

EFFECT OF ROUGHNESS TO HYDRAULIC PROJECTION IN AN U-SHAPED CHANNEL, WITH ROUGH BED

A. Ghomri*, M. Debabeche and F. Riguet

LARHYSS, Université de Biskra, BP 145 RP – 07000 Biskra, - Algérie

Received: 26 February 2011 / Accepted: 03 April 2010 / Published online: 30 June 2011

ABSTRACT

This study aims to study the hydraulic jump controlled by threshold, moving in a channel profile 'U' bottomed rough for a single roughness. Functional relations in dimensionless terms, linking the different characteristics of the projection, showing the effect of roughness of the bottom of the channel are obtained.

Key words: Hydraulic jump, roughness, stilling basin, channel bottom rough.

1. INTRODUCTION

L'étude a pour but d'étudier l'effet d'une rugosité sur le ressaut hydraulique contrôlé par seuil en canal profilé en "U" à fond rugueux pour une rugosité bien déterminée $\varepsilon = 9,11\text{mm}$. L'étude bibliographique montre que les caractéristiques adimensionnelles essentielles, intervenant au phénomène du ressaut, dans un canal profilé en "U", sont le nombre de Froude IF_1 ou le débit relatif Q^* , la hauteur relative amont $y_1=h_1/D$ (h_1 est la hauteur au pied du ressaut, D est la largeur du canal), la hauteur relative aval $y_2=h_2/D$ (h_2 est la hauteur maximale mesurée à l'aval du ressaut) et le rapport $y=h_2/h_1$ des hauteurs conjuguées du ressaut.

L'objectif principal de cet article est de connaître l'effet de cette rugosité imposé au fond du canal profilé en "U" aux caractéristiques du ressaut hydraulique.

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

[ICID: 1020787](https://doi.org/10.1020787)

2. POSITION DU PROBLEME

La modification des conditions à l'amont (hauteurs, débit,...etc) et à l'aval (type d'obstacle, sa position, sa hauteur, ...etc), peut conduire à différentes configurations de ressaut. Le ressaut est dit classique lorsqu'il 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.

Pour notre cas il s'agit d'un ressaut contrôlé par seuil mince en canal profilé en 'U' à fond demi-circulaire rugueux. Une rugosité équivalente a été étudiée $\varepsilon = 9,11\text{mm}$.

En effet, Pour une hauteur initiale h_1 fixe, l'accroissement du débit entraîne à la fois le déplacement du ressaut vers l'aval et l'augmentation de sa longueur de rouleau L_R . La distance Δx sur laquelle le ressaut s'étend augmente également et pour ramener celui-ci dans sa position initiale, c'est à dire à environ 5 cm de la sortie du convergent, le premier seuil de hauteur s doit être surélevé. Ainsi à chaque valeur du débit relatif Q^* , correspond une longueur L_j du ressaut et L_r du rouleau, ainsi qu'une hauteur h_2 à l'aval du ressaut et une hauteur s du seuil (figure1).



Photographie 1. Un banc d'expérimentation.

Ressaut contrôlé par seuil mince. h_1 hauteur d'eau amont, h_2 hauteur d'eau aval, s hauteur du seuil, L_r longueur du rouleau de surface, x distance séparant la boîte en charge B du pied du ressaut, B boîte en charge.

3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Description du modèle

Le canal de mesure qui nous a servi de banc d'essai (photographie 1) est constitué essentiellement d'une rigole demi-circulaire en 'pvc' de 5,67 m de longueur, et de diamètre 24,5 cm sur laquelle est fixée latéralement, d'un côté une tôle en aluminium de 0,50 m de hauteur et de l'autre côté une série de 7 panneaux transparents en Plexiglas permettant les prises de vues et observations. Ces panneaux sont reliés entre eux par collage au chloroforme. Le tout est fixé par boulonnage à une structure métallique rigide. L'étanchéité est assurée par des joints en caoutchouc et par de la silicone.

Le fond du canal est parfaitement horizontal ou de pente nulle. Un bassin d'alimentation est relié au canal par le moyen d'une conduite circulaire de 100 mm de diamètre. Celle-ci est reliée à une boîte métallique fermée, sur laquelle est insérée une ouverture à paroi plane en tôle de largeur déterminée débouchant dans le canal. Le rôle de cette paroi est de générer un écoulement incident à grande vitesse. La section de sortie de celle-ci est variable et sa hauteur correspondra à la hauteur initiale h_1 du ressaut.

Le réglage des débits volumes s'effectue par manipulation de la vanne et sont mesurés à l'aide d'un débitmètre électromagnétique à affichage numérique.

L'alimentation du canal s'effectue par le moyen d'une pompe débitant jusqu'à 40 l/s.

Description des essais

L'expérimentation a été menée sous quatre hauteurs initiales ($h_1(\text{cm}) = 2,3; 3,40; 5,2; 6,1$).

Une large gamme des nombres de Froude incidents a été ainsi obtenue ($2 < IF_1 < 15$).

Des seuils de différentes hauteurs ont été testés, dont la hauteur s varie entre 3,4 cm et 19,8 cm.

Pour une hauteur s du seuil et pour une hauteur h_1 de l'écoulement incident, l'augmentation du débit volume Q , provoque l'apparition d'un ressaut (photographie 2.). Le couple de valeur (Q, h_1) permet par ailleurs le calcul du débit relatif Q^* . L'accroissement de Q^* entraîne à la fois le déplacement du ressaut vers l'aval et l'augmentation de sa longueur de ressaut L_j . La distance Δx sur laquelle le ressaut s'étend augmente également et pour ramener celui-ci dans sa position initiale, c'est à dire à environ 4cm à 5 cm de la sortie du

convergent, le seuil de hauteur s doit être surélevé. Ainsi à chaque valeur du Q^* correspond une valeur de la longueur L_j de ressaut et une valeur de la hauteur s du seuil.

Un échantillon constitué d'une plusieurs de points de mesures expérimentales, pour chaque caractéristique, a permis ainsi d'aboutir à des résultats significatifs. Ces paramètres sont : la rugosité ε du fond du canal, le débit Q , la hauteur initiale h_1 , la hauteur finale h_2 , la hauteur s du seuil, la longueur L_j du ressaut, compté à partir du début du ressaut.

Ceux-ci permettent de composer les produits adimensionnels suivants :

- 1 le débit relatif Q^* ou le nombre de Froude incident IF_1 ,

$$F_1 = \sqrt{\frac{Q^2 D \sin \alpha}{g \left[\frac{D^2}{4} (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha) \right]^3}}$$

$$F_1 = \frac{8Q^* \sqrt{\sin \alpha}}{(\alpha - \sin \alpha \cos \alpha)^{3/2}}$$

$$\alpha(\text{rd}) = \arccos(1 - 2y_1)$$

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gD^5}}$$

- 2 la hauteur relative amont $y_1 = h_1/D$,
- 3 la hauteur relative aval $y_2 = h_2/D$,
- 4 le rapport $y = h_2/h_1$ des hauteurs conjuguées du ressaut.
- 5 la hauteur relative $S = s/h_1$ du seuil,
- 6 la longueur relative L_j/h_1 du ressaut,
- 7 la longueur relative L_j/h_2 du ressaut.
- 8 la rugosité relative ε/D .



(a)

Photographie 2. Ressaut hydraulique évoluant dans un canal profilé en U à fond rugueux.

a) Vue à l'aval du ressaut

Mode de préparation de la rugosité testée

- 1 Le tamisage du gravier de granulométrie différente est effectué par le moyen d'un tamiseur électrique composé par plusieurs tamis de différent diamètres normalisés variant entre 3 et 12mm , avec des temps de tamisage bien fixés en relations avec la gamme de gravier à tamiser environ 5 min.
- 2 Après l'obtention de la gamme voulue, ce dernier est lavé puis séché.
- 3 Les gammes choisies, varient entre 3 et 12 mm selon le refus du tamis normalisé. Les particules obtenues sont ensuite uniformément réparties sur une toile en plastique
- 4 (photographie 3), puis collées par le moyen d'une colle Becta 10000 rigide.
- 5 Enfin, la rugosité équivalente obtenue est : $\varepsilon = 9,11 \text{ mm}$



Photographie 3. Grains de gravier répartis uniformément sur le fond du canal.

4. RESULTATS EXPERIMENTAUX

1. Hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif Q^*

La figure 1 représente la variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif Q^* du ressaut hydraulique contrôlé par seuil en canal à fond rugueux, de rugosité relative $\varepsilon/D=0,037$ ($\varepsilon=9,11$ mm), pour 04 valeurs distinctes de y_1 .

Quatre allures de points de mesures sont visibles, correspondant chacune à une hauteur relative fixe de y_1 . Les traits continus illustrent la courbe théorique issue de l'équation de quantité de mouvement pour les quatre valeurs de y_1 : 0,0939 ; 0,1388 ; 0,2122 et 0,2489.

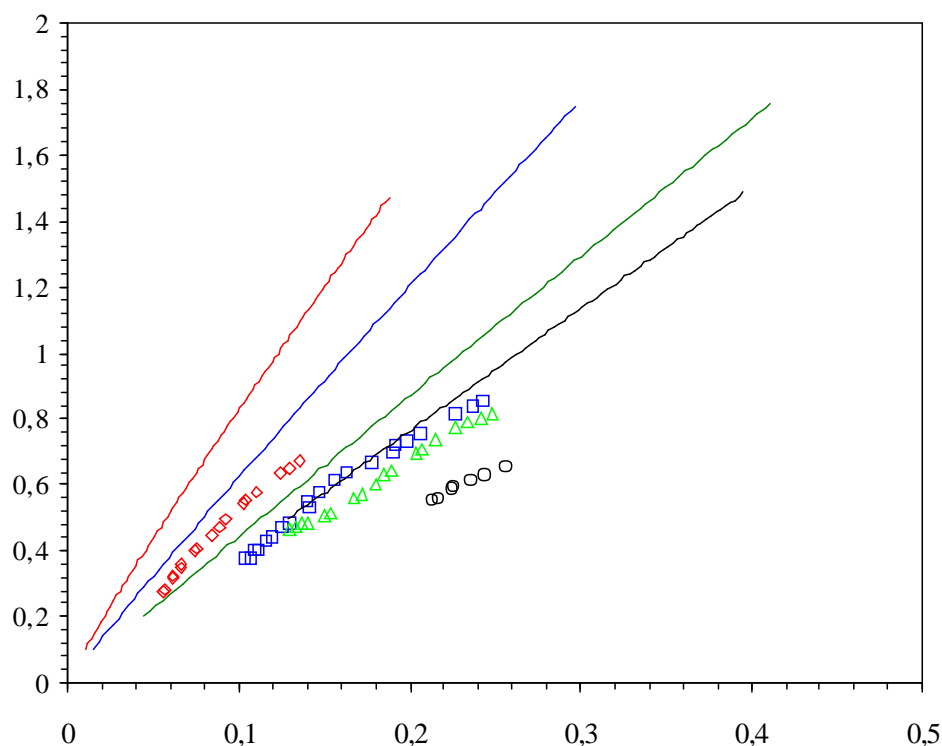


Fig.1. Ressaut hydraulique évoluant en canal à fond rugueux, de rugosité relative $\varepsilon/D = 0,037$ variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif Q^* . Les motifs noirs vides représentent les points de mesures expérimentales. (—) Courbe théorique selon (Hager), pour les quatre valeurs de y_1 : () 0,0939 ; () 0,1388 ; (Δ) 0,2122 et () 0,2489.

Cette figure montre que les points de mesures du ressaut contrôlé à fond rugueux se situent bien au-dessous des courbes théoriques (rugosité nulle).

En remarque en premier lieu que l'augmentation du débit relatif Q^* entraîne celle de la hauteur relative aval. L'influence de la hauteur relative amont y_1 est nettement perceptible. Par ailleurs, pour le même nombre débit relatif Q^* , y_2 diminue avec l'augmentation de y_1 .

La figure 2 montre quatre séries, correspondant chacune à une valeur bien connue de y_1 . Les traits continus représentent l'ajustement des points de mesures par la méthode des moindres carrés.

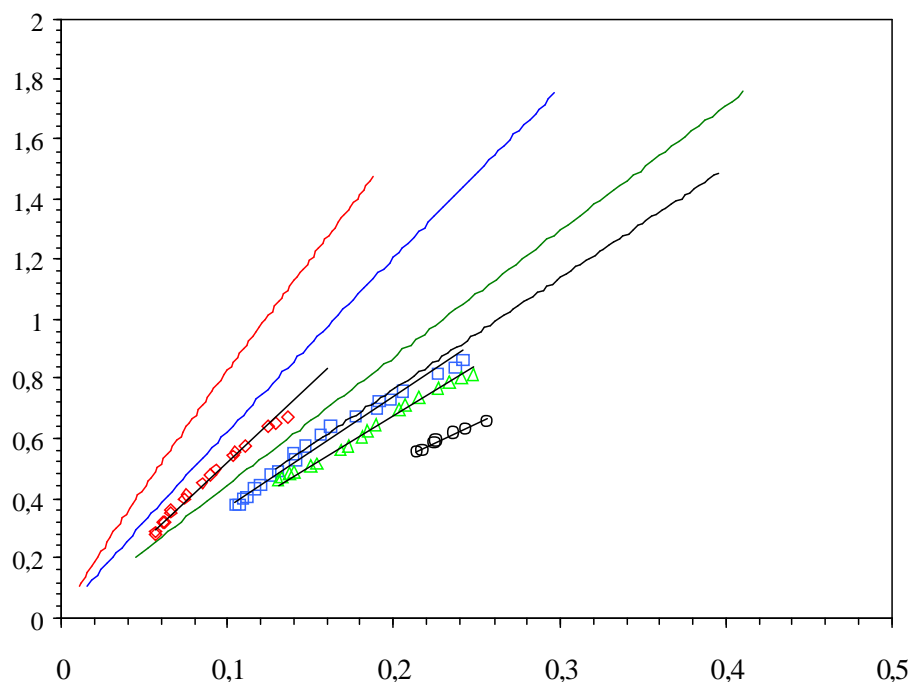


Fig.2. Ressaut contrôlé en canal à fond rugueux. Variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif Q^* , pour les quatre valeurs de y_1 : () 0.0939, () 0.1388, () 0.2122 et () 0.2489. () Courbes d'ajustement.

L'analyse des points de mesures expérimentales du ressaut contrôlé en canal profilé en U à fond rugueux montre clairement que pour chaque valeur de y_1 , un ajustement de type linéaire est possible de la forme : $y_2 = a_4 Q^*$.

Le tableau 1 regroupe les valeurs des coefficients a_4

Tableau 1. Coefficients de a_4 des courbes d'ajustements

$h_1(\text{cm})$	$y_1 = h_1/D$	Coefficient a_4	R^2
2,3	0,0939	5,1977	0,9869
3,4	0,1388	-	0,9722
5,2	0,2122	3,3853	0,9886
6,1	0,2490	2,6035	0,9793

Le tableau 1 montre l'augmentation progressive du coefficient a_4 avec la diminution de la hauteur relative amont y_1 . L'ajustement statistique des couples des valeurs (y_1 , a_4) par la méthode des moindres carrés donne une relation de type linéaire d'équation :

$a_4 = -16,43y_1 + 6,77$. La figure 3 représente l'équation de l'ajustement.

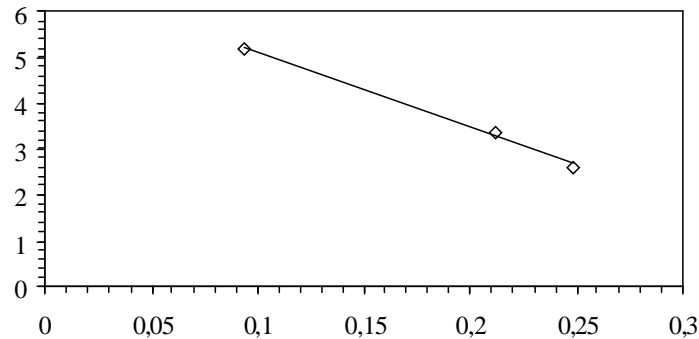


Fig.3. Variation du coefficient a_4 en fonction de la hauteur amont y_1

En effet, en remplaçant les coefficients a_4 par son expression dans la relation $y_2 = a_4 Q^*$, l'équation liant la hauteur relative aval $y_2 = h_2/D$ au débit relatif Q^* et à la hauteur relative amont y_1 devient :

$$y_2 = (-16,43y_1 + 6,77) Q^* \quad (1)$$

avec $0,0939 \leq y_1 \leq 0,2489$.

La figure 4 montre que la relation $y_2 = f(Q^*, y_1)$ ajuste avec une bonne corrélation les points de mesures expérimentales. Ces points suivent parfaitement la première bissectrice

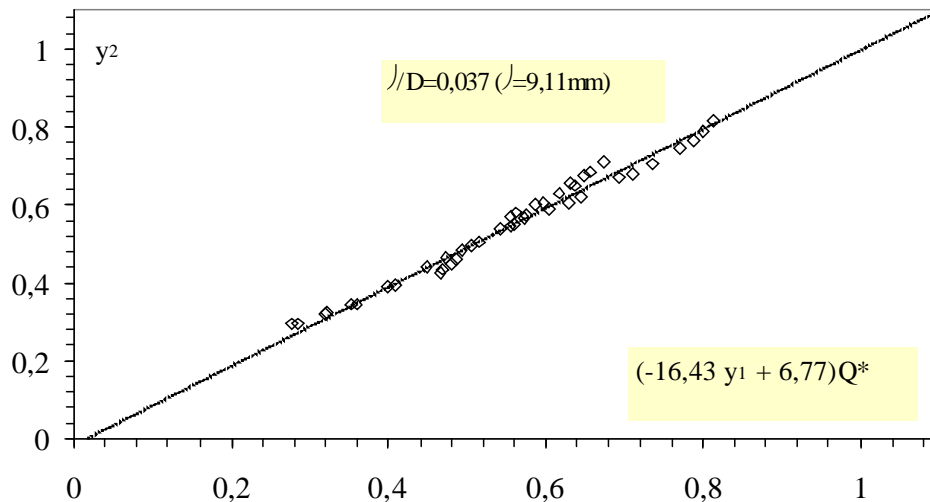


Fig.4. Variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction de (y_1 Q^*). () Points expérimentaux du ressaut contrôlé en canal profilé à fond rugueux de rugosité relative $l/D = 0,037$ () Première bissectrice d'équation : $y_2 = (-16,43y_1 + 6,77) Q^*$

2. Hauteur relative aval $y_2 = h_2/D$ en fonction de la hauteur relative $S = s/h_1$ du seuil

La figure 5 montre la représentation graphique de la variation de y_2 en fonction de la hauteur relative $S = s/h_1$ du seuil du ressaut hydraulique contrôlé par seuil en canal à fond rugueux, de rugosité relative $\varepsilon/D = 0,037$ ($\varepsilon = 9,1 \text{ mm}$) pour quatre valeurs de y_1 .

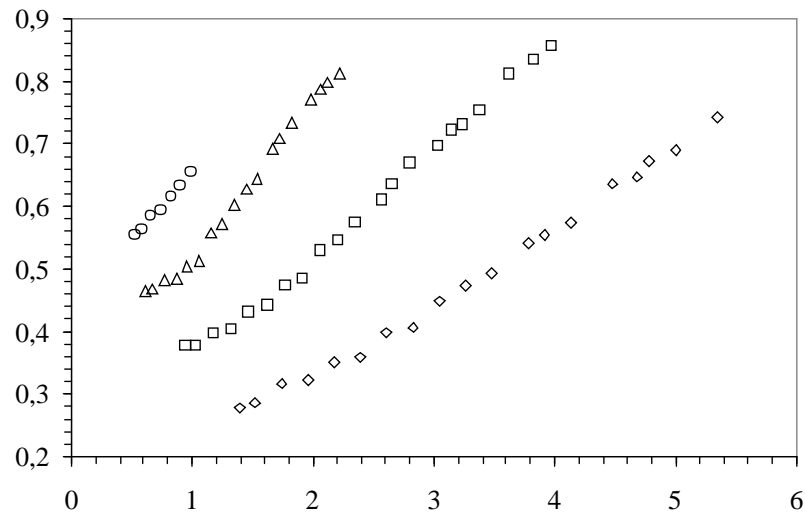


Fig.5. Variation de la hauteur relative aval $y_2 = h_2/D$ en fonction de la hauteur relative $S = s/h_1$ du seuil, pour quatre valeurs distinctes de y_1 . Les motifs noirs vides représentent les points de mesures expérimentales.

Cette figure montre que les points de mesures du ressaut contrôlé à fond rugueux ($\varepsilon/D = 0,037$) sont distincts, pour les quatre valeurs de y_1 . En outre, l'augmentation de la hauteur relative S du seuil entraîne celle de la hauteur relative aval y_2 . On constate aussi que pour une même valeur de S , y_2 augmente avec l'augmentation de y_1 . L'analyse des points de mesures expérimentales du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux, montre que pour chaque valeur de y_1 une courbe de type puissance est possible de la forme $y_2 = c_4 \exp[d_4 \cdot s/h_1]$ comme le montre bien la figure 6.

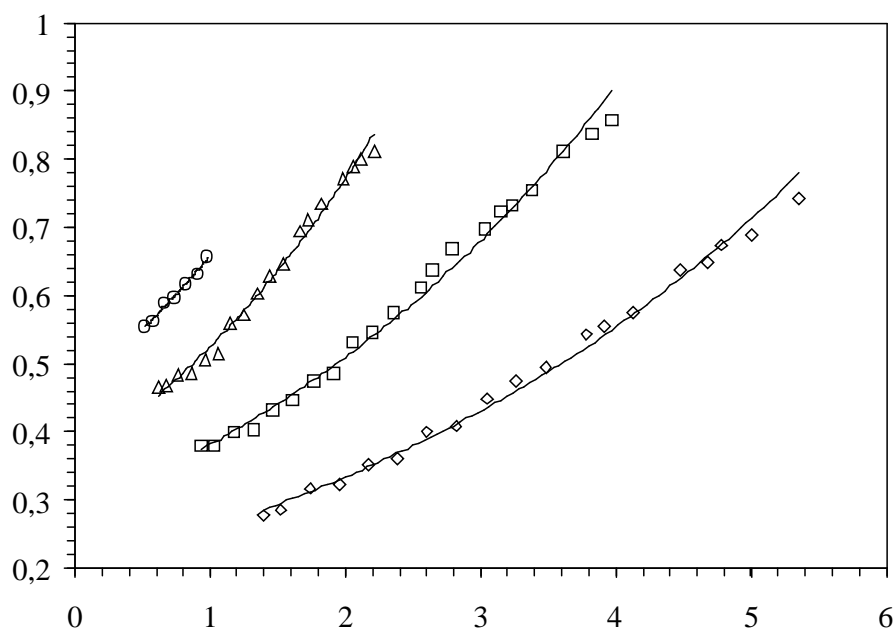


Fig.6. Ressaut contrôlé en canal profilé en U à fond rugueux. Variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction de la hauteur relative $S=s/h_1$ du seuil, pour quatre valeurs différents de y_1 : (\circ) 0,0939, (\triangle) 0,1388 (\square) 0,2122 et (\diamond) 0,2489. (\dots) Courbes d'ajustements

Le tableau 2 regroupe les valeurs des coefficients c_4 et d_4 .

Tableau 2. Coefficients c_4 et d_4 des courbes d'ajustements

h_1 (cm)	$y_1 = h_1/D$	Coefficient c_4	Coefficient d_4	R^2
2,3	0,0939	0,2011	0,2532	0,9930
3,4	0,1388	0,2856	0,2893	0,9922
5,2	0,2122	0,3572	-	0,9906
6,1	0,2489	0,4602	0,3578	0,9919

Le tableau 2 montre nettement que le coefficient c_4 augmente progressivement avec l'augmentation de la hauteur relative amont y_1 . L'ajustement statistique des couples de valeurs (c_4, y_1) par la méthode des moindres carrés donne une relation de type puissance : $c_4=1,31y_1^{0,79}$ Celle-ci est présentée sur la figure 7.

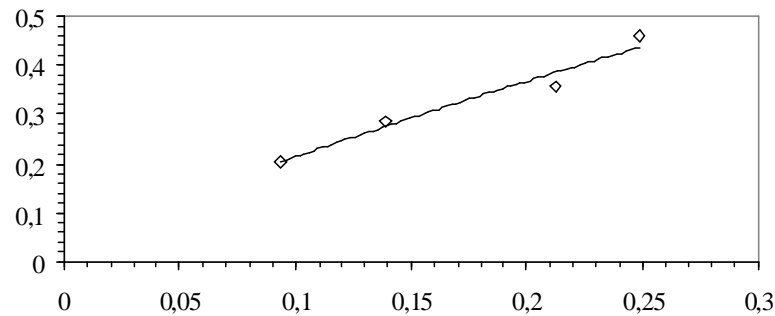


Fig.7. Variation du coefficient c_4 en fonction de la hauteur relative amont y_1 .

Un ajustement des couples de valeurs (d_4, y_1) du tableau 2, donne avec une bonne corrélation, la relation linéaire suivante : $d_4 = 0,58y_1^{0,36}$. Cette équation est montrée à la figure 8.

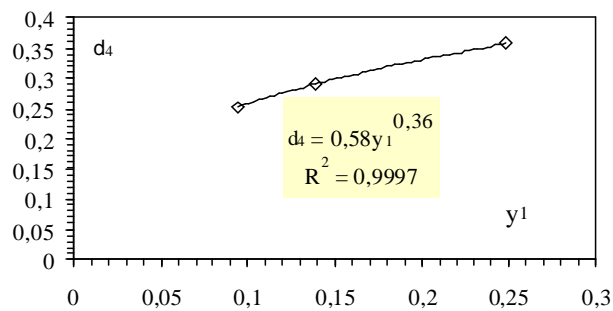


Fig.8. Variation du coefficient d_4 en fonction de la hauteur relative amont y_1 .

En effet, en remplaçant les coefficients de c_4 et d_4 par leurs expressions dans la relation $y_2 = c_4 \exp[d_4.s/h_1]$, l'équation liant la hauteur relative aval y_2 , la hauteur relative S du seuil et la hauteur relative amont y_1 devient :

$$y_2 = 1,31y_1^{0,79} \exp[0,58y_1^{0,36}.s/h_1] \quad (2)$$

avec $0,0939 \leq y_1 \leq 0,2489$.

La figure 9 montre ainsi que la relation trouvée $y_2 = f(S, y_1)$ adapte avec une bonne corrélation les points de mesures. Ces points suivent parfaitement la première bissectrice.

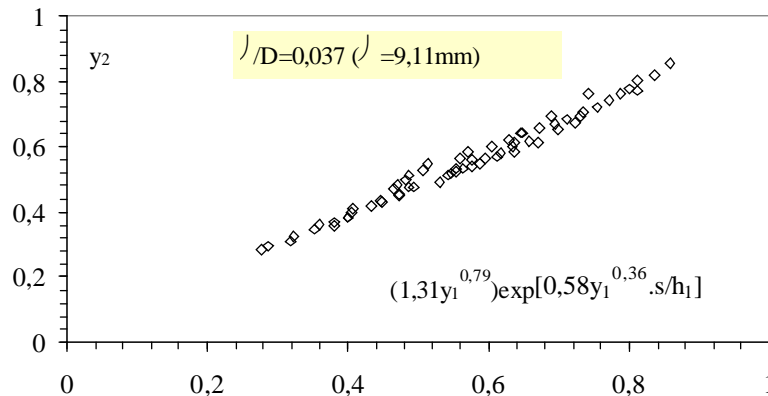


Fig.9. Variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction de $f(S, y_1)$. ()

Points de mesures expérimentales du ressaut contrôlé à fond rugueux. ()

Première bissectrice d'équation

$$y_2 = 1,31y_1^{0,79} \exp [0,58y_1^{0,36}.s/h_1]$$

3. Longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du débit relatif Q^*

La figure 10 montre la variation de la hauteur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du débit relatif Q^* , pour quatre valeurs différentes de la hauteur relative amont y_1 . Les motifs vides noirs et vides colorés représentent les points de mesures expérimentales, respectivement du ressaut ‘à fond lisse’ et son homologue ‘à fond rugueux’. Il ressort de cette figure, que les points de mesures du ressaut ‘à fond lisse’ se situent bien au-dessus de ceux du ressaut ‘à fond rugueux’.

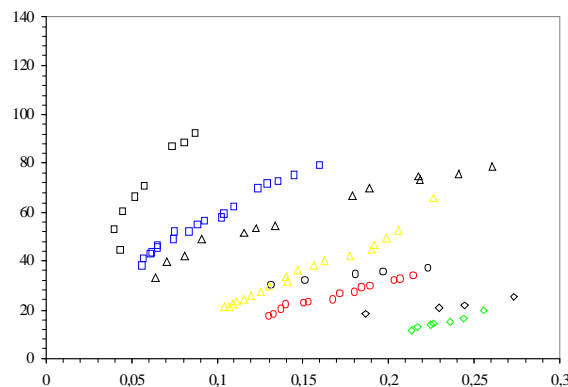


Fig.10. Variation de la longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du débit relatif Q^*

pour quatre valeurs distinctes de y_1 . Les motifs colorés vides représentent les points expérimentaux du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux. Les motifs vides noirs

représentent le ressaut contrôlé à fond lisse.

Nous pouvons conclure que pour $0,0939 \leq y_1 \leq 0,2489$, la longueur du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux est plus réduite que celle de son homologue à fond lisse. Par conséquent l'effet de réduction de la longueur du ressaut est perceptible.

5. CONCLUSION

Dans cette étude, l'effet de la rugosité absolue $\varepsilon = 9,11 \text{ mm}$ imposé au fond du canal profilé en "U", de pente horizontal, sur les caractéristiques du ressaut hydraulique a été justifié.

Dans un premier temps, l'étude s'est intéressée à la variation de la hauteur relative aval h_2/D du ressaut en fonction du débit relatif Q^* de l'écoulement incident pour quatre ouvertures différentes. Il a été constaté que pour une valeur du débit relatif Q^* , l'augmentation de la rugosité absolue entraîne la diminution de la hauteur relative aval. Par ailleurs, l'analyse statistique des points de mesures expérimentales a montré que, pour une rugosité absolue testée, la hauteur relative aval h_2/D était lié au débit relatif Q^* par la loi de type linéaire [Equation 1].

Dans un second temps, l'étude a traité la variation de la hauteur relative aval h_2/D du ressaut en fonction de la hauteur relative du seuil $S = s/h_1$ pour quatre ouvertures distinctes. Il a été remarqué que pour l'augmentation de la hauteur relative S du seuil entraîne celle de la hauteur relative aval y_2 . On observe aussi que pour une même valeur de S , y_2 augmente avec l'augmentation de y_1 .

En outre, l'analyse statistique des points de mesures expérimentales a montré que, pour cette rugosité testée, la hauteur relative aval h_2/D était lié à la hauteur relative du seuil par la loi de type exponentielle [Equation 2].

Dans un troisième temps, l'étude s'est intéressée à la variation de la longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du débit relatif Q^* de l'écoulement incident pour quatre valeurs distinctes de la hauteur relative amont $y_1 = h_1/D$. Les motifs vides noirs et vides colorés représentent les points de mesures expérimentales, respectivement du ressaut 'à fond lisse' et 'à fond rugueux'. Il ressort de cette figure, que les points de mesures du ressaut 'à fond lisse' se situent nettement au-dessus de ceux du ressaut 'à fond rugueux'.

Enfin, on peut conclure, que pour une série des débits relatif Q^* , le ressaut hydraulique évoluant dans un canal profilé en ‘U’ à fond rugueux, présente un effet réducteur de la longueur de ressaut et une hauteur aval inférieure que son homologue à fond lisse.

PRINCIPALES NOTATIONS

D	Diamètres, largeur du canal	[m]
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	[m]
L _j *	Longueur du ressaut classique	[m]
P	Pression [N/m ²]	
Q	Débit volume [m ³ /s]	
Q*	Débit relatif	[-]
R _h	Rayon hydraulique	[m]
IRe	Nombre de Reynolds	[-]
s	Hauteur d’un seuil	[m]
S	Hauteur relative d’un seuil	[-]
V	Vitesse d’écoulement	[m/s]
x	Coordonnée longitudinale	[m]
y ₁	hauteur relative amont du ressaut (h ₁ /D)	[-]
y ₂	hauteur relative aval du ressaut (h ₂ /D)	[-]
ε	Rugosité équivalente	[m]
ρ	Masse volumique	[m ³]
ω	Poids spécifique	[N/m ³]

6. REFERENCES

- [1] Achour B., Debabeche M., Ressaut contrôlé par seuil dans un canal profilé en U. Journal of hydraulic research.2003, 46, 97-103
- [2] Debabeche M., Achour B., Ressaut hydraulique classique en canal profilé en ‘‘U’’. 1^{ER} Séminaire Sur L’eau, Université de Mascara, 2000.
- [3] Debabeche M., Kateb S., Ghomri A., Etude du Ressaut Hydraulique dans un canal triangulaire à parois rugueuses. Journal of hydraulic research.2006, 05,187-196
- [4] Ghomri A., Debabeche M., Riguet F., Etude expérimentale évoluant dans un canal profilé en U , à fond rugueux. Revues des sciences fondamentales et

appliquées.2009,01,80-103

[4] Ghomri A., Debabeche M., Riguet F., L'étude Semi-théorique du ressaut hydraulique évoluant dans un canal profilé en U , à fond rugueux . *Revue des sciences fondamentales et appliquées*.2009,01,41-56

[5] Hager W.H, Der Ablufss im U-Profil. *Korrespondenz Abwasser*, 1987, 34(5), 468-482.

[6] Hager W.H., Hydraulic jump in U-channel, *Proc. ASEC, J. Hydraulic Engineering* .1989, 115, 667-675

[7] Rajartnam N., Hydraulic jumps on rough beds, *Transaction of the engineering institute of Canada*, 1968, 11, N° A-2,

[8] Rand W., An approach to generalized design of stilling basins, *Trans. New York Academy of Sciences*, 1957, 20 (2), 173-191.

[9] Achour B. (1998) *Dissipation d'énergie par ressaut*, thèse de doctorat, Université de Tizi-Ouzou.

[10] Debabeche M. (2003). *Ressaut hydraulique dans les canaux prismatiques*. Thèse de doctorat d'état, Université de Biskra.

**EFFET D'UNE RUGOSITE AU RESSAUT HYDRAULIQUE DANS UN CANAL
PROFILE EN "U" A FOND RUGUEUX**

RESUME Cette étude a pour objectif d'étudier le ressaut hydraulique contrôlé par seuil, évoluant dans un canal profilé en 'U' à fond rugueux pour une seule rugosité. Des relations fonctionnelles, en termes adimensionnels, liant les différentes caractéristiques du ressaut, faisant apparaître l'effet de la rugosité du fond du canal, sont obtenues.

Mots clés : Ressaut hydraulique, rugosité, bassin d'amortisseur, canal à fond rugueux.

How to cite this article

Ghomri A, Debabeche M and Riguet F. Effect of roughness to hydraulic projection in an U-shaped channel, with rough bed. J Fundam Appl Sci. 2011, 3(1), 94-110.