
Ressaut hydraulique en canal rectangulaire à radier triangulaire

Khattaoui Mohammed¹, Boudlal Omar², Achour Bachir³

¹ Laboratoire de Géomatériaux Environnement et aménagement, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Algérie), khattaoui_mohammed@yahoo.fr

² Laboratoire de Géomatériaux Environnement et aménagement, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Algérie), boudlal_geniecivil@yahoo.fr

³ Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, Université Mohamed Khider de Biskra (Algérie), bachir.achour@larhyss.net

RÉSUMÉ. Notre étude s'intéresse au ressaut hydraulique dans un bassin de dissipation de forme rectangulaire à radier triangulaire. Deux approches théoriques sont réalisées. Une approche classique et une nouvelle approche dans laquelle nous avons introduit une force de résistance liés à la forme composée du canal. Les deux équations résultantes sont présentées en termes adimensionnelles afin de leur donner un caractère de validité général. Rappelons ici que la similitude entre deux ressauts hydrauliques exige uniquement l'égalité du nombre de Froude de l'écoulement incident. L'effet du nombre de Reynolds est négligeable du fait que les forces de viscosité sont négligeables devant les forces d'inertie. La connaissance du rapport des hauteurs conjuguées permet d'évaluer le rendement du ressaut à l'aide d'une équation présentée également sous forme adimensionnelle. Une confrontation entre le développement classique et la nouvelle approche est illustrée par des figures aussi bien pour le rapport des hauteurs conjuguées que pour le rendement.

ABSTRACT. Our study focuses on hydraulic jump in a dissipation basin of rectangular shape with a triangular base. Two theoretical approaches are realized. A classic approach and a new approach in which we introduced a resistance force related to the channel's composite shape. The two resulting equations are presented in adimensional terms to give them a general validity character. Let us recall here that the similarity between two hydraulic jumps only requires the equality of the Froude number of the incident flow. The effect of the Reynolds number is negligible because the viscosity forces are negligible compared to inertial forces. The knowledge of the ratio of conjugate depths makes it possible to evaluate the yield of the jump using an equation also presented in adimensional form. A confrontation between the classical development and the new approach is illustrated by figures for the ratio of the conjugated heights as well as for the yield.

MOTS-CLÉS : ressaut hydraulique, dissipation, forme composée, hauteur conjuguées, rendement.

KEY WORDS: hydraulic jump, dissipation, compound shape, conjugated depth, efficiency.

1. Introduction

Pour éviter l'érosion des canaux et des oueds, la dissipation de l'énergie de l'eau en régime torrentielle peut se faire par le biais du ressaut hydraulique. Pour rappel, le ressaut hydraulique est une brusque transition d'un écoulement en régime torrentiel vers un écoulement en régime fluvial. Plusieurs recherches sont effectuées sur les différentes formes de canaux prismatiques mais très peu de recherche sur les formes composées de canaux. Notre présent travail s'intéresse justement à un type de canal composé. Il s'agit du bassin de dissipation de forme rectangulaire à radier triangulaire.

Deux développements théoriques, par application du théorème d'Euler, sont établis pour évaluer le rapport des hauteurs conjuguées. Le premier est classique et le second, une nouvelle approche tenant compte de la forme composé du canal ou plus explicitement de l'interaction entre le lit mineur et le lit majeur (Proust, 2005). Nous avons également déterminé la relation donnant le rendement du ressaut. Les équations adimensionnelles résultantes sont représentées sur des graphiques afin de bien illustrer la relation entre les différents paramètres hydrauliques et géométriques.

2. Rapport des hauteurs conjuguées

2.1. Approche classique

Le théorème d'Euler s'écrit :

$$\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \sum \vec{F}_{ext} \quad [1]$$

La figure 1 montre les différents paramètres géométriques et hydrauliques nécessaires à l'application de l'équation de la quantité de mouvement. Les différentes caractéristiques portées sur la figure sont les suivantes :

θ : Angle d'inclinaison des berges du lit mineur de forme triangulaire ; h_m : Hauteur de plein bord du lit mineur ; h_M : Hauteur d'eau dans le lit majeur à la fin du ressaut ; h_1 : Première hauteur conjuguée du ressaut ; h_2 : Deuxième hauteur conjuguée du ressaut ; B : Largeur du lit majeur ; v_1 : Vitesse moyenne au pied du ressaut ; v_2 : Vitesse moyenne à la fin du ressaut ; L_r : Longueur du rouleau ; L_j : Longueur du ressaut.

Pour cette étude, la première hauteur conjuguée du ressaut, h_1 , est toujours prise inférieure à la hauteur de plein bord du lit mineur, h_m . La deuxième hauteur conjuguée du ressaut, h_2 , quant à elle, est toujours prise supérieure à h_m .

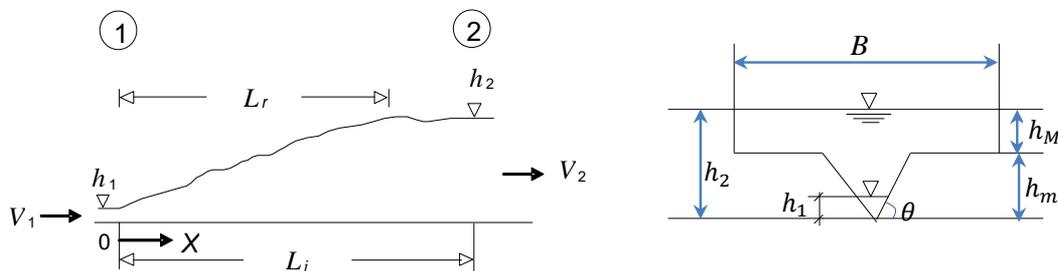


Figure 1. schéma de définition du ressaut et du bassin

En négligeant toutes forces de frottements et en supposant une distribution uniforme pour les vitesses et hydrostatique pour les pressions dans les sections amont et aval du ressaut, l'application du théorème d'Euler abouti à :

$$\rho Q^2 \left(\frac{1}{A_2} - \frac{1}{A_1} \right) = F_1 - F_2 \quad [2]$$

$$A_1 = mh_1^2 ; A_2 = A_m + A_M = mh_m^2 + Bh_M ; m = \cot g(\theta) ;$$

$$F_1 = \bar{P}_1 A_1 = \left(\frac{1}{3} \varpi h_1 \right) (mh_1^2) = \frac{1}{3} \varpi m h_1^3$$

$$F_2 = \varpi \left[\left(mh_M h_m^2 + \frac{1}{3} m h_m^3 \right) + \frac{1}{2} B h_M^2 \right]$$

En remplaçant et en réarrangeant, l'équation (2) devient :

$$\frac{1}{2} F_1^2 [(\tau^2 + 2\beta\lambda)^{-1} - 1] = \frac{1}{3} - \lambda\tau^2 - \frac{1}{3}\tau^3 - \beta\lambda^2 \quad [3]$$

$$\text{Où, } \beta = \frac{B}{2mh_1}, \tau = \frac{h_m}{h_1}, \lambda = \frac{h_M}{h_1}, F_1 = \sqrt{\frac{2Q^2}{gm^2h^5}}$$

Le rapport des hauteurs conjuguées est tel que :

$$Y = \frac{h_2}{h_1} = \frac{h_m+h_M}{h_1} = \tau + \lambda$$

L'équation (2.16) régit le ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire à radier triangulaire. C'est une équation fonctionnelle de forme $\psi(F_1, \beta, \lambda, \tau) = 0$.

2.2. Nouvelle approche

Dans cette nouvelle approche, une force de résistance due à la forme composée du canal et issue de l'interaction entre le lit mineur et le lit majeur est prise en compte. Soit F_x la composante horizontale dans le sens de l'écoulement de cette force, l'équation (2.1) de la quantité de mouvement s'écrira donc :

$$\rho Q(v_2 - v_1) = F_1 - F_2 - F_x \quad [4]$$

En s'inspirant des travaux de Achour (2000) et Khattaoui et Achour (2012), nous estimons que la force de résistance du ressaut hydraulique se produisant dans un canal rectangulaire à radier triangulaire due au transfert de la quantité de mouvement (Bousmar et al., 1999) est de la forme :

$$F_x = \frac{1}{2} \varpi (h_2 - h_m) h_1 B \quad [5]$$

Après développement et réarrangement, l'équation d'Euler s'écrit :

$$\frac{1}{2} F_1^2 \left(\frac{1}{\tau^2 + 2\beta\lambda} - 1 \right) = \frac{1}{3} - \lambda\tau^2 - \frac{1}{3}\tau^3 - \beta(\lambda^2 + \lambda) \quad [6]$$

C'est aussi une relation fonctionnelle de forme $\phi(F_1, \beta, \lambda, \tau) = 0$.

3. Rendement

Le rendement, exprimant la dissipation d'énergie, est exprimé comme suit :

$$\eta = \frac{\Delta H}{H_1} = 1 - \frac{Y + \frac{F_1^2}{4(\tau^2 + 2\beta\lambda)^2}}{1 + \frac{F_1^2}{4}} \quad [7]$$

Puisque le rapport des hauteurs conjuguées Y est fonction de F_1 , λ , τ et β , la relation (7) est une relation fonctionnelle $\phi(F_1, \lambda, \tau, \beta) = 0$.

4. Représentation graphique

Le nombre de Froude minimale pour que le ressaut se produit effectivement dans le canal composé est :

$$F_{1min} = \sqrt{\frac{2(1-\tau^3)}{3[(\tau^2)^{-1}-1]}} = \sqrt{\frac{2(1-\tau^3)}{3[\tau^{-2}-1]}}$$

On se limite à trois graphiques uniquement dans cette article.

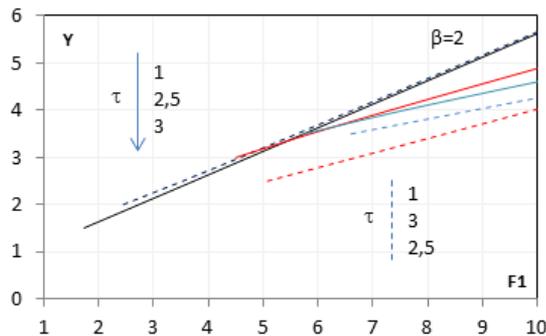


Figure 2. Variation de Y en fonction de F_1 pour différentes valeurs de τ et $\beta = 2$. (---) approche classique, (—) nouvelle approche.

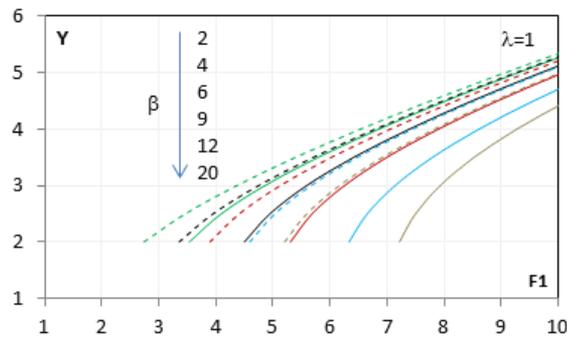


Figure 3. Variation de Y en fonction de F_1 pour différentes valeurs de β et $\lambda = 1$. (---) approche classique, (—) nouvelle approche.

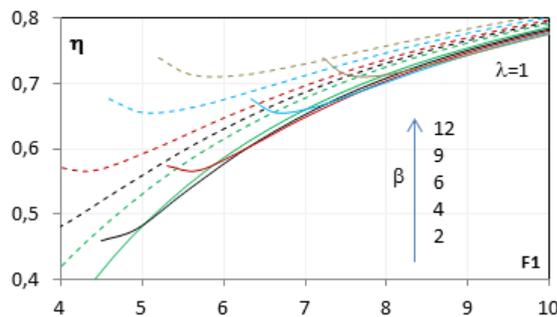


Figure 4. Variation du η en fonction de F_1 pour différentes valeurs de β et $\lambda = 1$

Plusieurs graphiques ont été tracés et nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

Pour que le nombre de Froude ne dépasse pas la valeur de dix, la valeur maximale de τ est limitée à 4,5.

Les valeurs maximales de β et de λ sont simultanément de 20 et de 3. Ces limites sont conditionnées par la valeur maximale imposée pour le nombre de Froude au pied du ressaut dont le souci est d'avoir un ressaut stable.

Pour un β donnée, le rapport des hauteurs conjuguées, Y , augmente avec le nombre de Froude F_1 et ce quel que soit la valeur de τ .

Pour un β fixé et une valeur du nombre de Froude donnée, le rapport des hauteurs conjuguées Y peut augmenter ou diminuer en fonction de τ . Pour les fortes valeurs de τ , le rapport Y diminue avec l'augmentation de celui-ci.

Logiquement la variation du rendement est tributaire à celle du rapport des hauteurs conjuguées. C'est ce que confirme la courbe du rendement.

Enfin, des essais au laboratoire sont indispensables afin d'avoir des valeurs réelles du rapport des hauteurs conjuguées et du rendement.

5. Bibliographie

- [ACH 00] ACHOUR B., « Ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie », *Journal of Hydraulic Research*, vol. 38, n° 4, 2000, p. 307-311.
- [BOU 99] BOUSMAR D., ZECH Y., « Momentum transfer for practical flow computation », *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 125, n° 7, 1999, p. 696-706.
- [PRO 05] PROUST S., Ecoulements non-uniforme en lit composé : effets de variations de largeur du lit majeur, Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 2005.
- [KHA 12] KHATTAOUI M., ACHOUR B., « Ressaut hydraulique en lit composé », *Le Journal de l'Eau de de l'Environnement - Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique.*, n° 20, 2012, p. 44-51.