

I.1.INTRODUCTION

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

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

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

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

I.2. DEVERSOIRS

I.2.1 Définition

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

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

I.2.2.Déversoir à paroi mince

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

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

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

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

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

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

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

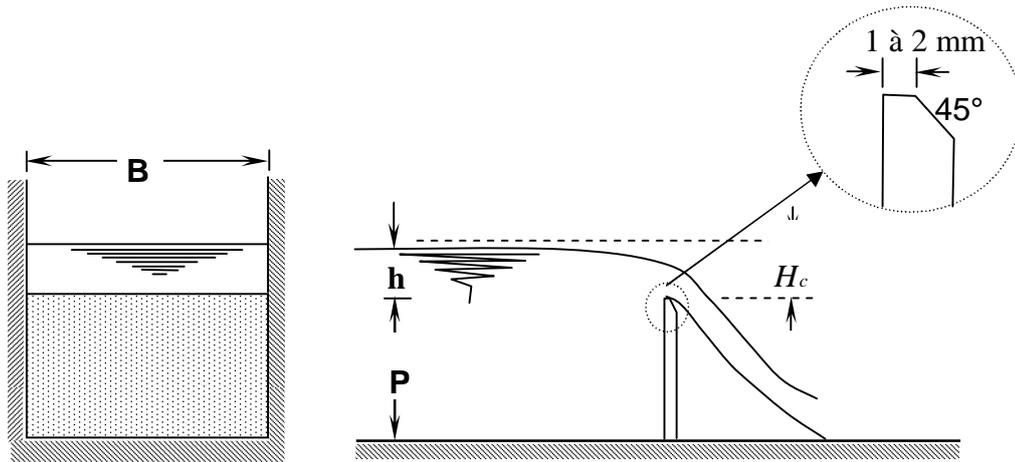


Figure 1.1 : Schéma de définition et détails du déversoir rectangulaire en mince paroi sans contraction latérale

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

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

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

Où q est le débit unitaire $q = Q/B$

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

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

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

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

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

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

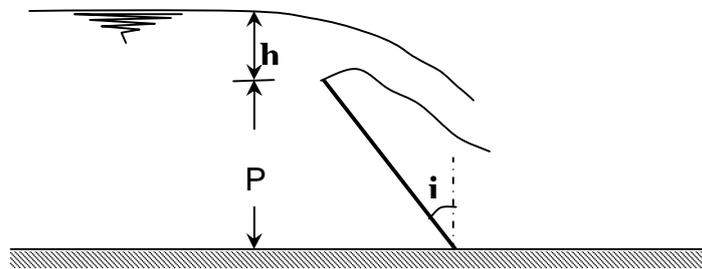


Figure 1.2 : Déversoir en mince paroi inclinée d'un angle i par-rapport à la verticale. lame d'eau inférieure complètement aérée.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$h_e = h + 0,9$$

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

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

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

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

Avec :

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

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

Ce qui revient à écrire que :

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

Dans cette relation h s'exprime en mètre.

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

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

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

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

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

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

Cette relation est applicable pour les considérations suivantes :

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

I.2.2.2 Déversoir rectangulaire à contraction latérale

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

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

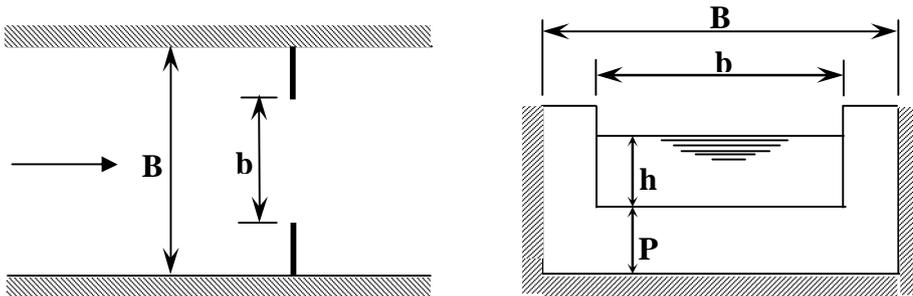


Figure 1.3 : Déversoir rectangulaire en mince paroi avec contraction latérale

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

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

La relation du coefficient du débit μ s'écrit :

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

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

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

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

Pour les limites d'application suivantes :

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

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

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

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

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

1.2.2.3. Déversoir triangulaire à paroi mince

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

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

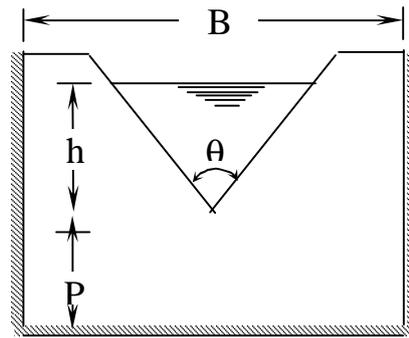


Figure 1.4 : Déversoir triangulaire en mince paroi
– Schéma de définition-

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

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

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

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

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

Donc la relation du débit s'écrit :

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

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

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

Ou bien :

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

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

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

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

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

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

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

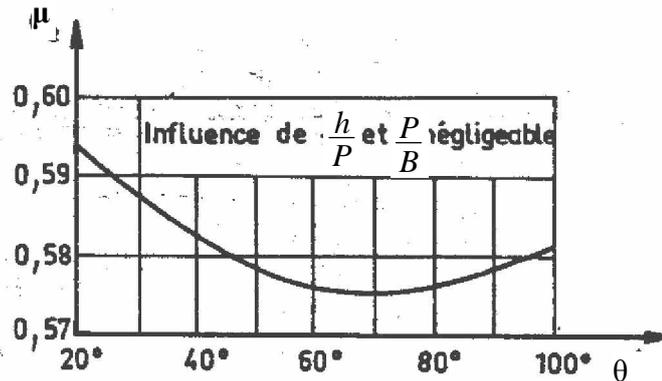


Figure 1.5 : variation du coefficient de débit en fonction de l'angle de l'ouverture de l'échancrure d'un déversoir triangulaire à paroi mince pour une contraction pleine.

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

Lorsque :

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

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

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

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

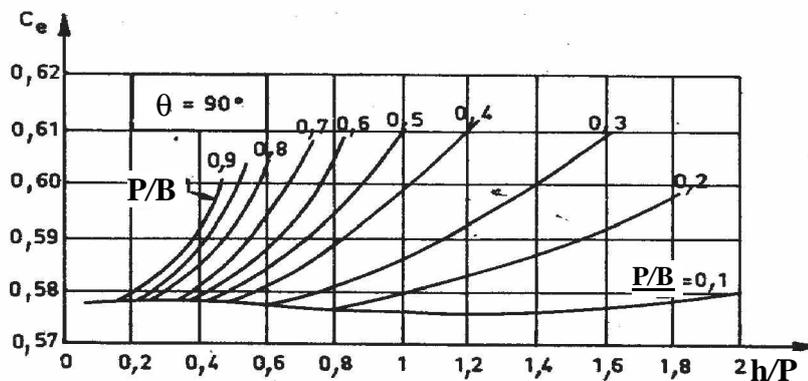


Figure 1.6 : Valeurs du coefficient de débit pour $\theta=90^\circ$ en fonction de h/P et P/B, selon Kindsvater

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

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

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

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

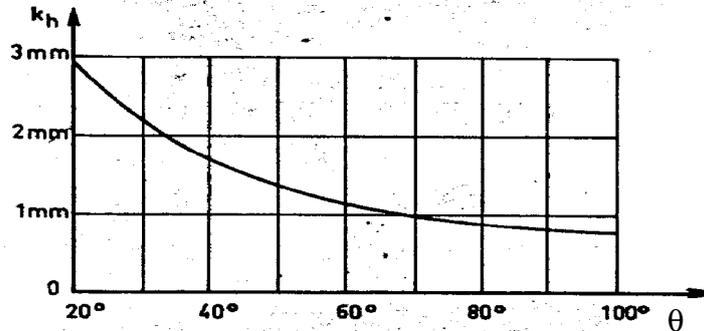


Figure 1.7 : Valeurs de k_h en fonction de l'angle d'ouverture θ , selon Kindsvater

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

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

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

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

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

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

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

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

I.2.2.4. Déversoir trapézoïdal

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

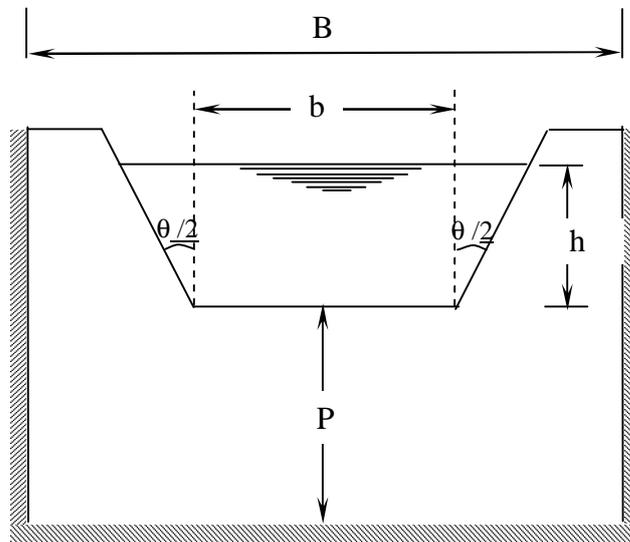


Figure 1.8 : Déversoir trapézoïdal –Schéma de définition-

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

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

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

Où q est le débit unitaire

Lorsque :

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

- $h/P < 0,50$

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

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

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

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

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

b : est la petite base du trapèze

h : la hauteur d'écoulement

1.2.2.5. Déversoir circulaire

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

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

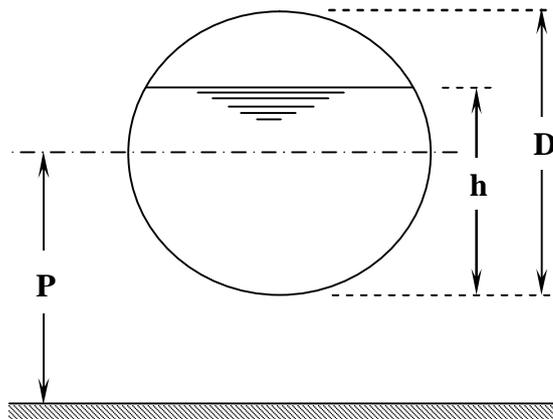


Figure 1.9 : Déversoir circulaire –Schéma de définition-

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

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

D : est le diamètre du cercle

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

Ramponi qui s'écrit :

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

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

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

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

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

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

La valeur du coefficient C donnée par :

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

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

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

Et il a proposé la relation du coefficient de débit :

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

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

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

I.2.3. Déversoir à seuil épais

I.2.3.1 Définition

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

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

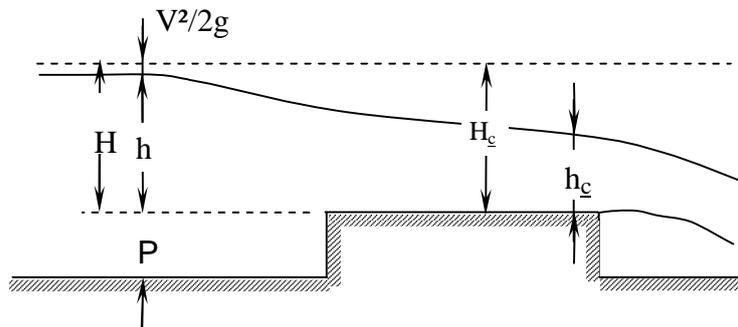


Figure 1.10 : Déversoir à paroi épaisse –Schéma de description-

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

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

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

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

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

Donc la relation du débit s'écrit :

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

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

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

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

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

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

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

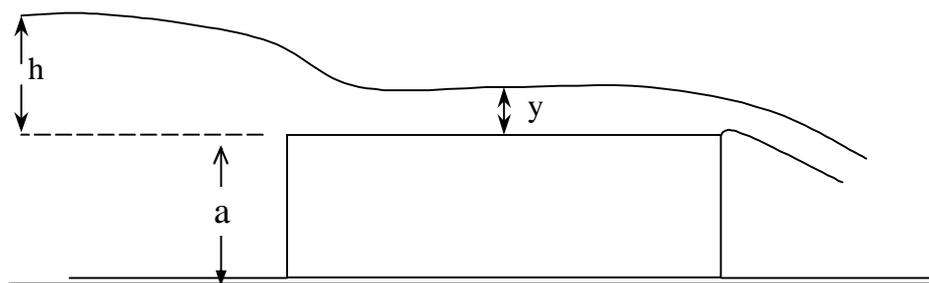


Figure 1.11 : Ecoulement par-dessus un seuil à paroi épaisse

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

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

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

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

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

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

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

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

Soit :

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

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

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

soit :

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

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

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

Ou bien :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

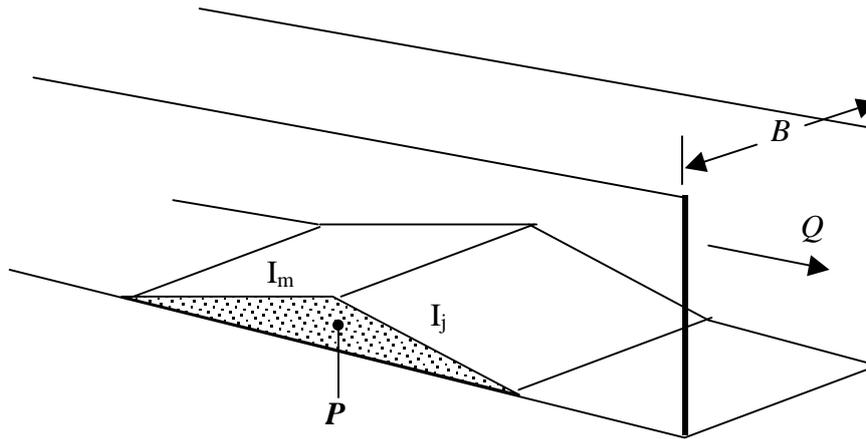


Figure 1.12 : Représentation schématique du déversoir à paroi épaisse a profil en long triangulaire.

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

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

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

1.2.3.3.1. Déversoir à seuil épais à profil triangulaire type Bazin

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

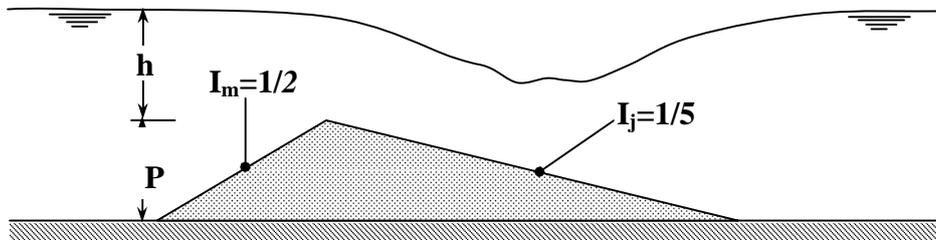


Figure 1.13 : Déversoir à seuil épais à profil triangulaire de type Crump. Représentation schématique de l'écoulement

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

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

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

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

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

I.3. CONCLUSION

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

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

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

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

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

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

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

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