

CALCUL HYDRAULIQUE DE LA PARTIE CONVERGENTE DU COURSIER ET LES MOYENS D'ATTÉNUATION DES ONDES DE CHOCS

B. REMINI

Université de Blida

X. DANG

Université de Hanoi
(Vietnam)

RÉSUMÉ

Dans ce travail, nous avons établi une relation permettant de déterminer la forme optimale de la partie convergente du coursier d'un évacuateur de crue frontal qui permet de minimiser les ondes de choc.

MOTS CLÉS

onde de choc • évacuateur • coursier • optimale.

1. Position du problème

La plupart des barages réservoirs sont construits avec des matériaux dits locaux (barrages en terre, en enrochement), les évacuateurs sont généralement des déversoirs frontaux à nappe libre construits sur les rives dont les composantes sont les suivants :

- le canal d'amenée;
- le seuil du déversoir;
- le coursier;
- l'ouvrage de dissipation d'énergie;
- le canal de restitution (dans des cas particuliers ou l'ouvrage de dissipation d'énergie se trouve loin de l'ancienne rivière).

Dans ce type d'évacuateur, la largeur de l'ouverture (B) du déversoir et la charge (H) sur le seuil sont deux critères importants qui déterminent le volume total de maçonnerie et de creusement de l'ouvrage.

le couple optimal de B et H est déterminé par le calcul d'optimisation, en tenant compte des conditions de dissipation d'énergie en aval du coursier. La largeur (b) de la section transversale du coursier avant entrée dans le bassin d'amortissement (ou de deflecteur) doit être soumise à la condition :

$$b \geq \frac{Q}{q} \quad (1)$$

où :

Q : débit maximal évacué

q : débit spécifique admissible en aval, suivant la nature de la fondation du lit du cours d'eau.

Afin de diminuer H par rapport à la crête du seuil du réservoir, ce qui entraîne l'abaissement de la hauteur du barrage, la largeur (B) de l'ouverture de déversoir peut être assez grande et dans ce cas la largeur de coursier sera plus petite que B, pour diminuer rationnellement le volume de creusement et de maçonnerie de ce dernier, on a $b < B$, c'est pour cela que dans la plupart des coursiers, il existe la partie convergente à sa tête qui joint le seuil du déversoir avec la largeur B au coursier avec la largeur b, l'angle de convergence et de l'onde $12^\circ \sim 13^\circ (2\theta)$.

2. Régime hydraulique dans la partie convergente du coursier

Examinons le cas général dans la pratique de

construction :

Le seuil du réservoir est un seuil épais ($2H < \delta < 10H$), la partie convergente se trouve tout après le seuil au bout du coursier.

L'écoulement sur le seuil du déversoir est approximativement critique. Le tirant d'eau à l'entrée de la partie convergente est torrentiel avec $F_r \gg 1$. Dans un tel écoulement, le changement de largeur du coursier ou l'existence de la partie convergente provoque un système d'ondes de choc. Quand ces ondes rencontrent les parois du coursier, il se formera une nouvelle réflexion et la surface d'eau dans tout le coursier rétréci sera fortement perturbée ; des ondulations stationnaires entraînent une surélévation importante de ces parois, la répartition des q spécifique à l'entrée du bassin d'amortissement (ou du deflecteur) sera très irrégulière, les ressauts d'eau noyés dans ce cas seront certainement formés hors du bassin et vont causer des effets indésirables. Jusqu'à maintenant dans presque tous les projets de calcul des évacuateurs avec partie convergente, on a négligé cette étude et utilisé seulement l'équation de Bakhmeteb pour calculer le profil de la surface d'eau en considérant que l'écoulement est plan, varié et non uniforme.

Richard O. Sinniger et Willi H. Hanger dans leurs publications «Constructions hydrauliques» V-15 «presses polytechniques Romandes 1988» ont proposé le choix de θ suivant lequel, les ondes de choc se rencontrent, touchent exactement le point C sous l'angle β_2 à l'entrée du coursier de largeur b. Avec un tel rétrécissement, selon l'auteur, il n'y aura plus de réflexions d'ondes et la surface d'eau sera plane. Dans ce cas, on devra diminuer θ ou autrement dit, la largeur b du coursier sera grande, ce que les ingénieurs d'ouvrages ne souhaitent pas.

Nous proposons ci-dessous une autre issue de résolution du problème ; au lieu de diminuer la convergence, on choisira une pente dite «optimale» du radier de la partie convergente pour atténuer au minimum le phénomène des ondes de choc.

3. Principe et schéma de calcul

3.1 Caractéristiques des ondes de choc dans la partie convergente

Quand l'écoulement entre dans cette partie, il se

produit deux ondes de choc AB et A'B' à partir des points A et A' avec un angle $\beta > \theta$ suivant les faces des ondes, la profondeur d'eau augmente de h_1 à h_2 .

Examinons le vecteur de vitesse en un point F sur la face de l'onde et décomposons ce vecteur en 2 composantes ; normale et tangentielle à la face AB (Figure 1).

La valeur du vecteur de vitesse normal est calculée par :

$$V_{n1} = V_1 \cdot \sin\beta \quad (2)$$

où V_1 : vitesse avant l'onde.

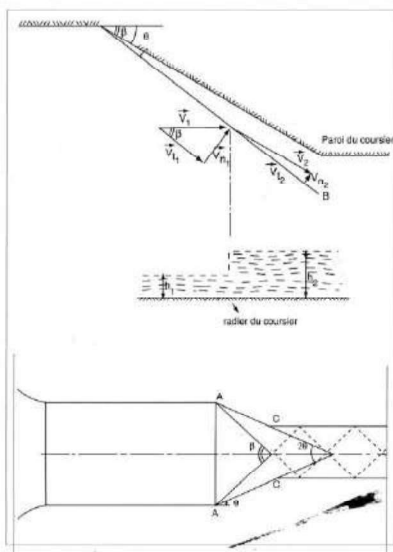


Figure 1 : Ecoulement dans la partie convergente du coursier $h_1 < h_2$

Le nombre de Froude de l'écoulement sur la direction perpendiculaire à la face de l'onde est de :

$$F_{n1} = \frac{V_{n1}}{\sqrt{gh_1}} = \frac{V_1 \cdot \sin\beta}{\sqrt{gh_1}} = F_{r1} \sin\beta \quad (3)$$

h_1 : profondeur d'eau avant l'onde au point considéré.

F_{r1} : nombre de Froude avant l'onde.

Selon Ven-Te-Chow (Hydraulic of open channel), cette onde de choc ressemble à un resaut d'eau dont les profondeurs h_1 et h_2

avant et après l'onde sont considérés comme deux profondeurs conjuguées qui sont soumises à l'équation de relation des profondeurs conjuguées.

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8F_{r1}^2 \cdot \sin^2\beta} - 1) \quad (4)$$

suivant le schéma F_2 nous avons :

$$V_{t1} = \frac{V_{n1}}{\tan\beta} \quad \text{et} \quad V_{t2} = \frac{V_{n2}}{\tan(\beta - \theta)}$$

puisque : $V_{t1} = V_{t2} \Rightarrow \frac{V_{n1}}{V_{n2}} = \frac{\tan\beta}{\tan(\beta - \theta)} \quad (5)$

suivant l'équation de continuité, nous avons :

$$h_1 V_{n1} = h_2 V_{n2} \quad \text{d'où} \quad \frac{h_2}{h_1} = \frac{\tan\beta}{\tan(\beta - \theta)} = \frac{V_{n1}}{V_{n2}} \quad (6)$$

D'après l'équation (5), l'extinction totale des ondes de choc ne sera que dans les conditions $(h_2/h_1) = 1$ ou $\theta = 0$, c'est à dire il n'y a pas de convergence.

Pour que le rapport (h_2/h_1) soit réduit au minimum possible, on n'a qu'à réduire le nombre de Froude F_{cr} critique du régime torrentiel, c'est à dire dans l'équation (3), le membre $8F_{r1}^2 \cdot \sin^2\beta$ sera minimum avec $F_{r1} = 1$.

Donc, c'est dans le projet qu'on pourra garder le régime d'écoulement dans la partie convergente comme régime critique, les ondes de choc, bien qu'existent, mais seront réduites au minimum et ne causeront plus des effets indésirables pour le plan d'eau dans le coursier

3.2 Méthode de calcul

Considérons la partie convergente au bout du coursier et à l'extrémité du seuil épais du déversoir. Dans ce cas, la profondeur d'eau au commencement de la partie convergente est $h_1 = h_{cr}$ (profondeur critique suivant la méthode de calcul du déversoir à seuil épais). Les sections sont rectangulaires (Figure 2).

La largeur des sections transversales, rectangulaires de la partie convergente d'une

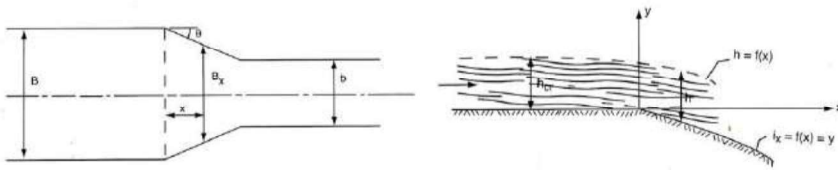


Figure 2 : Ecoulement dans la partie convergente du coursier ($h_1 = h_{cr}$)

distance x à partir de l'extrémité du seuil est de :

$$B_x = B - 2x \operatorname{tg}\theta$$

Le débit spécifique est de :

$$q_x = Q/B_x = Q/(B - 2x \operatorname{tg}\theta)$$

avec, B : largeur de l'ouverture du déversoir ou de la première section de la convergence.
 θ : angle de retrecissement.
 Q : débit du déversoir.

Pour atténuer les ondes de choc au minimum en tenant compte du régime torrentiel, il faudra que l'écoulement dans toute la convergence soit l'écoulement critique dont la profondeur critique d'eau calculée par :

$$h_{cr} = (\alpha q^2 / g)^{1/3} \text{ ou bien } h_x = (\alpha Q^2 / g(B - 2x \operatorname{tg}\theta)^3)^{1/3} \quad (7)$$

Cette profondeur augmentera suivant x , la pente du radier et la pente hydraulique sont des fonctions de x .

3.3 Equation de calcul de la surface d'eau du radier

Le changement de l'énergie spécifique E suivant x dans la partie convergente est de :

$$\frac{dE}{dx} = I_x - J_x$$

I_x : pente du radier

J_x : pente de la charge unitaire.

$$J_x = \frac{V_x^2}{C^2 R_x} \quad (8)$$

V_x et R_x : vitesse et rayon hydraulique à la section x .

Si on néglige J_x qui est petit par rapport à I_x ou autrement dit, on néglige les p.c.d linéaire dans la partie convergente, le changement de l'énergie spécifique est identique au changement de la pente suivant l'axe :

$$\frac{dE}{dx} = I_x = -\frac{dy}{dx}$$

$$E = h + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{d}{dx} \left(h_x + \frac{\alpha V_x^2}{2g} \right) \quad (9)$$

avec les conditions de l'écoulement critique :

$$h_x = h_{cr} = \frac{\alpha V_x^2}{g} \rightarrow \text{l'équation (8) devient :}$$

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{d}{dx} \left(h_x + \frac{1}{2} h_x \right) = -\frac{d}{dx} \left(\frac{3}{2} h_x \right)$$

Remplaçons h_x par l'équation (6) :

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{3}{2} \frac{d}{dx} \left(\sqrt[3]{\alpha Q^2 / g(B - 2x \operatorname{tg}\theta)^2} \right)$$

$$dy = -2 \operatorname{tg}\theta \sqrt[3]{\alpha Q^2 / g(B - 2x \operatorname{tg}\theta)^{-5/3}} dx$$

après l'intégration, nous aurons :

$$y = -\frac{3}{2} \sqrt[3]{\alpha Q^2 / g(B - 2x \operatorname{tg}\theta)^{2/3}} + C$$

avec : $x = 0, y = 0$

$$C = 3 \sqrt[3]{\alpha Q^2 / B^2}$$

Nous avons enfin l'équation du radier de la partie convergente (suivant x) avec les conditions de l'écoulement critique dans toute la partie, ce qui entraîne l'atténuation au minimum des ondes de choc :

$$y = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\alpha Q^2 / g[B^{-2/3} - (B - 2x \operatorname{tg}\theta)]} \quad (10)$$

Quant x varie de $x = 0$ jusqu'à $x = L_{con}$

L_{con} = longueur de la partie convergente.
 Les valeurs de $y \leq 0$, le fond du radier de la partie convergente est de courbe descendante.

L'équation de la surface d'eau par rapport à l'axe x sera : $h = h_x + y$

h : ordonnée de la surface d'eau par rapport à l'axe ox

h_x : profondeur d'eau dans la partie convergente.

y : abscisse du radier

d'où :

$$h = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\alpha Q^2 / g [B^{-2/3} - (B - 2x \tan \theta)^{-2/3}]} + \sqrt{\alpha Q^2 / g [B - 2x \tan \theta]^{-2/3}} \quad (11)$$

Enfin, nous avons :

$$h = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\alpha Q^2 / g [3B^{-2/3} - (B - 2x \tan \theta)^{-2/3}]} \quad (12)$$

La surface d'eau est ainsi une courbe descendante avec la profondeur d'eau croissante suivant ox .

Quand $x = 0$, h redevient $h = \sqrt[3]{\alpha Q^2 / g B^2}$ qui est la valeur de la profondeur critique au commencement de la partie convergente.

4. Conclusion

Dans cette étude théorique, nous avons proposé une forme optimale de la partie de rétrécissement de la chute d'eau avec conditions d'élimination des ondes de choc apparues dans cette partie d'un évacuateur de crue construit sur les rives des barrages réservoirs ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. Carlier : "Hydraulique générale et appliquée". Edition Eyrolles. 534 p. 1980.
 [2] B. Remini, S. Benmamar & A. Kettab : "Mécanique des fluides. Hydrostatique Cours-Exercices". Office des Publications Universitaires, 106 p. 1996.
 [3] Enzo-Livi : "Méthode de calcul pour le tracé des parois des canaux d'amenée en courbe-Académie des sciences". T. 245 n°1 1959.
 [4] NG Xuandang : "Calculs hydrauliques des déversoirs des crues Hanoi-édition sciences et techniques". 1977

A PARAÎTRE DANS LE PROCHAIN NUMERO

- INFLUENCE DES PARAMETRES DE CURE SUR LA RESISTANCE DU BETON EN CLIMAT CHAUD
PAR : L. AZZOUZ, M. BOUHICHA & K. BENDJILLALI
- MODELISATION DE LA RELATION PLUIE - DEBIT AU PAS DE TEMPS JOURNALIER PAR LE MODELE GR3j
PAR : T. BENKACI & N. DECHEMI
- EVALUATION DE L'IMPACT DU PROJET SIKKAK SUR LA PLAINE DE HENNAYA
PAR : G. SELKA, M.Z. DEBBAL & D.E KERDAL
- COMPORTEMENT BIDIMENSIONNEL DES STRUCTURES SOUS CHARGEMENT MONOTONE
PAR : S. KHALFALLAH & A. CHARIF
- ANALYSE NON LINEAIRE DES OSSATURES PLANES EN BETON ARME ET BETON PRECONTRAIT
(Première partie : méthode numérique)
PAR : Y. BOUAFIA & H. HAMMOUM