

## CONCLUSION GENERALE

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

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

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

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

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

$q = Q/B$  désigne le débit unitaire écoulé par le canal rectangulaire de largeur  $B$ ,  $Q$  est le débit volume,  $h_d$  est la hauteur de déversement et  $g$  représente l'accélération de la pesanteur. Le coefficient  $\mu$  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  $\mu$  peut répondre aux diverses formules, selon l'auteur. C'est ainsi que, pour le cas du déversoir rectangulaire sans contraction latérale, nous avons regroupé dans le tableau (1.1) les principales expressions du coefficient de débit proposées par la bibliographie. Nous avons également indiqué plus

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

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

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

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

$\theta$  désigne l'angle d'ouverture de l'échancrure. Le coefficient de débit  $\mu$  dépend exclusivement de la valeur de l'angle  $\theta$  lorsque les conditions suivantes sont réunies :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Notre choix s'est donc porté sur :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Avec :

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

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

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

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

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

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

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

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

La relation du coefficient de débit était de la forme :

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

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

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

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

La relation du débit ainsi établit est telle que :

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

Le troisième chapitre de notre étude a eu pour objectif l'étude et l'expérimentation du dispositif en mince paroi ainsi que l'estimation des paramètres  $m_1$  et  $m_2$ , aussi la validation de la relation du débit et du coefficient de débit ci-dessus indiquée pour le dispositif a seuil large.

Afin de conclure de façon fiable sur la validité des relations théoriques hauteur-débit, nous avons testé huit (08) dispositifs en mince paroi et (08) dispositif a paroi épaisse, correspondant à huit valeurs du paramètre géométrique  $\beta$ . La gamme choisie de  $\beta$  a englobé aussi bien les faibles valeurs que les valeurs plus élevées, et elle a été telle que  $0,15 \leq \beta \leq 0,45$ .

Pour le dispositif en mince paroi, nous avons regroupé dans le tableau (3.1) les gammes testées des débits volumes  $Q$  ainsi que celles des hauteurs déversées  $h_d$ .

L'objectif principal des essais effectués, sur les huit dispositifs choisis, a donc été d'estimer quantitativement les paramètres  $m_1$  et  $m_2$ , en vertu de leurs relations ci-dessus indiquées. Les débits volumes  $Q$  ont été évalués par un débitmètre à ultrasons, tandis que les hauteurs déversées  $h_d$  ont été mesurées à l'aide d'un limnimètre à vernier à double précision.

L'analyse des mesures expérimentales obtenues a permis de conclure d'une part que, quelque soit la valeur du paramètre géométrique  $\beta$ ,  $m_2$  est une constante telle que :

$$m_2 \approx 0,3794$$

et que, d'autre part,  $m_1/m_2$  ne dépend que du paramètre géométrique  $\beta$  et répond à la relation :

$$m_1/m_2 = 1,0705 \beta^{1,0358}$$

Compte tenu de ces importants résultats, l'expression du débit unitaire s'écoulant par le canal d'amenée devient :

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

En mettant la relation précédente sous la forme de celle des dispositifs usuels, soit

$q_B = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} h_d^{3/2}$ , il vient que :

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

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

Pour le dispositif a seuil large, nous avons essayé par un procédé expérimental de valider les expressions de la loi hauteur débit et du coefficient de débit donnés lors du développement théorique.

Pour ce faire nous avons testé huit (08) dispositifs, correspondant également à huit valeurs du paramètre géométrique  $\beta$  et un seuil de largeur fixe  $l=30cm$ . La gamme choisie de  $\beta$  a été telle que  $0,15 \leq \beta \leq 0,45$ . Nous avons regroupé dans le tableau (3.9) les gammes testées des débits volumes  $Q$  ainsi que celles des hauteurs déversées  $h_d$ .

Le débit volume a été également mesuré à l'aide d'un débitmètre à ultrason et la profondeur déversée à l'aide d'un limnimètre à vernier à double précision.

L'analyse expérimentale des résultats nous a permis de corriger la relation du coefficient de débit  $\mu_0$  et elle à été tel que :

$$\mu_0 = \frac{1}{1,411 h_d^{1,525}}$$

L'ensemble des résultats obtenus et après analyse nous avons pu constater que les écarts relatifs sont très acceptables, ce qui nous a permis enfin de conclure à la validité des relations obtenues.