

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 dépourvu 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.