

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE SEMI THEORETICAL APPROACH OF THE HYDRAULIC JUMP IN A RECTANGULAR CHANNEL OF COMPOUND SECTION WITH ROUGH MAJOR BED

S. Lacheheb¹, A. Ghomri^{*2,3}, S. Kateb¹

¹Laboratoire d'exploitation et valorisation des ressources naturelles en zones aride,
Département d'Hydraulique et de Génie Civil Université d'Ouargla, Algérie

²Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, Université de Biskra,
Algérie

³Département d'Hydraulique et de Génie Civil Université d'El Oued, Algérie

Received: 12 May 2020 / Accepted: 23 October 2020 / Published online: 01 January 2021

ABSTRACT

The purpose of this study is interested in the semi-theoretical analysis of the hydraulic jump evolving in a rectangular straight compound channel with rough major bed. A functional relationship, non-dimensional terms, linking together the different characteristics of the projection, is obtained.

1. INTRODUCTION

Cette étude a pour objectif d'étudier et d'analyser l'approche semi théorique régissant le ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de section composée avec lit majeur rugueux. Un développement semi théorique doit être établi sous forme d'une relation f telle que $f(Y, F_1, Cr, \beta, \tau) = 0$, avec Y qui est le rapport des hauteurs conjuguées du ressaut, F_1 est le nombre de Froude incident, $\tau = h_1/h$: Rapport de forme, $\beta = b/B$: Rapport de l'élargissement et Cr est le coefficient de résistance, qui exprime l'effet de la rugosité du lit majeur de canal de section composée sur le ressaut hydraulique.

Author Correspondence, e-mail : alighomri@yahoo.fr

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v13i1.33>



2. POSITION DU PROBLEME

Pour créer différentes configurations de ressaut il faut modifier les conditions de l'amont (débit, hauteurs, ... etc.) et de l'aval (type d'obstacle, sa position, sa hauteur, ... etc.),

Le ressaut classique se forme dans un canal rectangulaire de pente faible ou nulle, sans obstacle à l'aval. Il est dit contrôlé lorsque sa formation est conditionnée par la mise en place d'un obstacle à l'aval de l'écoulement. Il est dit forcé lorsqu'il se forme de part et d'autre de l'obstacle. Le ressaut hydraulique peut évoluer dans des canaux prismatiques ou non prismatiques, à fond lisse ou rugueux.

Pour notre cas il s'agit d'un ressaut contrôlé par seuil à paroi mince dans un canal rectangulaire de section composée avec lit majeur rugueux pour différentes ouvertures h_1 (photographie 1) et différentes rugosités testées.

En effet, Pour une hauteur initiale h_1 fixe, plusieurs mesures expérimentales par les différentes hauteurs de seuil et la variation de la rugosité relative $\varepsilon/B-b$ ont été obtenues.

Les caractéristiques hydrauliques et géométriques qui s'intéressent à la présente étude expérimentale sont : le débit volume Q , la hauteur h_1 de l'écoulement incident, la hauteur finale h_2 du ressaut et la rugosité absolue ε imposée au lit majeur du canal. En outre, l'attention est portée sur l'évolution des paramètres adimensionnels suivants :

- Le nombre de Froude F_1 tel que : $F_1^2 = Q^2 / (gb^2 h_1^3)$
- Le rapport $Y = h_2/h_1$ des hauteurs conjuguées du ressaut.
- C_r est le coefficient de résistance dû à la rugosité imposée au lit majeur de la section composée du canal d'expérimentation.

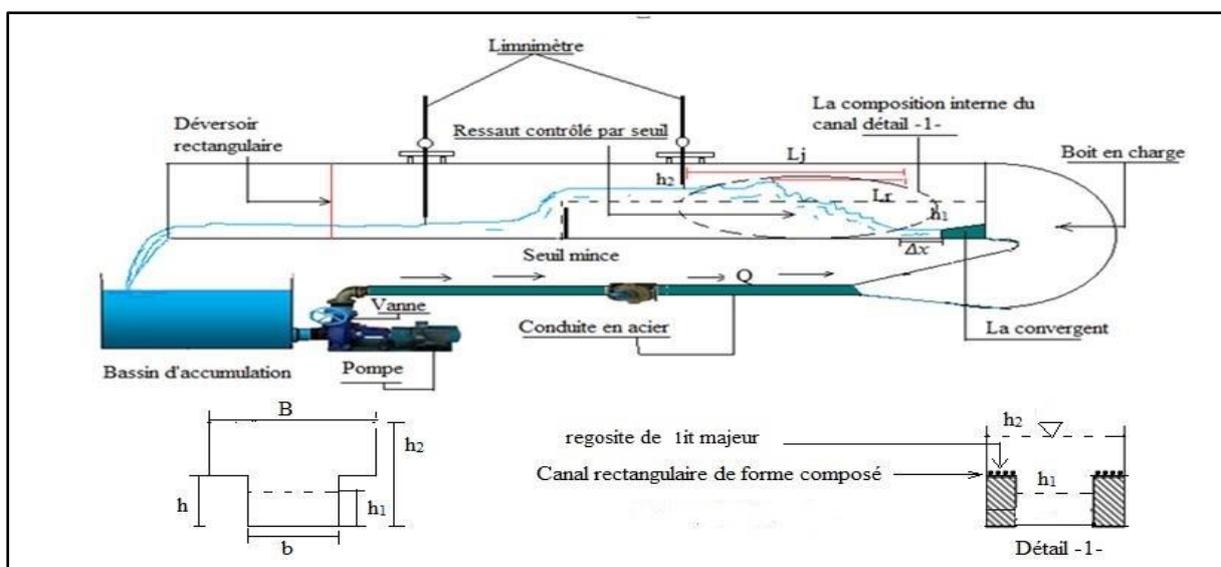


Fig.1.Schéma de définition du ressaut contrôlé par seuil continu à paroi mince en canal rectangulaire de section composée avec lit majeur rugueux



Photographie 1 : Photographie du canal ayant servi à l'expérimentation

3. DESCRIPTION DES ESSAIS

3.1. Procédure expérimentale des essais

L'expérimentation s'est intéressée au ressaut hydraulique contrôlé par un seuil mince dans un canal rectangulaire de forme composée avec lit majeur rugueux. L'étude expérimentale a été menée sous cinq hauteurs initiales de l'écoulement : $h_1(\text{cm}) = 2; 2.5; 3; 3.5$ et 4 ont été expérimentées. Quatre rugosités ont été testées de valeurs absolues : $\varepsilon (\text{mm}) = 06 ; 08 ; 10$ et 12mm .

La formation du ressaut contrôlé est conditionnée par la mise en place d'un seuil à l'aval de l'écoulement. Des différents seuils avec différentes hauteurs ont été testés (8 cm au 21cm) pour la formation et le contrôle du ressaut.

Ainsi après l'obtention d'une configuration du ressaut contrôlé, nous effectuons, pour une hauteur initiale h_1 et une position x de seuil fixées, les opérations suivantes :

1. Lecture de la hauteur déversant h_{dev} du déversoir rectangulaire. **(Photographie2)**
2. Calcul du débit volume correspondant, par application de la relation du débitmètre rectangulaire (Hachemi, Rachedi L.2006):

$$Q = 0,3794\sqrt{2g}\beta\left(1+0,16496\beta^{2,0716}\right)^{3/2}h_{\text{dev}}^{3/2} \quad (1)$$

Avec :

Q : le débit en (m^3/s).

$\beta = b/B$: Rapport de l'élargissement.

b : largeur de l'échancrure(m).

B : la largeur du canal (m).

g : l'accélération de la pesanteur (m/s^2).

h_{dev} : La hauteur de la lame déversant en (m).

3. Calcul du nombre de Froude F_1 de l'écoulement incident, par application de la relation (1).

4. Mesure de la hauteur finale h_2 du ressaut.



Photographie .2. Déversoir rectangulaire utilisé aux mesures des lames déversantes

3.2. Mode de préparation de la rugosité utilisée

Afin d'obtenir un lit majeur rugueux, avec une répartition uniforme de la rugosité, nous avons procédé les étapes suivantes :

1. Choisir le diamètre de boules en plastique de mercure de gamme entre 06 et 12 mm
2. Nous avons collé des boules en plastique sur un tapis de manière linéaire et régulière, placé sur quatre mètres du canal d'essai. La position des boules nous permettent d'obtenir un tapis rugueux uniforme.
3. Le tapis rugueux obtenu, est ensuite soigneusement collé sur le lit majeur du canal rectangulaire de section composée.
4. Les rugosités obtenues sont : $\varepsilon=06$ mm, $\varepsilon=08$ mm, $\varepsilon=10$ mm et $\varepsilon=12$ mm



Photographie .3. Photographie d'un tapis rugueux soigneusement collé sur le lit majeur du canal rectangulaire de section composée



Photographie .4. Photographie des quatre tapis rugueux : $\epsilon=06$ mm, $\epsilon=08$ mm, $\epsilon=10$ mm et $\epsilon=12$ mm

4. ETUDE SEMI-THEORIQUE

4.1. Analyse théorique

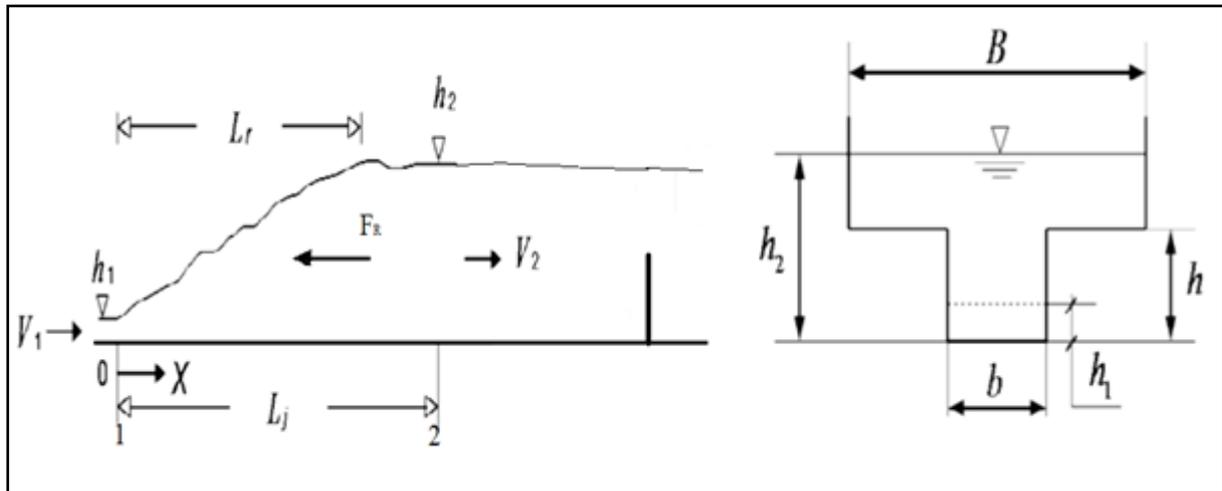


Fig.2. : Schéma de définition du Ressaut contrôlé par un seuil à paroi mince évoluant dans un canal rectangulaire de section composée avec lit majeur rugueux

La Figure 2 montre un ressaut contrôlé par seuil à paroi mince évoluant dans un canal rectangulaire de forme composée avec lit majeur rugueux. Le seuil dénoyé est placé à l'extrémité aval du canal, afin de surélever le plan d'eau à l'aval. h_1 et h_2 représentent les hauteurs conjuguées respectivement de la section initiale et finale du ressaut. L'écoulement étant en régime torrentiel à l'amont et fluvial à l'aval.

4.2. Les conditions d'application de l'équation de quantité de mouvement

- La répartition hydrostatique des pressions, dans les sections amont et aval ;
- La pente du canal est faible ou presque nulle ;
- La résistance de l'air est négligeable, l'écoulement est permanent.

L'équation de la quantité de mouvement appliquée entre le pied et la fin du ressaut, s'écrit comme suit :

$$\rho Q (P_2 V_2 - P_1 V_1) = f_1 - f_2 \quad (2)$$

En tenant compte de f_R , l'équation d'Euler devient :

$$\rho Q^2 (1/A_2 - 1/A_1) = f_1 - f_2 - f_R \quad (3)$$

Les sections A_1 et A_2 sont données respectivement par : $A_1 = bh_1$ et $A_2 = B(h_2 - h) + bh$.

Les forces F_1 et F_2 sont données respectivement par :

$$f_1 = \bar{\omega} \left(\frac{h_1}{2} \right) bh_1 \text{ et } f_2 = \bar{\omega}(h_2 - h/2)bh + \bar{\omega}[(h_2 - h)/2]B(h_2 - h).$$

F_R est la force de résistance due à la rugosité du lit majeur du canal, dont l'expression est la suivante :

$$f_R = C\rho gL_j \left(\frac{V_1^2}{2g} \right) p$$

Où :

g : l'accélération de la pesanteur (m/s^2) ;

L_j : Longueur du ressaut (m) ;

C : coefficient dû à la rugosité ;

p : Périmètre mouillé du canal ($p=b$) (m) ;

ρ : Masse volumique du liquide (kg/m^3) ;

Q : débit volume (m^3/s)

On remplace les surfaces et les forces par leurs expressions, l'équation (3) s'écrit après le réarrangement comme suit :

$$2F_1^2 \left(1 - \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{L_j C}{h_1} \cdot \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right) \right) - \frac{\beta}{Y - (1 - \beta)/\tau} \right) = \frac{(2Y - 1/\tau)}{\tau} + \frac{(Y - 1/\tau)^2}{\beta} - 1 \quad (4)$$

En remplaçant $\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{L_j C}{h_1} \cdot \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right) \right)$ par Cr dans l'équation (4) en obtient :

$$2F_1^2 \left(1 - Cr - \frac{\beta}{Y - (1 - \beta)/\tau} \right) = \frac{(2Y - 1/\tau)}{\tau} + \frac{(Y - 1/\tau)^2}{\beta} - 1 \quad (5)$$

$$F_1^2 (1 - Cr) = \frac{\beta F_1^2}{Y - (1 - \beta)/\tau} + \frac{\frac{(2Y - 1/\tau)}{\tau} + \frac{(Y - 1/\tau)^2}{\beta} - 1}{2} \quad (6)$$

Cette expression est semi-théorique du fait que le coefficient de résistance C_r , ne peut être trouvé qu'à partir de données expérimentales. Il est clair que pour un coefficient C_r égale à zéro, l'expression (5) revient à l'approche de Khataoui et Achour (2012) d'un ressaut hydraulique évoluant dans un canal rectangulaire de section composée de pente nulle parfaitement lisse.

$$F_1^2 \left(1 - \frac{\beta}{Y-(1-\beta)/\tau} \right) = \frac{(2Y-1/\tau)}{\tau} + \frac{(Y-1/\tau)^2}{\beta} - 1 \quad (7)$$

5. RESULTATS EXPERIMENTAUX

5.1. Variation du coefficient C_r de résistance en fonction de la rugosité relative ($\varepsilon/B-b$).

Pour trouver l'expression du coefficient C_r de résistance en fonction de la rugosité relative $\varepsilon/B-b$, nous allons représenter sur la figure 3, la variation du terme

$$f(Y) = \frac{\beta F_1^2}{Y-(1-\beta)/\tau} + \frac{\frac{(2Y-1/\tau)}{\tau} + \frac{(Y-1/\tau)^2}{\beta} - 1}{2} \quad \text{en fonction de } F_1^2 \text{ pour les quatre rugosités}$$

absolues : $\varepsilon(\text{mm}) = 06 ; 08 ; 10$ et 12 .

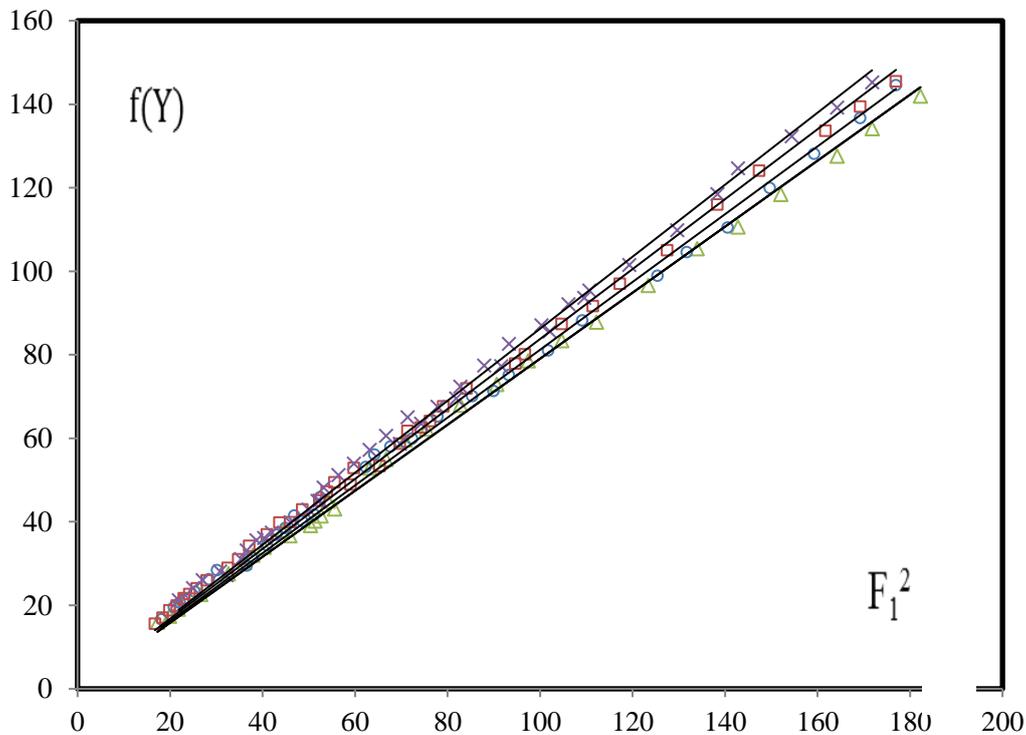


Fig.3. Variation de $f(Y)$ en fonction de F_1^2 , pour quatre rugosités relatives :

$\varepsilon(\text{mm}) = (\times) 06, (\square) 08, (o) 10$ et $(\Delta) 12$. (—) Courbe d'ajustement

La figure 3 montre quatre nuages de points différents, correspondant chacun à une valeur bien déterminée de la rugosité relative $\varepsilon/B-b$.

L'analyse des points de mesures expérimentales du ressaut, montre que chaque nuage de points peut s'ajuster avec une relation de la forme :

$$\frac{\beta F_1^2}{Y - \frac{1-\beta}{\tau}} + \frac{\frac{(2Y-1/\tau)}{\tau} + \frac{(Y-1/\tau)^2}{\beta} - 1}{2} = SF_1^2$$

Le terme 'S' représente le facteur (1-C_r). (Le Tableau 1) regroupe les valeurs des coefficients C_r.

Tableau 1: Coefficient Cr des courbes d'ajustement

| $\varepsilon/B-b$ | C _r | R ² |
|-------------------|----------------|----------------|
| 0,06 | 0,138 | 0,997 |
| 0,08 | 0,162 | 0,997 |
| 0,1 | 0,188 | 0,996 |
| 0,12 | 0,210 | 0,997 |

Le tableau 1 montre que le coefficient C_r dû à la rugosité augmente avec l'augmentation de la rugosité relative $\varepsilon/B-b$. L'ajustement statistique des couples des valeurs ($\varepsilon/B-b$, C_r) par la méthode des moindres carrés donne une relation de type linéaire d'équation :

C_r=1,896 (ε/B-b). Celle-ci est représentée par la figure 4 ci-dessous

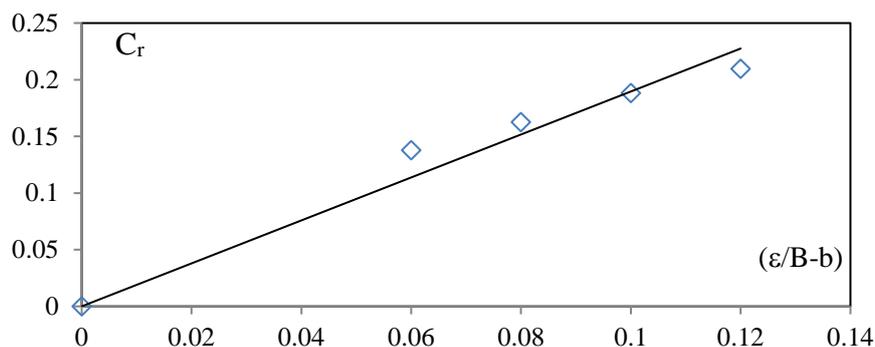


Fig.4. Variation du coefficient C_r en fonction de la rugosité relative $\varepsilon/B-b$

En remplaçant le coefficient C_r par son expression dans la relation (6) l'équation semi-théorique devient

$$F_1^2(1 - 1.896(\varepsilon/B - b)) = \frac{\beta F_1^2}{Y - (1-\beta)/\tau} + \frac{\frac{(2Y-1/\tau)}{\tau} + \frac{(Y-1/\tau)^2}{\beta} - 1}{2} \quad (8)$$

$$0.00 \leq \varepsilon/B-b \leq 0.12$$

La figure 5 montre que la relation $f(y_1, y_2) = \xi(\varepsilon/B-b, F_1)$ ajuste avec une bonne corrélation les points de mesures expérimentales et ces derniers suivent parfaitement la première bissectrice, montrant par conséquent la fiabilité de la relation (8).

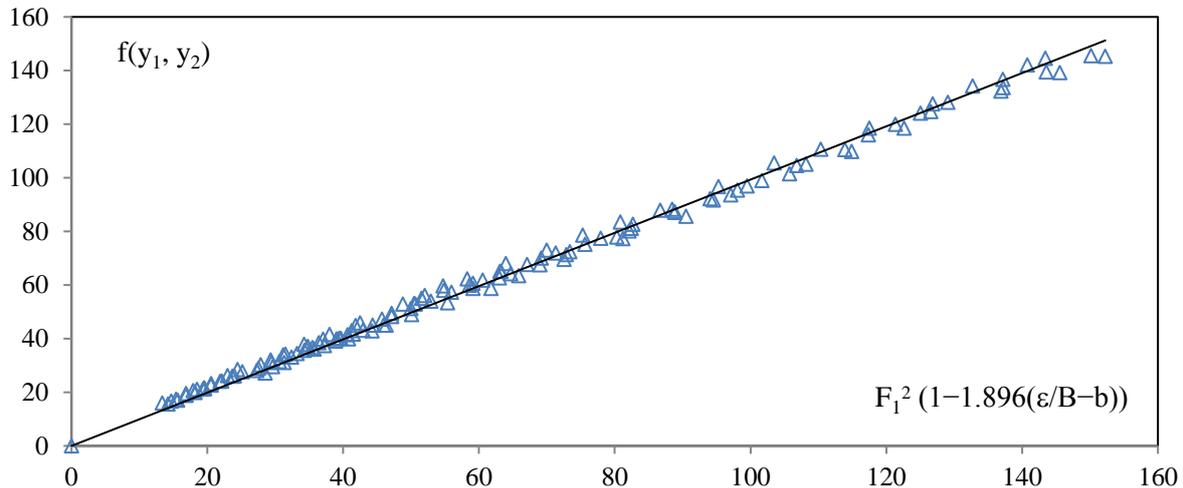


Fig.5. Variation de $f(y_1, y_2)$ en fonction de la relation $F_1^2 (1-1.896(\varepsilon/B-b))$

(Δ) Points de mesures expérimentales (-----) première bissectrice

5.2. Variation du rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut en fonction du coefficient C_r de résistance et du nombre de Froude incident F_1

L'équation semi-théorique (8) étant implicite en Y, nous avons trouvé une relation approchée qui permet de trouver le rapport Y en fonction du coefficient C_r de résistance du lit majeur du canal rugueux et du nombre de Froude incident F_1 de l'écoulement.

La figure (6) montre un nuage de points qui suit parfaitement l'allure d'une courbe unique. L'ajustement des points de mesures par la méthode des moindres carrés non linéaire donne avec une très bonne corrélation la relation de type puissance suivante :

$$Y = 1.45F_1^{0.957}(1 - C_r)^{0.478}$$

$$0.00 \leq \varepsilon/B-b \leq 0.12$$

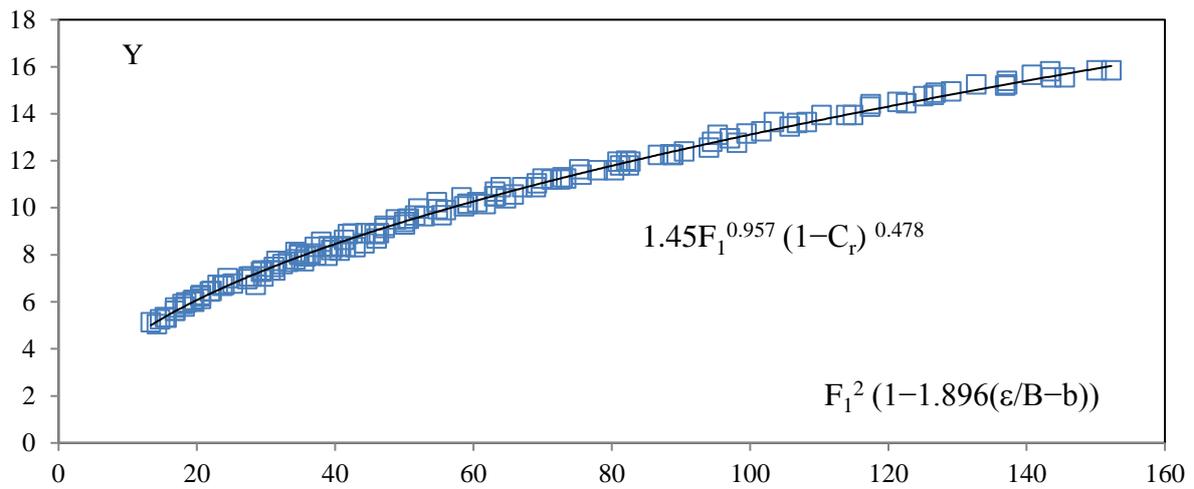


Fig.6. Variation du rapport Y des hauteurs conjuguées en fonction de $F_1^2 (1-C_r)$.

(□) Points de mesures expérimentales. (—) Courbe d’ajustement

La figure 7 montre la comparaison entre Y expérimental et de l’équation semi-théorique (8). On remarque que le nuage de points suit parfaitement la première bissectrice ce qui justifie que la l’approche globale obtenue est acceptable et pourrait être appliquée au dimensionnement des bassins d’amortissement.

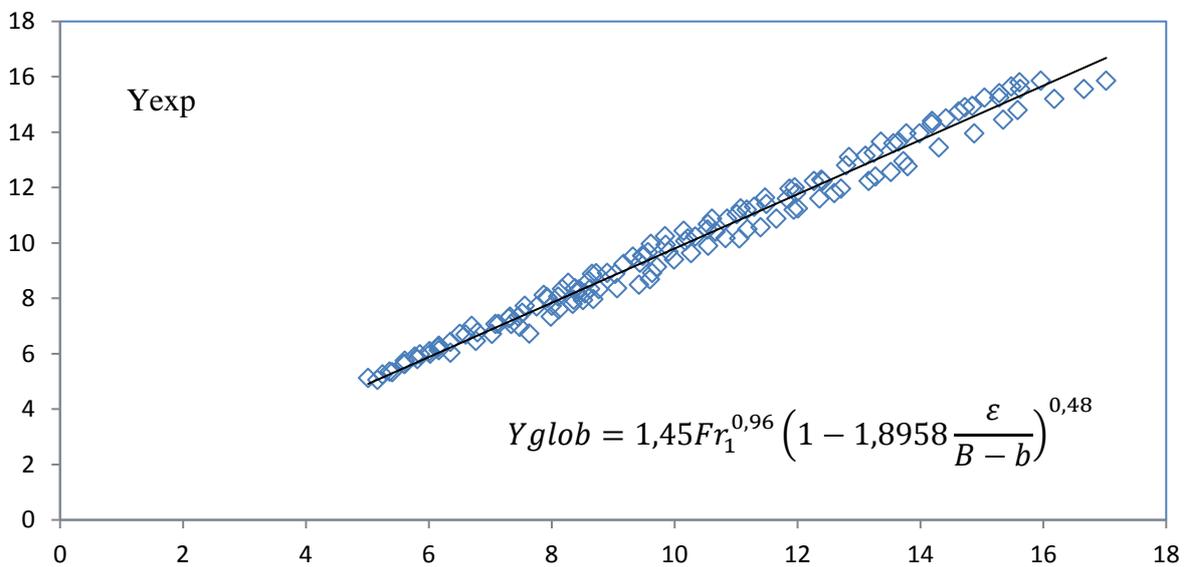


Fig.7. Comparaison entre Y expérimental et de l’équation semi-théorique (8)

(□) Points de mesures expérimentales. (—) Courbe d’ajustement

6. CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons analysé expérimentalement l'effet de la rugosité imposée au lit majeur du canal rectangulaire de section composée sur les caractéristiques essentielles de ressaut hydraulique contrôlé par un seuil à parois mince.

L'étude a concerné en premier lieu l'étude de l'approche semi-théorique par laquelle on a tenté de trouver une approche explicite en remplaçant la relation semi théorique implicite en Y . Celle-ci permet de trouver le rapport Y des hauteurs conjuguées en fonction du coefficient C_r de résistance du lit majeur rugueux du canal rectangulaire de section composée et du nombre de Froude F_1 incident de l'écoulement.

Ensuite l'étude a abordé la variation du rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut en fonction du coefficient C_r de résistance et du nombre de Froude F_1 . la comparaison entre Y expérimental et de l'équation semi-théorique (8) a été obtenue. cette approche semi théorique obtenue a été validée par la première bissectrice justifiant la fiabilité des mesures expérimentales et de l'applicabilité au dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

7. PRINCIPALES NOTATIONS

| | | |
|----------------|---------------------------------------|---------------------|
| B | largeur du lit majeur du canal | [m] |
| b | largeur du lit mineur du canal | [m] |
| F_1 | Nombre de Froude à l'amont du ressaut | [] |
| g | Accélération de la pesanteur | [m/s ²] |
| h_1 | Hauteur initiale du ressaut | [m] |
| h_2 | Hauteur finale du ressaut | [m] |
| L_j | Longueur du ressaut | [m] |
| L_r | Longueur du rouleau de surface | [m] |
| Q | Débit volume | [m ³ /s] |
| F_1 | nombre de Froude | [] |
| Y | Rapport des hauteurs conjuguées | [] |
| $\tau = h_1/h$ | Rapport de forme | [] |

RÉSUMÉ

Le but de cette étude s'intéresse à l'analyse semi théorique du ressaut hydraulique évoluant dans un canal rectangulaire composé droit avec lit majeur rugueux. Une relation fonctionnelle, des termes non dimensionnels, reliant entre elles les différentes caractéristiques du ressaut, est obtenue.

Keywords: hydraulic jump, experimental study, compound rectangular channel, rough bed, roughness.

8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Achour, B., Dissipation d'énergie par ressaut, thèse d'état. Université de Tizi-Ouzou, Institut de Génie-Civil, 1998.
- [2] Achour, B., (2000). Ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie. JHR 2000; 38(4): 307-311.
- [3] Achour, B., Debabeche, M., Ressaut contrôlé par seuil dans un canal profilé en U. Journal of hydraulicresearch, Vol. 41 (02), pp. 97-103, 2003.
- [4] Debabeche, M., Ressaut hydraulique dans les canaux prismatiques. Thèse de doctorat d'état, Département d'Hydraulique, Université de Biskra, Algérie, 2003.
- [5] Debabeche, M., Kateb, S., Ghomri, A., "Etude expérimentale du ressaut hydraulique dans un canal triangulaire à parois rugueuses ", Larhyss Journal, N⁰05, pp.187-196, Juin 2006.
- [6] Debabeche, M., Ghomri, A., Sahnoune, C., Ismail, K., "Effet de la rugosité sur le ressaut hydraulique dans un canal profilé en U (partie1) " Larhyss journal, N⁰04, pp.107-118, juin 2005.
- [7] Ghomri, A., Ressaut hydraulique contrôlé par seuil évoluant en canal profilé en "U", Mémoire de Magister en Sciences Hydrauliques, Département d'Hydraulique, Université de Biskra, 2005.
- [8] Ghomri, A., Debabeche, M., Riguet, F., l'étude semi théorique du ressaut hydraulique évoluant en canal profilé en U à fond rugueux, Revues des sciences fondamentales et appliquées, centre universitaire d'Oued Souf, N⁰01, pp.40-57, 2009.
- [9] Ghomri, A., Debabeche, M., Riguet, F., étude expérimentale du ressaut hydraulique évoluant dans un canal profilé en U à fond rugueux , Revues des sciences fondamentales et appliquées, centre universitaire d'Oued Souf, N⁰01, pp.82-105, 2009.

-
- [10] Ghomri, A., Riguet, F., Contribution to the Experimental Study on the Hydraulic Jump Evolving In An U shaped Channel With Rough Bed , Journal of Fundamental and Applied Sciences, , Université el Oued, N⁰02, pp.254-271,2010.
- [11] Khattaoui, M., Achour, B., (2012). Ressaut hydraulique dans un canal rectangulairecomposé. Revue scientifiqueet technique LJEE N°20.
- [12] Kateb.S, Debabeche M, Zegait.RetBaouia K. (2018) ; ApprocheExpérimentale De La Longueur Du RessautHydrauliqueDans Un Canal Triangulaire A ParoisRugueux ; journal of advanced research in science and technology JARST.
- [13] Rajaratnam, N., Hydraulic jumps on rough beds, Transaction of the engineering institute of Canada, Vol. 11, N° A-2 may 1968.

How to cite this article:

Lacheheb S, Ghomri A, Kateb S. Contribution to the study of the semi theoretical approach of the hydraulic jump in a rectangular channel of compound section with rough major bed. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 2021, *13(1)*, 634-647.