_j=1/2$ |
|------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 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 | 0,0202 | 0,0213 | 0,0192 | 0,0213 |
| 45 | 0,0207 | 0,0212 | 0,0191 | 0,0213 |

I.2.4.3 Déversoir à seuil épais à profil en long triangulaire type Crump

Les seuils triangulaires, également appelés seuils *Crump* du nom de celui qui les a décrit le premier (*Crump*, 1952), créent une contraction. 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 1.10 représente schématiquement ce déversoir.

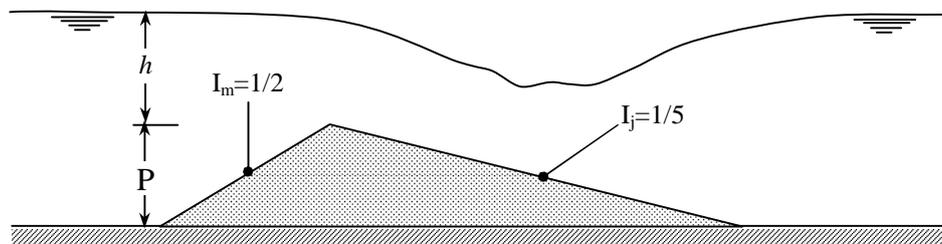


Figure 1.10 : Déversoir à seuil épais à profil triangulaire de type Crump.

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

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

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

$$Q = C_e C_v \sqrt{g} B h^{3/2} \quad (1.27)$$

Avec :

- 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 de la hauteur de pelle P .
- La hauteur du plan d'eau h est mesurée entre 3 et 4 fois la hauteur maximale du plan d'eau à l'amont de la crête du déversoir.

I.2.4.4 Déversoir rectangulaire à seuil épais

Ce type de déversoir se présente comme un canal de faible longueur et de section rectangulaire avec une pente longitudinale nulle ce dernier est représenté dans la figure 1.11.

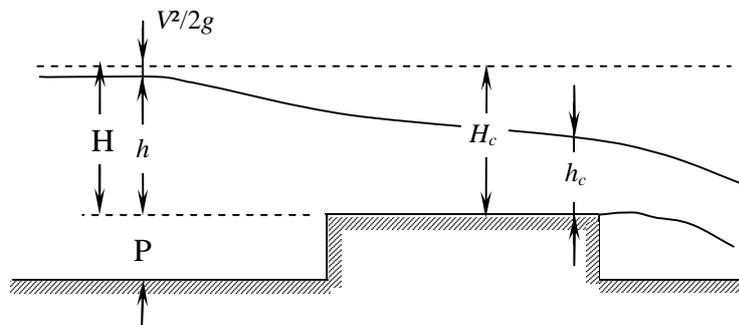


Figure 1.11 : Déversoir rectangulaire à paroi épaisse
–Schéma de description–

Après la mise en place du seuil, l'écoulement est fluvial à l'amont. Dans le cas où l'écoulement serait dénoyé, il s'établit un écoulement critique de profondeur h_c sur le seuil au voisinage de l'arête aval.

La condition de criticité s'écrit : $h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$

Tenant compte de la condition de criticité, la charge totale critique s'écrit :

$$H_c = \frac{3}{2} h_c$$

En admettant que la hauteur représentative de la vitesse d'approche ($V^2/2g$) est négligeable, on peut mettre $H = h$. Enfin, en néglige la perte de charge au passage sur le seuil du déversoir, on peut écrire :

$$H = h = H_c = (3/2) h_c.$$

Tenant compte de la condition de criticité et que $h_c = (2/3) h$, le débit unitaire écoulé par-dessus du seuil s'écrit :

$$q = \frac{2}{3\sqrt{3}} \sqrt{2g} h^{3/2} \quad (1.28)$$

En réalité, la formule exacte du débit est un peu différente de celle théorique (formule 1.28)

Le débit exact est donné par la formule suivante :

$$q = \mu \sqrt{2g} h^{3/2} \quad (1.29)$$

Les expériences de *Bazin* sur ce type de déversoir ont donné des valeurs du coefficient du débit compris entre 0,37 et 0,39.

Le coefficient de débit μ est fonction de la longueur du seuil et de la charge amont.

Les expériences de plusieurs chercheurs et organisations (*Blackwell, U.S.Deep, Waters Ways Board et U.S.Geological Survy*) ont donné pour des charges (0,06m à 1,5m) et des longueurs des seuils compris entre 0,15m et 4,5m, des valeurs du coefficient du débit comprises entre 0,329 et 0,414.

I.3. Jaugeurs a ressaut

Cette dénomination regroupe de nombreux dispositifs, disponibles sous forme d'ouvrages préfabriqués livrés avec leurs courbes d'étalonnage, intégrant section contractée, chenal d'approche et puits de mesure de la hauteur d'eau.

I.3.1. Définition

Ce sont des appareils présentés sous forme d'un canal plus ou moins long et qui présentent une diminution locale de la section. Cette diminution de la section est considérée comme une singularité et selon le type de jaugeur celle-ci peut être longue ou extrêmement réduite et peut être caractérisée par une variation géométrique graduelle ou brusque. La forme

de la section transversale de la singularité peut être arbitrairement choisie, mais il est recommandé qu'elle soit simple afin d'éviter les difficultés dans son exécution. Le fond du canal jaugeur peut être horizontal ou présentant des discontinuités. Pour illustrer cette définition, nous avons représenté sur la figure 1.12 quelques types de géométrie de jaugeurs en canal rectangulaire.

Sur la figure 1.12.a, le canal jaugeur est caractérisé par un fond plat horizontal et sa section subit une variation graduelle qui se traduit par une contraction latérale jusqu'à une section minimale. Sur la figure 1.12.b, le canal jaugeur est caractérisé par une surélévation du fond qui se traduit par un seuil déversant dans la section minimale contractée. En fin, sur la figure 1.12.c le fond du canal jaugeur est caractérisé par trois tronçons qui forment une ligne brisée. Les tronçons situés à l'amont et à l'aval sont horizontaux, tandis que le tronçon intermédiaire est légèrement incliné.

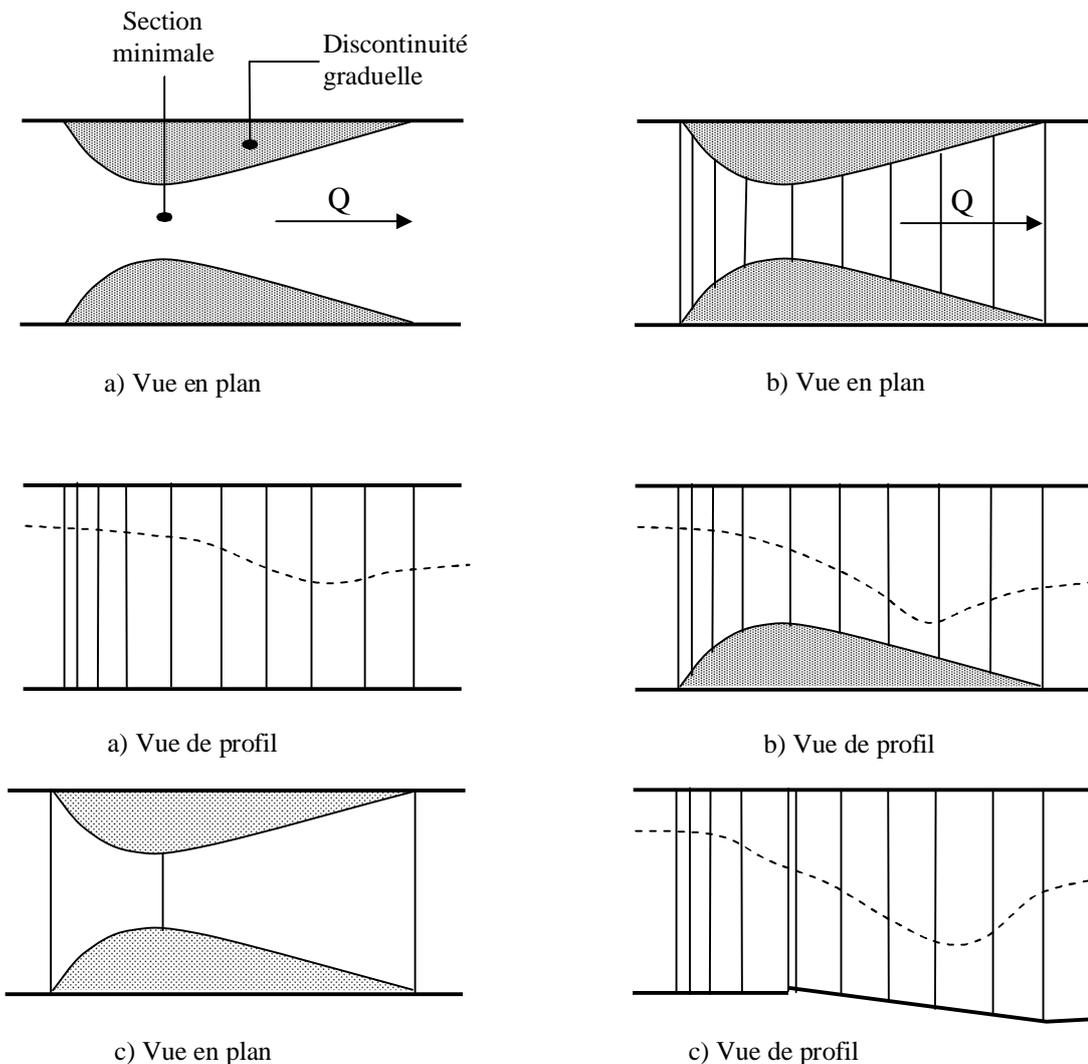


Figure 1.12 : Géométries typiques des jaugeurs (Hager, 1986).
a) Fond horizontal du canal jaugeur, b) Fond à seuil, c) Fond en pente
(-----) profil en long de l'écoulement avec formation d'un ressaut à l'aval

La section contractée est localisée à la limite des deux premiers tronçons. La géométrie présentée par la figure 1.12.a présente des avantages certains par rapport aux autres, car elle occasionne un minimum de perte de charge et permet l'évacuation aisée des sédiments qui pourraient s'accumuler en présence d'un seuil tel que celui représenté par la figure 1.12.b.

Ces types de jaugeurs sont dits à ressaut car ils provoquent dans leurs parties un ressaut hydraulique par transformation de l'écoulement torrentiel, à l'aval immédiat de la section contractée, en un écoulement fluvial dans la partie aval évasée du canal.

I.3.2 Canal jaugeur de type Parshall

Les canaux de type Parshall, inventés par *Cone* (1917) et mis au point par *Parshall* (1926), présentent une géométrie plus complexe.

I.3.2.1 Caractéristiques et expression du débit

Les jaugeurs présentant des rétrécissements et des élargissements de la section sont largement utilisés en pratique. Lorsque la géométrie de ces rétrécissements et élargissements n'est pas profilée mais plane, des zones de séparation de l'écoulement ou des zones d'eau morte apparaissent aux abords des discontinuités. Cet aspect est schématiquement décrit sur la figure 1.13.

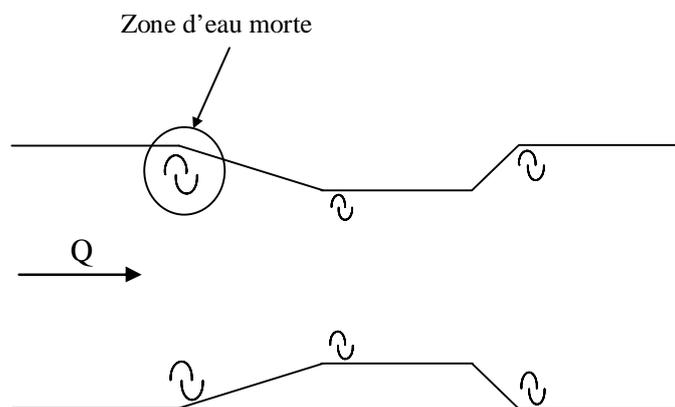


Figure 1.13 : Vue en plan d'un canal jaugeur de section rectangulaire avec apparition des zones d'eau morte

L'appareil dit jaugeur *Parshall* est un dispositif dont la géométrie s'appuie sur le principe schématiquement décrit sur la figure 1.13. Il est doté d'une section convergente qui se termine par une section rétrécie appelée col, suivie d'une marche négative. Celle-ci se prolonge par un

tronçon court ascendant constituant le fond d'une section légèrement divergente. Le schéma simplifié du jaugeur de type *Parshall* est décrit sur la figure 1.14.

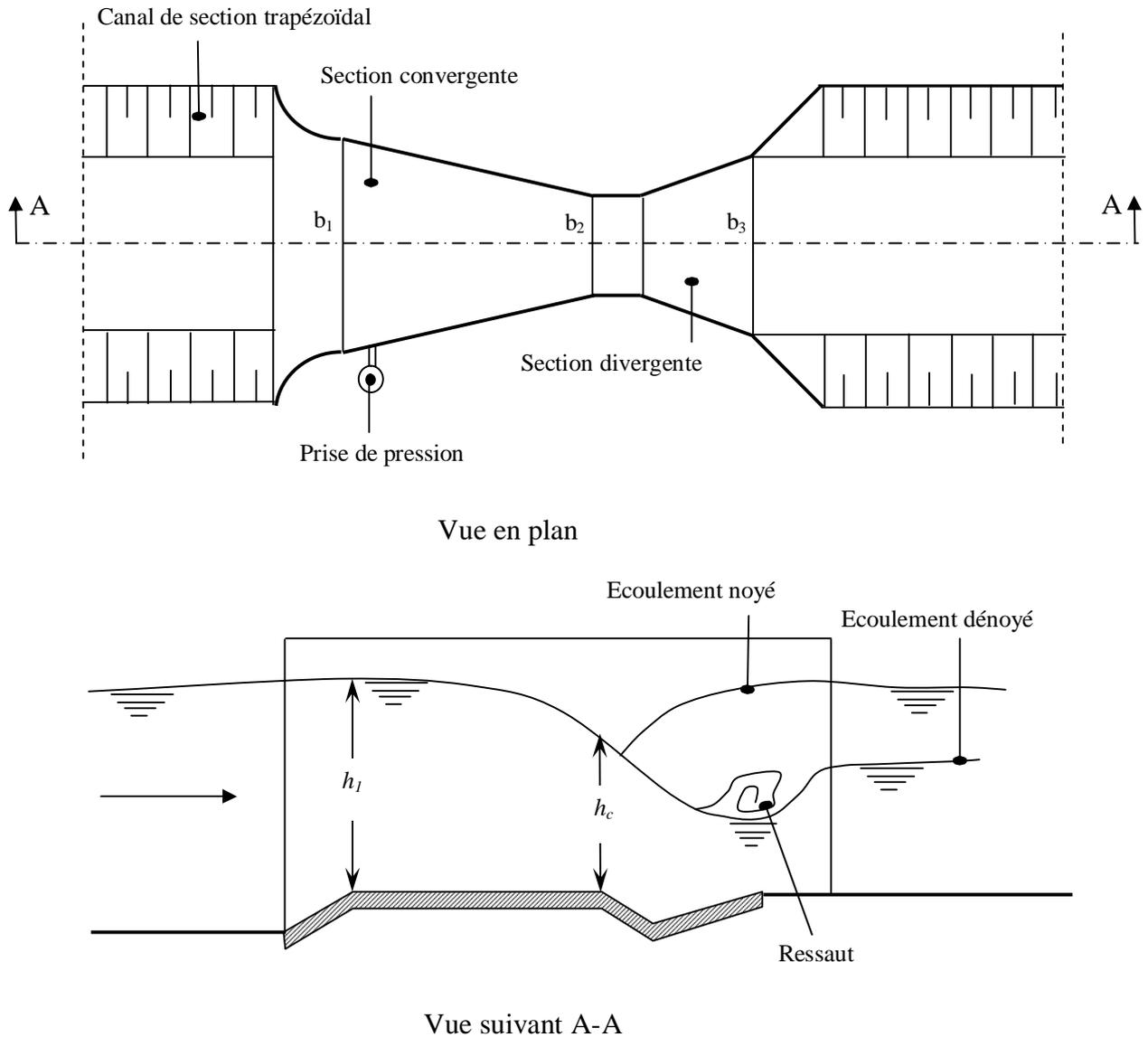


Figure 1.14 : Jaugeur de Parshall –Représentation schématique en plan et de profil-

Le jaugeur *Parshall* est étalonné sous une hauteur piézométrique h mesurée à quelques centimètres de l'entrée de la section convergente. La section rétrécie ou divergente a pour effet l'apparition d'un écoulement torrentiel s'écoulant par-dessus la marche. Un écoulement de profondeur critique h_c apparaît au droit du col. La section divergente située à l'aval du dispositif permet de transformer l'écoulement torrentiel en un écoulement fluvial par l'intermédiaire d'un ressaut hydraulique. Dans la section initiale de largeur b_1 (figure 1.14), la charge totale est, en considérant le coefficient de Coriolis égal à l'unité :

$$H_1 = h_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (1.30)$$

En règle générale, le terme $(V_1^2/2g)$ qui représente la hauteur capable de la vitesse d'approche de l'écoulement est négligé en raison du caractère fluvial de l'écoulement dans la section d'entrée de l'appareil de largeur b_1 , ce qui permet d'écrire que $H_1 = h_1$.

En outre, la charge critique au droit du col est, pour une section rectangulaire, $H_c = (3/2) h_c$.

Le dispositif de mesure est conçu tel que la longueur de la section divergente séparant b_1 et b_2 est suffisamment courte. Cette particularité nous permet d'écrire que la perte de charge occasionnée sur la distance séparant b_1 et b_2 est négligée. En d'autres termes,

$$H_1 = h_1 = H_c = (3/2) h_c,$$

Soit :

$$h_c = \frac{2}{3} h_1 \quad (1.31)$$

Au droit du col de largeur b_2 est de profondeur h_c , la condition de criticité permet d'écrire :

$$Q = \sqrt{g} b_2 h_c^{3/2} \quad (1.32)$$

En tenant compte de la relation (1.31), la relation (1.32) devient :

$$Q = 1,704 b_2 h_1^{3/2} \quad (1.33)$$

Tenant compte des approximations effectuées lors de l'établissement de la relation (1.33) celle-ci est affectée d'un coefficient de correction C légèrement inférieur à l'unité et l'on peut alors écrire :

$$Q = 1,704 C b_2 h_1^{3/2} \quad (1.34)$$

I.3.2.2 Formule pratique de débit

La formule proposée par *Parshall* pour évaluer le débit transitant par le dispositif et dont les termes ont été exprimée en unités métriques, est :

$$Q = 372 b_2 h_1^x 3,28^x \quad (1.35)$$

Dans la relation (1.35) :

- Q est en litre par seconde.
- b_2 est exprimé en mètre et généralement compris entre $b_1/3$ et $b_1/2$.
- h_1 est mesuré en mètre à $2/3$ de la distance séparant l'entrée de la section convergente et celle du col.

- L'exposant x est fonction de la largeur du col b_2 et dont les valeurs sont consignées dans le tableau 1.6.

Tableau 1.6 : Valeurs de l'exposant x de la relation (1.35) en fonction de la largeur b_2 .

| | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| b_2 (m) | 0,20 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 2,00 | 2,60 |
| X | 1,506 | 1,548 | 1,560 | 1,569 | 1,598 | 1,609 |

I.3.3. Canal jaugeur Venturi à fond plat –caractéristiques géométriques et expression du débit

Les canaux Venturi comportent tous une contraction latérale précédée d'un convergent et suivi d'un divergent. Leur section est souvent rectangulaire. Mais des sections trapézoïdales ou en forme de U sont également possibles. Ils sont caractérisés par une hauteur aval maximum de l'ordre de 80% de la hauteur amont. Cette condition est d'autant plus facile à obtenir, en particulier pour les faibles débits, que le rayon de la section contractée est surélevé.

La figure 1.15 montre une représentation schématique en plan de ce dispositif ainsi que ses principales caractéristiques.

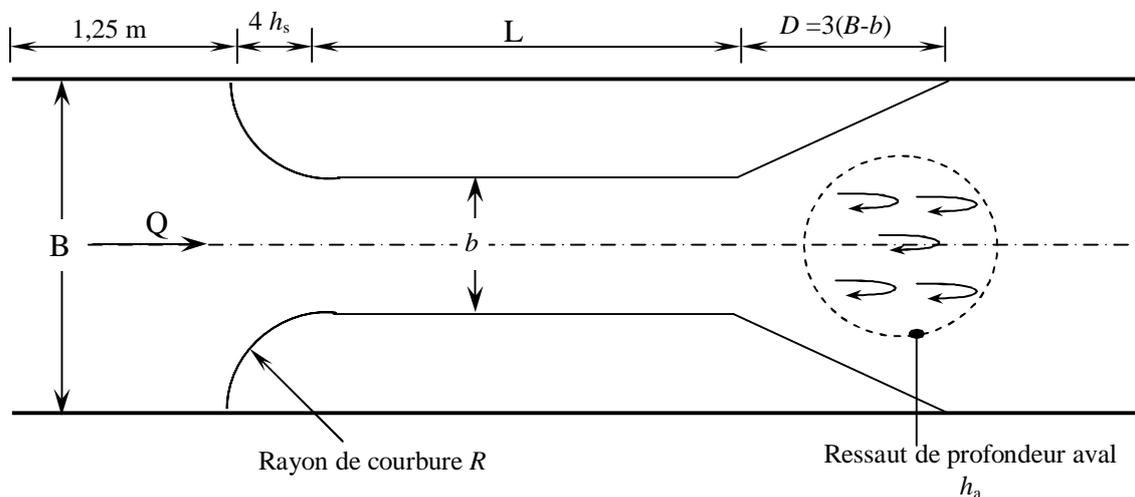


Figure 1.15 : Canal jaugeur venturi à fond plat –Caractéristiques géométriques-

Comme le montre la figure 1.15, le canal jaugeur *Venturi* à fond plat est constitué :

- D'un canal de section rectangulaire à radier horizontal de largeur B qui s'étend sur une longueur égale au minimum à $(1,25 \text{ m} + 4 h_s)$, où h_s est la hauteur du plan d'eau maximum.
- D'un tronçon de canal rectiligne de section rectangulaire de largeur b comprise entre 10 cm et $0,70B$ et qui s'étend sur une longueur $L = 1,5 h_s$. L'axe longitudinal de ce tronçon doit se confondre avec celui du canal. On pourra tolérer cependant un écart de 2 cm
- D'un divergent d'une longueur $D = 3 (B-b)$ qui pourra dans le cas échéant être réduite de moitié, c'est à dire $D = 1,5 (B-b)$.

Les parois du canal jaugeur *Venturi* doivent être lisses et verticales avec une tolérance de 0,2%. Toutes les dimensions du dispositif doivent être respectées avec une tolérance ne dépassant pas 2 mm.

La formule développée du débit transitant par le canal *Venturi* à fond plat est la suivante :

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_e C_v b h^{3/2} \quad (1.36)$$

Dans la relation (1.36) :

- Le coefficient C_e dépend des pertes dues aux frottements et à la turbulence et il est fonction de h , b et L . Il dépend en fait des rapports L/b et h/L .

Bien que C_v ait été déterminé pour les valeurs L/b comprises entre 0,20 et 5, la valeur $L/b = 2$ adoptée par certains fabricants semble être la plus utile.

- Le coefficient C_v dépend de la vitesse de l'écoulement dans le canal amont.

Pour tous les débits à mesurer au moyen du canal jaugeur *Venturi* à fond plat, les conditions suivantes doivent être respectées :

- Si b/B est supérieur à 0,35, la hauteur h du plan d'eau amont doit être supérieure ou à la limite égale à 1,2, où h_a est la hauteur aval du ressaut figure 1.15.
- Si b/B est inférieur à 0,35, h doit être supérieur ou égale à $1,30 h_a$.

I.3.4. Jaugeur en canal triangulaire de type Achour

I.3.4.1. Présentation du dispositif

Les Figures 1.16 et 1.17 montrent de manière schématique le dispositif ainsi que ces caractéristiques géométriques. L'appareil est composé des surfaces gauches OABCO et OA'B'CO constituant la partie convergente du dispositif figure 1.16. Ces surfaces sont conçues de telle manière que toute section transversale soit représentée par un triangle isocèle. Le tronçon B'A'AB constitue donc un canal de section triangulaire à angle d'ouverture variable. La partie A'D'DA succédant aux parois gauches est un canal triangulaire à angle d'ouverture constant servant de transition à l'écoulement et dans lequel ce dernier devient critique. Tout l'ensemble ainsi décrit présente un fond unique de pente nulle et un seul axe longitudinal.

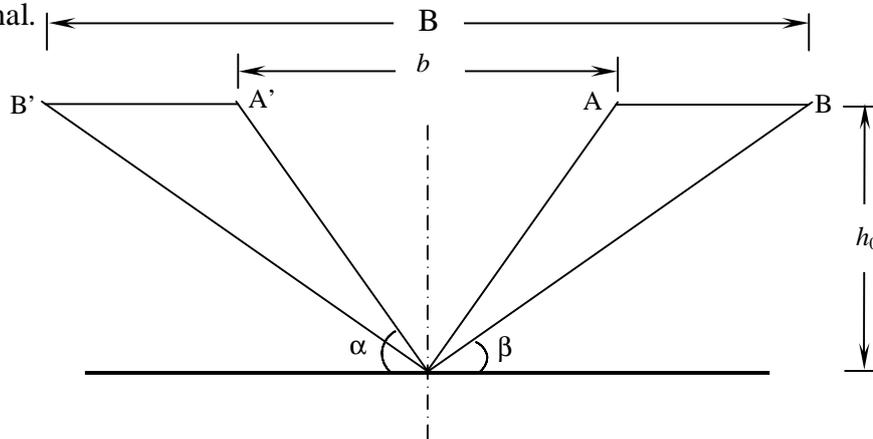


Figure 1.17 : Jaugeur triangulaire de type Achour – Vue de face de l'appareil- Suivant 1-1.

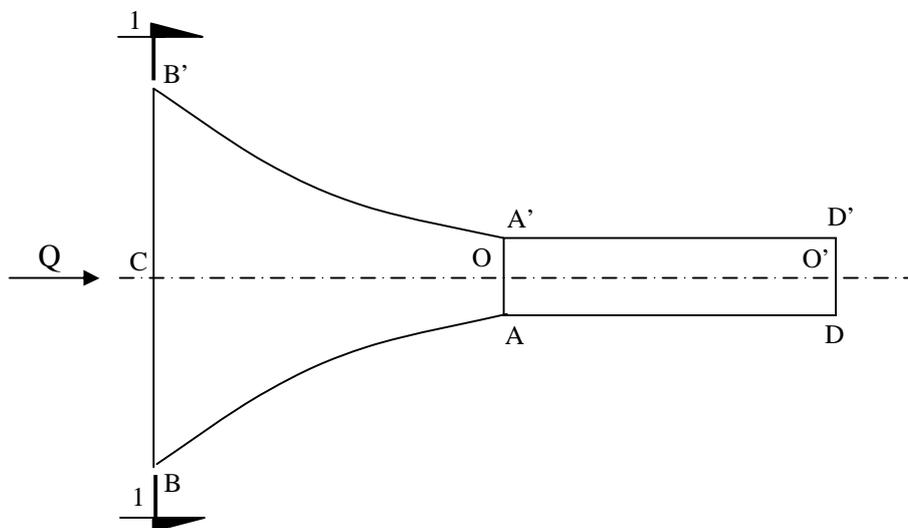


Figure 1.16 : Jaugeur triangulaire de type Achour – Vue en plan de l'appareil-

I.3.4.2 Etude théorique de l'appareil et expression du débit

L'étude théorique porte sur le tronçon B'A'AB de l'appareil (figure 1.16) où l'angle d'ouverture de la section triangulaire varie depuis $(\pi-2\beta)$ jusqu'à constituant l'angle d'ouverture de la section rétrécie de l'appareil (figure 1.17). En désignant par :

- h_0 hauteur géométrique de l'appareil qui correspond également à la hauteur géométrique du canal dans lequel est inséré le dispositif,
- B la largeur de la section triangulaire d'angle d'ouverture $(\pi-2\beta)$,
- b la largeur de la section triangulaire d'angle d'ouverture $(\pi-2)$,
- m_1 le talus de la section d'entrée BB' de l'appareil défini par la $\cotg\beta$,
- m_2 le talus de la section rétrécie AA' de l'appareil défini par la $\cotg\alpha$.

Nous pouvons alors établir géométriquement les relations suivantes :

$$m_1 = \cot g\beta = \frac{B/2}{h_0} \quad (1.37)$$

$$m_2 = \cot g\alpha = \frac{b/2}{h_0} \quad (1.38)$$

Le rapport de relations (1.32) et (1.33) conduit à écrire que :

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{B}{b} \quad (1.39)$$

La variation progressive de l'angle d'ouverture de la section divergente de l'appareil (figure 1.15) permet d'obtenir une infinité de profondeurs critiques. On peut alors exprimer ces profondeurs, pour les sections triangulaires BB' et AA' respectivement par les relations :

$$h_{c1} = \left[\frac{2Q^2}{g m_1^2} \right]^{1/5} \quad (1.40)$$

$$h_{c2} = \left[\frac{2Q^2}{g m_2^2} \right]^{1/5} \quad (1.41)$$

Dans lesquels Q est le débit passant par l'appareil et g est l'accélération de la pesanteur. Les relations (1.35) et (1.36) découlent de la condition de criticité bien connue :

$Q^2e/(gA^3) = 1$, où e est la largeur du plan d'eau tel que $e = 2mhc$ et A est l'aire de la section mouillée critique telle que $A = mh_c^2$. La combinaison des relations (1.40) et (1.41) permet d'écrire :

$$h_{c1} = h_{c2} \left(\frac{b}{B} \right)^{2/5} \quad (1.42)$$

Si le régime initial de l'écoulement avant la mise en place de l'appareil est torrentiel, il se transformera en fluvial à l'amont de l'appareil, après la mise en place de ce dernier. Cette transformation se fera moyennant un ressaut. Par conséquent, l'écoulement se produisant dans la section d'entrée BB' est en régime fluvial. En désignant par h_1 la profondeur de l'écoulement dans la section BB', nous pouvons écrire que $h_1 > h_{c1}$.

Par contre, si le régime primitif de l'écoulement est fluvial, il gardera son caractère après la mise en place de l'appareil. Par conséquent, l'écoulement se produisant dans la section d'entrée BB' est en régime fluvial et nous pouvons écrire que $h_1 > h_{c1}$.

Dans les deux cas ci-dessus indiqués, la profondeur h_1 diminue au fur et à mesure que l'on passe de la section d'entrée BB' de l'appareil à sa section rétrécie AA', nous pouvons écrire que $h_2 = h_{c2}$. La profondeur critique h_{c2} est définie par la relation (1.41). La section rétrécie AA' de l'appareil est alors une section de contrôle. En désignant respectivement par H_1 et H_2 la charge totale dans la section BB' et AA' et en négligeant la perte de charge se produisant entre les deux sections, nous pouvons écrire $H_1 = H_2$. La section rétrécie AA' de l'appareil étant critique ($h_2 = h_{c2}$) et de forme triangulaire, la charge totale H_2 s'exprime par la relation $H_2 = (5/4) h_{c2} = H_1$, soit :

$$h_{c2} = \frac{4}{5} H_1 \quad (1.43)$$

En substituant (1.43) dans (1.42), nous pouvons écrire :

$$h_{c1} = \frac{4}{5} H_1 \left(\frac{b}{B} \right)^{2/5} \quad (1.44)$$

En rapportant la charge totale H_1 à la profondeur critique h_{c1} , la relation (1.44) devient :

$$\frac{H_1}{h_{c1}} = H_{1X} = \frac{5}{4} \left(\frac{B}{b} \right)^{2/5} \quad (1.45)$$

Ainsi, le paramètre sans dimension H_{1X} ne dépend que des caractéristiques géométriques B et b de l'appareil étudié.

En considérant le facteur de correction de l'énergie cinétique égal à l'unité, la charge totale H_1 s'exprime, pour la section triangulaire BB', par la relation :

$$H_1 = h_1 + \frac{Q^2}{2g(m_1 h_1^2)^2}$$

Soit :

$$\frac{H_1}{h_{c1}} = \frac{h_1}{h_{c1}} + \frac{Q^2}{2g h_{c1} (m_1 h_1^2)^2}$$

En tenant compte de la relation (1.40), la relation ci-dessus devient :

$$\frac{H_1}{h_{c1}} = \frac{h_1}{h_{c1}} + \frac{h_{c1}^4}{4 h_1^4} = \frac{h_1}{h_{c1}} + \frac{1}{4 (h_1/h_{c1})^4}$$

Or, par définition, $H_1/h_{c1}=H_{1X}$ et $h_1/h_{c1}=h_{1X}$. Ainsi le paramètre H_{1X} s'exprime par la relation :

$$H_{1X} = h_{1X} + \frac{1}{4h_{1X}} \quad (1.46)$$

Nous pouvons déduire de (1.45) et (1.46) que :

$$\frac{5 \left[\frac{B}{b} \right]^{2/5}}{4 \left[\frac{B}{b} \right]} = h_{1X} + \frac{1}{4 h_{1X}^4} \quad (1.47)$$

Etant donné que les paramètres géométriques B et b sont connus, la relation (1.47) permet d'évaluer h_{1X} pour n'importe quel canal de type étudié.

La forme de l'appareil est telle que $B/b > 1$, par conséquent la relation (1.47) nous montre que :

$$h_{1X} + \frac{1}{4h_{1X}^4} > 5/4$$

Nous pouvons ainsi en déduire que le paramètre sans dimension h_{1X} est différent de l'unité ($h_{1X} \neq 1$). Cependant, compte tenu du fait que le régime d'écoulement dans la section BB' d'entrée de l'appareil est fluvial ($h_1 > h_{1X}$), le paramètre h_{1X} est strictement supérieur à l'unité ($h_{1X} > 1$).

Les relations (1.39) et (1.40) permettent d'écrire :

$$Q^2 = \frac{g}{2} m_2^2 \left[\frac{B}{b} \right]^2 h_{c1}^5 \quad (1.48)$$

Puisque $h_{c1} = h_1/h_{1X}$, la relation (1.48) devient :

$$Q = \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{m_2}{(b/B) h_{1X}^{5/2}} h_1^{5/2} \quad (1.49)$$

C'est l'expression du débit qui prend la forme définitive suivante :

$$Q = a \sqrt{\frac{g}{2}} m_2 h_1^{5/2} \quad (1.50)$$

Avec
$$a = \frac{1}{(b/B) h_{1X}^{5/2}}.$$

Le paramètre a n'est fonction que du rapport b/B , donc des caractéristiques géométriques de l'appareil. Le débit est alors déterminé par une simple lecture limnimétrique de la profondeur h_1 de l'écoulement à l'entrée de l'appareil, correspondant à la section BB' de la figure (1.16) et moyennant les caractéristiques de ce dernier. Ceci est d'ailleurs conforme aux appareils semi-modulaires.

I.4 Conclusion

Le premier chapitre de notre étude a 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 verticale placée en travers de l'écoulement. Ces appareils sont appelés déversoirs et sont dotés d'une échancrure soit de forme rectangulaire soit de forme triangulaire. Ce sont ces deux formes qui sont les plus utilisées. Lorsque le déversoir est doté d'une échancrure rectangulaire, 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, le débit volume Q est proportionnel à la puissance 5/2 de la hauteur de déversement.

Notre étude a montré que toutes les relations exprimant le débit transitant à travers ces déversoirs contiennent des termes correctifs. Le plus important d'entre eux est le coefficient de débit.

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

Notre étude a montré que le déversoir à paroi mince et à échancrure rectangulaire peut être avec 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 $1/h$.

Notre étude a 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.

Pour éliminer ces inconvénients, certains chercheurs ont tenté de concevoir d'autres types d'appareils. Ce sont les jaugeurs dits à ressaut qui utilisent la particularité de ce dernier à surélever le plan de charge aval. Notre étude a alors présenté les plus importantes d'entre eux, notamment les canaux jaugeurs de type *Parshall*, *Venturi*, *Achour*.

Les caractéristiques géométriques et les formules pratiques du débit de ces jaugeurs ont été largement discutées et leur limite d'applicabilité a été définie.

Cette catégorie d'appareils présente en règle générale une géométrie plane, à l'exception du jaugeur *Achour* dont les parois sont gauches. Les jaugeurs *Venturi* et *Parshall* sont caractérisés par une section droite rectangulaire qui diminue dans un premier temps pour former un convergent, puis augmente dans un second temps pour former un divergent. Entre ces deux tronçons est insérée une partie rectiligne également de section transversale rectangulaire et qui est souvent appelée col. A l'entrée de l'appareil, l'écoulement est fluvial et garde ce caractère tout le long du tronçon convergent. Au droit du col, l'écoulement est critique et il est suivi par un écoulement en régime torrentiel. Le tronçon divergent a la

particularité de transformer l'écoulement torrentiel en un écoulement fluvial par l'intermédiaire d'un ressaut hydraulique.

Le débit transitant par les jaugeurs *Parshall* et *Venturi* dépend de la profondeur de l'écoulement à l'entrée de l'appareil ainsi que des caractéristiques géométriques de celui-ci.

Les formules pratiques exprimant ce débit ont été présentées et discutées.

Etant donné que ces jaugeurs sont caractérisés par une section droite rectangulaire, la précision dans la mesure du débit dépend de celle commise sur la mesure de la profondeur d'entrée de l'écoulement. Une bonne précision n'est obtenue que pour les fortes profondeurs, c'est à dire pour les forts débits. Pour les faibles profondeurs, l'erreur commise sur la mesure du débit peut être significative.

Afin d'éliminer cet inconvénient, *Achour* (1989) propose un jaugeur dont la section droite demeure triangulaire tout le long de l'appareil. Celui-ci est ensuite suivi d'un tronçon rectiligne de section droite triangulaire constante dans lequel le régime d'écoulement est critique. A l'extrémité aval du dispositif, un tronçon de section droite divergente est inséré, ayant pour rôle la transformation, par l'intermédiaire d'un ressaut, de l'écoulement torrentiel prenant naissance à l'aval immédiat du tronçon rectiligne en un écoulement fluvial.

Le débit transitant par le jaugeur *Achour* dépend de la profondeur de l'écoulement à l'entrée immédiate de l'appareil ainsi que des caractéristiques géométriques de celui-ci.

Les jaugeurs *Parshall*, *Venturi* et *Achour* sont des appareils dits semi-modulaires, car le débit est fonction à la fois de la profondeur de l'écoulement et de leur géométrie. Leur fond est plat et leur axe longitudinal se confond avec celui du canal dans lequel ils sont insérés. Cette particularité confère à ces appareils un caractère auto-dégrevant.

Dans les chapitres suivants, notre étude se propose d'examiner un nouveau type de jaugeur, basé sur une section droite triangulaire avec une hauteur de pelle qui diffère de zéro, où l'axe longitudinal de son fond se confond avec celui de canal d'amenée.

Nous examinerons cet appareil ou déversoir par des différents débits pour plusieurs angles.

Les expressions de débit ainsi que le coefficient de débit sont déterminées par une approche théorique et vérifiées expérimentalement.

CHAPITRE DEUX

ÉTUDE THÉORIQUE DU DISPOSITIF

II.1. Introduction

Le premier chapitre de notre étude a eu pour objectif de passer en revue les principaux appareils de mesure du débit dans les canaux ouverts.

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 recherche bibliographique à montrer que toutes les relations exprimant le débit contiennent des termes correctifs le plus important d'entre eux est le coefficient de débit μ .

Cette partie de notre étude a pour principal objectif d'établir la loi *hauteur- débit* du dispositif étudié. Cette loi sera d'abord déterminée par une approche théorique, puis sera ensuite validée par des essais expérimentaux réalisés sur quelques dispositifs de caractéristiques diverses. Lors de notre approche théorique, il sera possible d'établir deux expressions théoriques du coefficient de débit dont la première correspond à une vitesse d'approche de l'écoulement négligeable, tandis que la seconde sera établie en tenant compte de l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement. Rappelons que cette vitesse d'approche est représentée par la hauteur capable de la vitesse moyenne dans une section amont du canal d'amenée et correspond donc à la quantité $V^2/2g$. L'effet de la tension superficielle ne sera éventuellement observé et quantifié que lors des essais expérimentaux.

Après avoir décrit le dispositif étudié ainsi que l'écoulement qui y transite, nous procéderons à l'application de l'équation de la quantité de mouvement entre deux sections choisies de l'écoulement. La première section sera prise dans le canal d'amenée dans lequel est inséré le dispositif, tandis que la seconde correspondra à la section de contrôle apparaissant à l'intérieur de la section triangulaire du dispositif. L'équation de la quantité de mouvement sera établie en termes adimensionnels afin de lui donner un caractère de validité générale. Nous en déduirons ensuite les expressions théoriques du coefficient de débit et du débit écoulé par le dispositif. Ces expressions seront discutées et des conclusions seront tirées.

II.2. Géométrie du dispositif et paramètres adimensionnels

Le nouveau type d'appareil semi- modulaire destiné à la mesure du débit dans les canaux ouverts se caractérise par une section de forme triangulaire à paroi épaisse et d'angle d'ouverture constant θ . il est muni d'une hauteur de pelle et son axe longitudinal se confond avec celui du canal d'amenée de forme rectangulaire dans lequel il est inséré. L'appareil provoque un rétrécissement brusque de la section du canal d'amenée et la veine liquide s'y écoule subit une contraction latérale.

La figure 2.1 montre, en perspective, le schéma simplifié du dispositif étudié lorsqu'il est inséré dans un canal d'amenée de section rectangulaire. Les caractéristiques géométriques du dispositif y sont également indiquées, en particulier la forme triangulaire de la section et sa hauteur de pelle.

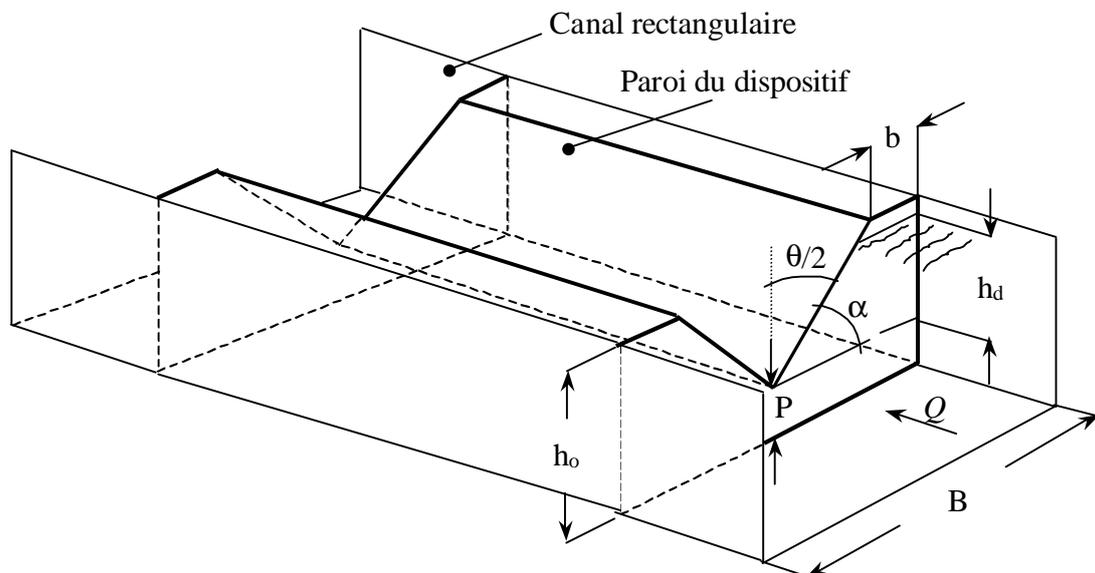


Figure 2.1 : Schéma en perspective du dispositif étudié placé dans un canal d'amenée rectangulaire.

Les caractéristiques du dispositif sont :

h_o : La hauteur géométrique

P : La hauteur de pelle

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

b : Largeur de la contraction latérale du dispositif

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

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

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

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

Si $m = \cotg(\alpha) = \tg(\theta/2)$, nous pouvons alors établir géométriquement que :

$$\tg(\theta_{\max}/2) = m = B/(2h_{d,\max}) = B/[2(h_o - P)]$$

En introduisant le paramètre $M_d = mh_d/B$, il apparaît ainsi que la valeur maximale de M_d est $M_{d,\max} = 1/2$. Pour les faibles valeurs de la profondeur de déversement h_d ou pour les grandes valeurs de la largeur B du canal d'amenée, nous pouvons écrire que $M_d \rightarrow 0$.

Il est donc possible d'écrire que $0 \leq M_d \leq 1/2$.

Il est aisé de montrer que le paramètre sans dimension M_d correspond au rapport de la section triangulaire (mh_d^2) et de la section rectangulaire (Bh_d). Il s'agit donc d'un paramètre qui traduit l'effet de la contraction de la section transversale du canal d'amenée, située au-dessus de la hauteur de pelle P .

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

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

Soit :

$$\psi = M_d / (1 + P^*) \tag{2.1}$$

Où $P^* = P/h_d$ est la hauteur relative de pelle. La plus faible valeur que prend le paramètre sans dimension ψ est zéro et correspond soit à $M_d \rightarrow 0$ ou aux grandes valeurs de la hauteur relatives de pelle P^* ($P^* \rightarrow \infty$). La valeur maximale de ψ est obtenue pour les faibles valeurs de la hauteur relative de pelle P^* ($P^* \rightarrow 0$) et pour la plus grande valeur de M_d , soit $M_{d,\max} = 1/2$. Il est donc possible d'écrire, compte tenu de ces considérations, que $0 \leq \psi \leq 1/2$.

II.3. Description de l'écoulement

La figure 2.2 montre, quant à elle, le profil en long de l'écoulement, à la fois dans le canal d'amenée à l'amont du dispositif et à l'intérieur de celui-ci.

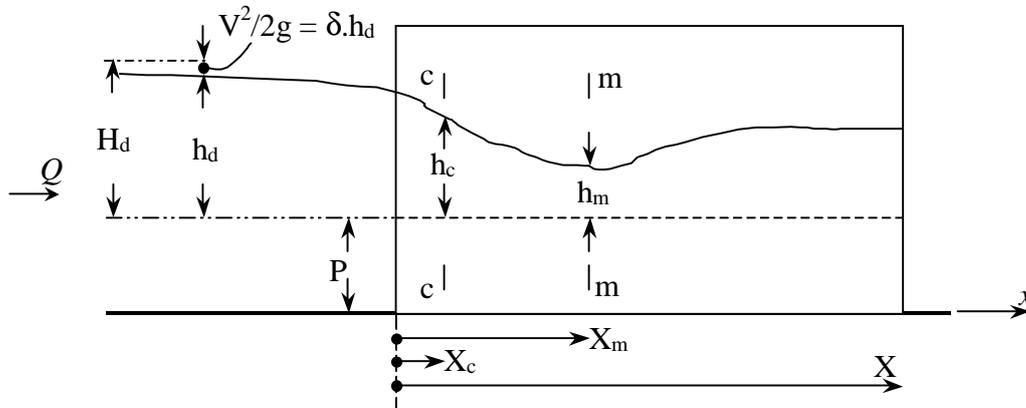


Figure 2.2 : Profil en long de l'écoulement dans le canal d'amenée et à l'intérieur du dispositif.

Le profil en long ainsi représenté a été observé expérimentalement sur l'ensemble des dispositifs testés, pour peu que la longueur géométrique X soit suffisante.

L'écoulement amont dans le canal d'amenée rectangulaire est de nature fluviale et il est caractérisé par la charge totale H_d et la profondeur de déversement h_d , comptées au-dessus de la hauteur de pelle P . 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 :

$$V^2/2g = \delta.h_d$$

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

$$H_d = (1 + \delta) h_d \quad (2.2)$$

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

A l'intérieur du dispositif de forme triangulaire de longueur géométrique X , l'écoulement demeure fluvial sur une certaine distance. Il devient critique dans la section c-c et se transforme en un écoulement torrentiel entre les sections c-c et m-m dont la profondeur h_m est minimale.

Nous désignons par X_c la distance critique correspondant à l'apparition de la section de contrôle, tandis que X_m est la distance correspondant à la profondeur minimale h_m . Les distances X_c et X_m sont toutes les deux comptées à partir de l'entrée du dispositif.

II.4. Hauteur relative de déversement

II.4.1. 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 triangulaire 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 triangulaire est telle que :

$$h_c = \left[\frac{2Q^2}{g m^2} \right]^{1/5} \quad (2.3)$$

Où Q est le débit volume écoulé par le dispositif ainsi que par le canal d'amenée, g est l'accélération de la gravité et m a déjà été précédemment définie comme étant égal à la cotangente de l'angle d'inclinaison des parois du dispositif par rapport à l'horizontale ou à la tangente du demi-angle d'ouverture de la section triangulaire du dispositif étudié.

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.4.2. 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 $(h_d + P)$, et la section c-c (Figure 2.2) 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 c-c 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 c-c.
- F_1 est la force hydrostatique agissant sur la section à l'amont du dispositif, dans le canal d'amenée.
- F_r est la force de réaction de la face amont du dispositif.

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

$$\rho Q(V_c - V_1) = F_1 - F_c - F_r \quad (2.4)$$

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 $F_r = \varpi \bar{h}_r A_r$, où $\varpi = \rho g$ désigne le poids spécifique du liquide en écoulement.

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

$$\bar{h}_1 = h_1/2, \quad \bar{h}_c = h_c/3 \quad \text{et} \quad \bar{h}_r = \frac{h_1}{6} \left(\frac{3B - 2mh_1}{B - mh_1} \right), \quad \text{où} \quad h_1 = (h_d + P).$$

En substituant les relations précédentes dans l'équation (2.4), et après avoir procédé à des simplifications et à des arrangements, nous obtenons le résultat final suivant :

$$h_d^{*5} - \frac{5}{2}h_d^{*2} + \frac{3}{2}\frac{M_d}{(1+P^*)} = 0 \quad (2.5)$$

Ou bien :

$$h_d^{*5} - \frac{5}{2}h_d^{*2} + \frac{3}{2}\psi = 0 \quad (2.6)$$

Il est utile de rappeler que :

$$h_d^* = h_d/h_c, \quad M_d = mh_d/B, \quad P^* = P/h_d \quad \text{et} \quad \psi = M_d/(1+P^*).$$

Ainsi, la hauteur relative h_d^* de déversement dépend du paramètre adimensionnel M_d et de la hauteur relative de pelle P^* . Lorsque $P^* = 0$, nous retrouvons le cas particulier du dispositif dépourvu d'une hauteur de pelle ($P=0$), ayant déjà fait l'objet d'une étude antérieure (Nebbar, 2005). L'axe du dispositif se confond avec celui du canal d'amenée, ce qui confère à l'ouvrage un caractère auto- dégrevant.

Mais $P^* = 0$ peut correspondre également au cas d'un dispositif de hauteur de pelle $P \neq 0$, fonctionnant cependant sous de fortes hauteur de déversement h_d ($h_d \rightarrow \infty$). En pratique, les paramètres connus du problème sont :

- La hauteur de pelle P du dispositif.
- La largeur B du canal d'amenée rectangulaire.
- L'angle d'inclinaison α des parois du dispositif par rapport à l'horizontale, et par voie de conséquence $m = \cotg(\alpha)$ est également une donnée.
- La hauteur de déversement h_d , obtenue par une simple mesure limnimétrique.

Ainsi, compte tenu de toutes données, il est aisé d'estimer la valeur du paramètre adimensionnel ψ . L'équation de la quantité de mouvement, exprimée par la relation (2.6), permet alors la détermination de la hauteur relative de déversement h_d^* . Cependant, étant donné le caractère implicite de l'équation (2.6), la détermination de h_d^* ne peut se faire que par la voie graphique ou en s'aidant d'un procédé itératif.

Nous avons représenté sur la figure 2.3 la variation de la hauteur relative h_d^* en fonction de la hauteur relative de pelle P^* , pour diverses valeurs du paramètre adimensionnel M_d et selon la relation implicite (2.5). Sur la même figure est représentée également la variation de la hauteur relative de déversement en fonction du paramètre sans dimension ψ , en vertu de la relation (2.6).

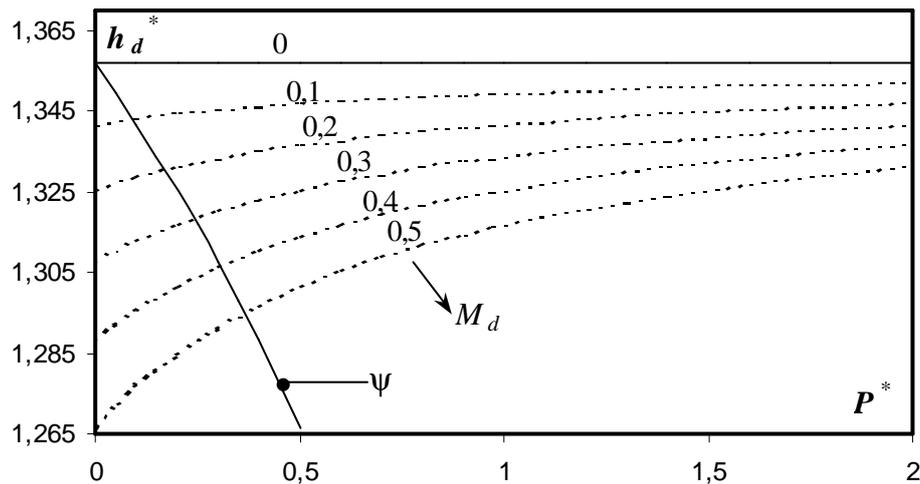


Figure 2.3 : Variation de la hauteur relative de déversement en fonction de la hauteur relative de pelle et du paramètre ψ .

Nous pouvons ainsi constater que pour la même valeur du paramètre adimensionnel M_d , la hauteur relative de déversement h_d^* augmente avec l'accroissement de la hauteur relative de pelle P^* . La figure 2.3 montre également que pour la même valeur de la hauteur relative de pelle P^* , la hauteur relative de déversement h_d^* diminue avec l'augmentation de la valeur du paramètre adimensionnel M_d .

Nous pouvons également constater que pour $M_d = 0$, la hauteur relative de déversement h_d^* prend une valeur constante quelque soit la valeur de la hauteur relative de pelle P^* . D'un point de vue physique, il est plutôt convenable d'écrire $M_d \rightarrow 0$ au lieu de $M_d = 0$.

Les très faibles valeurs du paramètre adimensionnel ($M_d = mh_d/B \rightarrow 0$) correspondent, pour un dispositif donné, soit aux faibles valeurs de la hauteur de déversement h_d , ou soit aux grandes valeurs de la largeur B du canal d'amenée.

La valeur h_d^* ($M_d = 0$) est obtenue en substituant $M_d = 0$ dans l'équation (2.6). Il s'ensuit que :

$$h_d^{*5} - \frac{5}{2}h_d^{*2} = 0$$

Soit : $h_d^* = (5/2)^{1/3} \approx 1,3572$.

Quant à la variation de $h_d^* = f(\psi)$, la figure 2.3 montre que h_d^* diminue au fur et à mesure que ψ augmente dans toute la gamme $0 \leq \psi \leq 1/2$. Pour les valeurs limites $\psi = 0$ et $\psi = 1/2$, le calcul montre que $h_d^*(\psi = 0) = (5/2)^{1/3} \approx 1,3572$, valeur ayant déjà été déterminée précédemment, et $h_d^*(\psi = 1/2) \approx 1,2667$. Ainsi, dans la gamme de variation $0 \leq \psi \leq 1/2$, la profondeur relative h_d^* varie dans la gamme $1,2667 \leq h_d^* \leq 1,3572$.

II.4.3. Expression approchée de la hauteur relative de déversement

Nous avons noté, lors du développement théorique précédent, que la hauteur relative h_d^* de déversement était liée au paramètre ψ par une relation implicite d'ordre cinq, exprimée par la relation (2.6). Afin de permettre une estimation aisée de h_d^* , nous proposons une relation approchée $h_d^* = f(\psi)$ en ayant recours à la méthode des moindres carrés non linéaires. Cette relation, obtenue avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,9997$, est :

$$h_d^{*-1} \approx 0,1004\psi^{1,0787} + 0,7368 \tag{2.7}$$

Les valeurs exactes de h_d^{*-1} , calculées pour diverses valeurs du paramètre ψ en application de la relation implicite (2.6), ont été confrontées à celles issues de l'équation approchée (2.7). Les écarts relatifs calculés sont représentés sur la figure 2.4 en fonction du paramètre ψ . L'écart relatif maximal observé est de l'ordre de 0,65% et ne s'obtient que lorsque la plus grande valeur de ψ est associée à la plus faible valeur de P^* , soit $\psi = 1/2$ et $P^* = 0$. L'écart maximal est inférieur à 0,45% pour $\psi = 1/2$ et $P^* \geq 0,1$. Ceci permet de conclure à la fiabilité de la relation approchée (2.7), dont l'application est explicite.

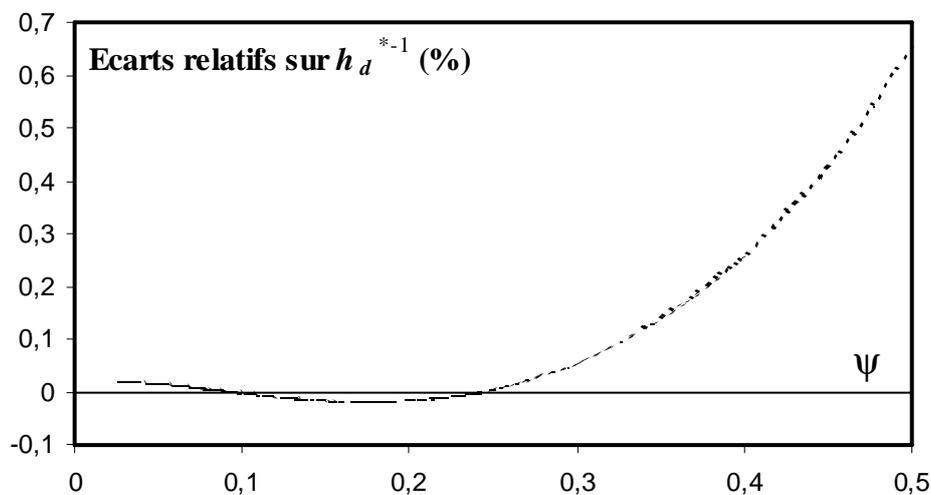


Figure 2.4 : Ecarts relatifs entre les valeurs exactes et approchées de h_d^{*-1} , en fonction du paramètre adimensionnel ψ .

II.5. Charge totale relative de déversement

II.5.1. 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 triangulaire du dispositif, soit $H_d^* = H_d/h_c$. La profondeur critique h_c répond à la relation (2.3). 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.5.2. Calcul de la charge totale relative de déversement

En se rapportant à la figure 2.2, nous pouvons établir l'équation suivante :

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

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

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

$$H_d = h_d + \frac{Q^2}{2gB^2(h_d + P)^2} \quad (2.8)$$

En éliminant le débit volume Q entre les relations (2.3) et (2.8), il vient que :

$$H_d = h_d + \frac{m^2 h_c^5}{4B^2(h_d + P)^2} \quad (2.9)$$

En introduisant les paramètres $H_d^* = H_d/h_c$, $h_d^* = h_d/h_c$, $M_d = mh_d/B$ et $P^* = P/h_d$,

La relation (2.9) peut aisément s'écrire :

$$H_d^* = h_d^* + \frac{M_d^2}{4h_d^{*4} (1 + P^*)^2} \quad (2.10)$$

Ou bien :

$$H_d^* = h_d^* + \frac{\psi^2}{4h_d^{*4}} \quad (2.11)$$

Tenant compte des relation (2.6) et (2.11), il apparaît clairement que la charge totale relative de déversement H_d^* ne dépend que du paramètre ψ et par conséquent des paramètres M_d et P^* .

La relation (2.11) montre également que lorsque $\psi \rightarrow 0$, la charge totale relative de déversement peut être assimilée à la hauteur relative de déversement.

En d'autres termes, la charge totale de déversement H_d se confond avec la hauteur de déversement h_d .

Comme pour la hauteur relative h_d^* , la charge totale relative de déversement H_d^* est ainsi liée au paramètre ψ par une relation implicite. Cependant, il est possible de remplacer (2.11) par une relation explicite, après avoir constaté la quasi-linéarité entre H_d^* et ψ . La relation (2.11) est tracée graphiquement sur la figure 2.5, à partir des valeurs calculées des relations (2.6) et (2.11).

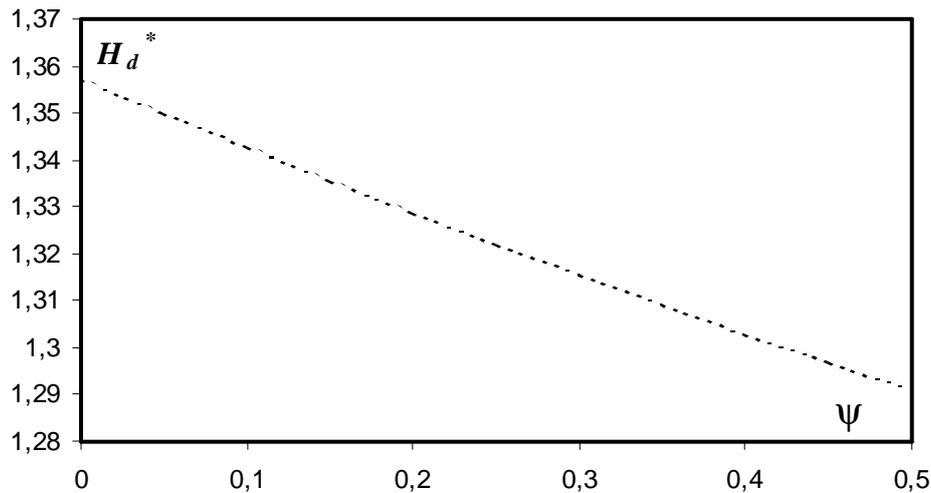


Figure 2.5 : Variation de H_d^* en fonction de ψ , selon les relations (2.6) et (2.11)

Nous pouvons ainsi constater que la charge totale relative H_d^* diminue quasi linéairement lorsque ψ augmente dans toute la gamme $0 \leq \psi \leq 1/2$.

Un ajustement, basé sur la méthode des moindres carrés linéaires, a permis d'écrire avec une excellente approximation que :

$$H_d^{*-1} \approx 0,0768\psi + 0,7368 \quad (2.12)$$

La relation (2.12) a été obtenue avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,9996$. Nous avons en outre confronté les valeurs exactes et approchées de H_d^{*-1} et nous avons pu constater que les écarts relatifs sont insignifiants. L'écart relatif maximal est de l'ordre de 0,078%, obtenu pour la plus grande valeur du paramètre ψ , soit $\psi = 1/2$.

Les écarts relatifs entre les valeurs de $H_{d,exacte}^{*-1}$ et $H_{d,approché}^{*-1}$ sont représentés sur la figure 2.6 en fonction de ψ .

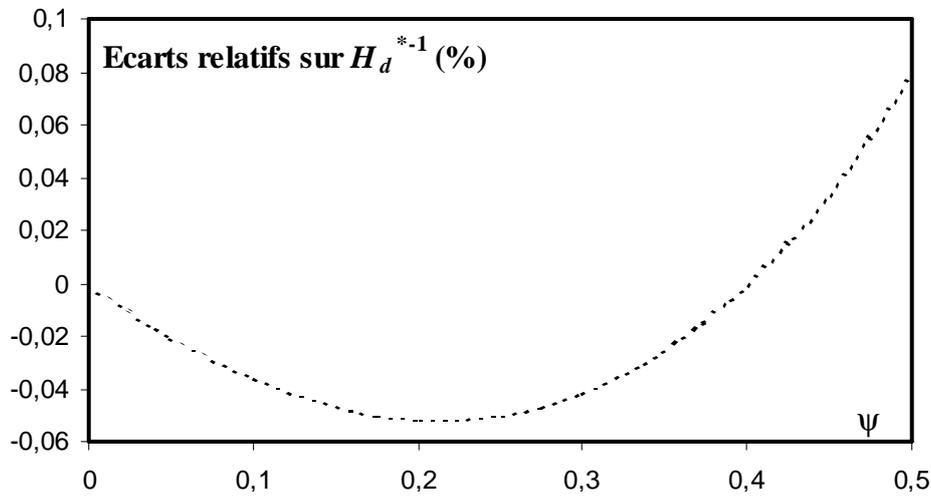


Figure 2.6 : Ecarts relatifs sur H_d^{*-1} en fonction de ψ .

II.6. Coefficient de débit du dispositif et expression du débit

II.6.1. 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, soit $H_d \approx h_d$. Cela revient à écrire que le paramètre δ , figurant dans la relation (2.2), est tel que $\delta \rightarrow 0$. Dans ce cas, le débit volume Q écoulé par le dispositif s'écrit :

$$Q = \mu_o m \sqrt{2g} h_d^{5/2} \quad (2.13)$$

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 (2.3) et (2.13), il est aisé de montrer que :

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

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

$$\mu_o = \frac{1}{2h_d^{*5/2}} \quad (2.14)$$

Il est ainsi démontré que le coefficient de débit μ_o est exclusivement lié à la hauteur relative de déversement h_d^* , et donc au paramètre $\psi = M_d/(1+P^*)$ tel que nous l'indique la relation (2.6). En éliminant h_d^* entre les relations (2.6) et (2.14), il est aisé de déterminer la relation fonctionnelle $\mu_o = f(\psi)$, soit :

$$x^{-2} - \frac{5}{2}x^{-4/5} + \frac{3}{2}\psi = 0 \quad (2.15)$$

Où : $x = 2\mu_o$.

Nous avons représenté sur la figure 2.7 la variation du coefficient de débit μ_o en fonction des paramètres M_d et P^* d'une part, puis en fonction du paramètre ψ d'autre part.

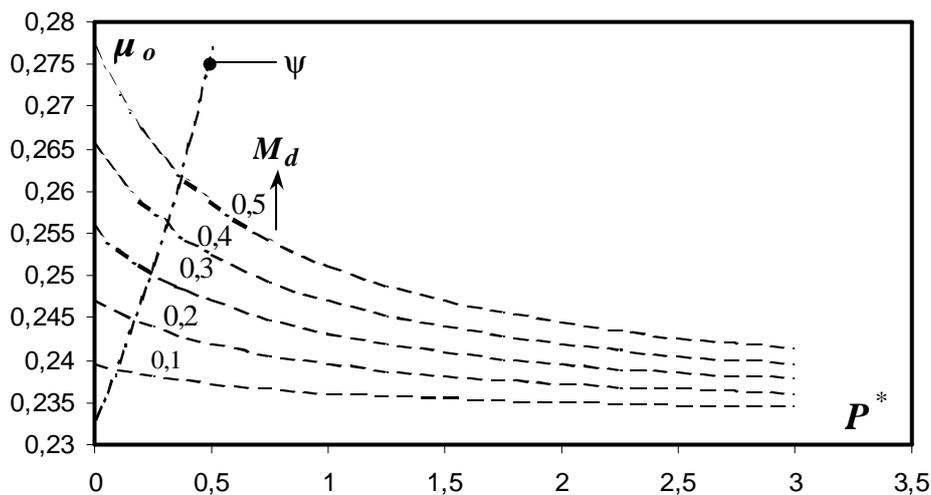


Figure 2.7 : Variation de $\mu_o = f(M_d, P^*)$ et de $\mu_o = f(\psi)$.

La figure 2.7 montre que, quelle que soit la valeur du paramètre M_d , le coefficient de débit μ_o diminue au fur et à mesure que la hauteur relative de pelle P^* augmente.

Il augmente cependant avec l'accroissement du paramètre ψ . Pour les grandes valeurs de P^* , la figure 2.7 montre que le coefficient de débit μ_o tend à devenir constant et dont la valeur dépend de celle du paramètre M_d .

En outre, la relation (2.15) indique que, quelle soit la valeur de M_d , $\mu_o = f(M_d, P^* \rightarrow \infty) = f(\psi \rightarrow 0) \approx 0,233$. Elle indique également que $\mu_o = f(\psi = 1/2) \approx 0,2768$.

Il est donc possible d'écrire que pour $0 \leq \psi \leq 1/2$, le coefficient de débit μ_o varie dans la gamme $0,233 \leq \mu_o \leq 0,2768$.

Etant donné le caractère implicite de la relation (2.15), il n'est pas aisé d'exprimer le coefficient de débit μ_o en fonction du paramètre ψ . Cependant, nous pouvons faire appel à la relation (2.7) dont la fiabilité a déjà été démontrée. Ainsi, en éliminant h_d^* entre les relations (2.7) et (2.14), nous pouvons écrire que :

$$\mu_o \approx \frac{1}{2}(0,1004\psi^{1,0787} + 0,7368)^{5/2} \quad (2.16)$$

La relation (2.16) permet ainsi une estimation explicite du coefficient de débit théorique μ_o .

En substituant la relation (2.16) dans (2.13), le débit volume Q écoulé par le dispositif est :

$$Q = \frac{1}{2}(0,1004\psi^{1,0787} + 0,7368)^{5/2} m \sqrt{2g} h_d^{5/2} \quad (2.17)$$

II.6.2. 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 :

$$Q = \mu m \sqrt{2g} H_d^{5/2} \quad (2.18)$$

Le paramètre μ correspond au coefficient de débit lorsque $\delta \neq 0$. L'inconvénient majeur dans l'application de la relation (2.18) 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 (2.3) qui exprime la profondeur critique dans la section triangulaire du dispositif. Ainsi, en éliminant le débit volume Q entre les relations (2.3) et (2.18), nous pouvons écrire que :

$$\mu H_d^{5/2} = \frac{1}{2} h_c^{5/2}$$

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

$$\mu = \frac{1}{2 H_d^{*5/2}} \quad (2.19)$$

Il est évident que lorsque $\delta \rightarrow 0$, $\mu \rightarrow \mu_o$ et $H_d^* \rightarrow h_d^*$, et la relation (2.14) est alors reproduite.

En combinant les relations (2.12) et (2.19), nous pouvons alors exprimer le coefficient de débit μ par la relation suivante :

$$\mu \approx \frac{1}{2} (0,0768\psi + 0,7368)^{5/2} \quad (2.20)$$

La relation (2.20) est explicite vis-à-vis de μ , puisque le paramètre ψ est une donnée du problème.

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 :

$$Q = \mu_o m \sqrt{2g} H_d^{5/2}$$

Il s'agit en fait de la relation (2.13) dans laquelle la hauteur de déversement h_d est remplacée par la charge de déversement H_d . En tenant compte de la relation (2.3), nous pouvons écrire que :

$$Q = \mu_o m \sqrt{2g} (1 + \delta)^{5/2} h_d^{5/2} \quad (2.21)$$

Nous pouvons ainsi constater que lorsque $\delta = 0$, la relation (2.13) est alors reproduite. En outre, la relation (2.21) peut s'écrire :

$$Q = \mu m \sqrt{2g} h_d^{5/2} \quad (2.22)$$

Dans laquelle :

$$\mu = \mu_o (1 + \delta)^{5/2} \quad (2.23)$$

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

D'autre part, la relation (2.11) peut se mettre sous la forme :

$$H_d^* = \left(1 + \frac{\psi^2}{4h_d^{*5}} \right) h_d^* \quad (2.24)$$

Il est également utile de constater que la relation (2.2) peut s'écrire, en divisant ses deux

$$\text{membres par } h_c: \quad H_d^* = (1 + \delta) h_d^* \quad (2.25)$$

Par identification, nous pouvons déduire des relations (2.24) et (2.25) que :

$$\delta = \frac{\psi^2}{4h_d^{*5}} \quad (2.26)$$

En tenant compte de la relation (2.14), le paramètre cinétique δ , exprimé par la relation (2.26), s'écrit :

$$\delta = \mu_o^2 \psi^2 \quad (2.27)$$

En substituant (2.27) dans (2.23), le coefficient de débit μ s'exprime par la relation suivante :

$$\mu = \mu_o (1 + \mu_o^2 \psi^2)^{5/2} \quad (2.28)$$

La relation (2.28) montre bien que lorsque $\psi \rightarrow 0$ correspondant à $\delta \rightarrow 0$, $\mu \rightarrow \mu_o$. En outre, elle montre que le coefficient de débit μ ne dépend que du paramètre $\psi = f(M_d, P^*)$, compte tenu du fait que, selon la relation (2.16), $\mu_o = f(\psi)$.

Afin d'illustrer l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement sur le coefficient de débit du dispositif, nous avons calculé et représenté sur la figure 2.8 les écarts obtenus sur le coefficient de débit selon que l'on considère soit $\mu = \mu_o$ correspondant à $\delta \rightarrow 0$, ou soit μ exprimée par la relation (2.28) pour $\delta \neq 0$. Les écarts calculés sont représentés en fonction des paramètres adimensionnels M_d et P^* .

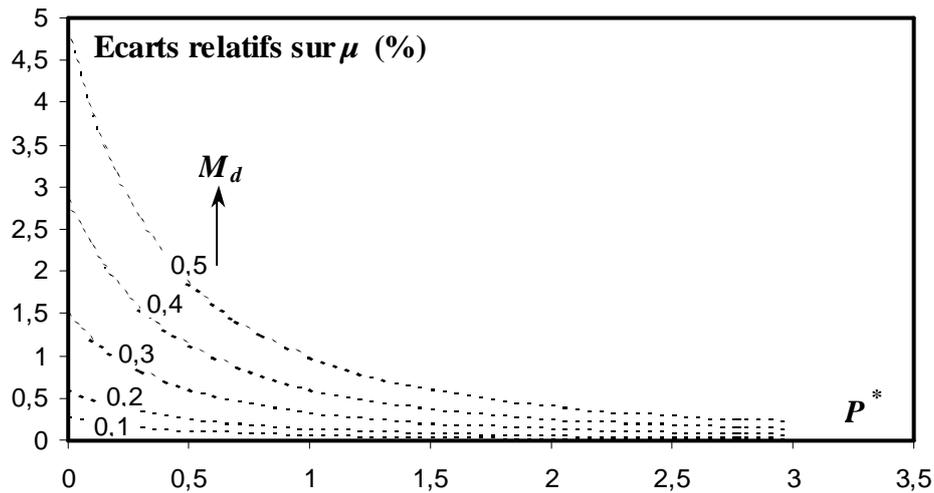


Figure 2.8: Effet de la vitesse d'approche de l'écoulement sur le coefficient de débit μ .

La figure 2.8 montre que pour une valeur donnée de M_d , les écarts sur le coefficient de débit du dispositif diminuent au fur et à mesure que la hauteur relative de pelle P^* augmente. Quelle que soit la valeur de M_d , les écarts peuvent être considérés comme étant insignifiants lorsque $P^* \rightarrow \infty$. En d'autres termes, lorsque les hauteurs de pelle P du dispositif sont nettement supérieures aux hauteurs de déversement h_d , nous pouvons écrire $\mu \approx \mu_o$. Par contre, pour les faibles valeurs de P^* , la figure 2.8 montre clairement que les écarts sur le coefficient de débit du dispositif augmentent au fur et à mesure que M_d croît. Lorsque le dispositif est dépourvu de hauteur de pelle, soit $P^* = 0$, les écarts peuvent atteindre environ 5% pour la plus grande valeur de M_d , soit $M_d = 1/2$.

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 (2.28) dans (2.22). Ainsi :

$$Q = \mu_o (1 + \mu_o^2 \psi^2)^{5/2} m \sqrt{2g} h_d^{5/2} \quad (2.29)$$

Rappelons que le coefficient de débit μ_o est donné par la relation (2.16).

II.7. Conclusion

Le second chapitre de notre étude a été consacré au développement de quelques relations théoriques régissant le fonctionnement d'un seuil large de section triangulaire doté d'une hauteur de pelle. Inséré dans un canal d'amenée rectangulaire, le dispositif provoque une contraction latérale de la section du canal.

A partir d'un schéma de définition de l'écoulement et sous certaines hypothèses simplificatrices, l'équation de la quantité de mouvement a été appliquée entre une section amont du canal d'amenée rectangulaire et la section de contrôle à l'intérieur du dispositif, en tenant compte des forces de réaction de la section amont du dispositif. Une équation de cinquième ordre a été obtenue, liant la hauteur relative de déversement $h_d^* = h_d/h_c$ aux paramètres adimensionnels $M_d = mh_d/B$ et $P^* = P/h_d$. Nous avons ainsi constaté que les paramètres mis en jeu sont : m la cotangente d'inclinaison des parois du dispositif par rapport à l'horizontale, h_d la hauteur de déversement comptée au-dessus de la hauteur de pelle P du dispositif et dont la valeur est mesurable en pratique, B la largeur du canal d'amenée rectangulaire et enfin la profondeur critique h_c de l'écoulement dans la section de contrôle.

En raison du caractère implicite de la relation obtenue, un ajustement, basé sur la méthode des moindres carrés non linéaires, a permis de proposer une excellente relation approchée. Celle-ci permet le calcul explicite de la hauteur relative de déversement h_d^* en fonction du paramètre composé $\psi = M_d/(1+P^*)$.

Nous avons poursuivi le développement théorique par l'identification des paramètres influençant la charge totale relative de déversement que nous avons définie comme étant, où H_d est la charge totale de déversement comptée au-dessus de la hauteur de pelle P du dispositif. Nous avons montré que H_d^* la charge totale relative de déversement que nous avons définie comme étant $H_d^* = H_d/h_c$, ne dépendait que du paramètre composé ψ , et donc des variables M_d et P^* . Après avoir établi le quasi linéarité entre H_d^{*-1} et ψ , une relation approchée a été proposée.

Au cours du second chapitre de notre étude, nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'établissement des équations théoriques régissant le coefficient de débit μ du dispositif étudié. Nous avons montré que μ était étroitement lié à la hauteur relative de déversement h_d^* lorsque la vitesse d'approche de l'écoulement a été négligée, et à la charge totale relative de déversement H_d^* lorsque l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement devait être considéré.

Dans les deux cas ci-dessus mentionnés, nous avons pu montrer que le coefficient de débit μ du dispositif étudié était dépendant des paramètres adimensionnels M_d et P^* , et les équations qui le gouvernent ont été établies. A travers une représentation graphique, nous avons montré comment l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement pouvait influencer le coefficient de débit μ , en particulier lorsque les faibles valeurs de la hauteur relative de pelle P^* sont associées aux valeurs élevées du paramètre M_d .

Enfin, tenant compte ou non de l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement, les expressions théoriques du débit volume Q écoulé par le dispositif ont été proposées.

Les relations théoriques que nous avons établies, notamment celles du coefficient de débit, seront vérifiées au cours du troisième chapitre de notre étude, à travers l'analyse des mesures d'essais de laboratoire.

CHAPITRE TROIS

ETUDE EXPERIMENTALE

III.1 Introduction

Le second chapitre de notre étude a eu pour objet principal de définir les caractéristiques géométriques du dispositif que nous avons proposé.

Nous avons présenté un développement théorique dont le but de définir l'expression du coefficient de débit du dispositif ainsi que celle du débit transitant dans le canal d'amenée. Cette dernière est conforme à celle des appareils semi modulaires, puisque le débit dépend à la fois des caractéristiques géométriques du débitmètre et de la profondeur d'eau mesurée à l'amont de celui-ci.

L'objectif principal du troisième chapitre est de vérifier expérimentalement la validité des relations proposées lors du développement théorique.

Au cours de cette partie nous proposons d'expérimenter le nouveau type d'appareil semi modulaire destiné à la mesure des débits dans les canaux ouverts. Nous testerons au laboratoire des modèles des dispositifs avec des caractéristiques géométriques différents.

Notre choix s'est porté sur un élément de forme triangulaire à paroi épaisse et d'angle d'ouverture constant. Il est muni d'une hauteur de pelle et son axe longitudinal se confond avec celui du canal d'amenée de forme rectangulaire dans lequel il est inséré. L'appareil provoque un rétrécissement brusque de la section du canal d'amenée et la veine liquide s'y écoule subit une contraction latérale.

L'écoulement dans le canal d'amené rectangulaire est en régime fluvial et se transforme en un écoulement en régime torrentiel à l'intérieur du dispositif. Cette transformation s'opère par une section de contrôle qui apparaît alors quelque part à l'aval du rétrécissement. Ainsi nous exposerons le protocole expérimental ayant servi à tester l'appareil étudié et les résultats expérimentaux seront présentés sur des tableaux.

III.2. Description et caractéristiques du dispositif

La présente partie de notre mémoire, se propose de tester quelques dispositifs décrits lors du second chapitre. La mise en place du dispositif modifie le régime d'écoulement et permet d'utiliser la relation hauteur- débit théorique du dispositif. Tous ces dispositifs sont insérés dans le même canal de largeur constante

B = 29.30 cm.

La figure 3.1 représente les caractéristiques du dispositif a expérimenté au laboratoire.

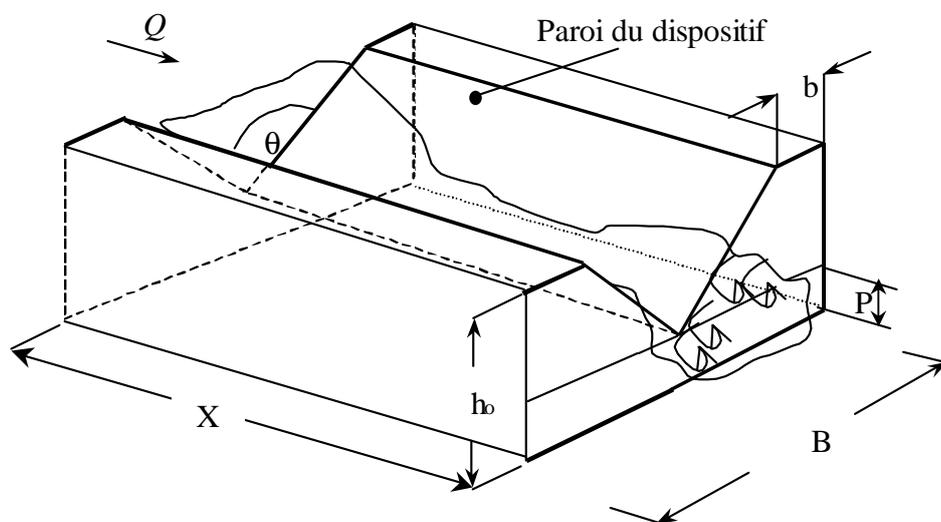
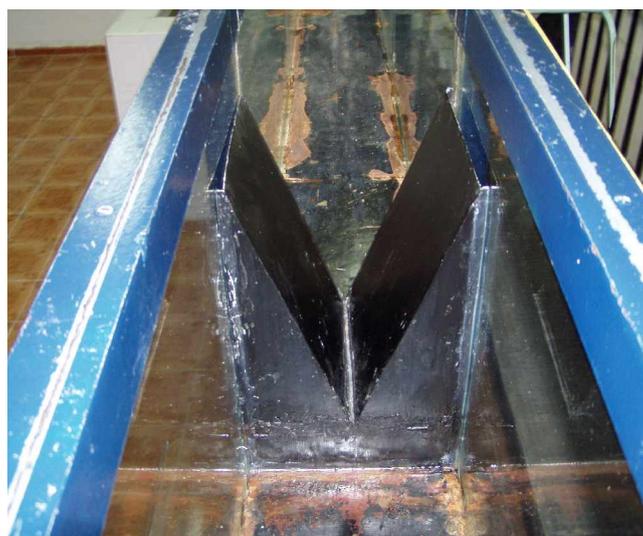


Figure 3.1 Schéma en perspective du dispositif testé.

Tandis que la photographie (1) montre le dispositif expérimenté au laboratoire



Photographie 1 : Vue du dispositif testé

En fait, notre étude s'est intéressée à six (06) dispositifs dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau (3.1)

Tableau 3.1 : Caractéristiques géométriques des dispositifs testés.

| <i>Dispositif</i> | <i>Largeur de la contraction b (cm)</i> | <i>Hauteur du dispositif h (cm)</i> | <i>Angle d'ouverture θ</i> | <i>Hauteur de pelle P (cm)</i> | <i>Longueur Géométrique X (cm)</i> | <i>Largeur du canal B (cm)</i> |
|-------------------|---|---|--|------------------------------------|--|------------------------------------|
| 01 | 1 | 33 | 45° | 10,259 | 25 | 29,30 |
| 02 | 1 | 33 | 45° | 8,232 | 25 | 29,30 |
| 03 | 1,1 | 23 | 60° | 10,233 | 25 | 29,30 |
| 04 | 1,1 | 23 | 60° | 8,232 | 25 | 29,30 |
| 05 | 0 | 21 | 71° | 10,268 | 25 | 29,30 |
| 06 | 0 | 21 | 71° | 8,136 | 25 | 29,30 |

Comme l'indique le tableau (3.1) nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux grandes valeurs de P ($P \geq 8$ cm), et d'angle d'ouverture $\theta \geq 45^\circ$.

III.3 Description du banc d'essais

La figure 3.2 représente le schéma de l'installation expérimentale destiné à tester les dispositifs ci-dessus décrits. Tandis que la photographie 2 montre une vue d'ensemble du banc d'essais. Il est constitué d'un canal de forme rectangulaire de 8,40 m de longueur, les deux parois latérales verticales sont en verre transparent permettant la visualisation de l'écoulement. Le canal est 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 3.2.

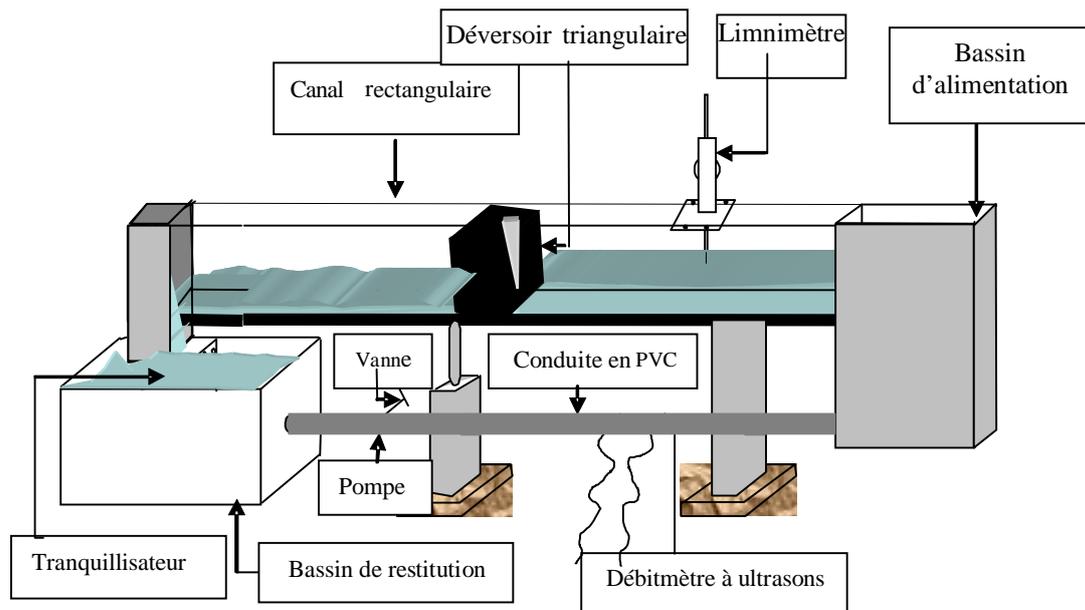


Figure 3.2 : Schéma du banc d'essais utilisé.



Photographie 2 : Vue d'ensemble du banc d'essais

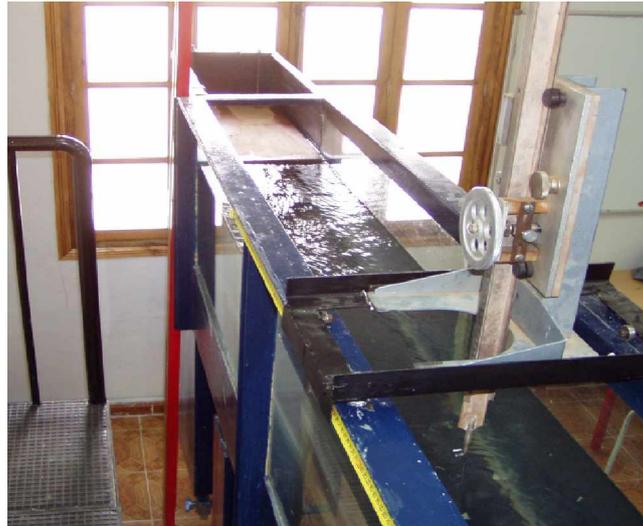
La pompe axiale est dotée d'une vanne de réglage des débits et permet ainsi d'effectuer les essais dans une large gamme de débits. La vue d'ensemble du banc d'essais ainsi décrit est représentée sur les photographies 3 à 5.



Photographie 3 : 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 4: Vue de la pompe axiale utilisée insérée dans la conduite circulaire à
l'aval du bassin de récupération des eaux



Photographie 5 : Vue du bassin d'alimentation, montrant :
L'écoulement fluvial dans le canal de mesures, - le Limnimètre ayant servi à la mesure des profondeurs

III.4. Description de l'écoulement

Cette partie de notre étude a pour but de décrire le comportement de l'écoulement à l'amont et à l'aval du dispositif testé.

La figure 3.3 montre, quant à elle, le profil en long de l'écoulement, à la fois dans le canal d'amenée à l'amont du dispositif et à l'intérieur de celui-ci.

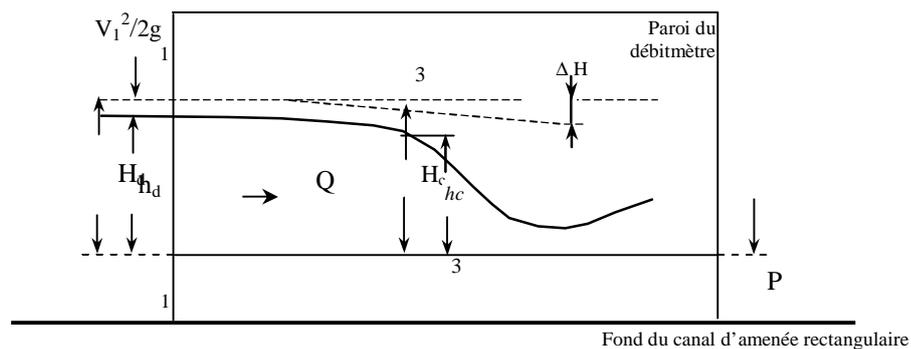


Figure 3.3 : Profil en long de l'écoulement dans le canal d'amenée et à l'intérieur du dispositif.

La figure 3.3 montre que l'écoulement amont dans le canal d'amenée rectangulaire est de nature fluviale. 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 .

A l'intérieur du dispositif de forme triangulaire de longueur géométrique 25 cm, l'écoulement demeure fluvial sur une certaine distance. Il devient critique dans la section c- c et se transforme en un écoulement torrentiel entre les sections c -c et m-m dont la profondeur h_m est minimale.

Afin d'observer plus en détail l'écoulement à l'amont, à l'intérieur et à l'aval du dispositif nous présentons les photographies (6 à 9) de quelques vues de cet écoulement.



Photographie 6 : Vue de l'écoulement à l'amont et à l'aval du dispositif.

Écoulement de droite à gauche.

La photographie 6 montre clairement la nature fluviale de l'écoulement dans le canal d'amenée. 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.

Tandis que la photographie 7 reflète bien la nature torrentielle de l'écoulement à la sortie ainsi qu'à l'aval du dispositif inséré.



Photographie 7 : Vue de l'écoulement à l'aval du dispositif.

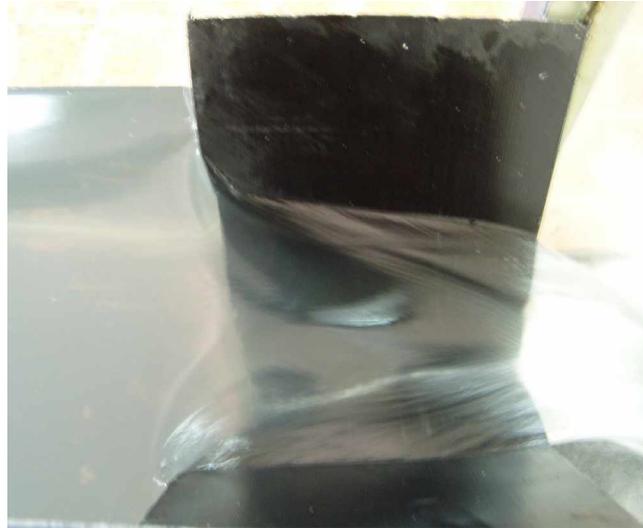
La photographie 7 montre l'écoulement à l'aval d'un des dispositifs testés. Nous pouvons observer la lame liquide déversante qui tombe sur le fond du canal qui provoque une masse d'eau tourbillonnante qui occupe l'espace situé sur le côté de la lame déversante près des parois.

La photographie 8 montre par contre l'écoulement contracté en franchissant l'échancrure de l'un des dispositifs testés.



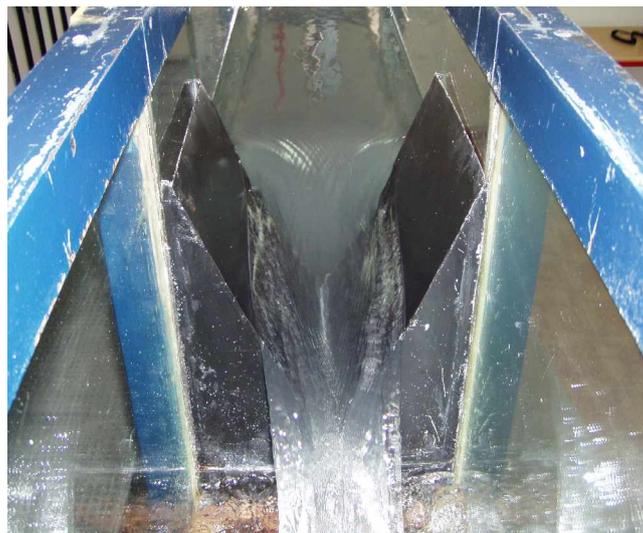
Photographie 8 : Vue de travers de la lame liquide déversante, montrant clairement la contraction latérale de l'écoulement.

Pour mieux visualiser la contraction nous montrons dans la photographie 9 la section contractée de l'écoulement franchissant l'échancrure de l'un des dispositifs testés.



Photographie 9 : Vue d'en haut de l'écoulement franchissant l'échancrure du dispositif.
Formation de la section contractée à l'aval immédiat du dispositif.

La veine liquide contractée lorsque elle se jette dans le canal est bien aérée cette particularité est due à la hauteur de pelle ainsi que la forme géométrique du dispositif qui ne permises pas la sortie d'une masse liquide parallèle au fond à travers l'échancrure. La photographie 10 décrit mieux la veine inférieure aérée.



Photographie 10 : Vue de l'aval du dispositif montrant la lame déversante aérée.

Cette remarque nous mène à conclure qu'il n'y pas d'influence d'une masse d'eau à la sortie du dispositif se qui facilite l'évacuation d'eau à l'aval et qui empêche l'eau de stagner c'est-à-dire qu'on a pas d'effet de la masse d'eau à l'aval sur le comportement du dispositif automatiquement le coefficient de débit mesuré ne sera plus influencé.

III.4.1 Les profils types de l'écoulement le long des dispositifs

Pour tous nos dispositifs nous avons remarqué les profils de l'écoulement tels qu'ils sont décrits précédemment et la photographie 11 les confirme. Les figures (3.4.a à 3.4.f) présentent les profils en long de l'écoulement des dispositifs étudiés expérimentalement



Photographie 11 : Vue en haut du profil en long de l'écoulement à travers le dispositif.
Ecoulement de droite à gauche.

La photographie 11 montre clairement que l'écoulement se transforme du fluvial à l'amont au torrentiel à l'aval en subissant une contraction latérale à l'entrée du dispositif, en passant par le critique à l'intérieur du celui-ci se qui confirme l'approche théorique où on a considéré que l'écoulement se transforme d'un régime à un autre par le passage du régime critique pour pouvoir appliquer l'équation de la quantité de mouvement. Cette allure de l'écoulement sera bien tracée dans les figures qui suivent en utilisant les valeurs issues de l'expérimentation.

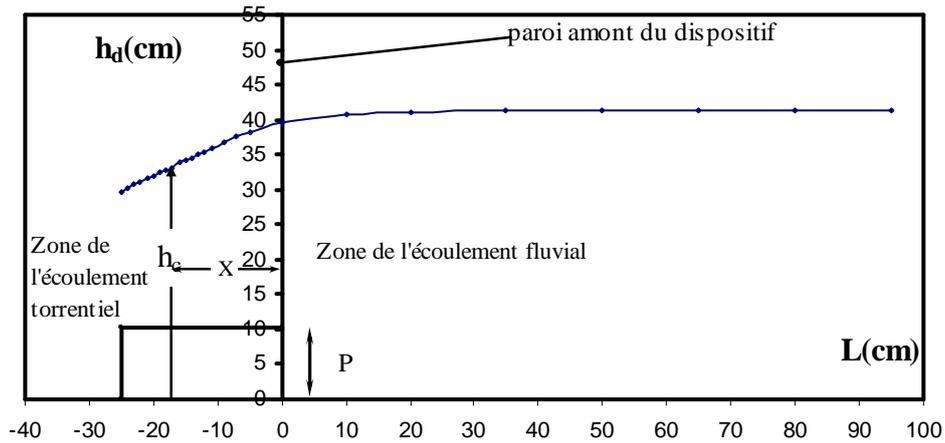


Figure 3.4 .a : Profil type de l'écoulement le long du dispositif d'ou $\theta = 45^\circ$, $P = 10,259$ cm, $m = 0,414213$, $h_c = 33.41$ cm, $Q = 23.67$ l/s

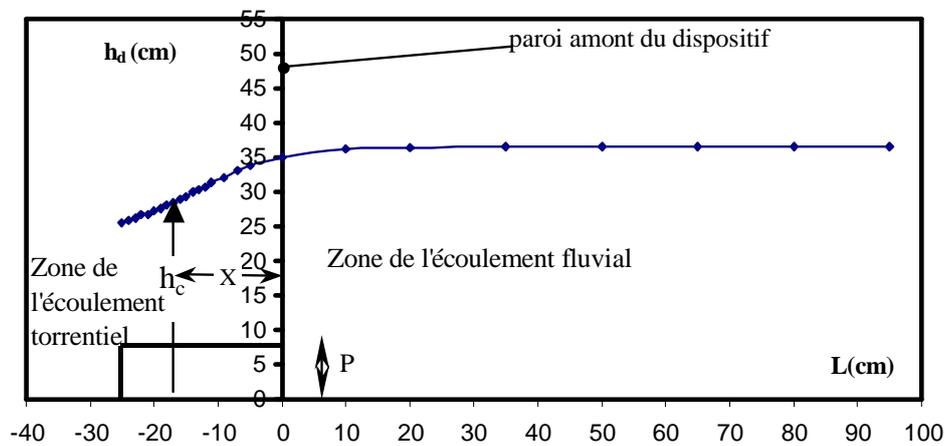


Figure 3.4.b : Profil type de l'écoulement le long du dispositif d'ou $\theta = 45^\circ$, $P = 8,232$ cm, $m = 0,414213$, $h_c = 29,21$ cm, $Q = 18,50$ l/s

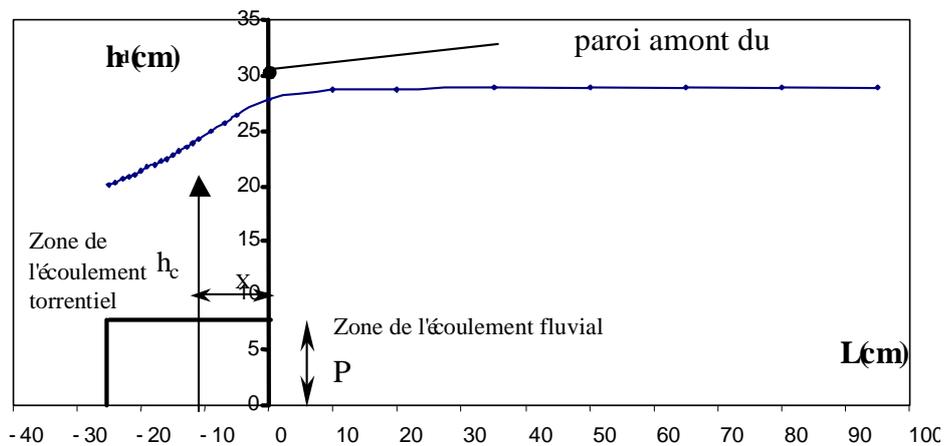


Figure 3.4.c : Profil type de l'écoulement le long du dispositif d'ou $\theta = 60^\circ$, $P = 10,233$ cm, $m = 0,5773502$, $h_c = 25,74$ cm, $Q = 12,10$ l/s

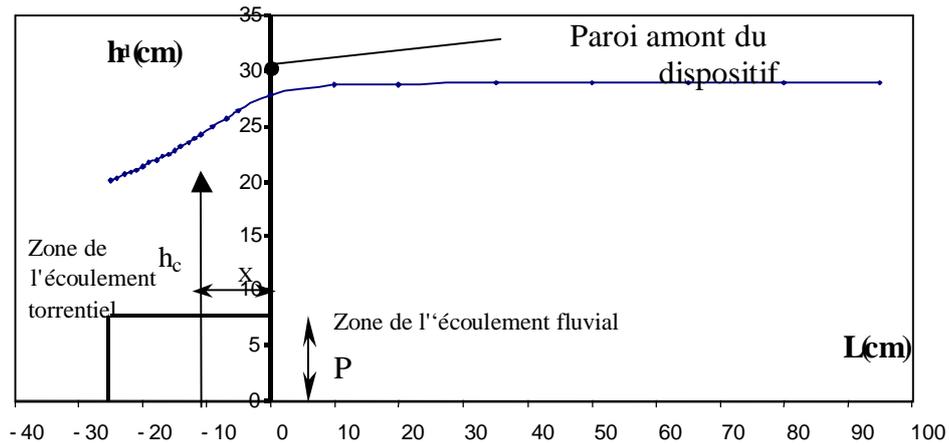


Figure 3.4.d : Profil type de l'écoulement le long du dispositif d'où $\theta = 60^\circ, P = 8,232, m = 0,5773502, h_c = 23,69\text{cm}, Q = 12,02\text{ l/s}$

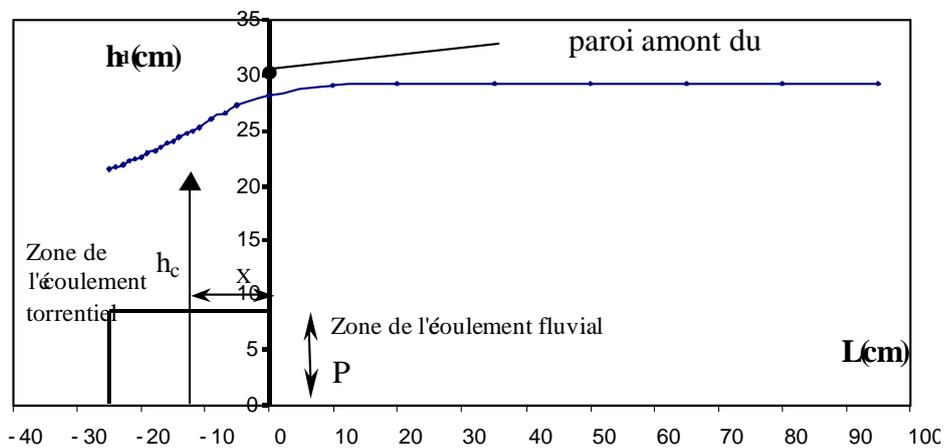


Figure 3.4.e: Profil type de l'écoulement le long du dispositif d'où $\theta = 71^\circ, P = 10,268\text{ cm}, m = 0,713293, h_c = 24,58\text{ cm}, Q = 12,23\text{ l/s}$

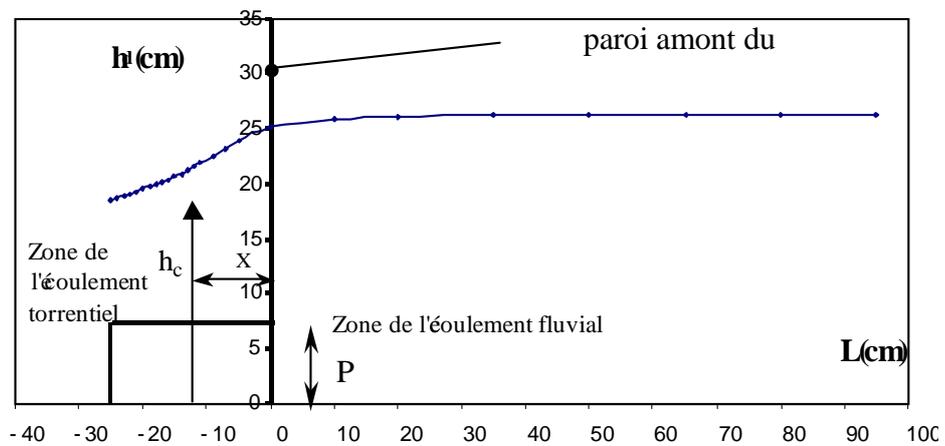


Figure 3.4.f : Profil type de l'écoulement le long du dispositif d'où $\theta = 71^\circ, P = 8,136\text{ cm}, m = 0,713293, h_c = 21,66\text{ cm}, Q = 10,63\text{ l/s}$

Les figures 3.4.a à 3.4.f présentent les profils en long de l'écoulement des dispositifs testés, elles présentent tous la variation de la profondeur déversée en fonction de la distance h_d : $h_d = f(L)$ avec h_d et L en cm.

On remarque pour les différents profils que :

- La valeur de débit maximale varie d'un dispositif à un autre et sa selon la hauteur du dispositif, son ouverture θ ainsi que sa hauteur de pelle.
- La valeur de débit maximale s'observe pour le dispositif de petit angle d'ouverture $\theta = 45^\circ$, la hauteur géométrique maximale h_0 d'où $h_0 = 43,259$ cm y compris la hauteur de pelle qui est de l'ordre de 10,259 cm.
- Cette variation de débit nous mène à des hauteurs critiques différentes, qui sont proportionnelles avec la variation du débit. La hauteur critique varie entre 21,66 cm pour la grande angle d'ouverture $\theta = 71^\circ$ et petite hauteur de pelle $P = 8,136$ cm et 33,41 cm pour $\theta = 45^\circ$, $P = 10,233$ cm.

L'observation des profils conduits aux plusieurs remarques :

- La profondeur critique h_c sépare deux zones différentes de l'écoulement, à l'aval règne l'écoulement torrentiel, et à l'amont c'est la zone de l'écoulement fluvial.
- Le passage d'un régime à un autre se fait graduellement le long du dispositif.
- La diminution des profondeurs se fait progressivement.
- Pour le même débit la diminution de l'angle θ augmente la valeur de profondeur critique et augmente la distance x . Cette remarque est importante pour le choix de section de contrôle.

III.5. Grandeurs mesurées et appareillage de mesure

III.5.1. Grandeurs mesurées

Nous avons déjà évoqué, dans le deuxième chapitre de notre mémoire un certain nombre de grandeurs à déterminer ou à mesurer tel que : la profondeur de déversement h_d , la hauteur relative de déversement h_d^* , le débit Q , la hauteur relative de pelle P^* , le paramètre adimensionnels ψ ,...etc. certain de ces grandeurs ne sont pas accessible par un mesurage directe comme P^* ψ et d'autre paramètres.

Le débit et la profondeur de déversement sont mesurés directement par des appareils. Ces mesures nous permis de déduire toutes les autres variables et paramètre par exemple la hauteur d'eau permet de calculer la hauteur relative de déversement, la

hauteur de pelle relative et de déduire le paramètre ψ d'autre part le débit nous permis de vérifier la validité de la relation du débit issu du développement théorique.

Le choix des grandeurs mesurées dépend non seulement des points de mesure mais aussi des moyens de mesure afin de minimiser au maximum les erreurs.

En fin, le choix des grandeurs mesurées dépend des objectifs et des technologies disponibles et de leur fiabilité.

III.5.2. Appareillage de mesure

III.5.2.1. Mesure de la profondeur

Le débit Q d'un écoulement à surface libre est déterminé à partir du mesurage de la hauteur d'eau h_d .

Lors de nos essais, la mesure de la profondeur de l'écoulement à l'amont 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.

Compte tenu des performances des instruments de mesure de hauteur d'eau utilisable nous avons opté dans le cas des essais que nous avons effectués, 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.

La hauteur d'eau déversée est mesurée dans le chenal d'amenée à l'amont du dispositif et à une distance suffisante pour avoir un plan d'eau stable.

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 3.10 montre le schéma simplifié du limnimètre utilisé, représenté également sur la photographie 12.

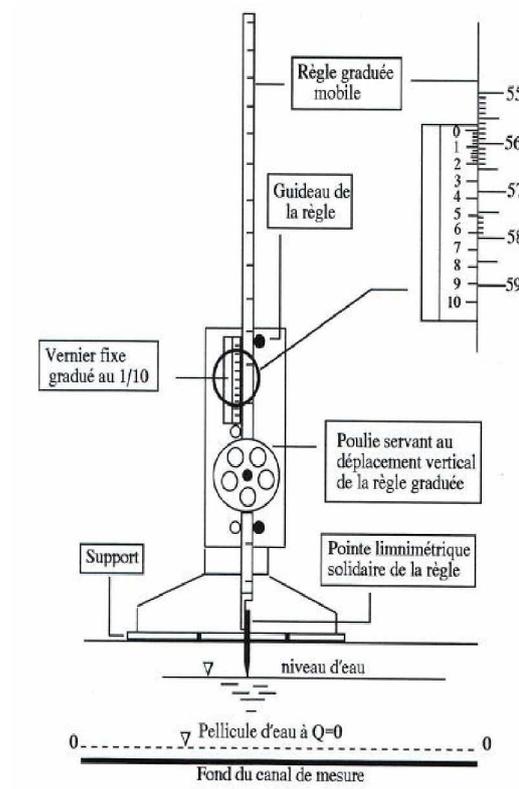


Figure 3.10 : Schéma détaillé du limnimètre à vernier utilisé.



Photographie 12: 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 3.10 qui montre, dans la position indiquée, que la mesure correspond à 55,72 mm.

III.5.2.2. 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 13.



Photographie 13 : 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 chaînette inoxydable. La règle graduée sert à fixer la position désirée des sondes de l'appareil (transducteurs), tandis que la chaînette 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 chaînette. 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 certains du débitmètre à ultrasons est 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.6. Procédure expérimentale

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 d'en 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. 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 leur correspondent.

Les manipulations ci-dessus indiquées sont reproduites pour les six (06) dispositifs concernés par nos essais. Le débit volume Q ainsi mesuré varie dans la large gamme :

$$0,783 \text{ l/s} \leq Q \leq 23,67 \text{ l/s}$$

Tandis que la profondeur de déversement h_d est telle que :

$$6,52 \text{ cm} \leq h_d \leq 31,036 \text{ cm}$$

Les essais que nous avons effectués nous ont permis d'obtenir un échantillon de 122 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 utilisées pour chaque dispositif testé.

| <i>Dispositif</i> | | <i>Nombre de mesures</i> | <i>Gamme des débits (l/s)</i> | <i>Gamme des profondeurs (cm)</i> |
|-------------------|----------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| θ (°) | P (cm) | | | |
| 45° | 10,259 | 23 | 1,75 $\leq Q \leq$ 23,67 | 11,01 $\leq h_d \leq$ 31,04 |
| | 8,232 | 19 | 1,68 $\leq Q \leq$ 18,50 | 10,87 $\leq h_d \leq$ 28,18 |
| 60° | 10,233 | 20 | 1,35 $\leq Q \leq$ 12,10 | 8,69 $\leq h_d \leq$ 20,72 |
| | 8,232 | 20 | 0,78 $\leq Q \leq$ 12,02 | 7,01 $\leq h_d \leq$ 20,69 |
| 71° | 10,268 | 20 | 0,82 $\leq Q \leq$ 12,27 | 6,52 $\leq h_d \leq$ 19,06 |
| | 8,136 | 20 | 0,88 $\leq Q \leq$ 10,63 | 6,75 $\leq h_d \leq$ 18,09 |

III.7. Résultats expérimentaux

III.7.1. Introduction

Cette partie de notre étude se propose de présenter les résultats des essais effectués sur les différents dispositifs testés. Ces résultats comportent la relation *hauteur déversée – débit écoulé*, coefficient de débit μ des dispositifs.

Les tableaux (3.3.a à 3.3.f) regroupent les mesures expérimentales brutes que nous avons effectuées sur les six dispositifs que nous avons précédemment décrits ainsi que les paramètres calculés.

Tableau 3.3.a : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , P^* et M_d calculés
 $\theta = 45^\circ$ $P = 10,259$ cm

| Q (m ³ /s) | h_d (m) | P^* | M_d |
|-------------------------|-----------|------------|------------|
| 0,00175 | 0,11008 | 1,07300907 | 0,15561987 |
| 0,00196667 | 0,11538 | 1,12467102 | 0,16311247 |
| 0,00263333 | 0,12962 | 1,26347597 | 0,18324353 |
| 0,00341667 | 0,14362 | 1,39994151 | 0,20303530 |
| 0,00525 | 0,17042 | 1,66117555 | 0,24092241 |
| 0,00611667 | 0,1811 | 1,76527927 | 0,25602070 |
| 0,00643333 | 0,18462 | 1,7995906 | 0,26099692 |
| 0,00676667 | 0,18836 | 1,8360464 | 0,26628415 |
| 0,00728333 | 0,1941 | 1,89199727 | 0,27439877 |
| 0,0079 | 0,20046 | 1,95399162 | 0,28338989 |
| 0,00811667 | 0,20262 | 1,9750463 | 0,28644348 |
| 0,00868333 | 0,2081 | 2,02846281 | 0,29419054 |
| 0,00916667 | 0,2127 | 2,07330149 | 0,30069355 |
| 0,0099 | 0,21928 | 2,1374403 | 0,30999569 |
| 0,01043333 | 0,22386 | 2,18208402 | 0,31647042 |
| 0,01088333 | 0,22770 | 2,21951457 | 0,32189902 |
| 0,01176667 | 0,23482 | 2,28891705 | 0,33196455 |
| 0,01356667 | 0,24856 | 2,42284823 | 0,35138876 |
| 0,01598333 | 0,26536 | 2,58660688 | 0,37513889 |
| 0,01656667 | 0,26928 | 2,62481723 | 0,38068058 |
| 0,01838333 | 0,28078 | 2,73691393 | 0,39693811 |
| 0,02031667 | 0,29194 | 2,84569646 | 0,41271498 |
| 0,02366667 | 0,31036 | 3,02524613 | 0,43875530 |

Il ressort du tableau 3.3.a que les paramètres adimensionnels h_d ainsi que la hauteur relative de pelle P^* augmente au fur et a mesure que le débit Q ainsi que de la profondeur déversée h_d , augmente. La valeur de P^* varie entre $1,07 \leq P^* \leq 3,02$ et le paramètre M_d varié dans l'intervalle limité entre $0,155 \leq \psi \leq 0,439$.

Tableau 3.3.b : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , P^* et M_d calculés ;
 $\theta = 45^\circ$ $P = 8,232$ cm

| Q (m ³ /s) | h_d (m) | P^* | M_d |
|-----------------------|-----------|------------|------------|
| 0,00168333 | 0,10868 | 1,3202138 | 0,15364069 |
| 0,00195 | 0,11524 | 1,39990282 | 0,16291455 |
| 0,00253333 | 0,12784 | 1,55296404 | 0,18072715 |
| 0,00291667 | 0,13504 | 1,64042760 | 0,19090577 |
| 0,00431667 | 0,15784 | 1,91739553 | 0,22313808 |
| 0,00531667 | 0,17144 | 2,08260447 | 0,24236438 |
| 0,00616667 | 0,18214 | 2,21258503 | 0,25749095 |
| 0,00665 | 0,18752 | 2,27793975 | 0,26509664 |
| 0,0072 | 0,19354 | 2,35106900 | 0,2736071 |
| 0,00788333 | 0,20070 | 2,43804665 | 0,28372918 |
| 0,00858333 | 0,20788 | 2,52526725 | 0,29387953 |
| 0,00918333 | 0,21314 | 2,58916424 | 0,30131558 |
| 0,00973333 | 0,21840 | 2,65306122 | 0,30875163 |
| 0,01103333 | 0,22970 | 2,79033042 | 0,32472642 |
| 0,01183333 | 0,23628 | 2,87026239 | 0,33402855 |
| 0,01325 | 0,24736 | 3,00485909 | 0,34969233 |
| 0,0146 | 0,25654 | 3,11637512 | 0,36267007 |
| 0,0164 | 0,26884 | 3,26579203 | 0,38005856 |
| 0,0185 | 0,28184 | 3,42371234 | 0,39843663 |

Comme pour le dispositif précédent, l'augmentation du débit Q et de la profondeur h_d est proportionnelle avec les paramètres adimensionnels.

Tableau 3.3.c : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , P^* et M_d calculés ;
 $\theta = 60^\circ$ $P = 10,233$ cm

| Q (m ³ /s) | h_d (m) | P^* | M_d |
|-----------------------|-----------|------------|------------|
| 0,00135 | 0,08688 | 0,84901788 | 0,17119517 |
| 0,00156667 | 0,09214 | 0,90042021 | 0,18155989 |
| 0,0018 | 0,09724 | 0,95025897 | 0,19160933 |
| 0,00198333 | 0,10096 | 0,98661194 | 0,19893951 |
| 0,00228333 | 0,10678 | 1,04348676 | 0,21040769 |
| 0,00245 | 0,10976 | 1,07260823 | 0,21627972 |
| 0,00281667 | 0,11598 | 1,13339197 | 0,2285361 |
| 0,00316667 | 0,12156 | 1,18792143 | 0,23953137 |
| 0,00365 | 0,12856 | 1,25632757 | 0,25332472 |
| 0,00398333 | 0,13326 | 1,3022574 | 0,26258596 |
| 0,00443333 | 0,13890 | 1,3573732 | 0,27369946 |
| 0,00496667 | 0,14536 | 1,4205023 | 0,28642875 |
| 0,00658333 | 0,16252 | 1,58819506 | 0,32024217 |
| 0,00688333 | 0,16552 | 1,61751197 | 0,3261536 |
| 0,00745 | 0,17080 | 1,66910974 | 0,33655773 |
| 0,00793333 | 0,17500 | 1,71015343 | 0,34483374 |
| 0,00843333 | 0,17940 | 1,75315157 | 0,35350384 |
| 0,009 | 0,18410 | 1,7990814 | 0,36276509 |
| 0,00995 | 0,19152 | 1,87159191 | 0,37738604 |
| 0,0121 | 0,20716 | 2,02443076 | 0,40820433 |

Tableau 3.3.d : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , P^* et M_d calculés ;
 $\theta = 60^\circ$ $P = 8,232$ cm

| Q (m ³ /s) | h_d (m) | P^* | M_d |
|-----------------------|-----------|------------|------------|
| 0,00078333 | 0,07014 | 0,85204082 | 0,13820936 |
| 0,00138333 | 0,08774 | 1,06584062 | 0,17288978 |
| 0,00148333 | 0,09038 | 1,09791059 | 0,17809185 |
| 0,00183333 | 0,09790 | 1,18926142 | 0,19290984 |
| 0,00201667 | 0,10190 | 1,23785228 | 0,20079176 |
| 0,00226667 | 0,10658 | 1,2947036 | 0,21001360 |
| 0,00266667 | 0,11372 | 1,38143829 | 0,22408281 |
| 0,00295 | 0,11834 | 1,43756074 | 0,23318643 |
| 0,00411667 | 0,13534 | 1,64407191 | 0,26668456 |
| 0,00436667 | 0,13830 | 1,68002915 | 0,27251718 |
| 0,00555 | 0,15222 | 1,84912536 | 0,29994624 |
| 0,00586667 | 0,15562 | 1,8904276 | 0,30664586 |
| 0,00625 | 0,15950 | 1,93756074 | 0,31429132 |
| 0,00665 | 0,16364 | 1,98785228 | 0,32244910 |
| 0,0073 | 0,16972 | 2,06171040 | 0,33442961 |
| 0,00791667 | 0,17530 | 2,12949466 | 0,34542488 |
| 0,00871667 | 0,18218 | 2,21307094 | 0,35898177 |
| 0,00975 | 0,19038 | 2,31268222 | 0,37513970 |
| 0,01076667 | 0,19810 | 2,40646259 | 0,39035179 |
| 0,01201667 | 0,20694 | 2,51384840 | 0,40777082 |

Tableau 3.3.e : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , P^* et M_d calculés ;
 $\theta = 71^\circ$ $P = 10,268$ cm

| Q (m ³ /s) | h_d (m) | P^* | M_d |
|-----------------------|-----------|------------|------------|
| 0,00081667 | 0,06522 | 0,63517725 | 0,15877464 |
| 0,00116667 | 0,07512 | 0,7315933 | 0,18287567 |
| 0,00136667 | 0,07994 | 0,77853526 | 0,19460970 |
| 0,00161667 | 0,08554 | 0,83307363 | 0,20824260 |
| 0,0019 | 0,09098 | 0,88605376 | 0,22148600 |
| 0,00216667 | 0,09580 | 0,93299571 | 0,23322003 |
| 0,00248333 | 0,10134 | 0,98694975 | 0,24670687 |
| 0,00291667 | 0,10810 | 1,05278535 | 0,26316373 |
| 0,00335 | 0,11410 | 1,11121932 | 0,27777041 |
| 0,00375 | 0,11942 | 1,16303078 | 0,29072167 |
| 0,00398333 | 0,12214 | 1,18952084 | 0,29734337 |
| 0,00451667 | 0,12832 | 1,24970783 | 0,31238825 |
| 0,00473333 | 0,13082 | 1,27405532 | 0,31847437 |
| 0,00591667 | 0,14306 | 1,39326062 | 0,34827200 |
| 0,00708333 | 0,15348 | 1,49474094 | 0,37363894 |
| 0,00846667 | 0,16442 | 1,60128555 | 0,40027179 |
| 0,00975 | 0,17390 | 1,69361122 | 0,42335035 |
| 0,01143333 | 0,18522 | 1,80385664 | 0,45090829 |
| 0,01186667 | 0,18820 | 1,83287885 | 0,45816294 |
| 0,01226667 | 0,19064 | 1,85664199 | 0,46410299 |

Tableau 3.3.f : Valeurs des paramètres mesurés Q et h_d , P^* et M_d calculés ;
 $\theta = 71^\circ$ $P = 8.136$ cm

| Q (m ³ /s) | h_d (m) | P^* | M_d |
|-------------------------|-----------|------------|------------|
| 0,00088333 | 0,06752 | 0,82989184 | 0,16437387 |
| 0,00118333 | 0,07558 | 0,92895772 | 0,18399551 |
| 0,00136667 | 0,07988 | 0,98180924 | 0,19446363 |
| 0,0016 | 0,08534 | 1,04891839 | 0,20775572 |
| 0,00181667 | 0,08964 | 1,10176991 | 0,21822384 |
| 0,0021 | 0,09498 | 1,16740413 | 0,23122379 |
| 0,00256667 | 0,10286 | 1,26425762 | 0,25040723 |
| 0,00281667 | 0,10654 | 1,30948869 | 0,25936599 |
| 0,00316667 | 0,11172 | 1,37315634 | 0,27197643 |
| 0,00365 | 0,11824 | 1,45329400 | 0,28784902 |
| 0,00433333 | 0,12648 | 1,55457227 | 0,30790887 |
| 0,00471667 | 0,13086 | 1,60840708 | 0,31857175 |
| 0,00538333 | 0,13794 | 1,69542773 | 0,33580763 |
| 0,00586667 | 0,14286 | 1,75589971 | 0,34778511 |
| 0,00628333 | 0,14686 | 1,80506391 | 0,35752290 |
| 0,00686667 | 0,15198 | 1,86799410 | 0,36998727 |
| 0,00763333 | 0,15830 | 1,94567355 | 0,38537298 |
| 0,00816667 | 0,16308 | 2,00442478 | 0,39700963 |
| 0,00906667 | 0,16960 | 2,08456244 | 0,41288223 |
| 0,01063333 | 0,18086 | 2,22295969 | 0,44029410 |

Au regard de l'ensemble des résultats consignés dans les tableaux (3.3.a à 3.3.f), nous pouvons confirmer que le débit Q et la hauteur déversée h_d varient proportionnellement avec les autres variables adimensionnels. Les valeurs de P^* varient dans une gamme $0,635 \leq P^* \leq 3,42$. En ce qui concerne le paramètre M_d sa valeur, varie cependant en croissance dans la gamme $0,318 \leq M_d \leq 0,464$ ce qui confirme de ce qui à été mentionné dans le développement théorique que $0 \leq M_d \leq 0,50$.

III.7.2. Hauteur relative de déversement

Comme a été déjà mentionné lors de notre étude théorique, la hauteur relative de déversement h_d^* est le rapport entre la hauteur de déversement h_d mesuré à l'amont du dispositif et la profondeur critique dans la section de contrôle triangulaire.

$$D'où : h_d^* = h_d/h_c$$

Pour le cas de notre dispositif de mesure (triangulaire) la profondeur critique est connue universellement sous la forme :

$$h_c = \left[\frac{2Q^2}{g m^2} \right]^{1/5}$$

III.7.2.1 Calcul de la hauteur relative de déversement

Le calcul de la hauteur relative de déversement expérimentale est possible en connaissant le débit expérimental véhiculé par l'appareil de mesure.

Les valeurs de $h_{d\ the}^*$ sont mesurées à partir de la formule (2.7) :

Avec :

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

D'où :

$$\Psi = M_d / (1 + P^*)$$

Nous présentons dans la figure 3.6 la variation théorique et expérimentale de la hauteur relative de déversement pour tous les dispositifs testés.

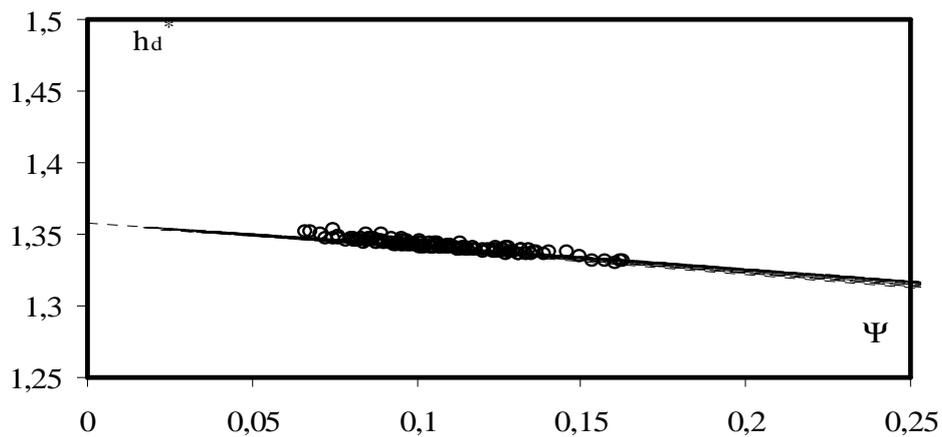


Figure 3.6 : Variation de la hauteur relative de déversement en fonction du paramètre adimensionnel Ψ .(- -) Courbe théorique tracée selon la relation (2.7), (ooo) points expérimentaux

La figure 3.6 montre que la valeur de la hauteur relative de déversement h_d^* diminue au fur et à mesure que la valeur du paramètre adimensionnel Ψ augmente.

Les valeurs expérimentales de Ψ limite sont : $0,05 \leq \psi \leq 0,20$, tandis que les valeurs expérimentales de h_d^* varient dans l'intervalle limité : $1,33 \leq h_d^* \leq 1,3523$.

Les tableaux 3.4.a à 3.4.f rassemblent les valeurs calculées des hauteurs relatives de déversement théoriques et expérimentales ainsi que les écarts entre eux, tandis que

les figures 3.7a à 3.7f représentent les variations théoriques et expérimentales de la hauteur relative de déversement pour tous les dispositifs.

Tableau 3.4.a : Valeurs des hauteurs relatives de déversement théoriques et expérimentales et les écarts entre eux.

$\theta = 45^\circ$; $P = 10.232 \text{ cm}$

| $h_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $h_d \text{ thé}^{*-1}$ | Ecart (%) |
|--------------------------|-------------------------|-------------|
| 0,74214591 | 0,74294747 | 0,10788989 |
| 0,74189811 | 0,74309788 | 0,16145424 |
| 0,74218610 | 0,74346908 | 0,17256699 |
| 0,74337614 | 0,74379341 | 0,05609908 |
| 0,74391901 | 0,74432381 | 0,05438458 |
| 0,74416626 | 0,74450790 | 0,04588883 |
| 0,74486604 | 0,74456564 | -0,04034496 |
| 0,74497848 | 0,74462550 | -0,04740477 |
| 0,74454172 | 0,74471448 | 0,02319843 |
| 0,74474159 | 0,74480922 | 0,00908006 |
| 0,74481990 | 0,74484052 | 0,00276793 |
| 0,74504929 | 0,74491800 | -0,01762511 |
| 0,74490276 | 0,74498100 | 0,01050251 |
| 0,74513944 | 0,74506805 | -0,00958218 |
| 0,74537570 | 0,74512661 | -0,03343010 |
| 0,74528819 | 0,74517447 | -0,01526073 |
| 0,74560497 | 0,74526039 | -0,04623631 |
| 0,74565944 | 0,74541650 | -0,03259033 |
| 0,74578558 | 0,74559179 | -0,02599144 |
| 0,74554258 | 0,74563045 | 0,01178397 |
| 0,74539424 | 0,74573935 | 0,04627791 |
| 0,74615641 | 0,74583906 | -0,04255040 |
| 0,74605628 | 0,74599199 | -0,00861896 |

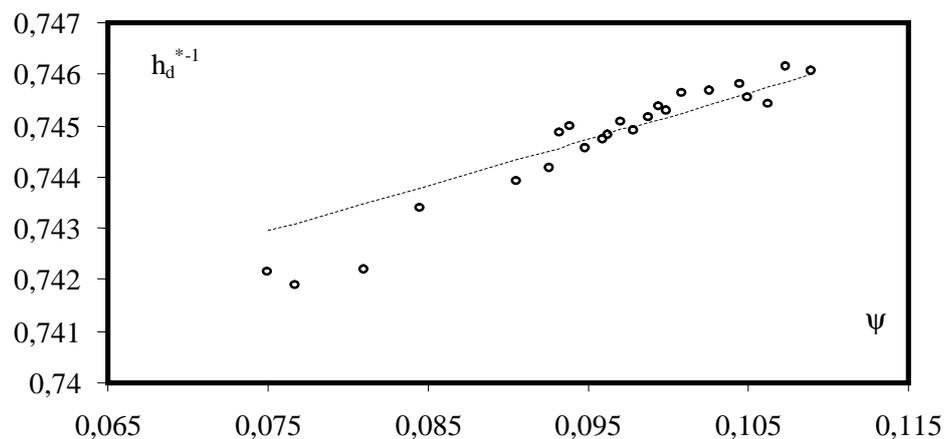


Figure 3.7.a : Variation théorique et expérimentale de h_d^{*-1} , en fonction du paramètre adimensionnel Ψ ($\theta = 45^\circ$, $P = 10.259 \text{ cm}$).

Tableau 3.4.b : Valeurs des hauteurs relatives de déversement théoriques et expérimentales et les écarts entre eux.

$\theta = 45^\circ$; $P = 8.232 \text{ cm}$

| $h_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $h_d \text{ thé}^{*-1}$ | Ecart (%) |
|--------------------------|-------------------------|-------------|
| 0,74011792 | 0,74216937 | 0,27641249 |
| 0,74027502 | 0,74231518 | 0,27483827 |
| 0,74095643 | 0,74257040 | 0,21734879 |
| 0,74212111 | 0,74270328 | 0,07838437 |
| 0,74271951 | 0,74307263 | 0,04752194 |
| 0,74323493 | 0,74326196 | 0,00363706 |
| 0,74233059 | 0,74339749 | 0,14351687 |
| 0,74312789 | 0,74346164 | 0,04489102 |
| 0,74326684 | 0,74353051 | 0,03546084 |
| 0,74322290 | 0,74360866 | 0,05187720 |
| 0,74239012 | 0,74368322 | 0,17387888 |
| 0,74390534 | 0,74373558 | -0,02282479 |
| 0,74307817 | 0,74378614 | 0,09518444 |
| 0,74285525 | 0,74388906 | 0,13897373 |
| 0,74267427 | 0,74394568 | 0,17090143 |
| 0,74223149 | 0,74403597 | 0,24252630 |
| 0,74399249 | 0,74410637 | 0,01530485 |
| 0,74374858 | 0,74419499 | 0,05998592 |
| 0,74447233 | 0,74428223 | -0,02554126 |

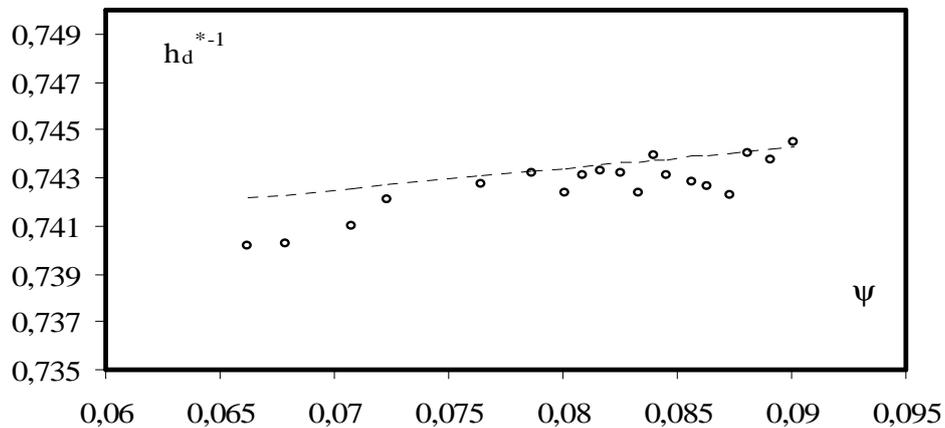


Figure 3.7.b : Variation théorique et expérimentale de h_d^{*-1} , en fonction du paramètre adimensionnel ψ ($\theta = 45^\circ$, $P = 8,232 \text{ cm}$).

Tableau 3.4.c : Valeurs des hauteurs relatives de déversement théoriques et expérimentales et les écarts entre eux.

$\theta = 60^\circ$; $P = 10,233 \text{ cm}$

| $h_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $h_d \text{ thé}^{*-1}$ | Ecart (%) |
|--------------------------|-------------------------|-------------|
| 0,74218157 | 0,74450818 | 0,31250268 |
| 0,74274357 | 0,74477340 | 0,27254241 |
| 0,74397873 | 0,74501777 | 0,13946477 |
| 0,74491276 | 0,74518860 | 0,03701672 |
| 0,74513383 | 0,74544415 | 0,04162899 |
| 0,74562216 | 0,74556977 | -0,00702657 |
| 0,74611805 | 0,74582131 | -0,03978667 |
| 0,74601355 | 0,74603548 | 0,00293963 |
| 0,74663398 | 0,74628999 | -0,04609326 |
| 0,74592527 | 0,74645265 | 0,07065120 |
| 0,74694114 | 0,74663972 | -0,04036998 |
| 0,74692597 | 0,74684381 | -0,01100058 |
| 0,74776992 | 0,74733886 | -0,05768034 |
| 0,74742137 | 0,74741905 | -0,00031061 |
| 0,74760313 | 0,74755601 | -0,00630281 |
| 0,74823962 | 0,74766133 | -0,07734724 |
| 0,74795202 | 0,74776836 | -0,02456052 |
| 0,74806560 | 0,74787914 | -0,02493189 |
| 0,74853406 | 0,74804697 | -0,06511513 |
| 0,74834992 | 0,74837490 | 0,00333762 |

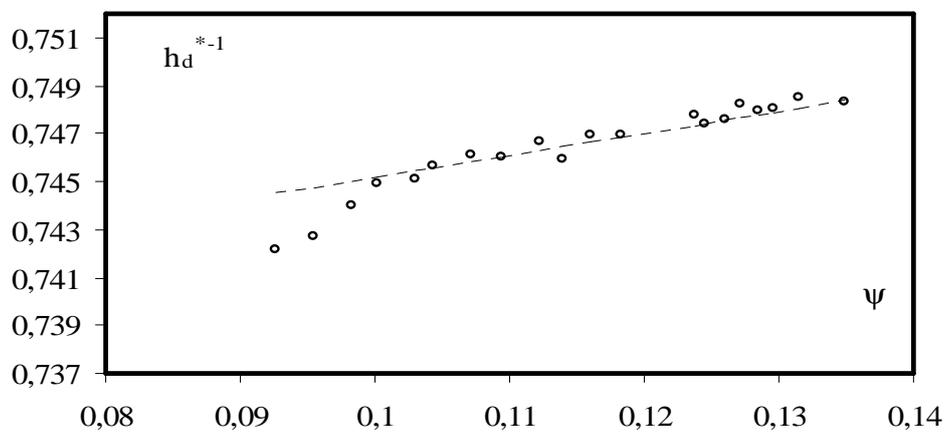


Figure 3.7.c : Variation théorique et expérimentale de h_d^{*-1} , en fonction du paramètre adimensionnel ψ ($\theta = 60^\circ$, $P = 10.233 \text{ cm}$).

Tableau 3.4.d : Valeurs des hauteurs relatives de déversement théoriques et expérimentales et les écarts entre eux.

$\theta = 60^\circ$; $P = 8,232 \text{ cm}$

| $h_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $h_d \text{ thé}^{*-1}$ | Écarts (%) |
|--------------------------|-------------------------|-------------|
| 0,73945092 | 0,74290825 | 0,46537845 |
| 0,74211221 | 0,74371227 | 0,21514496 |
| 0,74083183 | 0,74381927 | 0,40163463 |
| 0,74440683 | 0,74410746 | -0,04023263 |
| 0,74297796 | 0,74425148 | 0,17111365 |
| 0,74434764 | 0,74441248 | 0,00871014 |
| 0,74446985 | 0,74464373 | 0,02335188 |
| 0,74489269 | 0,74478484 | -0,01447994 |
| 0,74419814 | 0,74525379 | 0,14165013 |
| 0,74564877 | 0,74532823 | -0,04300630 |
| 0,74566189 | 0,74565367 | -0,00110253 |
| 0,74574032 | 0,74572749 | -0,00172027 |
| 0,74625592 | 0,74580925 | -0,05989027 |
| 0,74565109 | 0,74589371 | 0,03252692 |
| 0,74626417 | 0,74601280 | -0,03369483 |
| 0,74633103 | 0,74611725 | -0,02865205 |
| 0,74633867 | 0,74624007 | -0,01321311 |
| 0,74692500 | 0,74637851 | -0,07321875 |
| 0,74686912 | 0,74650156 | -0,04923709 |
| 0,74707745 | 0,74663453 | -0,05932325 |

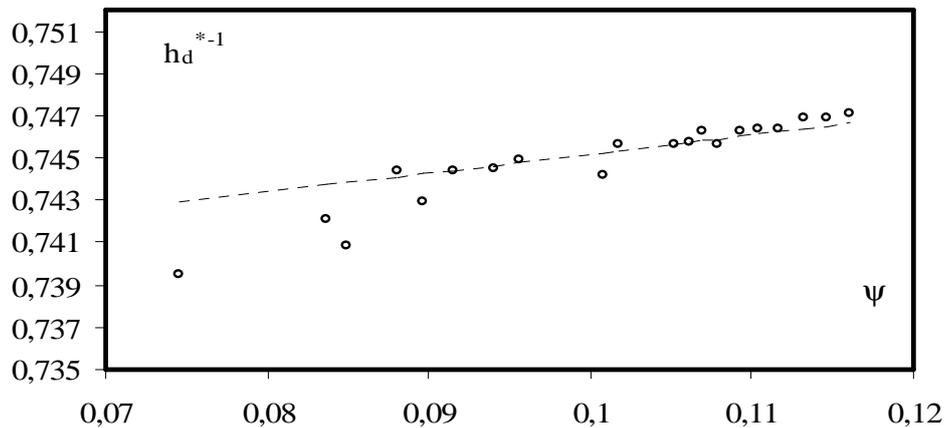


Figure 3.7.d : Variation théorique et expérimentale de h_d^{*-1} , en fonction du paramètre adimensionnel ψ ($\theta = 60^\circ$, $P = 8.232 \text{ cm}$).

Tableau 3.4.e : Valeurs des hauteurs relatives de déversement théoriques et expérimentales et les écarts entre eux.

$\theta = 71^\circ$; $P = 10,268 \text{ cm}$

| $h_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $h_d \text{ thé}^{*-1}$ | Ecart (%) |
|--------------------------|-------------------------|-------------|
| 0,74302282 | 0,74491417 | 0,25390177 |
| 0,74402606 | 0,74568402 | 0,22234084 |
| 0,74484501 | 0,74603024 | 0,15887239 |
| 0,74446444 | 0,74641131 | 0,26083010 |
| 0,74665593 | 0,74676136 | 0,01411761 |
| 0,74733676 | 0,74705618 | -0,03755852 |
| 0,74610186 | 0,74737853 | 0,17082066 |
| 0,74592307 | 0,74774981 | 0,24429846 |
| 0,74695991 | 0,74806066 | 0,14714703 |
| 0,74662143 | 0,74832271 | 0,22734543 |
| 0,74783495 | 0,74845206 | 0,08245210 |
| 0,74851047 | 0,74873500 | 0,02998828 |
| 0,74809664 | 0,74884534 | 0,09998003 |
| 0,74795873 | 0,74935408 | 0,18620706 |
| 0,74921816 | 0,74974990 | 0,07092284 |
| 0,75109584 | 0,75013309 | -0,12834364 |
| 0,75139323 | 0,75044120 | -0,12686224 |
| 0,75187610 | 0,75078313 | -0,14557670 |
| 0,75106391 | 0,75086882 | -0,02598158 |
| 0,75134882 | 0,75093771 | -0,05474676 |

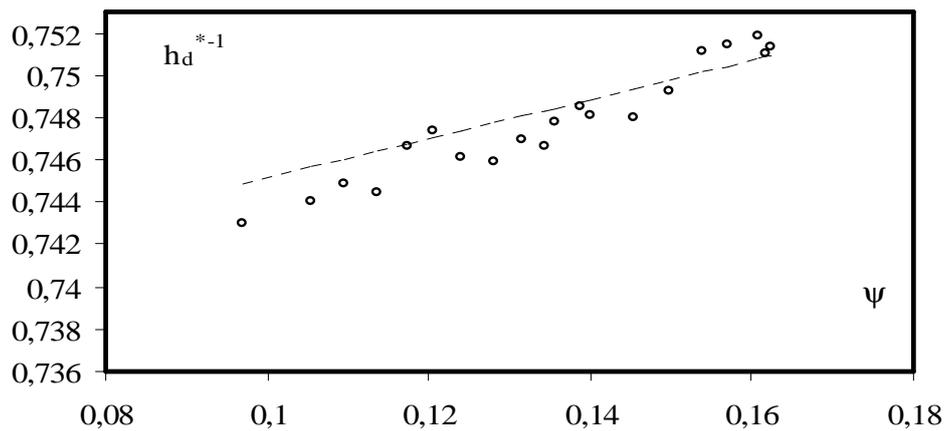


Figure 3.7.e : Variation théorique et expérimentale de h_d^{*-1} , en fonction du paramètre adimensionnel ψ ($\theta = 71^\circ$, $P = 10.268 \text{ cm}$).

Tableau 3.4.f: Valeurs des hauteurs relatives de déversement théoriques et expérimentales et les écarts entre eux.

$\theta = 71^\circ$; $P = 8,136 \text{ cm}$

| $h_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $h_d \text{ thé}^{*-1}$ | Ecart (%) |
|--------------------------|-------------------------|-------------|
| 0,74059782 | 0,74426061 | 0,49213840 |
| 0,74370545 | 0,74475983 | 0,14157273 |
| 0,74540448 | 0,74500660 | -0,05340645 |
| 0,74312243 | 0,74530230 | 0,29248202 |
| 0,74434327 | 0,74552238 | 0,15815904 |
| 0,74442434 | 0,74578126 | 0,18194574 |
| 0,74484564 | 0,74613675 | 0,17303864 |
| 0,74635681 | 0,74629286 | -0,00856928 |
| 0,74589041 | 0,74650282 | 0,08203684 |
| 0,74596377 | 0,74675203 | 0,10555845 |
| 0,74691640 | 0,74704520 | 0,01724186 |
| 0,74681352 | 0,74719200 | 0,05065423 |
| 0,74695648 | 0,74741719 | 0,06163985 |
| 0,74646755 | 0,74756549 | 0,14686870 |
| 0,74634139 | 0,74768145 | 0,17922819 |
| 0,74726899 | 0,74782420 | 0,07424388 |
| 0,74846206 | 0,74799217 | -0,06281954 |
| 0,74641824 | 0,74811356 | 0,22661291 |
| 0,74837320 | 0,74827182 | -0,01354811 |
| 0,74798047 | 0,74852694 | 0,07300591 |

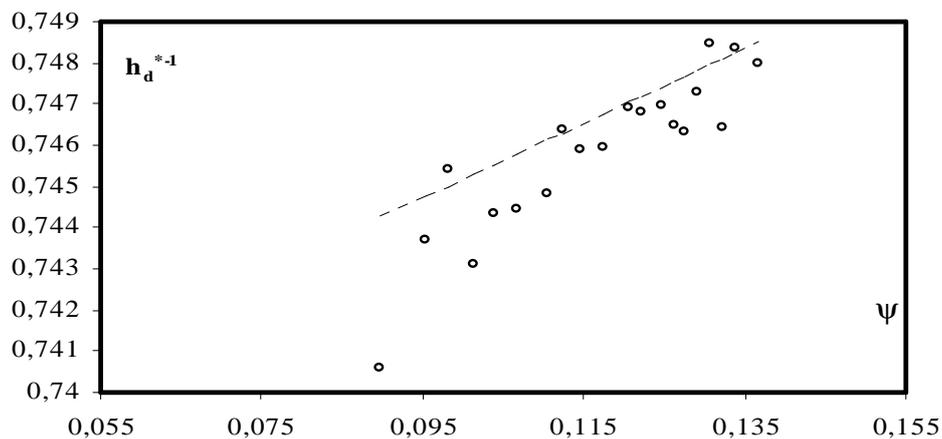


Figure 3.7.f : Variation théorique et expérimentale de h_d^{*-1} , en fonction du paramètre adimensionnel ψ ($\theta = 71^\circ$, $P = 8.136 \text{ cm}$).

Il ressort ainsi des tableaux 3.4.a à 3.4.f que les écarts entre les valeurs expérimentales et calculées du hauteur relative de déversement h_d^{*-1} , des dispositifs testés, sont très acceptables et les figures 3.7.a à 3.7.f indiquent clairement que les hauteurs

expérimentales forment un nuage de points par rapport aux ceux calculées par la relation (2.7). Au regard de nos résultats, nous pouvons ainsi conclure à la fiabilité de la relation (2.7) qui permet, d'évaluer la hauteur relative de déversement du dispositif que nous avons testé.

L'écart relatif maximal observé est de l'ordre de 0,493% et ne s'obtient que pour la plus petite valeur de $\psi = 0.05$ est associée à la valeur de $P^* = 0,8299$.

Cette remarque nous permet de conclure la fiabilité de la relation théorique approchée vu l'écart admissible entre les résultats.

III.7.3. Charge totale de déversement

Comme pour la hauteur relative h_d^* , la charge totale relative de déversement H_d^* est ainsi liée au paramètre adimensionnel ψ . Nous rappelons que la charge totale relative H_d^* de déversement,

$$H_d^* = H_d / h_c .$$

III.7.3.1. Calcul de la charge totale relative de déversement

L'évaluation de la charge totale de déversement que nous avons effectué précédemment dans le développement théorique s'exprime par la relation (2.12)

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

Cette relation sera confrontée, dans cette section de notre étude, aux valeurs issues de l'expérimentation des dispositifs considérés. On présentera dans la figure qui suit la variation expérimentale et théorique de la charge totale relative de déversement en fonction du paramètre ψ .

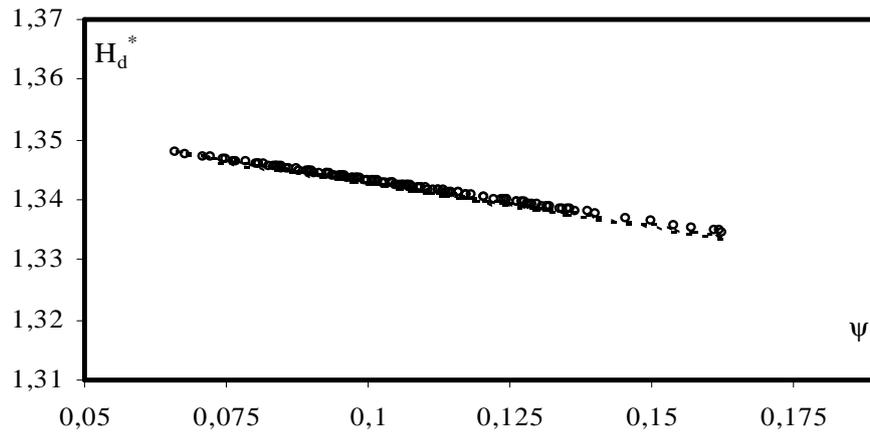


Figure 3.8 : Variation théorique et expérimentale de la charge totale relative de déversement en fonction du paramètre ψ .
 (---) Courbe théorique tracée selon la relation (2.11), (○○○) points expérimentaux

Nous pouvons ainsi constater que $H_{d \text{ exp}}^*$ se comporte de la même façon que $H_{d \text{ thé}}^*$ c'est-à-dire qu'il diminue quasi linéairement lorsque ψ augmente dans la gamme de ψ et que le paramètre ψ est limité expérimentalement à : $0,05 \leq \psi \leq 0,2$

Les résultats de calcul des valeurs de H_d^{*-1} théoriques et expérimentales pour tous les dispositifs testés avec les hauteurs d'eau déversées mesurées lors des essais, sont regroupés dans les tableaux 3.5.a à 3.5.f.

Tableau3.5.a : Valeurs expérimentale et théorique des charges totales relatives de déversement calculée et h_d mesuré.

$\theta = 45^\circ$; $P = 10.232 \text{ cm}$

| $H_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $H_d \text{ thé}^{*-1}$ | h_d |
|--------------------------|-------------------------|---------|
| 1,34668284 | 1,35722041 | 0,11008 |
| 1,34644594 | 1,35018362 | 0,11538 |
| 1,34586337 | 1,34321943 | 0,12962 |
| 1,34535672 | 1,33632671 | 0,14362 |
| 1,34453260 | 1,32950436 | 0,17042 |
| 1,34424781 | 1,32275132 | 0,18110 |
| 1,34415861 | 1,31606654 | 0,18462 |
| 1,34406622 | 1,30944898 | 0,18836 |
| 1,34392897 | 1,30289764 | 0,19410 |
| 1,34378299 | 1,29641153 | 0,20046 |
| 1,34373481 | 1,28998968 | 0,20262 |
| 1,34361558 | 1,35082032 | 0,20810 |
| 1,34351872 | 1,34448030 | 0,21270 |
| 1,34338499 | 1,33819951 | 0,21928 |
| 1,34329511 | 1,33197714 | 0,22386 |
| 1,34322169 | 1,32581236 | 0,22770 |
| 1,34308998 | 1,31970439 | 0,23482 |
| 1,34285098 | 1,31365243 | 0,24856 |
| 1,34258311 | 1,30765573 | 0,26536 |
| 1,34252410 | 1,30171353 | 0,26928 |
| 1,34235799 | 1,29582509 | 0,28078 |
| 1,34220608 | 1,35135135 | 0,29194 |
| 1,34197338 | 1,34553283 | 0,31036 |

Tableau3.5.b : Valeurs expérimentale et théorique des charges totales relatives de déversement calculée et h_d mesuré.

$\theta = 45^\circ$; $P = 8.232 \text{ cm}$

| $H_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $H_d \text{ thé}^{*-1}$ | h_d |
|--------------------------|-------------------------|---------|
| 1,34791677 | 1,33976420 | 0,10868 |
| 1,34768442 | 1,33404482 | 0,11524 |
| 1,34727901 | 1,32837407 | 0,12784 |
| 1,34706854 | 1,32275132 | 0,13504 |
| 1,34648567 | 1,31717597 | 0,15784 |
| 1,34618806 | 1,31164743 | 0,17144 |
| 1,34597550 | 1,30616510 | 0,18214 |
| 1,34587502 | 1,30072841 | 0,18752 |
| 1,34576725 | 1,35180101 | 0,19354 |
| 1,34564506 | 1,34642472 | 0,20070 |
| 1,34552860 | 1,34109103 | 0,20788 |
| 1,34544689 | 1,33579942 | 0,21314 |
| 1,34536805 | 1,33054941 | 0,21840 |
| 1,34520769 | 1,32534051 | 0,22970 |
| 1,34511957 | 1,32017223 | 0,23628 |
| 1,34497916 | 1,31504410 | 0,24736 |
| 1,34486980 | 1,30995566 | 0,25654 |
| 1,34473226 | 1,30490645 | 0,26884 |
| 1,34459702 | 1,35218668 | 0,28184 |

Tableau3.5.c : Valeurs expérimentale et théorique des charges totales relatives de déversement calculée et h_d mesuré.

$\theta = 60^\circ$; $P = 10,233$ cm

| $H_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $H_d \text{ thé}^{*-1}$ | h_d |
|--------------------------|-------------------------|---------|
| 1,34424739 | 1,34719015 | 0,08688 |
| 1,34383817 | 1,34223040 | 0,09214 |
| 1,34346222 | 1,33730705 | 0,09724 |
| 1,34320002 | 1,33241967 | 0,10096 |
| 1,34280870 | 1,32756790 | 0,10678 |
| 1,34261673 | 1,32275132 | 0,10976 |
| 1,34223310 | 1,31796957 | 0,11598 |
| 1,34190725 | 1,31322227 | 0,12156 |
| 1,34152096 | 1,30850905 | 0,12856 |
| 1,34127459 | 1,35252110 | 0,13326 |
| 1,34099173 | 1,34785422 | 0,13890 |
| 1,34068370 | 1,34321943 | 0,14536 |
| 1,33993904 | 1,33861641 | 0,16252 |
| 1,33981873 | 1,33404482 | 0,16552 |
| 1,33961346 | 1,32950436 | 0,17080 |
| 1,33945580 | 1,32499470 | 0,17500 |
| 1,33929570 | 1,32051553 | 0,17940 |
| 1,33913017 | 1,31606654 | 0,18410 |
| 1,33887970 | 1,31164743 | 0,19152 |
| 1,33839135 | 1,35281385 | 0,20716 |

Tableau3.5.d : Valeurs expérimentale et théorique des charges totales relatives de déversement calculée et h_d mesuré.

$\theta = 60^\circ$; $P = 8,232$ cm

| $H_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $H_d \text{ thé}^{*-1}$ | h_d |
|--------------------------|-------------------------|---------|
| 1,34674469 | 1,34843581 | 0,07014 |
| 1,34548327 | 1,34408602 | 0,08774 |
| 1,34531641 | 1,33976420 | 0,09038 |
| 1,34486811 | 1,33547009 | 0,09790 |
| 1,34464467 | 1,33120341 | 0,10190 |
| 1,34439535 | 1,32696391 | 0,10658 |
| 1,34403808 | 1,32275132 | 0,11372 |
| 1,34382054 | 1,31856540 | 0,11834 |
| 1,34310009 | 1,31440589 | 0,13534 |
| 1,34298607 | 1,35307227 | 0,13830 |
| 1,34248867 | 1,34894941 | 0,15222 |
| 1,34237608 | 1,34485159 | 0,15562 |
| 1,34225147 | 1,34077860 | 0,15950 |
| 1,34212288 | 1,33673020 | 0,16364 |
| 1,34194173 | 1,33270618 | 0,16972 |
| 1,34178304 | 1,32870631 | 0,17530 |
| 1,34159665 | 1,32473038 | 0,18218 |
| 1,34138684 | 1,32077817 | 0,19038 |
| 1,34120058 | 1,31684948 | 0,19810 |
| 1,34099957 | 1,35330206 | 0,20694 |

Tableau3.5.e : Valeurs expérimentale et théorique des charges totales relatives de déversement calculée et h_d mesuré.

$\theta = 71^\circ$; $P = 10,268 \text{ cm}$

| $H_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $H_d \text{ thé}^{*-1}$ | h_d |
|--------------------------|-------------------------|---------|
| 1,34362148 | 1,34940626 | 0,06522 |
| 1,34244236 | 1,34553283 | 0,07512 |
| 1,34191522 | 1,34168157 | 0,07994 |
| 1,34133717 | 1,33785230 | 0,08554 |
| 1,34080808 | 1,33404482 | 0,09098 |
| 1,34036384 | 1,33025896 | 0,09580 |
| 1,33987951 | 1,32649452 | 0,10134 |
| 1,33932344 | 1,32275132 | 0,10810 |
| 1,33885929 | 1,31902919 | 0,11410 |
| 1,33846897 | 1,35350772 | 0,11942 |
| 1,33827663 | 1,34981529 | 0,12214 |
| 1,33785665 | 1,34614295 | 0,12832 |
| 1,33769314 | 1,34249053 | 0,13082 |
| 1,33694114 | 1,33885788 | 0,14306 |
| 1,33635816 | 1,33524484 | 0,15348 |
| 1,33579553 | 1,33165125 | 0,16442 |
| 1,33534431 | 1,32807694 | 0,17390 |
| 1,33484481 | 1,32452178 | 0,18522 |
| 1,33471983 | 1,32098559 | 0,18820 |
| 1,33461942 | 1,35369287 | 0,19064 |

Tableau3.5.f : Valeurs expérimentale et théorique des charges totales relatives de déversement calculée et h_d mesuré.

$\theta = 71^\circ$; $P = 8,136 \text{ cm}$

| $H_d \text{ exp.}^{*-1}$ | $H_d \text{ thé}^{*-1}$ | h_d |
|--------------------------|-------------------------|---------|
| 1,34463052 | 1,35018362 | 0,06752 |
| 1,34385908 | 1,34669252 | 0,07558 |
| 1,34347939 | 1,34321943 | 0,07988 |
| 1,34302578 | 1,33976420 | 0,08534 |
| 1,34268913 | 1,33632671 | 0,08964 |
| 1,34229412 | 1,33290680 | 0,09498 |
| 1,34175344 | 1,32950436 | 0,10286 |
| 1,34151661 | 1,32611924 | 0,10654 |
| 1,34119867 | 1,32275132 | 0,11172 |
| 1,34082215 | 1,35401280 | 0,11824 |
| 1,34038035 | 1,35082032 | 0,12648 |
| 1,34015959 | 1,34764285 | 0,13086 |
| 1,33982153 | 1,34448030 | 0,13794 |
| 1,33959927 | 1,34133255 | 0,14286 |
| 1,33942569 | 1,33819951 | 0,14686 |
| 1,33921224 | 1,33508108 | 0,15198 |
| 1,33896144 | 1,33197714 | 0,15830 |
| 1,33878042 | 1,32888760 | 0,16308 |
| 1,33854470 | 1,32581236 | 0,16960 |
| 1,33816539 | 1,35427952 | 0,18086 |

Au regard des résultats des tableaux précédents on constate que H_{dexp}^{*-1} règne au tours d'une valeur moyenne pour les différentes valeurs de P^* et θ Ces valeurs sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 3.6 : Valeurs moyenne de la charge totale relative de déversement

| $H_d moy^{*-1}$ | θ | P |
|-----------------|----------|---------|
| 1,3438 | 45° | 10.232 |
| 1,3459 | 45° | 8.232 |
| 1,3411 | 60° | 10.2.33 |
| 1,3432 | 60° | 8.232 |
| 1,3385 | 71° | 10.268 |
| 1,3409 | 71° | 8.136 |

On remarque d'après les résultats conçus dans le tableau 3.6 que la charge totale relative de déversement diminue avec l'accroissement de la hauteur de pelle et pour le même angle d'ouverture de l'échancrure, par contre augmente proportionnellement avec l'accroissement de θ c'est-à-dire que pour une hauteur de pelle plus petite on aura une valeur maximale de H_d^{*-1} avec θ maximale.

III.7.4 Coefficient de débit du dispositif et expression du débit

Comme nous l'a indiqué la recherche bibliographique que nous avons effectué sur les déversoirs et les appareils de mesure du débit de forme diverses, la relation exprimant le débit se rapporte en règle générale au débit unitaire écoulé par le canal d'amenée de forme rectangulaire.

III.7.4.1 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, soit $H_d \approx h_d$. Le débit volume Q écoulé par le dispositif s'écrit :

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

Le coefficient de débit s'écrit d'après la relation 2.14

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

La relation du coefficient de débit μ_o montre qu'il n'est fonction que du paramètre adimensionnel ψ . Nous présentons dans les tableaux 3.7.a à 3.7.f nous rassemblerons les résultats de nos essais et de nos calculs concernant les valeurs de μ_o , μ_{the} et les écarts entre eux. Dans la figure 3.10 nous présentons la variation théorique et expérimentale de μ_o en fonction de ψ .

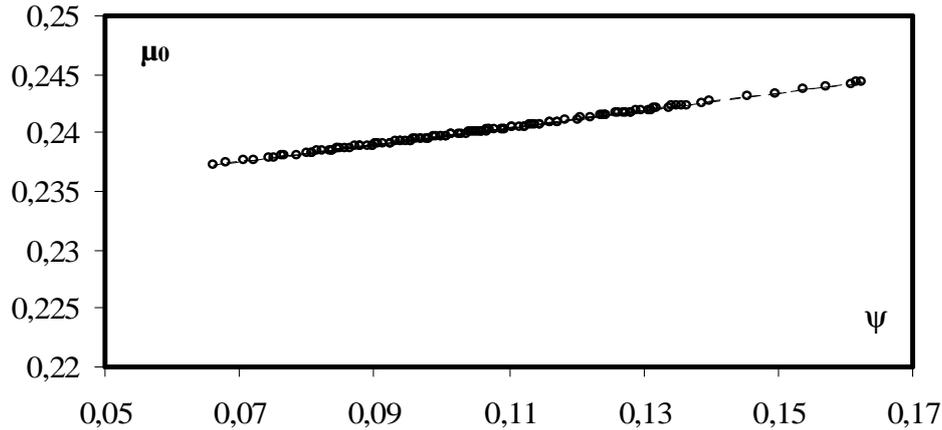


Figure 3.10 : Variation du coefficient de débit μ_o en fonction du paramètre ψ .
 (---) Courbe théorique tracée selon la relation (2.16), (ooo) points expérimentaux

On constate d'après la figure 3.10 que les valeurs de μ_{exp} forment un nuage de point par rapport à la courbe théorique, dans l'intervalle réduit de ψ d'où $0,06 \leq \psi \leq 0,17$

Et μ_{exp} varie dans la gamme de $0,235 \leq \mu \leq 0,245$.

III.7.4.2 Vitesse d'approche de l'écoulement non négligée

Dans le cas où la vitesse d'approche de l'écoulement n'est pas négligée, l'expression théorique du coefficient de débit du dispositif étudié ainsi que celle du débit volume Q écoulé s'exprime comme suit :

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

D'où μ_o est le coefficient de débit sans vitesse d'approche

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

Sur la figure 3.11 nous allons représenter les valeurs expérimentales et théoriques du coefficient de débit en fonction de ψ .

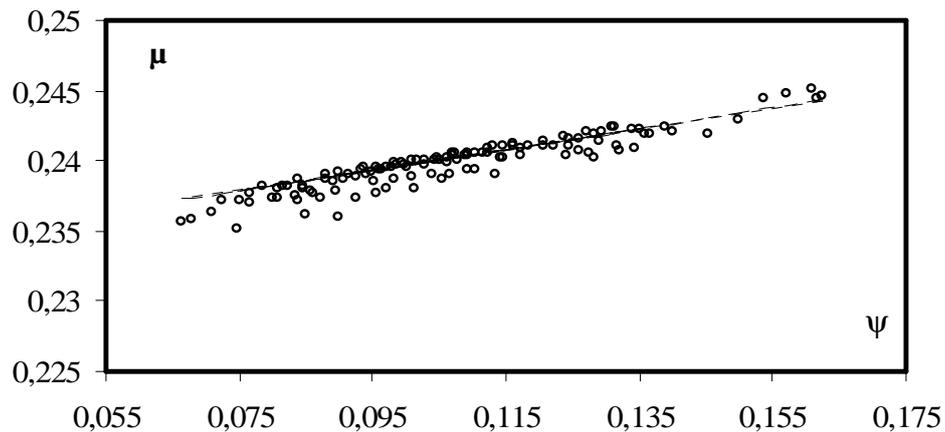


Figure 3.11 : Variation du coefficient de débit en fonction du paramètre ψ .
 (---) Courbe théorique tracée selon la relation (2.28), (○○○) points expérimentaux

L'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement sur le coefficient de débit du dispositif testé s'exprime par une légère diminution entre les résultats expérimentaux et théoriques d'où on remarque que cette diminution n'est pas vraiment significative.

Sur la figure 3.12 nous allons présenter les écarts relatifs sur le coefficient de débit dans la totalité des résultats.

Les tableaux 3.7.a à 3.7.f rassemblent tous les valeurs de μ que se soit avec ou sans vitesse d'approche et l'écart qui est due à l'effet de la vitesse d'approche.

Ces résultats seront confrontés avec ceux issues de l'expérimentation pour pouvoir valider l'expression théorique que nous avons développée lors de la deuxième partie.

Tableau 3.7.a : Valeurs des coefficients de débit théoriques μ_0 , μ_{the} et les écarts entre eux.

$\theta = 45^\circ$; $P = 10.232 \text{ cm}$

| μ_0 | $\mu_{thé}$ | E(%) |
|------------|-------------|------------|
| 0,23788402 | 0,23807372 | 0,07968121 |
| 0,23800444 | 0,23820314 | 0,08341562 |
| 0,23830178 | 0,23852357 | 0,09298594 |
| 0,23856175 | 0,23880476 | 0,10175926 |
| 0,23898728 | 0,23926706 | 0,11693411 |
| 0,23913508 | 0,23942823 | 0,12244084 |
| 0,23918145 | 0,23947886 | 0,12419351 |
| 0,23922951 | 0,23953138 | 0,12602310 |
| 0,23930099 | 0,23960953 | 0,12876739 |
| 0,23937711 | 0,23969283 | 0,13172092 |
| 0,23940225 | 0,23972037 | 0,13270376 |
| 0,23946452 | 0,23978860 | 0,13515253 |
| 0,23951516 | 0,23984413 | 0,13715975 |
| 0,23958513 | 0,23992091 | 0,13995691 |
| 0,23963220 | 0,23997261 | 0,14185408 |
| 0,23967069 | 0,24001490 | 0,14341419 |
| 0,23973978 | 0,24009088 | 0,14623554 |
| 0,23986535 | 0,24022913 | 0,15143101 |
| 0,24000639 | 0,24038468 | 0,15737055 |
| 0,24003750 | 0,24041903 | 0,15869550 |
| 0,24012516 | 0,24051589 | 0,16245777 |
| 0,24020542 | 0,24060468 | 0,16594006 |
| 0,24032857 | 0,24074109 | 0,17135208 |

On peut tirer du tableau 3.7.a que les valeurs du coefficient de débit μ_0 sont légèrement inférieures aux valeurs de μ_{the} cette différence se traduit par l'effet de la vitesse d'approche sur le coefficient de débit et qui se traduit par l'écart relative qui est de l'ordre de 0,17 % pour la plus grande valeur de ψ , débit et h_d max. cette remarque se répercute pour tous les autres dispositifs dont nous avons testé au laboratoire.

Tableau3.7.b : Valeurs des coefficients de débit théoriques μ_0 , μ_{the} et les écarts entre eux.

$\theta = 45^\circ$; $P= 8.232 \text{ cm}$

| μ_0 | μ_{the} | E(%) |
|------------|-------------|------------|
| 0,23726166 | 0,23740810 | 0,06168280 |
| 0,23737822 | 0,23753234 | 0,06488688 |
| 0,23758230 | 0,23775035 | 0,07068229 |
| 0,23768860 | 0,23786413 | 0,07379414 |
| 0,23798422 | 0,23818140 | 0,08278304 |
| 0,23813585 | 0,23834460 | 0,08758408 |
| 0,23824441 | 0,23846165 | 0,09110098 |
| 0,23829582 | 0,23851713 | 0,09278914 |
| 0,2383510 | 0,23857674 | 0,09461809 |
| 0,23841364 | 0,23864445 | 0,09671471 |
| 0,23847341 | 0,23870910 | 0,09873570 |
| 0,23851539 | 0,23875454 | 0,10016700 |
| 0,23855592 | 0,23879844 | 0,10155847 |
| 0,23863846 | 0,23888791 | 0,10442017 |
| 0,23868387 | 0,23893717 | 0,10601079 |
| 0,23875630 | 0,23901580 | 0,10857184 |
| 0,23881278 | 0,23907717 | 0,11058910 |
| 0,23888389 | 0,23915450 | 0,11315435 |
| 0,23895390 | 0,23923071 | 0,11570739 |
| 0,23726166 | 0,23740810 | 0,06168280 |

Tableau3.7.c : Valeurs des coefficients de débit théoriques μ_0 , μ_{the} et les écarts entre eux.

$\theta = 60^\circ$; $P= 10,233 \text{ cm}$

| μ_0 | μ_{the} | E(%) |
|------------|-------------|------------|
| 0,2391353 | 0,23942847 | 0,12244913 |
| 0,23934833 | 0,23966132 | 0,13060027 |
| 0,23954471 | 0,23987655 | 0,13833787 |
| 0,23968205 | 0,24002739 | 0,14387633 |
| 0,23988759 | 0,24025364 | 0,15236024 |
| 0,23998866 | 0,24036512 | 0,15661818 |
| 0,24019114 | 0,24058887 | 0,16531768 |
| 0,24036361 | 0,24077993 | 0,17290706 |
| 0,24056866 | 0,24100764 | 0,18214395 |
| 0,24069976 | 0,24115355 | 0,18817159 |
| 0,2408506 | 0,24132171 | 0,19522375 |
| 0,24101522 | 0,24150563 | 0,20306417 |
| 0,24141481 | 0,24195368 | 0,22271686 |
| 0,24147958 | 0,24202652 | 0,22598527 |
| 0,24159022 | 0,2421511 | 0,23162216 |
| 0,24167532 | 0,24224703 | 0,23600332 |
| 0,24176182 | 0,24234465 | 0,24049805 |
| 0,24185137 | 0,24244584 | 0,24519455 |
| 0,24198708 | 0,24259939 | 0,25239597 |
| 0,24225237 | 0,24290035 | 0,26676695 |

Tableau3.7.d : Valeurs des coefficients de débit théoriques μ_0 , μ_{the} et les écarts entre eux.

$\theta = 60^\circ$; $P = 8,232 \text{ cm}$

| μ_0 | $\mu_{thé}$ | E(%) |
|------------|-------------|------------|
| 0,23785263 | 0,23804002 | 0,07872095 |
| 0,23849670 | 0,23873430 | 0,09952841 |
| 0,23858249 | 0,23882723 | 0,10247539 |
| 0,23881365 | 0,23907812 | 0,11062044 |
| 0,23892922 | 0,23920384 | 0,11480434 |
| 0,23905846 | 0,23934465 | 0,11957109 |
| 0,23924416 | 0,23954739 | 0,12658321 |
| 0,23935752 | 0,23967139 | 0,13095782 |
| 0,23973447 | 0,24008504 | 0,14601787 |
| 0,23979434 | 0,24015093 | 0,14848237 |
| 0,24005618 | 0,24043967 | 0,15949398 |
| 0,24011561 | 0,24050533 | 0,16204582 |
| 0,24018143 | 0,24057813 | 0,16489529 |
| 0,24024943 | 0,24065340 | 0,16786421 |
| 0,24034534 | 0,24075968 | 0,17209532 |
| 0,24042947 | 0,24085301 | 0,17584872 |
| 0,24052843 | 0,24096292 | 0,18031357 |
| 0,24064000 | 0,24108700 | 0,18541207 |
| 0,24073919 | 0,24119748 | 0,19000306 |
| 0,24084641 | 0,24131704 | 0,19502631 |

Tableau3.7.e : Valeurs des coefficients de débit théoriques μ_0 , μ_{the} et les écarts entre eux.

$\theta = 71^\circ$; $P = 10,268 \text{ cm}$

| μ_0 | $\mu_{thé}$ | E(%) |
|------------|-------------|------------|
| 0,23946144 | 0,23978522 | 0,13503086 |
| 0,24008062 | 0,24046667 | 0,16054096 |
| 0,24035939 | 0,24077525 | 0,17271924 |
| 0,24066644 | 0,24111644 | 0,18663049 |
| 0,24094871 | 0,24143127 | 0,19987820 |
| 0,24118659 | 0,24169750 | 0,21138444 |
| 0,24144685 | 0,24198971 | 0,22433093 |
| 0,24174683 | 0,24232772 | 0,23971600 |
| 0,24199815 | 0,24261192 | 0,25298768 |
| 0,24221014 | 0,24285237 | 0,26445340 |
| 0,24231482 | 0,24297135 | 0,27020655 |
| 0,24254389 | 0,24323225 | 0,28300648 |
| 0,24263326 | 0,24333425 | 0,28807838 |
| 0,24304556 | 0,24380635 | 0,31204882 |
| 0,24336664 | 0,24417575 | 0,33136496 |
| 0,24367771 | 0,24453510 | 0,35062102 |
| 0,24392801 | 0,24482531 | 0,36650285 |
| 0,24420597 | 0,24514867 | 0,38454425 |
| 0,24427565 | 0,24522992 | 0,38913403 |
| 0,24433168 | 0,24529531 | 0,39284416 |

Tableau3.7.f : Valeurs des coefficients de débit théoriques μ_0 , $\mu_{\text{thé}}$ et les écarts entre eux.

$\theta = 71^\circ$; $P = 8,136 \text{ cm}$

| μ_0 | $\mu_{\text{thé}}$ | E(%) |
|------------|--------------------|------------|
| 0,23893655 | 0,23921182 | 0,11507206 |
| 0,23933742 | 0,23964939 | 0,13017701 |
| 0,23953573 | 0,23986669 | 0,13797931 |
| 0,23977349 | 0,24012797 | 0,14762159 |
| 0,23995053 | 0,24032304 | 0,15500508 |
| 0,24015889 | 0,24055320 | 0,16391696 |
| 0,24044518 | 0,24087045 | 0,17655379 |
| 0,24057097 | 0,24101021 | 0,18224950 |
| 0,24074021 | 0,24119861 | 0,19005043 |
| 0,24094118 | 0,24142287 | 0,19951949 |
| 0,24117773 | 0,24168757 | 0,21095048 |
| 0,24129623 | 0,24182048 | 0,21679295 |
| 0,24147808 | 0,24202483 | 0,22590908 |
| 0,24159788 | 0,24215972 | 0,23201460 |
| 0,24169158 | 0,24226537 | 0,23684513 |
| 0,24180696 | 0,24239564 | 0,24285975 |
| 0,24194276 | 0,24254922 | 0,25003315 |
| 0,24204093 | 0,24266040 | 0,25528195 |
| 0,24216896 | 0,24280561 | 0,26220692 |
| 0,24237543 | 0,24304030 | 0,27356498 |

Comme pour les dispositifs précédents l'écart relatif maximal sur le coefficient de débit est de l'ordre de 0,3928 % cette unique valeur est obtenue pour le débit maximal qui est $Q = 12.27 \text{ l/s}$ pour $\theta = 71^\circ$ et $P = 10,268 \text{ cm}$. Ce qui mène à dire que la plus petite ouverture et grande hauteur de pelle influe sur le coefficient de débit à cause de la hauteur de pelle qui bloque l'écoulement ce qui empêche l'augmentation de la hauteur de déversement à un certain niveau et le permet de diminuer l'effet de la vitesse d'approche.

Nous avons donc confronté les résultats des mesures expérimentales du coefficient de débit μ_{exp} à ceux théoriques calculés par la relation (2.28). Nous présentons, dans les tableaux 3.8.a à 3.8.f, les résultats de nos essais et de nos calculs.

Tableau 3.8.a : Valeurs des coefficients de débit théoriques, expérimentales et $\Delta\mu/\mu$ (%).

$\theta = 45^\circ$; $P= 10.232$ cm

| $\mu_{thé}$ | μ_{exp} | $\Delta\mu/\mu$ (%) |
|-------------|-------------|---------------------|
| 0,23807372 | 0,23724291 | 0,34897299 |
| 0,23820314 | 0,23704493 | 0,48622630 |
| 0,23852357 | 0,23727503 | 0,52344456 |
| 0,23880476 | 0,23822731 | 0,24180531 |
| 0,23926706 | 0,23866248 | 0,25268119 |
| 0,23942823 | 0,23886083 | 0,23698302 |
| 0,23947886 | 0,23942276 | 0,02342590 |
| 0,23953138 | 0,23951313 | 0,00761843 |
| 0,23960953 | 0,23916223 | 0,18667870 |
| 0,23969283 | 0,23932277 | 0,15438962 |
| 0,23972037 | 0,23938569 | 0,13961427 |
| 0,23978860 | 0,23957005 | 0,09114349 |
| 0,23984413 | 0,23945227 | 0,16337793 |
| 0,23992091 | 0,23964253 | 0,11603327 |
| 0,23997261 | 0,23983253 | 0,05837644 |
| 0,24001490 | 0,23976214 | 0,10531272 |
| 0,24009088 | 0,24001699 | 0,03077377 |
| 0,24022913 | 0,24006083 | 0,07005869 |
| 0,24038468 | 0,24016237 | 0,09248156 |
| 0,24041903 | 0,23996679 | 0,18810607 |
| 0,24051589 | 0,23984744 | 0,27792451 |
| 0,24060468 | 0,24046103 | 0,05970668 |
| 0,24074109 | 0,24038036 | 0,14984021 |

Au regard des résultats consignées dans le tableau 3.8.a que le coefficient de débit expérimentale varie dans une gamme très limitée : $0,237 \leq \mu \leq 0,24$ cet intervalle est pareil à celui du coefficient de débit théorique. Concernant l'écart maximal commis sur le coefficient de débit est de l'ordre de 0,48% cette valeur est obtenue pour les faibles valeurs de débit.

Tableau 3.8.b : Valeurs des coefficients de débit théoriques, expérimentales et $\Delta\mu/\mu$ (%).

$\theta = 45^\circ$; $P= 8.232$ cm

| $\mu_{thé}$ | μ_{exp} | $\Delta\mu/\mu$ (%) |
|-------------|-------------|---------------------|
| 0,23740810 | 0,23562550 | 0,75085676 |
| 0,23753234 | 0,23575056 | 0,75012199 |
| 0,23775035 | 0,23629345 | 0,61278538 |
| 0,23786413 | 0,23722310 | 0,26949535 |
| 0,23818140 | 0,23770159 | 0,20144724 |
| 0,23834460 | 0,23811420 | 0,09666851 |
| 0,23846165 | 0,23739053 | 0,44918054 |
| 0,23851713 | 0,23802847 | 0,20487480 |
| 0,23857674 | 0,23813976 | 0,18316275 |
| 0,23864445 | 0,23810456 | 0,22623188 |
| 0,23870910 | 0,23743813 | 0,53243753 |
| 0,23875454 | 0,23865151 | 0,04315243 |
| 0,23879844 | 0,23798866 | 0,33910822 |
| 0,23888791 | 0,23781021 | 0,45113003 |
| 0,23893717 | 0,23766539 | 0,53226454 |
| 0,23901580 | 0,23731132 | 0,71312808 |
| 0,23907717 | 0,23872141 | 0,14880453 |
| 0,23915450 | 0,23852581 | 0,26288208 |
| 0,23923071 | 0,23910651 | 0,05191591 |
| 0,23740810 | 0,23562550 | 0,75085676 |

Tableau 3.8.c : Valeurs des coefficients de débit théoriques, expérimentales et $\Delta\mu/\mu$ (%).

$\theta = 60^\circ$; $P= 10,233$ cm

| $\mu_{thé}$ | μ_{exp} | $\Delta\mu/\mu$ (%) |
|-------------|-------------|---------------------|
| 0,23942847 | 0,23727141 | 0,90092130 |
| 0,23966132 | 0,23772084 | 0,80967616 |
| 0,23987655 | 0,23871038 | 0,48615337 |
| 0,24002739 | 0,23946031 | 0,23625932 |
| 0,24025364 | 0,23963801 | 0,25624171 |
| 0,24036512 | 0,24003082 | 0,13907835 |
| 0,24058887 | 0,24043012 | 0,06598582 |
| 0,24077993 | 0,24034595 | 0,18024326 |
| 0,24100764 | 0,24084597 | 0,06708091 |
| 0,24115355 | 0,24027485 | 0,36437383 |
| 0,24132171 | 0,24109375 | 0,09446533 |
| 0,24150563 | 0,24108151 | 0,17561630 |
| 0,24195368 | 0,24176309 | 0,07877494 |
| 0,24202652 | 0,24148146 | 0,22521050 |
| 0,24215110 | 0,24162829 | 0,21590088 |
| 0,24224703 | 0,24214291 | 0,04297964 |
| 0,24234465 | 0,24191029 | 0,17923314 |
| 0,24244584 | 0,24200215 | 0,18300602 |
| 0,24259939 | 0,24238120 | 0,08993971 |
| 0,24290035 | 0,24223215 | 0,27508853 |

Tableau 3.8.d : Valeurs des coefficients de débit théoriques, expérimentales et $\Delta\mu/\mu$ (%).

$\theta = 60^\circ$; $P= 8,232$ cm

| $\mu_{thé}$ | μ_{exp} | $\Delta\mu/\mu$ (%) |
|-------------|-------------|---------------------|
| 0,23804002 | 0,23509499 | 1,23719672 |
| 0,23873430 | 0,23721598 | 0,63598878 |
| 0,23882723 | 0,23619413 | 1,10251359 |
| 0,23907812 | 0,23905393 | 0,01011981 |
| 0,23920384 | 0,23790843 | 0,54154913 |
| 0,23934465 | 0,23900641 | 0,14131898 |
| 0,23954739 | 0,23910452 | 0,18487880 |
| 0,23967139 | 0,23944418 | 0,09480146 |
| 0,24008504 | 0,23888641 | 0,49925054 |
| 0,24015093 | 0,24005224 | 0,04109164 |
| 0,24043967 | 0,24006280 | 0,15674203 |
| 0,24050533 | 0,24012593 | 0,15775204 |
| 0,24057813 | 0,24054120 | 0,01534935 |
| 0,24065340 | 0,24005411 | 0,24902520 |
| 0,24075968 | 0,24054785 | 0,08798196 |
| 0,24085301 | 0,24060173 | 0,10432918 |
| 0,24096292 | 0,24060789 | 0,14733708 |
| 0,24108700 | 0,24108072 | 0,00260423 |
| 0,24119748 | 0,24103564 | 0,06709885 |
| 0,24131704 | 0,24120376 | 0,04694156 |

Tableau 3.8.e : Valeurs des coefficients de débit théoriques, expérimentales et $\Delta\mu/\mu$ (%).

$\theta = 71^\circ$; $P= 10,268$ cm

| $\mu_{thé}$ | μ_{exp} | $\Delta\mu/\mu$ (%) |
|-------------|-------------|---------------------|
| 0,23978522 | 0,23794434 | 0,76772156 |
| 0,24046667 | 0,23874835 | 0,71457561 |
| 0,24077525 | 0,23940586 | 0,56874190 |
| 0,24111644 | 0,23910018 | 0,83621610 |
| 0,24143127 | 0,24086367 | 0,23509794 |
| 0,24169750 | 0,24141312 | 0,11766022 |
| 0,24198971 | 0,24041707 | 0,64987885 |
| 0,24232772 | 0,24027307 | 0,84788219 |
| 0,24261192 | 0,24110889 | 0,61951973 |
| 0,24285237 | 0,24083585 | 0,83034772 |
| 0,24297135 | 0,24181565 | 0,47565271 |
| 0,24323225 | 0,24236210 | 0,35774819 |
| 0,24333425 | 0,24202725 | 0,53712155 |
| 0,24380635 | 0,24191572 | 0,77546593 |
| 0,24417575 | 0,24293536 | 0,50799055 |
| 0,24453510 | 0,24446033 | 0,03057908 |
| 0,24482531 | 0,24470238 | 0,05020892 |
| 0,24514867 | 0,24509571 | 0,02160610 |
| 0,24522992 | 0,24443435 | 0,32442023 |
| 0,24529531 | 0,24466623 | 0,25645895 |

Tableau 3.8.f : Valeurs des coefficients de débit théoriques, expérimentales et

 $\Delta\mu/\mu$ (%). $\theta = 71^\circ$; $P = 8,136$ cm

| $\mu_{\text{thé}}$ | μ_{exp} | $\Delta\mu/\mu(\%)$ |
|--------------------|--------------------|---------------------|
| 0,23921182 | 0,23600765 | 1,33946996 |
| 0,23964939 | 0,23849123 | 0,48327286 |
| 0,23986669 | 0,23985567 | 0,00459399 |
| 0,24012797 | 0,23802410 | 0,87614639 |
| 0,24032304 | 0,23900290 | 0,54932162 |
| 0,24055320 | 0,23906798 | 0,61741620 |
| 0,24087045 | 0,23940637 | 0,60782637 |
| 0,24101021 | 0,24062251 | 0,16086396 |
| 0,24119861 | 0,24024678 | 0,39462683 |
| 0,24142287 | 0,24030585 | 0,46268062 |
| 0,24168757 | 0,24107379 | 0,25395863 |
| 0,24182048 | 0,24099078 | 0,34310599 |
| 0,24202483 | 0,24110613 | 0,37958950 |
| 0,24215972 | 0,24071177 | 0,59793105 |
| 0,24226537 | 0,24061009 | 0,68325368 |
| 0,24239564 | 0,24135839 | 0,42791559 |
| 0,24254922 | 0,24232291 | 0,09330317 |
| 0,24266040 | 0,24067202 | 0,81940791 |
| 0,24280561 | 0,24225099 | 0,22842203 |
| 0,24304030 | 0,24193330 | 0,45548081 |

Ainsi, les écarts relatifs, figurant dans la dernière colonne du tableau 3.8.a à 3.8.f, sont très révélateurs de la fiabilité de la relation (2.28) destinée au calcul du débit μ du dispositif que nous avons étudié.

Ainsi, les écarts relatifs, figurant dans la dernière colonne des tableaux 3.8.a à 3.8.f sont très révélateurs de la fiabilité de la relation (2.28) destinée au calcul du coefficient de 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. Nous pouvons écrire :

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{5}{2} \frac{\Delta h_d}{h_d} \quad (3.1)$$

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

- $\Delta Q = 0,11/s$: Erreur absolue de $1/10^{\text{ème}}$ de litre/seconde attribuée au débitmètre à ultrasons.

- $\Delta h_d = 0,02 \text{ mm}$: 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 d'angle d'ouverture θ et la hauteur de pelle P , nous avons estimé les erreurs relatives sur la mesure du coefficient de débit μ par application de la relation (3.1). Les résultats de nos calculs sont consignés dans les tableaux 3.9.a à 3.9.f.

Tableau 3.9.a : Valeurs des écarts relatifs des coefficients de débit théoriques, expérimentales selon la relation (3.1).

$\theta = 45^\circ$; $P = 10.232 \text{ cm}$

| $\Delta\mu/\mu$ (%) | $\Delta h_d/h_d$ | $\Delta Q/Q$ | $\Delta\mu/\mu$ (%) selon la formule |
|---------------------|------------------|--------------|---|
| 0,34897299 | 0,000182 | 0,000908 | 5,759707 |
| 0,48622630 | 0,000173 | 0,000867 | 5,128081 |
| 0,52344456 | 0,000154 | 0,000771 | 3,836043 |
| 0,24180531 | 0,000139 | 0,000696 | 2,961643 |
| 0,25268119 | 0,000117 | 0,000587 | 1,934101 |
| 0,23698302 | 0,000110 | 0,000552 | 1,662486 |
| 0,02342590 | 0,000108 | 0,000542 | 1,581487 |
| 0,00761843 | 0,000106 | 0,000531 | 1,504377 |
| 0,18667870 | 0,000103 | 0,000515 | 1,398758 |
| 0,15438962 | 0,000100 | 0,000499 | 1,290765 |
| 0,13961427 | 0,000099 | 0,000494 | 1,256710 |
| 0,09114349 | 0,000096 | 0,000481 | 1,175658 |
| 0,16337793 | 0,000094 | 0,000470 | 1,114416 |
| 0,11603327 | 0,000091 | 0,000456 | 1,032903 |
| 0,05837644 | 0,000089 | 0,000447 | 0,980802 |
| 0,10531272 | 0,000088 | 0,000439 | 0,940795 |
| 0,03077377 | 0,000085 | 0,000426 | 0,871151 |
| 0,07005869 | 0,000080 | 0,000402 | 0,757217 |
| 0,09248156 | 0,000075 | 0,000377 | 0,644494 |
| 0,18810607 | 0,000074 | 0,000371 | 0,622190 |
| 0,27792451 | 0,000071 | 0,000356 | 0,561779 |
| 0,05970668 | 0,000069 | 0,000343 | 0,509334 |
| 0,14984021 | 0,000064 | 0,000322 | 0,438646 |

Tableau3.9.b : Valeurs des écarts relatifs des coefficients de débit théoriques, expérimentales selon la relation (3.1).

$\theta = 45^\circ$; $P= 8.232 \text{ cm}$

| $\Delta\mu/\mu$ (%) | $\Delta h_d/h_d$ | $\Delta Q/Q$ | $\Delta\mu/\mu$ (%) selon la formule |
|---------------------|------------------|--------------|---|
| 0,75085676 | 0,000184 | 0,000920 | 5,986601 |
| 0,75012199 | 0,000174 | 0,000868 | 5,171593 |
| 0,61278538 | 0,000156 | 0,000782 | 3,986480 |
| 0,26949535 | 0,000148 | 0,000741 | 3,465597 |
| 0,20144724 | 0,000127 | 0,000634 | 2,348280 |
| 0,09666851 | 0,000117 | 0,000583 | 1,910042 |
| 0,44918054 | 0,000110 | 0,000549 | 1,649073 |
| 0,20487480 | 0,000107 | 0,000533 | 1,530423 |
| 0,18316275 | 0,000103 | 0,000517 | 1,414723 |
| 0,22623188 | 0,000100 | 0,000498 | 1,293412 |
| 0,53243753 | 0,000096 | 0,000481 | 1,189101 |
| 0,04315243 | 0,000094 | 0,000469 | 1,112388 |
| 0,33910822 | 0,000092 | 0,000458 | 1,050291 |
| 0,45113003 | 0,000087 | 0,000435 | 0,928112 |
| 0,53226454 | 0,000085 | 0,000423 | 0,866232 |
| 0,71312808 | 0,000081 | 0,000404 | 0,774930 |
| 0,14880453 | 0,000078 | 0,000390 | 0,704422 |
| 0,26288208 | 0,000074 | 0,000372 | 0,628355 |
| 0,05191591 | 0,000071 | 0,000355 | 0,558281 |

Tableau3.9.c : Valeurs des écarts relatifs des coefficients de débit théoriques, expérimentales selon la relation (3.1).

$\theta = 60^\circ$; $P= 10.233 \text{ cm}$

| $\Delta\mu/\mu$ (%) | $\Delta h_d/h_d$ | $\Delta Q/Q$ | $\Delta\mu/\mu$ (%) selon la formule |
|---------------------|------------------|--------------|---|
| 0,90092130 | 0,000230 | 0,001151 | 7,464958 |
| 0,80967616 | 0,000217 | 0,001085 | 6,437244 |
| 0,48615337 | 0,000206 | 0,001028 | 5,606975 |
| 0,23625932 | 0,000198 | 0,000990 | 5,091541 |
| 0,25624171 | 0,000187 | 0,000937 | 4,426387 |
| 0,13907835 | 0,000182 | 0,000911 | 4,127187 |
| 0,06598582 | 0,000172 | 0,000862 | 3,593407 |
| 0,18024326 | 0,000165 | 0,000823 | 3,199027 |
| 0,06708091 | 0,000156 | 0,000778 | 2,778618 |
| 0,36437383 | 0,000150 | 0,000750 | 2,547981 |
| 0,09446533 | 0,000144 | 0,000720 | 2,291636 |
| 0,17561630 | 0,000138 | 0,000688 | 2,047820 |
| 0,07877494 | 0,000123 | 0,000615 | 1,549753 |
| 0,22521050 | 0,000121 | 0,000604 | 1,482992 |
| 0,21590088 | 0,000117 | 0,000585 | 1,371556 |
| 0,04297964 | 0,000114 | 0,000571 | 1,289076 |
| 0,17923314 | 0,000111 | 0,000557 | 1,213641 |
| 0,18300602 | 0,000109 | 0,000543 | 1,138270 |
| 0,08993971 | 0,000104 | 0,000522 | 1,031132 |
| 0,27508853 | 0,000097 | 0,000483 | 0,850582 |

Tableau3.9.d : Valeurs des écarts relatifs des coefficients de débit théoriques, expérimentales selon la relation (3.1).

$\theta = 60^\circ$; $P= 8,232 \text{ cm}$

| $\Delta\mu/\mu$ (%) | $\Delta h_d/h_d$ | $\Delta Q/Q$ | $\Delta\mu/\mu$ (%) selon la formule |
|---------------------|------------------|--------------|---|
| 1,23719672 | 0,000285 | 0,001426 | 12,837243 |
| 0,63598878 | 0,000228 | 0,001140 | 7,285902 |
| 1,10251359 | 0,000221 | 0,001106 | 6,796895 |
| 0,01011981 | 0,000204 | 0,001021 | 5,505618 |
| 0,54154913 | 0,000196 | 0,000981 | 5,007745 |
| 0,14131898 | 0,000188 | 0,000938 | 4,458678 |
| 0,18487880 | 0,000176 | 0,000879 | 3,793968 |
| 0,09480146 | 0,000169 | 0,000845 | 3,432082 |
| 0,49925054 | 0,000148 | 0,000739 | 2,466094 |
| 0,04109164 | 0,000145 | 0,000723 | 2,326230 |
| 0,15674203 | 0,000131 | 0,000657 | 1,834649 |
| 0,15775204 | 0,000129 | 0,000643 | 1,736675 |
| 0,01534935 | 0,000125 | 0,000627 | 1,631348 |
| 0,24902520 | 0,000122 | 0,000611 | 1,534314 |
| 0,08798196 | 0,000118 | 0,000589 | 1,399323 |
| 0,10432918 | 0,000114 | 0,000570 | 1,291680 |
| 0,14733708 | 0,000110 | 0,000549 | 1,174673 |
| 0,00260423 | 0,000105 | 0,000525 | 1,051904 |
| 0,06709885 | 0,000101 | 0,000505 | 0,954032 |
| 0,04694156 | 0,000097 | 0,000483 | 0,856339 |

Tableau3.9.e : Valeurs des écarts relatifs des coefficients de débit théoriques, expérimentales selon la relation (3.1).

$\theta = 71^\circ$; $P= 10,268 \text{ cm}$

| $\Delta\mu/\mu$ (%) | $\Delta h_d/h_d$ | $\Delta Q/Q$ | $\Delta\mu/\mu$ (%) selon la formule |
|---------------------|------------------|--------------|---|
| 0,76772156 | 0,000307 | 0,001533 | 12,321562 |
| 0,71457561 | 0,000266 | 0,001331 | 8,637989 |
| 0,56874190 | 0,000250 | 0,001251 | 7,379620 |
| 0,83621610 | 0,000234 | 0,001169 | 6,244019 |
| 0,23509794 | 0,000220 | 0,001099 | 5,318115 |
| 0,11766022 | 0,000209 | 0,001044 | 4,667577 |
| 0,64987885 | 0,000197 | 0,000987 | 4,076184 |
| 0,84788219 | 0,000185 | 0,000925 | 3,474825 |
| 0,61951973 | 0,000175 | 0,000876 | 3,028896 |
| 0,83034772 | 0,000167 | 0,000837 | 2,708536 |
| 0,47565271 | 0,000164 | 0,000819 | 2,551397 |
| 0,35774819 | 0,000156 | 0,000779 | 2,252987 |
| 0,53712155 | 0,000153 | 0,000764 | 2,150897 |
| 0,77546593 | 0,000140 | 0,000699 | 1,725091 |
| 0,50799055 | 0,000130 | 0,000652 | 1,444342 |
| 0,03057908 | 0,000122 | 0,000608 | 1,211512 |
| 0,05020892 | 0,000115 | 0,000575 | 1,054393 |
| 0,02160610 | 0,000108 | 0,000540 | 0,901630 |
| 0,32442023 | 0,000106 | 0,000531 | 0,869264 |
| 0,25645895 | 0,000105 | 0,000525 | 0,841445 |

Tableau 3.9.f : Valeurs des écarts relatifs des coefficients de débit théoriques, expérimentales selon la relation (3.1).

 $\theta = 71^\circ$; $P = 8,136 \text{ cm}$

| $\Delta\mu/\mu$ (%) | $\Delta h_d/h_d$ | $\Delta Q/Q$ | $\Delta\mu/\mu$ (%) selon la formule |
|---------------------|------------------|--------------|---|
| 1,33946996 | 0,000296 | 0,001481 | 11,394807 |
| 0,48327286 | 0,000265 | 0,001323 | 8,516859 |
| 0,00459399 | 0,000250 | 0,001252 | 7,379667 |
| 0,87614639 | 0,000234 | 0,001172 | 6,308589 |
| 0,54932162 | 0,000223 | 0,001116 | 5,560366 |
| 0,61741620 | 0,000211 | 0,001053 | 4,814547 |
| 0,60782637 | 0,000194 | 0,000972 | 3,944714 |
| 0,16086396 | 0,000188 | 0,000939 | 3,597227 |
| 0,39462683 | 0,000179 | 0,000895 | 3,202649 |
| 0,46268062 | 0,000169 | 0,000846 | 2,782013 |
| 0,25395863 | 0,000158 | 0,000791 | 2,347224 |
| 0,34310599 | 0,000153 | 0,000764 | 2,158350 |
| 0,37958950 | 0,000145 | 0,000725 | 1,893833 |
| 0,59793105 | 0,000140 | 0,000700 | 1,739545 |
| 0,68325368 | 0,000136 | 0,000681 | 1,625558 |
| 0,42791559 | 0,000132 | 0,000658 | 1,489210 |
| 0,09330317 | 0,000126 | 0,000632 | 1,341629 |
| 0,81940791 | 0,000123 | 0,000613 | 1,255150 |
| 0,22842203 | 0,000118 | 0,000590 | 1,132422 |
| 0,45548081 | 0,000111 | 0,000553 | 0,968085 |

Il ressort ainsi des tableaux 3.9.a à 3.9.f que les écarts relatifs obtenus sur le coefficient de débit μ , par application de la relation (3.1) sont nettement supérieurs à ceux obtenus entre μ_{exp} et μ_{the} . Les tableaux 3.9.a à 3.9.f 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.f, nous pouvons confirmer la validité de la relation (2.28), et ceci pour toute la gamme testée des dispositifs.

- Expression du débit écoulé par le dispositif testé

L'évaluation du coefficient de débit μ que nous avons effectué précédemment et qui s'exprime par la relation (2.28), permet aisément d'établir la relation liant le débit écoulé par le dispositif et la hauteur de déversement h_d .

Pour définir le débit Q s'écoulant au travers de l'échancrure du dispositif testé, il suffit pour cela de le calculer par la relation (2.29).

C'est la relation (2.29) qui sera confrontée, dans cette partie de notre étude, aux valeurs issues de l'expérimentation des appareils testés. Pour cela, nous considérons les valeurs des débits Q ainsi que celles des profondeurs déversées h_d consignées dans les tableaux 3.3.a à 3.3.f.

Les résultats de tous nos calculs sont consignés dans les tableaux 3.10.a à 3.10.f et dans lequel nous avons indiqué les écarts relatifs exprimés en %. Ceci permet d'apprécier le degré de fiabilité que peut atteindre la relation (2.29). Au tableau 3.10.a à 3.10.f, est associée les figures 3.12.a à 3.12.f représentant la variation de Q_{the} en fonction Q_{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 3.10.a Valeurs des débits théoriques, expérimentales et $\Delta Q/Q$ (%).

$\theta = 45^\circ$; $P = 10.232 \text{ cm}$

| $Q_{\text{thé}}$ | Q_{exp} | $\Delta Q/Q$ (%) |
|------------------|------------------|------------------|
| 0,00175613 | 0,00175000 | 0,34897299 |
| 0,00197628 | 0,00196667 | 0,48622630 |
| 0,00264719 | 0,00263333 | 0,52344456 |
| 0,00342495 | 0,00341667 | 0,24180531 |
| 0,00526330 | 0,00525000 | 0,25268119 |
| 0,00613120 | 0,00611667 | 0,23698302 |
| 0,00643484 | 0,00643333 | 0,02342590 |
| 0,00676718 | 0,00676667 | 0,00761843 |
| 0,00729696 | 0,00728333 | 0,18667870 |
| 0,00791222 | 0,00790000 | 0,15438962 |
| 0,00812801 | 0,00811667 | 0,13961427 |
| 0,00869125 | 0,00868333 | 0,09114349 |
| 0,00918167 | 0,00916667 | 0,16337793 |
| 0,00991150 | 0,00990000 | 0,11603327 |
| 0,01043943 | 0,01043333 | 0,05837644 |
| 0,01089481 | 0,01088333 | 0,10531272 |
| 0,01177029 | 0,01176667 | 0,03077377 |
| 0,01357618 | 0,01356667 | 0,07005869 |
| 0,01599813 | 0,01598333 | 0,09248156 |
| 0,01659789 | 0,01656667 | 0,18810607 |
| 0,01843457 | 0,01838333 | 0,27792451 |
| 0,02032880 | 0,02031667 | 0,05970668 |
| 0,02370218 | 0,02366667 | 0,14984021 |

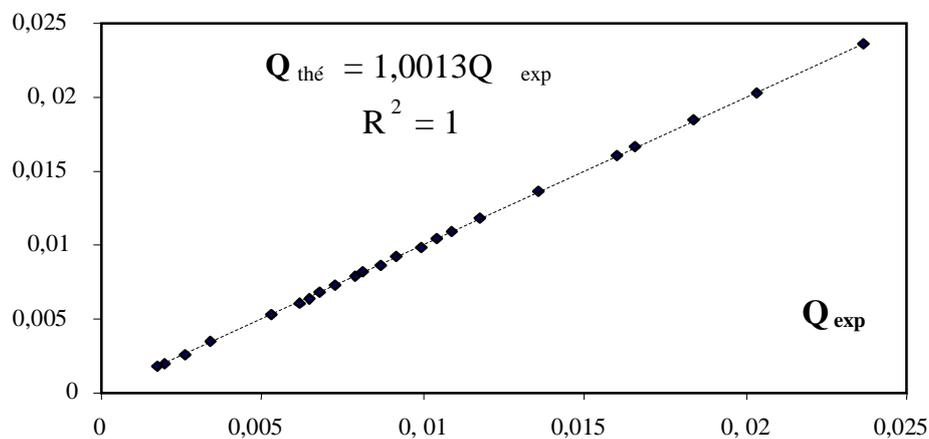


Figure 3.12.a: Variation expérimentale et théorique du débit pour

$\theta = 45^\circ$; $P = 10.232 \text{ cm}$

Tableau 3.10.b Valeurs des débits théoriques, expérimentales et $\Delta Q/Q$ (%).

$\theta = 45^\circ$; $P = 8.232$ cm

| $Q_{thé}$ | Q_{exp} | $\Delta Q/Q$ (%) |
|------------|------------|------------------|
| 0,00169607 | 0,00168333 | 0,75085676 |
| 0,00196474 | 0,00195000 | 0,75012199 |
| 0,00254895 | 0,00253333 | 0,61278538 |
| 0,00292455 | 0,00291667 | 0,26949535 |
| 0,00432538 | 0,00431667 | 0,20144724 |
| 0,00532181 | 0,00531667 | 0,09666851 |
| 0,00619449 | 0,00616667 | 0,44918054 |
| 0,00666365 | 0,00665000 | 0,20487480 |
| 0,00721321 | 0,00720000 | 0,18316275 |
| 0,00790121 | 0,00788333 | 0,22623188 |
| 0,00862928 | 0,00858333 | 0,53243753 |
| 0,00918730 | 0,00918333 | 0,04315243 |
| 0,00976645 | 0,00973333 | 0,33910822 |
| 0,01108333 | 0,01103333 | 0,45113003 |
| 0,01189666 | 0,01183333 | 0,53226454 |
| 0,01334517 | 0,01325000 | 0,71312808 |
| 0,01462176 | 0,01460000 | 0,14880453 |
| 0,01644323 | 0,01640000 | 0,26288208 |
| 0,01850961 | 0,01850000 | 0,05191591 |
| 0,00169607 | 0,00168333 | 0,75085676 |

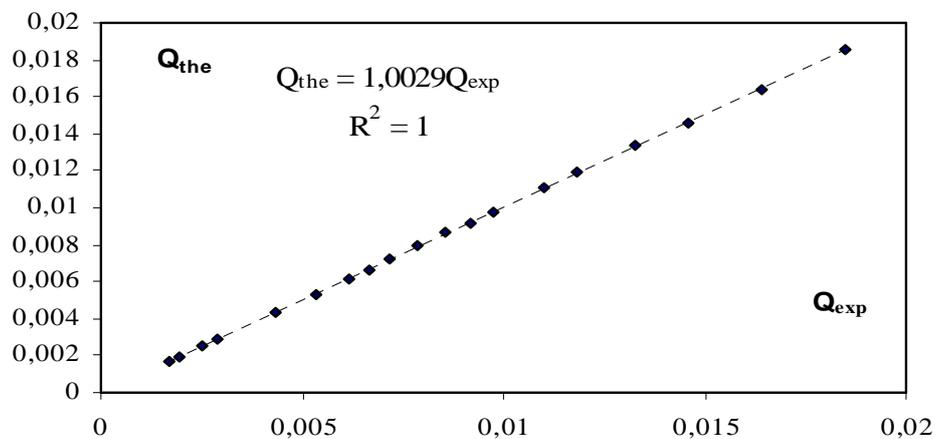


Figure 3.12.b: Variation expérimentale et théorique du débit pour

$\theta = 45^\circ$; $P = 8.232$ cm

Tableau 3.10.c Valeurs des débits théoriques, expérimentales et $\Delta Q/Q$ (%).

$\theta = 60^\circ$; $P = 10,233 \text{ cm}$

| $Q_{\text{thé}}$ | Q_{exp} | $\Delta Q/Q$ (%) |
|------------------|------------------|------------------|
| 0,00136227 | 0,00135000 | 0,90092130 |
| 0,00157946 | 0,00156667 | 0,80967616 |
| 0,00180879 | 0,00180000 | 0,48615337 |
| 0,00198803 | 0,00198333 | 0,23625932 |
| 0,00228920 | 0,00228333 | 0,25624171 |
| 0,00245341 | 0,00245000 | 0,13907835 |
| 0,00281853 | 0,00281667 | 0,06598582 |
| 0,00317238 | 0,00316667 | 0,18024326 |
| 0,00365245 | 0,00365000 | 0,06708091 |
| 0,00399790 | 0,00398333 | 0,36437383 |
| 0,00443753 | 0,00443333 | 0,09446533 |
| 0,00497540 | 0,00496667 | 0,17561630 |
| 0,00658852 | 0,00658333 | 0,07877494 |
| 0,00689887 | 0,00688333 | 0,22521050 |
| 0,00746612 | 0,00745000 | 0,21590088 |
| 0,00793674 | 0,00793333 | 0,04297964 |
| 0,00844848 | 0,00843333 | 0,17923314 |
| 0,00901650 | 0,00900000 | 0,18300602 |
| 0,00995896 | 0,00995000 | 0,08993971 |
| 0,01213338 | 0,01210000 | 0,27508853 |

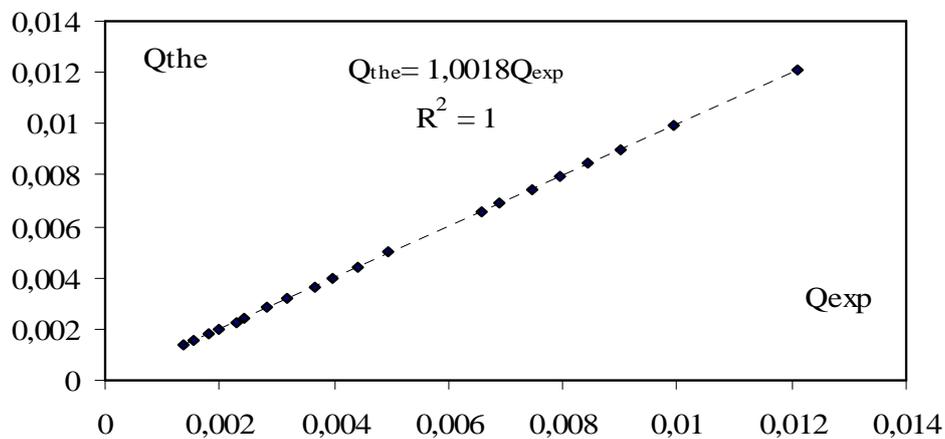


Figure 3.12.c: Variation expérimentale et théorique du débit pour

$\theta = 60^\circ$; $P = 10,233 \text{ cm}$

Tableau 3.10.d Valeurs des débits théoriques, expérimentales et $\Delta Q/Q$ (%).

$\theta = 60^\circ$; $P = 8,232 \text{ cm}$

| $Q_{\text{thé}}$ | Q_{exp} | $\Delta Q/Q$ (%) |
|------------------|------------------|------------------|
| 0,00079315 | 0,00078333 | 1,23719672 |
| 0,00139219 | 0,00138333 | 0,63598878 |
| 0,00149987 | 0,00148333 | 1,10251359 |
| 0,00183352 | 0,00183333 | 0,01011981 |
| 0,00202765 | 0,00201667 | 0,54154913 |
| 0,00226987 | 0,00226667 | 0,14131898 |
| 0,00267161 | 0,00266667 | 0,18487880 |
| 0,00295280 | 0,00295000 | 0,09480146 |
| 0,00413732 | 0,00411667 | 0,49925054 |
| 0,00436846 | 0,00436667 | 0,04109164 |
| 0,00555871 | 0,00555000 | 0,15674203 |
| 0,00587594 | 0,00586667 | 0,15775204 |
| 0,00625096 | 0,00625000 | 0,01534935 |
| 0,00666660 | 0,00665000 | 0,24902520 |
| 0,00730643 | 0,00730000 | 0,08798196 |
| 0,00792493 | 0,00791667 | 0,10432918 |
| 0,00872953 | 0,00871667 | 0,14733708 |
| 0,00975025 | 0,00975000 | 0,00260423 |
| 0,01077390 | 0,01076667 | 0,06709885 |
| 0,01202231 | 0,01201667 | 0,04694156 |

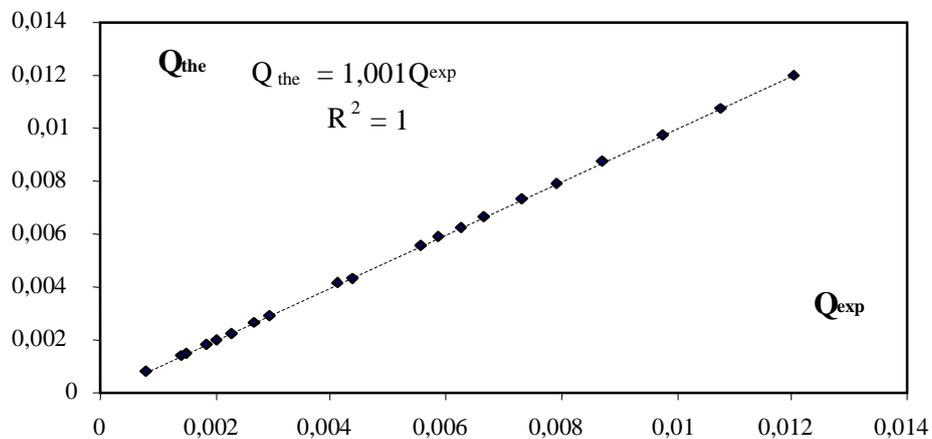


Figure 3.12.d: Variation expérimentale et théorique du débit pour

$\theta = 60^\circ$; $P = 8,232 \text{ cm}$

Tableau 3.10.e Valeurs des débits théoriques, expérimentales et $\Delta Q/Q$ (%).

$\theta = 71^\circ$; $P = 10,268$ cm

| $Q_{\text{thé}}$ | Q_{exp} | $\Delta Q/Q$ (%) |
|------------------|------------------|------------------|
| 0,00082298 | 0,00081667 | 0,76772156 |
| 0,00117506 | 0,00116667 | 0,71457561 |
| 0,00137448 | 0,00136667 | 0,56874190 |
| 0,00163030 | 0,00161667 | 0,83621610 |
| 0,00190448 | 0,00190000 | 0,23509794 |
| 0,00216922 | 0,00216667 | 0,11766022 |
| 0,00249958 | 0,00248333 | 0,64987885 |
| 0,00294161 | 0,00291667 | 0,84788219 |
| 0,00337088 | 0,00335000 | 0,61951973 |
| 0,00378140 | 0,00375000 | 0,83034772 |
| 0,00400237 | 0,00398333 | 0,47565271 |
| 0,00453288 | 0,00451667 | 0,35774819 |
| 0,00475889 | 0,00473333 | 0,53712155 |
| 0,00596291 | 0,00591667 | 0,77546593 |
| 0,00711950 | 0,00708333 | 0,50799055 |
| 0,00846926 | 0,00846667 | 0,03057908 |
| 0,00975490 | 0,00975000 | 0,05020892 |
| 0,01143580 | 0,01143333 | 0,02160610 |
| 0,01190529 | 0,01186667 | 0,32442023 |
| 0,01229821 | 0,01226667 | 0,25645895 |

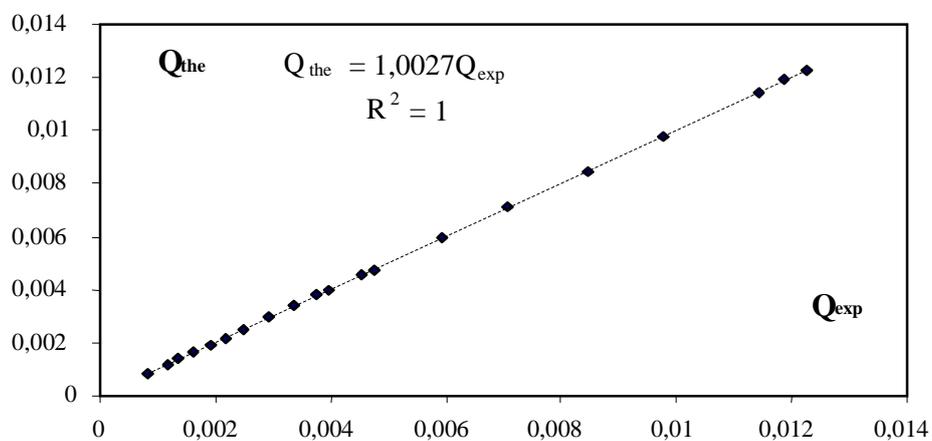


Figure 3.12.e: Variation expérimentale et théorique du débit pour

$\theta = 71^\circ$; $P = 10,268$ cm

Tableau 3.10.f Valeurs des débits théoriques, expérimentales et $\Delta Q/Q$ (%).

$\theta = 71^\circ$; $P = 8,136$ cm

| $Q_{thé}$ | Q_{exp} | $\Delta Q/Q$ (%) |
|------------|------------|------------------|
| 0,00089533 | 0,00088333 | 1,33946996 |
| 0,00118908 | 0,00118333 | 0,48327286 |
| 0,00136673 | 0,00136667 | 0,00459399 |
| 0,00161414 | 0,00160000 | 0,87614639 |
| 0,00182670 | 0,00181667 | 0,54932162 |
| 0,00211305 | 0,00210000 | 0,61741620 |
| 0,00258236 | 0,00256667 | 0,60782637 |
| 0,00282120 | 0,00281667 | 0,16086396 |
| 0,00317921 | 0,00316667 | 0,39462683 |
| 0,00366697 | 0,00365000 | 0,46268062 |
| 0,00434437 | 0,00433333 | 0,25395863 |
| 0,00473291 | 0,00471667 | 0,34310599 |
| 0,00540385 | 0,00538333 | 0,37958950 |
| 0,00590196 | 0,00586667 | 0,59793105 |
| 0,00632656 | 0,00628333 | 0,68325368 |
| 0,00689618 | 0,00686667 | 0,42791559 |
| 0,00764046 | 0,00763333 | 0,09330317 |
| 0,00823414 | 0,00816667 | 0,81940791 |
| 0,00908742 | 0,00906667 | 0,22842203 |
| 0,01068199 | 0,01063333 | 0,45548081 |

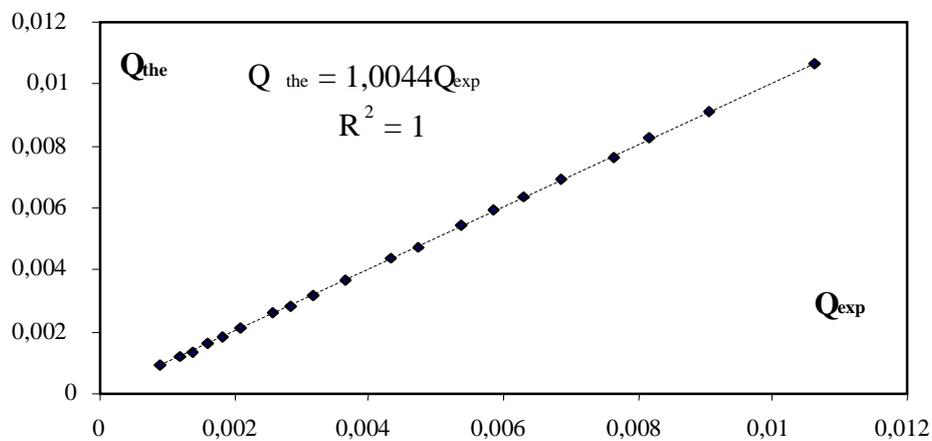


Figure 3.12.f: Variation expérimentale et théorique du débit pour

$\theta = 71^\circ$, $P = 8,136$ cm

Il ressort ainsi des tableaux 3.10.a à 3.10.f et des figures 3.12.a à 3.12.f que les écarts entre les valeurs expérimentales et théoriques du débit, s'écoulant par les dispositifs testés, sont très acceptables. Les figures 3.12.a à 3.12.f indiquent clairement que les débits unitaires expérimentaux et calculés en application de la relation (2.29) suit la

première bissectrice, avec un coefficient de corrélation dans tous les cas égal à 1. Au regard de nos résultats, nous pouvons ainsi conclure à la fiabilité de la relation (2.29) 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 la fiabilité de la relation (2.29), concernant l'ensemble des dispositifs testés et n'indiquent aucune restriction sur l'application de cette relation. Les erreurs sur le débit sont les mêmes commises sur le coefficient de débit.

III.8. CONCLUSION

Le troisième chapitre de notre travail a eu pour objectif l'étude d'un nouveau type d'appareil semi modulaire destiné à la mesure des débits dans les canaux à ciel ouverts. Notre choix s'est porté sur un élément de forme triangulaire à paroi épaisse et d'angle d'ouverture constant. Il est muni d'une hauteur de pelle.

Les essais expérimentaux ont consisté à tester 06 dispositifs de diverses valeurs de θ (45° , 60° , 71°) et de hauteurs de pelle P (10.232, 8.232, 10.233, 8.232, 10.268, 8.136) dont le but est principalement la validité de la relation (2.29), l'expression du débit écoulé par l'échancrure de l'appareil. Cela a nécessité l'estimation expérimentale du coefficient de débit.

Les essais ont été menés sous la gamme $0,783 \text{ l/s} \leq Q \leq 23.671 \text{ l/s}$ des débits volumes, correspondant à la gamme $6,52 \text{ cm} \leq h_d \leq 31.036 \text{ cm}$ de la profondeur déversée. Se qui conduit à des valeurs de Ψ allons jusqu'à 0,2 ces valeurs qui peuvent atteignent une valeur maximale de l'ordre de 0,5 théoriquement.

Dans un souci d'une meilleure précision des mesures, les débits volumes ont été déterminés par un débitmètre à ultrasons. Les profondeurs déversées ont été mesurées au moyen d'un limnimètre à vernier à double précision. La mise en place des dispositifs testés dans le canal d'amenée n'a provoqué aucune perturbation de la surface, contribuant ainsi dans la précision des mesures des profondeurs h_d et ceci pour toute la gamme des débits ci-dessus indiquée.

Les résultats obtenus expérimentalement ont permis de vérifier et de valider les relations issues du développement théorique traduit par les erreurs admissibles commises systématiquement lors des essais.

CONCLUSION GENERALE

Le présent mémoire a eu pour principal objectif la conception, la réalisation et l'expérimentation d'un nouveau type d'appareil de mesure de débit dans les canaux ouverts.

Notre choix s'est porté sur un élément de forme triangulaire à paroi épaisse et d'angle d'ouverture θ constant, il est muni d'une hauteur de pelle et son axe longitudinal se confond avec celui du canal d'amenée de forme rectangulaire dans lequel il est inséré. L'appareil provoque un rétrécissement brusque de la section du canal d'amenée.

L'objectif visé par le présent mémoire est d'établir l'expression théorique de la loi *hauteur-débit* ainsi que celle du coefficient de débit.

Pour mieux mener notre travail, nous avons présenté notre mémoire en trois chapitres principaux. Au cours du premier chapitre, nous avons passé en revue les principaux appareils de mesure du débit dans les canaux à ciel ouverts utilisés dans la pratique de l'ingénieur. Nous pouvons noter que ces appareils présentent tous une loi *hauteur – débit*.

Notre étude a montré deux grandes catégories d'appareils. La première catégorie correspond aux appareils utilisant le libre déversement par-dessus une paroi plane verticale placée en travers de l'écoulement. Ces appareils sont appelés déversoirs et sont dotés soit d'une échancrure de forme rectangulaire, soit d'une échancrure de forme triangulaire, 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.

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 le coefficient de débit μ . 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 géométrique de l'appareil.

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 à diverses formules, selon l'auteur. C'est ainsi que, pour le cas du déversoir rectangulaire sans contraction latérale, nous avons cité 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.

En ce qui concerne 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 :

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

P est la hauteur de pelle du déversoir et B est la largeur du canal rectangulaire dans lequel il est inséré. Lorsque les inégalités précédentes sont respectées, la contraction est dite pleine.

La vitesse d'approche de l'écoulement ainsi que la largeur B du canal d'amenée ont alors un effet très important sur la valeur du coefficient de débit μ . 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 1.5, selon les essais effectués par Bos.

Nous avons poursuivi notre étude bibliographique par un bref rappel des 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'amenée 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 1.5 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.

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 toute la charge amont est ainsi perdue à l'aval et cela constitue un inconvénient certain surtout dans les zones à faible déclivité.

Pour éliminer ces inconvénients, certains chercheurs ont tenté de concevoir d'autres types d'appareils. Ce sont les jaugeurs dits à ressaut qui utilisent la particularité de ce dernier à surélever le plan de charge aval. Notre étude a alors présenté les plus importants d'entre eux, notamment les canaux jaugeurs de type *Parshall*, *Venturi* et *Achour*. Les caractéristiques géométriques et les formules pratiques du débit de ces jaugeurs ont été largement discutées et leur limite d'applicabilité a été définie. Les jaugeurs *Parshall* et *Venturi* sont caractérisés par une section droite rectangulaire la précision dans la mesure du débit dépend fortement de celle commise sur la mesure de profondeur d'entrée de l'écoulement. Une bonne précision n'est obtenue que pour les fortes profondeurs. Afin d'éliminer cet inconvénient, *Achour* (1989) propose un jaugeur dont la section droite demeure triangulaire tout le long de l'appareil. Le débit transitant par le jaugeur *Achour* dépend de la profondeur de l'écoulement à l'entrée immédiate de l'appareil ainsi que des caractéristiques géométriques de celui-ci.

Les jaugeurs *Parshall*, *Venturi* et *Achour* sont des appareils dit semi- modulaires, car le débit est fonction à la fois de la profondeur de l'écoulement et de leur géométrie.

Le deuxième chapitre de notre mémoire, a été consacré à l'exposé de notre modeste contribution dans la conception, d'un nouveau type de dispositif de mesure de débit dans les canaux ouverts. Notre attention a été portée sur un élément de forme triangulaire à paroi épaisse et d'angle d'ouverture constant. Il est muni d'une hauteur de pelle et son axe longitudinal se confond avec celui du canal d'amenée dans lequel il est inséré.

Placé dans un canal de section rectangulaire constante, l'appareil provoque un rétrécissement brusque de la section. La veine liquide s'y écoulant subit une contraction latérale.

L'écoulement dans le canal d'amenée rectangulaire est en régime fluvial et se transforme en régime torrentiel à l'intérieur du dispositif. Cette transformation s'opère par une section de contrôle qui apparaît alors quelque part à l'aval du rétrécissement. L'objectif principal de cette partie de notre étude a été de définir l'expression théorique du débit transitant dans le canal d'amenée.

Pour atteindre cet objectif, nous avons eu recours à l'équation de la quantité de mouvement dont l'application a nécessité le choix d'une section droite prise dans le canal d'amenée ainsi que la section critique à l'intérieur de l'appareil. Tenant compte de la réaction de la face amont du dispositif, l'application de l'équation de la quantité de mouvement, en considérant d'une part une répartition hydrostatique des pressions dans toute section et que la condition de criticité est satisfaite dans la section de contrôle d'autre part. L'équation obtenue est du degré cinq vis-à-vis de la variable h_d^* et un ajustement a permis de la remplacer, avec une excellente approximation, par une relation simple et explicite :

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

Il est utile de rappeler que :

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

La relation du coefficient de débit sans tenir compte de l'effet de la vitesse d'approche était de la forme :

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

Une analyse théorique rigoureuse nous a permis de définir l'expression de μ , tout en tenant compte de l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement dans le canal d'amenée. Il a été alors établi que le débit volume Q obéit à la loi :

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

L'expression de débit volume montre que l'appareil est de type semi- modulaire, dépendant des caractéristiques géométriques des dispositifs et de la profondeur h_d de l'écoulement dans le canal d'amenée.

Dans le troisième chapitre de notre travail, nous exprimons par un protocole expérimental ayant servi à tester l'appareil étudié et les résultats expérimentaux d'autre part.

Afin de conclure de façon fiable sur la validité de la relation théorique hauteur-débit, nous avons testé six (06) dispositifs, correspondant à trois valeurs d'angle d'ouverture θ . La gamme choisie de θ , et elle a été telle que $45^\circ \leq \theta \leq 71^\circ$ et des hauteurs de pelle $8 \leq P \leq 10,3$. Nous avons regroupé dans le tableau 3.2 les gammes testées des débits volumes Q ainsi que celles des hauteurs déversées h_d .

L'objectif principal des essais effectués, sur les six dispositifs choisis, a donc été d'estimer quantitativement le coefficient de débit μ . 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 que toutes les relations issues du développement théorique sont fiables.

L'analyse statique des données expérimentales a clairement montré que les écarts relatifs, observés entre les coefficients de débit théoriques et expérimentaux, sont du même ordre de grandeur que ceux induits par les erreurs systématiques de mesure débitométrique et de lecture limnimétrique. Cette remarque permet enfin de conclure à la validité de la relation hauteur-débit du dispositif étudié.

RÉSUMÉ

L'objectif principal de notre travail est l'étude d'un nouveau type de débitmètre triangulaire à paroi épaisse muni d'une hauteur de pelle. Au cours du premier chapitre nous avons passé en revue les principaux travaux qui ont été élaborés dans le domaine de mesure des débits dans les canaux ouverts. Tandis que le deuxième chapitre a eu pour objectif principal l'élaboration de la relation hauteur- débit ainsi que celle du coefficient de débit par une approche théorique en faisant appel à l'équation de la quantité de mouvement. Afin de valider les relations ci-dessus mentionnées, nous avons testé divers dispositifs au laboratoire.

ABSTRACT

The main objective of the present work is the survey of a new thick plate triangular device of discharge measurement provided by a water heave. During the first chapter, we described in generally the main works that have been elaborated in the domain of discharge measurement in the open channels. While the second chapter had for main objective the development of the relationships height - discharge and discharge coefficient by a theoretical approach calling to the quantity of movement equation. To validate and check relationships mentioned above, we tested various devices in the laboratory.

ملخص

الهدف الرئيسي لهذه المذكرة هو دراسة نظرية و مخبريه لنوع جديد من الهدارات حيث وقع اختيارنا علي هدار مثلث الشكل ذو جدار سميك و ارتفاع مائي. تعرضنا في الفصل الأول لأهم نتائج الدراسات التي قام بها الباحثون في هذا المجال. وفي الفصل الثاني قمنا باستخراج العلاقات النظرية التي تسمح لنا بتقييم التدفق وكذلك معامل استنادا إلي نظرية كميته الحركة. ولإثبات مدى فعالية العلاقات المستخرجة سابقا قمنا باختبار عدّة نماذج في المخبر.