

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 cotant 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.

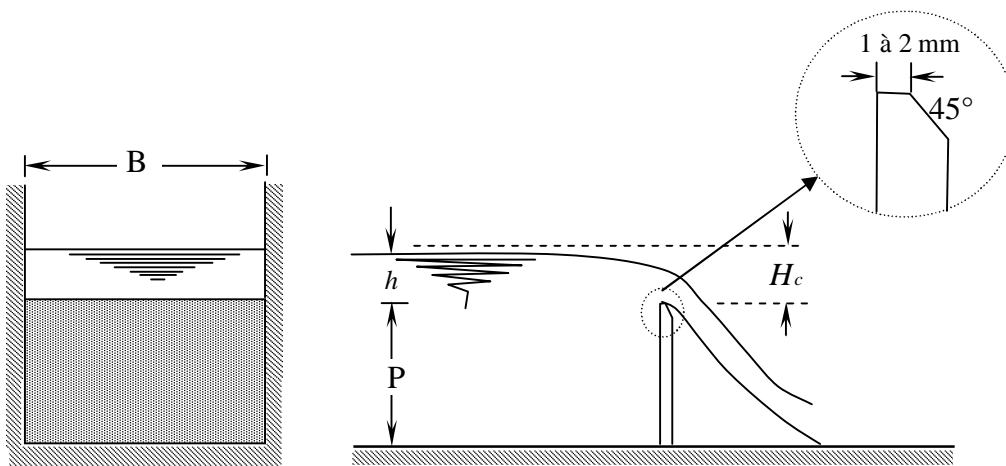


Figure 1.1 : Schéma de définition et détails du déversoir rectangulaire en mince paroi sans contraction latérale

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 $P/h \gg 1$.

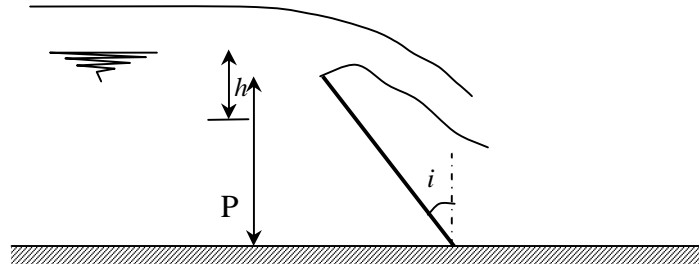


Figure1.2 : Déversoir en mince paroi incliné d'un angle i par rapport à la verticale.

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 :

$$\mu = \frac{2}{3} \left(0,605 + \frac{1}{1050h - 3} + 0,08 \frac{h}{P} \right) \quad (1.8)$$

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.

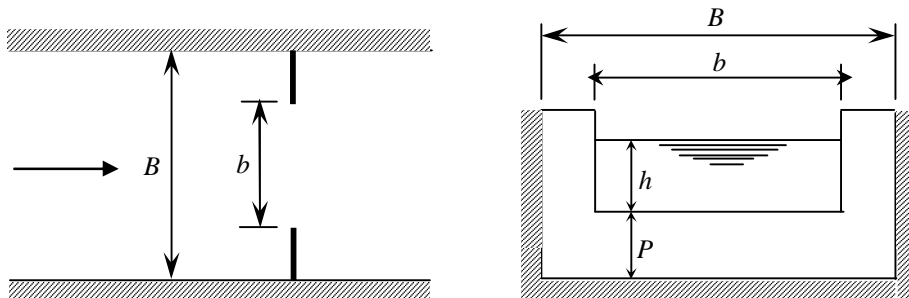


Figure 1.3 : Déversoir rectangulaire en mince paroi avec contraction latérale
-Schéma de définition-

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 $h/(h+P) = (h/P) (1+h/P)$

1.2.3.3 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
$h/P \leq 1,2$	$h/P \leq 0,4$
$h/B \leq 0,4$	$h/B \leq 0,2$
$0,05m \leq h \leq 0,60m$	$0,05m \leq h \leq 0,38m$
$P \geq 0,10m$	$P \geq 0,45m$
$B \geq 0,60m$	$B \geq 0,90m$

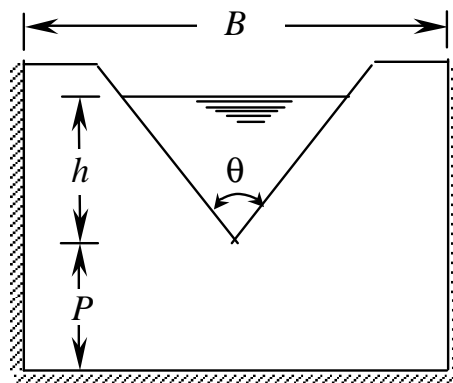


Figure 1.4: Déversoir triangulaire en mince paroi
- Schéma de définition-

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)* :

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

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.

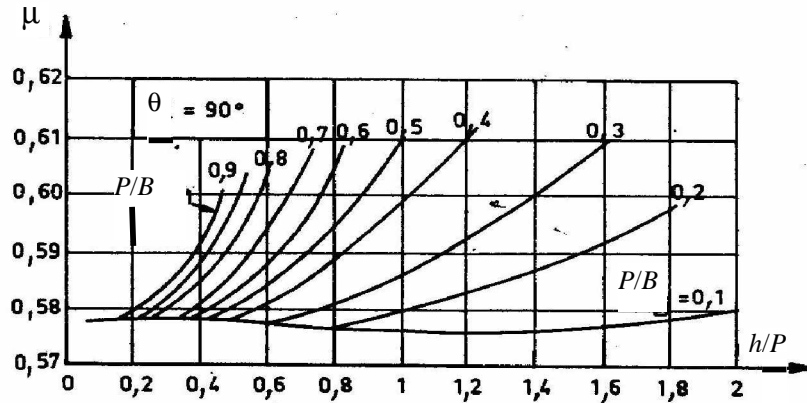


Figure 1.5 : Valeurs du coefficient de débit pour $\theta = 90^\circ$ en fonction de h/P et P/B , selon Kindsvater

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).

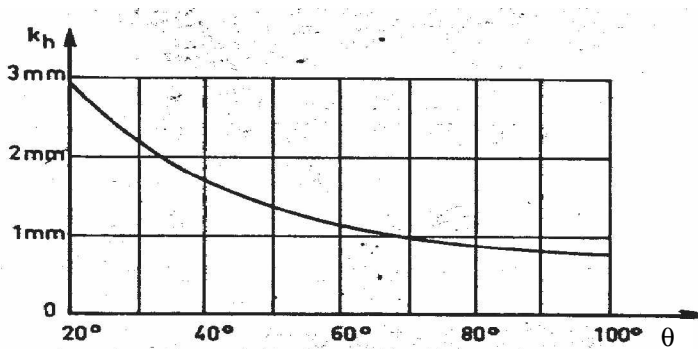


Figure 1.6 : Valeurs de k_h en fonction de l'angle d'ouverture θ , selon Kindsvater

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.

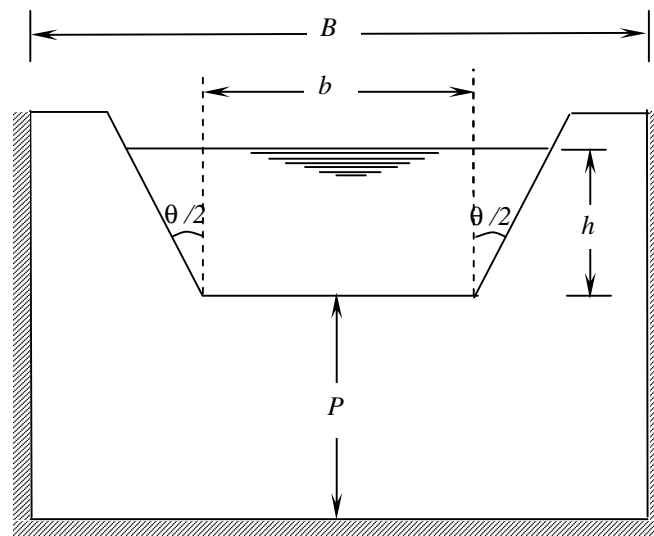


Figure 1.7 : Déversoir trapézoïdal –Schéma de définition-

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.

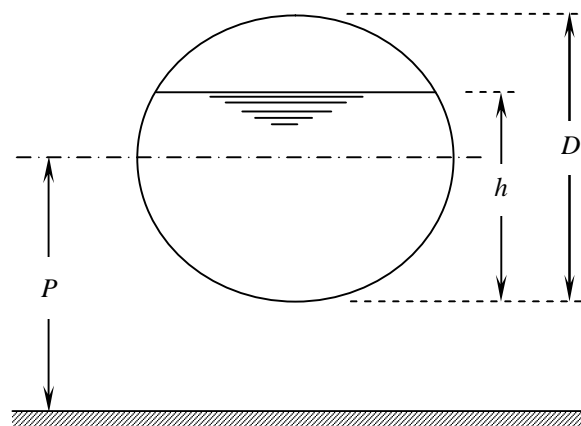


Figure 1.8 : Déversoir circulaire –Schéma de définition–

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.

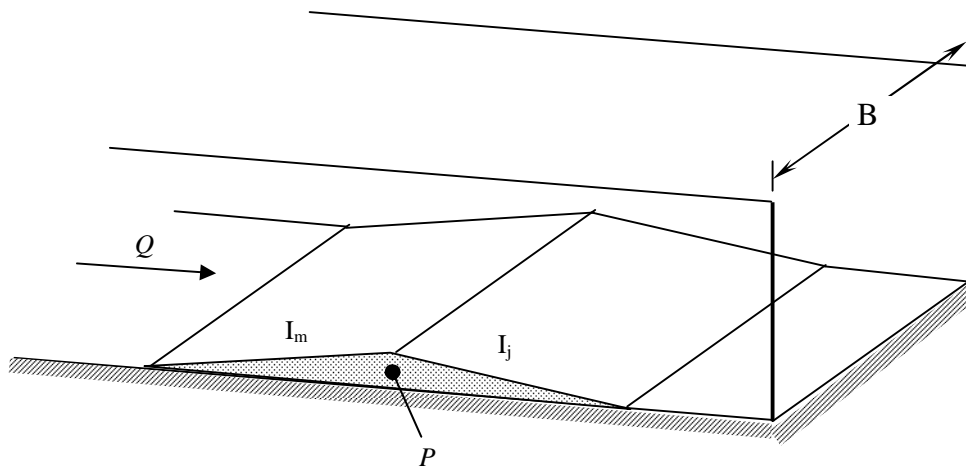


Figure 1.9 : Représentation schématique du déversoir en mince paroi à profil en long triangulaire

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.

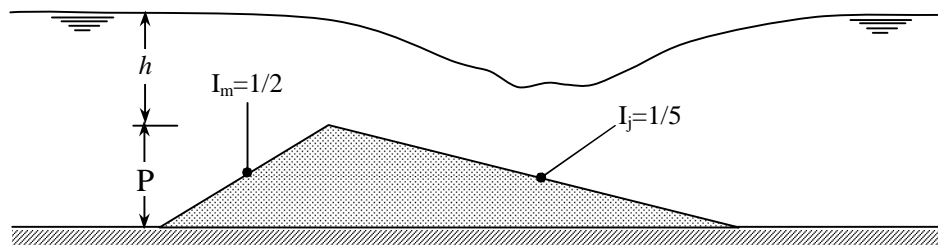


Figure 1.10 : Déversoir à seuil épais à profil triangulaire de type Crump.

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 : $h > 8 \text{ cm}$.

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

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

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.

1.2.4.4 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.

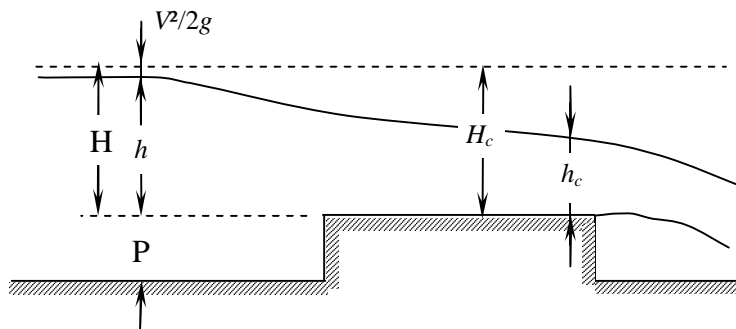


Figure 1.11 : Déversoir rectangulaire à paroi épaisse
-Schéma de description-

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.

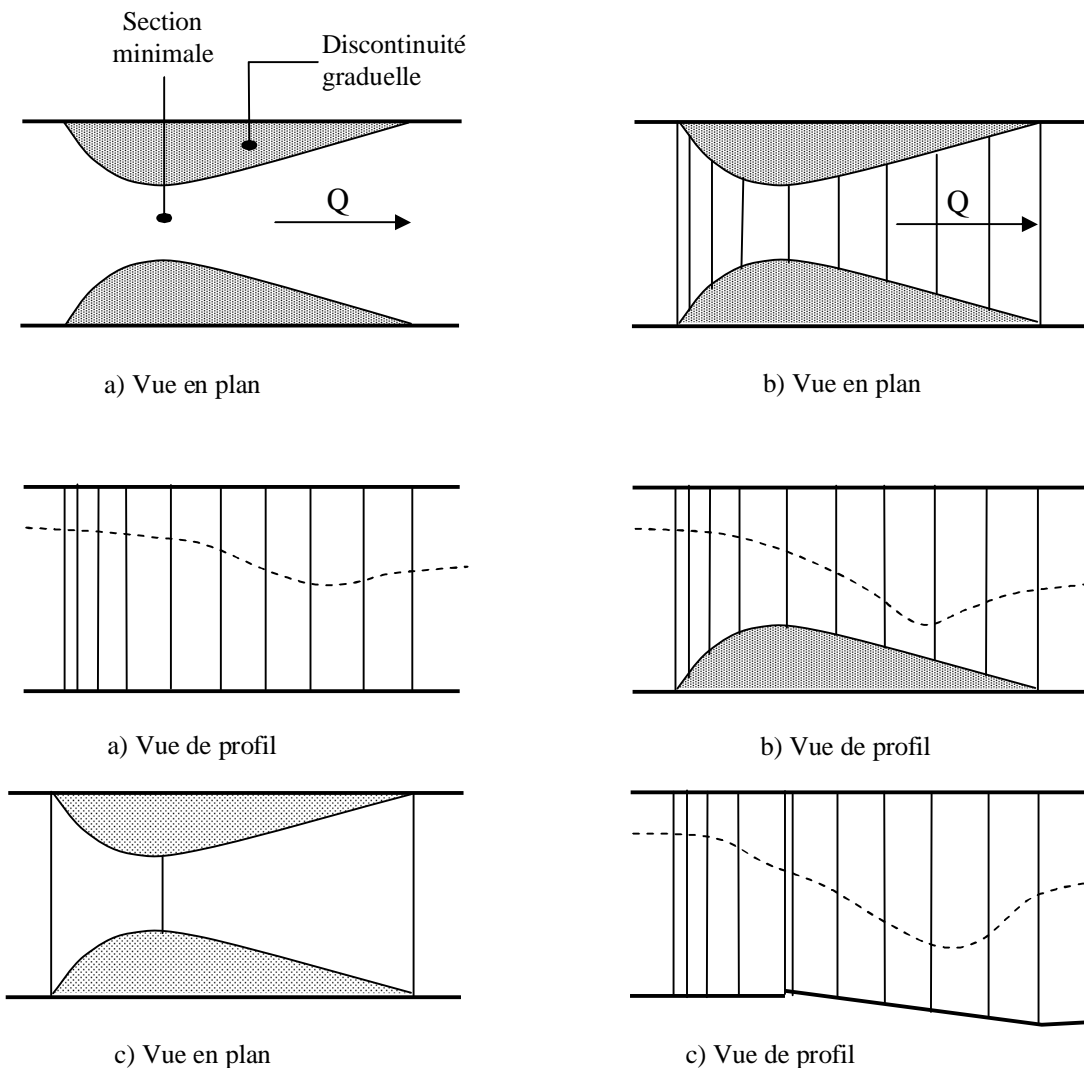


Figure 1.12 : Géométries typiques des jaugeurs (Hager, 1986).
 a) Fond horizontal du canal jaugeur, b) Fond à seuil, c) Fond en pente
 (-----) profil en long de l'écoulement avec formation d'un ressaut à l'aval

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.

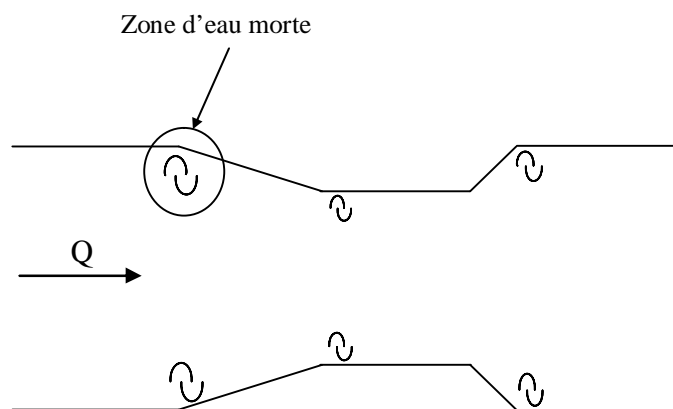


Figure 1.13 : Vue en plan d'un canal jaugeur de section rectangulaire avec apparition des zones d'eau morte

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.

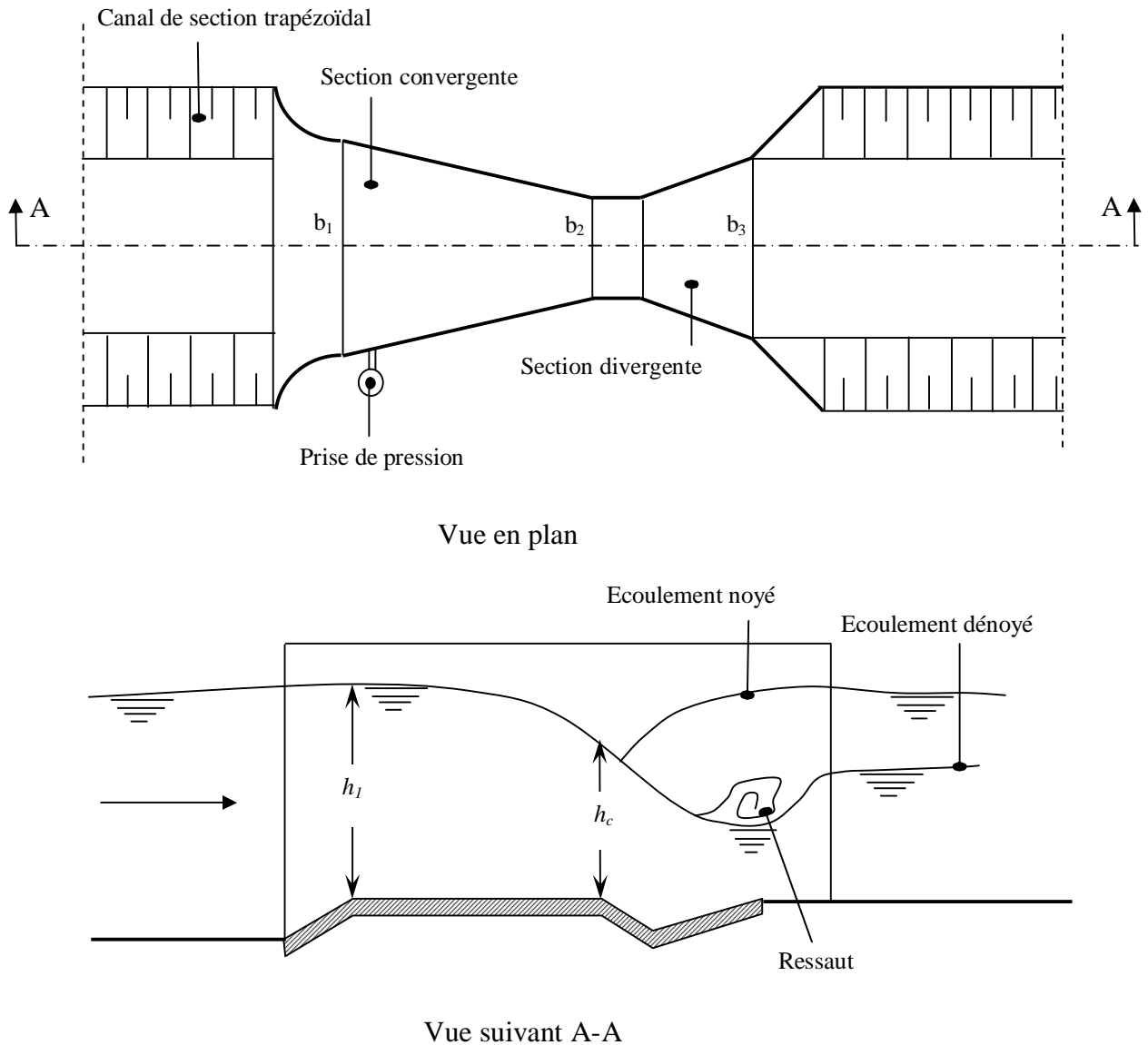


Figure 1.14 : Jaugeur de Parshall –Représentation schématique en plan et de profil-

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.

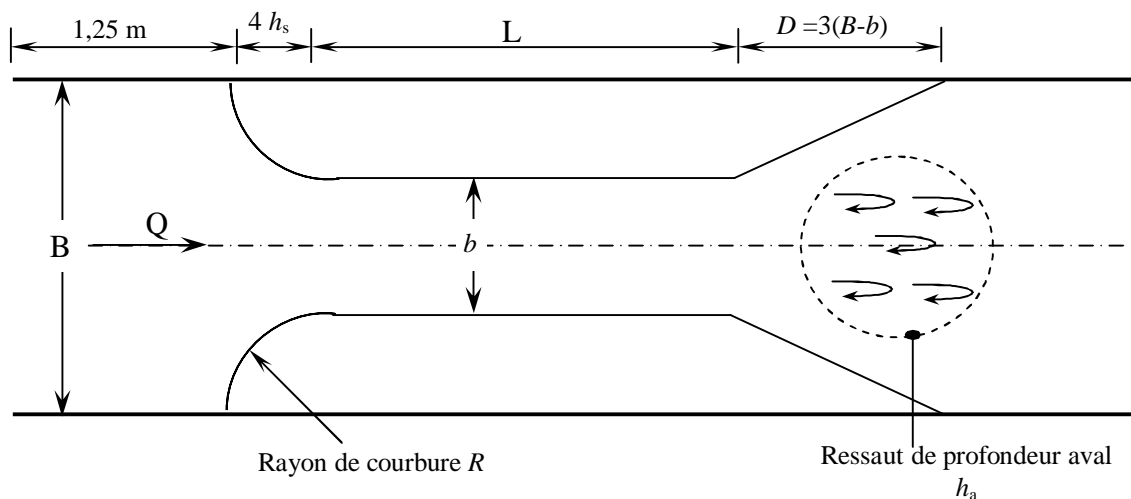


Figure 1.15 : Canal jaugeur venturi à fond plat –Caractéristiques géométriques-

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.

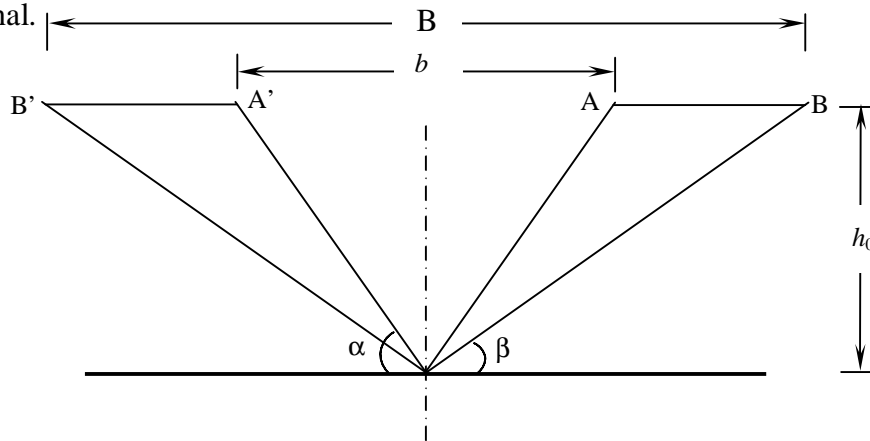


Figure 1.17 : Jaugeur triangulaire de type Achour – Vue de face de l'appareil- Suivant 1-1.

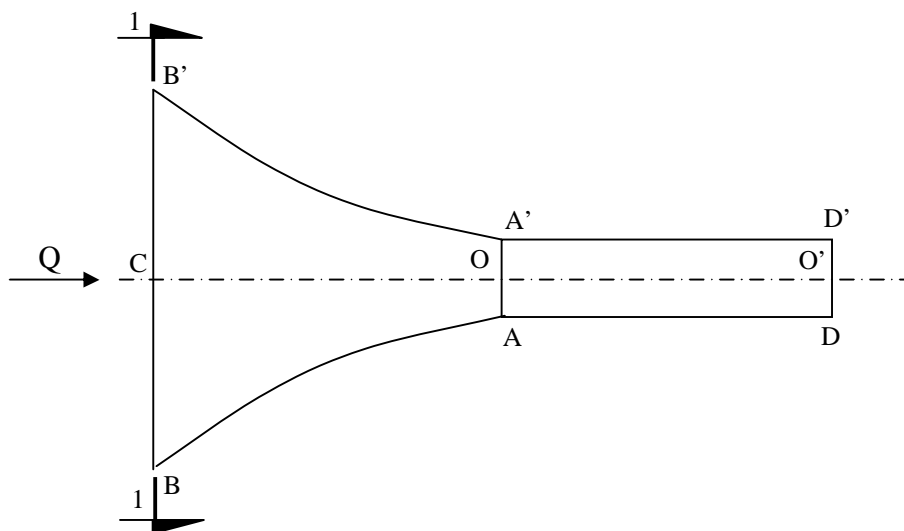


Figure 1.16 : Jaugeur triangulaire de type Achour –Vue en plan de l'appareil-

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 $\cot g\beta$,
- m_2 le talus de la section rétrécie AA' de l'appareil défini par la $\cot g\alpha$.

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.