



## CONDITIONS HYDRAULIQUES DE SUBMERSION DE PETITS BARRAGES DEVERSOIRS

### HYDRAULIC CONDITIONS OF SUBMERGED SMALL OVERSPILL DAMS

*ACHOUR B.<sup>1</sup>, HOUICHI L.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Laboratoire de recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS),  
Université de Biskra, Algérie.

<sup>2</sup> Département d'hydraulique, Faculté de technologie, Université Batna 2, Algérie.

*bachir.achour@larhyss.net*

#### RESUME

La présente étude s'intéresse aux conditions hydrauliques de petits barrages déversoirs submergés. En se basant sur un schéma de définition, l'étude propose une relation simple, ponctuée d'une courbe unique, qui permet de prédire la nature noyée ou dénoyée du barrage déversoir. La relation obtenue est la solution d'une équation de second ordre. A partir des valeurs connues de la profondeur  $h$  de l'écoulement à l'aval du déversoir comptée à partir de la crête, le débit unitaire  $q$  et la hauteur géométrique  $s$  du déversoir, il est possible de savoir si le barrage déversoir est noyé ou dénoyé. L'étude montre qu'une équation de second ordre régit le taux de profondeur aval  $w$ . La solution de cette équation est une relation explicite qui permet de calculer le taux de profondeur aval pour les valeurs données de  $h$ ,  $q$  et  $s$ . L'étude propose enfin une relation explicite pour le calcul du taux de submersion  $\beta$  lorsque les paramètres  $h$ ,  $q$  et  $s$  sont connus.

**Mots clés :** Barrage déversoir, taux de submersion, taux de profondeur aval, seuil, débit unitaire.

## ABSTRACT

This study focuses on the hydraulic conditions of submerged small overspill dams. Based on a definition scheme, the study proposes a simple relationship, punctuated by a single curve, which predicts the submerged or unsubmerged nature of the spillway dam. The resulting relation is the solution of a second-order equation. From the known values of the upstream depth  $h$  of the flow relative to the crest elevation, the unit flow discharge  $q$  and the geometric height  $s$  of the weir, it is possible to know whether the weir dam is submerged or unsubmerged. The study shows that a second-order equation governs the downstream depth rate  $w$ . The solution of this equation is an explicit relation which permits calculating the downstream depth rate for the given values of  $h$ ,  $q$  and  $s$ . Finally, the study proposes an explicit relation for the calculation of the submersion rate  $\beta$  when the parameters  $h$ ,  $q$  and  $s$  are known.

**Keywords:** Overspill dam, submergence rate, downstream depth rate, sill, unit flow discharge.

## INTRODUCTION

L'écoulement noyé se rencontre souvent dans les déversoirs qui sont utilisés dans les canaux pour la mesure des débits (Villemonthe, 1947). Le déversoir est noyé lorsque la profondeur aval de l'écoulement se situe au-dessus de la crête du déversoir. Il est dit dénoyé lorsque cette profondeur est en-dessous de la crête du déversoir. Lorsque le déversoir est dénoyé, le débit dépend à la fois de la géométrie du déversoir et des conditions d'approche de l'écoulement. La relation hauteur-débit dépend de la forme de la crête du déversoir, de la charge totale de l'écoulement au-dessus de la crête, la hauteur et la largeur du déversoir (Falvey, 2003 ; Bazin, 1894 ; Cox, 1928 ; Rehbock, 1929 ; Achour et al., 2003 ; Bos, 1976 ; SIA, 1926). Lorsque la vitesse d'approche de l'écoulement devient négligeable, la charge totale est remplacée par la profondeur de l'écoulement, toujours comptée à partir de la crête du déversoir. En ce qui concerne l'écoulement noyé, plusieurs études se sont intéressées à la détermination de la relation du débit pour les déversoirs rectilignes à paroi mince (Fteley et Stearns, 1883 ; Francis, 1884 ; Bazin, 1894 ; Cox, 1928 ; Villemonthe, 1947). En fait, c'est le rapport  $Q_s / Q_1$ , appelé facteur de réduction de l'écoulement, qui est déterminé en fonction du facteur de submersion  $h_d / h^*$ . Le débit  $Q_s$  correspond au débit franchissant le déversoir noyé,  $Q_1$  correspond au débit du déversoir dénoyé

associé à la hauteur  $h^*$ ,  $h_d$  est la profondeur aval de l'écoulement noyé comptée à partir de la crête du déversoir et  $h^*$  est la hauteur amont de l'écoulement au-dessus de la crête du déversoir noyé. Les résultats de Bazin (1894) n'ont pas abouti à une relation unique du facteur de réduction, mais à une famille de courbes basées sur le rapport  $h^* / P$ , où  $P$  est la hauteur du déversoir.

La recherche bibliographique que nous avons menée n'a révélé aucune étude sur les petits barrages noyés. Seules les études sur les déversoirs à paroi mince ont été publiées sans pour autant définir les conditions de submersion de ce type de structures. Afin d'enrichir la littérature, cette étude propose d'examiner les conditions de submersion de petits barrages déversoirs dont les pertes de charges par frottement le long du parement aval sont négligées. Les relations simples de l'hydraulique sont appliquées afin de définir la limite du déversoir noyé. Une relation explicite, ponctuée par une courbe unique, permet de prédire la nature noyée ou dénoyée du barrage déversoir. A partir de définitions claires, des relations théoriques explicites sont proposées pour calculer le taux de profondeur aval ainsi que le taux de submersion du barrage déversoir.

### LIMITE DU DEVERSOIR NOYE

La figure 1 représente un déversoir de hauteur  $s$  franchi par une lame d'eau  $h$ . A l'amont du déversoir, la hauteur capable de la vitesse est  $V^2 / 2g$ . L'écoulement au pied aval du déversoir est de hauteur  $h_1$  et de vitesse moyenne  $V_1$ . Le débit écoulé est  $Q$ .

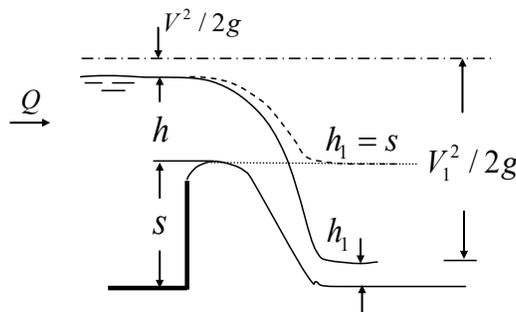


Figure 1 : Schéma de définition de l'écoulement au-dessus du déversoir

Entre les sections amont et aval du déversoir, nous pouvons écrire l'égalité des charges totales suivante (Figure 1):

$$s + h + \frac{V^2}{2g} = h_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (1)$$

Avec  $V = Q/A$  et  $V_1 = Q/A_1$ , la relation (1) s'écrit :

$$s + h + \frac{Q^2}{2gA^2} = h_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} \quad (2)$$

Dans la relation (2) les aires des sections  $A$  et  $A_1$  sont respectivement  $A = (s + h)B$  et  $A_1 = Bh_1$  où  $B$  est la largeur du déversoir. La relation (2) s'écrit donc :

$$s + h + \frac{Q^2}{2g(s + h)^2 B^2} = h_1 + \frac{Q^2}{2gB^2 h_1^2} \quad (3)$$

La condition limite du déversoir noyé correspond à l'égalité :

$$h_1 = s \quad (4)$$

En introduisant le débit unitaire  $q = Q/B$ , la relation (3) devient :

$$s + h + \frac{q^2}{2g(s + h)^2} = s + \frac{q^2}{2gs^2} \quad (5)$$

Soit :

$$h + \frac{q^2}{2g(s + h)^2} = \frac{q^2}{2gs^2} \quad (6)$$

La relation (6) peut s'écrire :

$$h + \frac{q^2}{2gs^2 \left(1 + \frac{h}{s}\right)^2} = \frac{q^2}{2gs^2} \quad (7)$$

Divisons par  $s$  les deux membres de l'équation (7). Nous obtenons :

$$\frac{h}{s} + \frac{q^2}{2gs^3 \left(1 + \frac{h}{s}\right)^2} = \frac{q^2}{2gs^3} \quad (8)$$

Posons, par souci de simplification d'écriture, les paramètres adimensionnels suivants :

$$\psi = \frac{q}{\sqrt{2gs^{3/2}}} \text{ et } z = h/s$$

La relation (8) devient :

$$z + \frac{\psi^2}{(1+z)^2} = \psi^2$$

Après réarrangements, nous obtenons une équation du second degré en  $z$  :

$$z^2 + (2 - \psi^2)z + (1 - 2\psi^2) = 0 \quad (9)$$

Le discriminant de l'équation (9) est :

$$\Delta = (2 - \psi^2)^2 - 4(1 - 2\psi^2)$$

Le calcul montre que quelle que soit la valeur de  $\psi$ , le discriminant est positif. La racine réelle de l'équation (9) est alors :

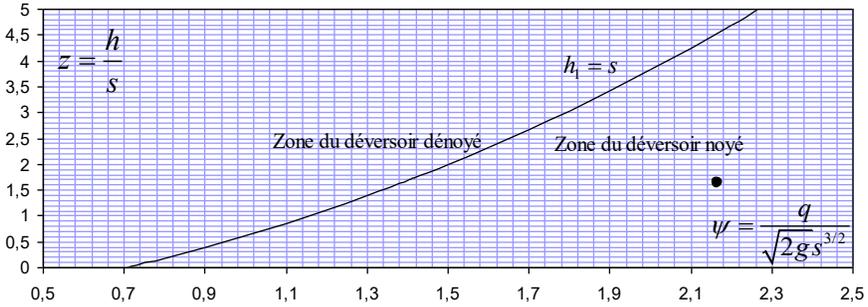
$$z = h/s = \frac{\psi^2}{2} + \sqrt{\left(1 - \psi^2/2\right)^2 + 2\psi^2 - 1} - 1 \quad (10)$$

La relation (10) est valide pour  $\psi \geq \sqrt{2}/2$ .

Le déversoir est noyé lorsque l'inégalité suivante est satisfaite :

$$z = h/s < \frac{\psi^2}{2} + \sqrt{\left(1 - \psi^2/2\right)^2 + 2\psi^2 - 1} - 1 \quad (11)$$

La figure 2 montre la représentation graphique de la relation (10).



**Figure 2 : Conditions d'un seuil noyé. Courbe tracée selon la relation (10).**  
 (•) Cas pratique ( $h / s = 1,628$  ;  $\psi = 2,166$ )

### TAUX DE PROFONDEUR AVAL

Le taux de profondeur aval peut être défini par la quantité  $w$  telle que :

$$w = h_1 / (s + h) \tag{12}$$

où  $0 \leq w < 1$ . La configuration correspondant à  $w = 1$  ne peut pas se rencontrer en pratique car la surface libre ne peut pas être horizontale à l'aval du déversoir en raison des pertes de charge par frottement sur le parement aval du déversoir. En introduisant la relation (12) dans l'équation (3), nous pouvons alors écrire :

$$s + h + \frac{q^2}{2g(s + h)^2} = w(s + h) + \frac{q^2}{2gw^2(s + h)^2} \tag{13}$$

Après simplifications et réarrangements, la relation (13) peut s'écrire :

$$(1 + z)^3 = \psi^2 \frac{1 + w}{w^2} \tag{14}$$

Nous obtenons ainsi une équation de second ordre en  $w$  telle que :

$$w^2 - \frac{\psi^2}{(1 + z)^3} w - \frac{\psi^2}{(1 + z)^3} = 0 \tag{15}$$

Le discriminant de l'équation (15) est :

$$\Delta = \frac{\psi^2 \left[ \psi^2 + 4(1 + z)^3 \right]}{(1 + z)^6}$$

Nous pouvons ainsi constater que le discriminant  $\Delta$  est positif. La racine réelle de l'équation (15) est alors :

$$w = \frac{\psi}{2(1+z)^3} \left[ \psi + \sqrt{\psi^2 + 4(1+z)^3} \right] \quad (16)$$

Pour les valeurs connues des paramètres  $\psi$  et  $z$ , l'équation (16) permet de calculer de manière explicite le taux de profondeur aval du déversoir. La relation (16) a été tracée sur la figure 3. Nous obtenons une série de courbes pour des valeurs fixées du taux de profondeur aval  $w$ .

En combinant les relations (12) et (16), nous obtenons la relation permettant de calculer la profondeur de l'écoulement à l'aval du déversoir. Soit :

$$h_1 = \frac{s}{2} \frac{\psi}{(1+z)^2} \left[ \psi + \sqrt{\psi^2 + 4(1+z)^3} \right] \quad (17)$$

où  $0 \leq h_1 < (s + h)$

La relation (17) est valable pour les petits déversoirs dont la perte de charge par frottement sur le parement aval est négligeable. En ce qui concerne les plus grandes structures dont la perte de charge par frottement sur le parement aval ne peut pas être ignorée, la profondeur  $h_1$  peut être calculée en se référant à l'étude de Houichi et Achour (2007).

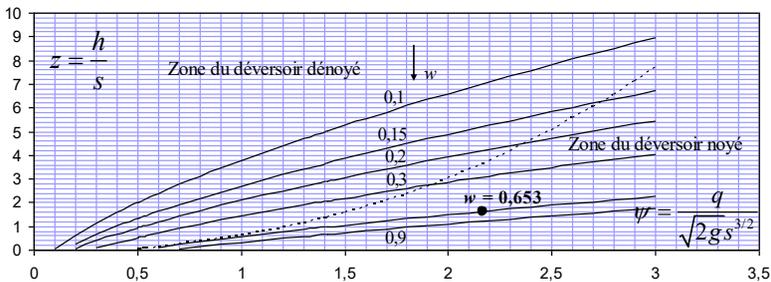


Figure 3 : Tracé de la relation (16) pour des valeurs fixes du taux de profondeur aval  $w$ . (---) Courbe limite du déversoir noyé. (●) Cas pratique ( $h/s = 1,628$  ;  $\psi = 2,166$ )

## TAUX DE SUBMERSION

Le taux de submersion peut être défini par la quantité  $\beta$  telle que :

$$\beta = \frac{h_1 - s}{h} \quad (18)$$

En tenant compte de la relation (12), la relation (18) devient :

$$\beta = \frac{w(1+z) - 1}{z} \quad (19)$$

En insérant la relation (16) dans la relation (19), nous obtenons :

$$\beta = \frac{\psi}{2z(1+z)^2} \left[ \psi + \sqrt{\psi^2 + 4(1+z)^3} \right] - \frac{1}{z} \quad (20)$$

La relation (20) peut donner des valeurs négatives, nulles ou positives pour le taux de submersion  $\beta$ . Ces valeurs correspondent aux configurations suivantes :

- i.  $\beta < 0$  correspond à  $h_1 < s$  en vertu de la relation (18). C'est une configuration qui correspond à un déversoir dénoyé.
- ii.  $\beta = 0$  correspond à la configuration d'un déversoir dénoyé et dont la profondeur aval est égale à la hauteur du seuil ( $h_1 = s$ ) en vertu de la relation (18).
- iii.  $\beta > 0$  correspond à  $h_1 > s$  en vertu de la relation (18). Le déversoir est noyé.

## CONCLUSION

L'étude s'est intéressée aux petits barrages déversoirs noyés et dénoyés. La première partie de l'étude a eu pour objectif de définir les conditions limites de submersion de l'ouvrage. Cet aspect du problème a été traité d'un point de vue théorique en appliquant l'égalité des charges amont et aval. Il en a résulté une équation de second ordre dont la solution est une relation explicite permettant le calcul du rapport adimensionnel  $z = h/s$  en fonction du débit relatif  $\psi$  rapporté à la hauteur  $s$  de l'ouvrage. Une courbe unique a été tracée permettant de prédire la nature noyée ou dénoyée du barrage déversoir, à partir des valeurs connues de la profondeur amont  $h$  au-dessus de la crête, du débit unitaire  $q$  et de la hauteur  $s$  du barrage. L'étude théorique s'est poursuivie dans le but de déterminer le

taux de profondeur aval  $w$ . Une équation du second ordre a été établie permettant le calcul explicite de  $w$ . La solution de cette équation est une relation directe  $w = f(h/s, \psi)$ . Cette relation a été tracée dans un système de coordonnées à division cartésiennes montrant la variation de  $h/s$  en fonction de  $\psi$ , pour diverses valeurs de  $w$ . Nous avons pu déduire de la relation  $w = f(h/s, \psi)$ , celle permettant le calcul explicite de la hauteur à l'aval du déversoir. La dernière partie de l'étude a eu pour objectif de définir la relation qui gouverne le taux de submersion  $\beta$ . A partir de la définition de  $\beta$ , il a été possible d'établir la relation  $\beta = f(z; \psi)$ . Le taux de submersion  $\beta$  peut être négatif, nul ou positif, correspondant respectivement à un barrage déversoir dénoyé, à un barrage déversoir à la limite de la submersion et enfin à l'état d'un barrage déversoir noyé.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHOUR B., BOUZIANE T., NEBBAR K. (2003). Débitmètre triangulaire à paroi épaisse dans un canal rectangulaire (Première partie), Larhyss Journal, n°2, pp.7-43.
- BAZIN H. (1894). "Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir." Vol. VII, Annales des Points et Chaussées, Mémoires et Documents.
- BOS M.G. (1976). Discharge measurement structures, hydraulic laboratory, Wageningen, The Netherlands, Rapport 4, May.
- COX G.N. (1928). "The submerged weir as a measuring device." Bulletin engineering experiment station series no. 67, Univ. of Wisconsin, Madison, Wis.
- FALVEY H.T. (2003). Hydraulic design of labyrinth weirs, ASCE, Reston, Va.
- FRANCIS J.B. (1884). "Experiments on the flow of water over submerged weirs." Transactions of the American Society of Civil Engineers, n°13, pp.303-312.
- FTELEY A., STEARNS F.P. (1883). "Description of some experiments on flow of water made during the construction of works for conveying water of Sudbury River to Boston." Transactions of the American Society of Civil Engineers, n°12, pp.101-108.
- HOUICHI L., ACHOUR B. (2007). Flow depth computation at the toe of an over-flow dam in steeply-sloping case, dam Engineering, Vol.XVII, Issue 4, pp.245-256.
- REHBOCK T. (1929). Wassermessung mit scharfkantigen Ueberfaellen, Zeitschrift VdI, Vol. 73, pp.7-823.

SIA (1926). Contribution à l'étude des méthodes de jaugeages, Bull. 18, Schw. Bureau Wasserfoschung, Bern.

VILLEMONTÉ J.R. (1947). "Submerged weir discharge studies." Engineering News-Record, Vol.139, n°26, pp.54–56.