



## **ETUDE EXPERIMENTALE DE L'EFFET DE LA RUGOSITE SUR LA HAUTEUR RELATIVE AVAL DU RESSAUT HYDRAULIQUE EVOLUANT DANS UN CANAL PROFILE EN U A FOND RUGUEUX**

**GHOMRI A.<sup>1</sup>, DEBABECHE M.<sup>2</sup>, RIGUET F.<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup>Professeur. Laboratoire de recherche en Génie Civil, Hydraulique, Développement  
durable et Environnement (LARGHYDE), Université de Biskra.

<sup>3</sup>Doctorant, Université de Biskra.

alighomri@yahoo.fr

### **RESUME**

L'étude a pour objectif d'analyser expérimentalement le ressaut hydraulique évoluant dans un canal profilé en U à fond rugueux. Le but principal de l'étude est de trouver une relation générale liant la hauteur relative aval à la rugosité du fond du canal. Cette étude montrera en outre que la rugosité du canal contribue dans la diminution de la hauteur relative aval du ressaut.

**Mots clés :** Ressaut hydraulique, canal profilé en U, bassin d'amortissement, canal à fond rugueux.

### **ABSTRACT**

The study aims to analyze experimentally the hydraulic jump evolving in a U-shaped channel with a rough bottom. The principal goal of the study is to findout a general relationship connecting the relative downstream height and the channel bottom roughness. This study will show also that the channel roughness contributes in the decrease of the downstream height of the jump.

**Keywords :** Hydraulic jump, U-shaped channel, stilling basin, channel rough bottom.

## INTRODUCTION

Le ressaut hydraulique étant le passage de l'écoulement torrentiel vers l'écoulement fluvial, celui-ci est généralement provoqué à l'aval d'un ouvrage hydraulique, tel qu'un barrage, afin de dissiper la charge hydraulique excédentaire qui risque de déstabiliser l'ouvrage. Cependant, le canal en forme de U est très utilisé dans les réseaux principaux d'assainissement pour les avantages qu'il procure, par sa forme demi-circulaire au fond et l'ouverture de sa partie supérieure, permettant un accès facile pour un éventuel nettoyage. Par ailleurs, l'étude pratique du 'ressaut hydraulique profilé en U' impose l'utilisation des rapports adimensionnels suivants :

- le nombre de Froude  $F_1$ ,
- 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)
- le rapport  $Y=h_2/h_1$  des hauteurs conjuguées du ressaut.

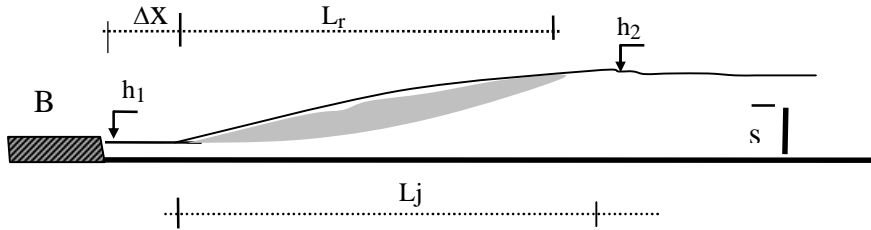
Plusieurs auteurs ont abordé la question du ressaut hydraulique. En effet, pour des raisons pratiques, la majorité des recherches ont concerné les canaux rectangulaires. Cependant, c'est à partir de la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle que les chercheurs ont commencé à s'intéresser à d'autres profils de canaux. Par ailleurs, le canal profilé en U n'a pas reçu beaucoup d'attention relativement à son homologue rectangulaire. Les études les plus connues du ressaut hydraulique en canal profilé en U à fond lisse sont celles de Hager (1987, 1989) et celles plus récemment de Achour et Debabèche (2003). Quant au ressaut en canal à fond rugueux, il a été abordé d'abord par Rajaratnam (1968), qui a expérimenté le ressaut hydraulique en canal rectangulaire à fond rugueux et ensuite par Debabèche et al. (2011) ayant étudié théoriquement le ressaut hydraulique évoluant dans un canal triangulaire à parois rugueuses. Ghomri (2012) a consacré tout un doctorat à l'étude du ressaut hydraulique dans le canal triangulaire à parois rugueuses et le canal profilé en U à fond rugueux.

La présente étude a pour objectif d'analyser expérimentalement le ressaut hydraulique évoluant dans un canal profilé en U à fond rugueux. Le but principal de l'étude est de trouver une relation générale liant la hauteur relative aval à la rugosité relative du fond du canal. Cette étude montrera en outre que la rugosité du canal contribue dans la diminution de la profondeur aval du ressaut.

## POSITION DU PROBLEME

L'étude s'intéresse au ressaut contrôlé par seuil mince en canal profilé en 'U' à fond demi-circulaire rugueux. Afin d'introduire le paramètre rugosité, six épaisseurs de rugosités sont testées :  $\varepsilon$  (mm) = 0 ; 3,55 ; 4,30 ; 5,63 ; 7,14 ; 9,11.

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 roulement  $L_r$ . Ainsi à chaque valeur du nombre de Froude  $F_1$ , correspond une longueur  $L_j$  du ressaut et  $L_r$  du roulement, ainsi qu'une hauteur  $h_2$  à l'aval du ressaut et une hauteur  $s$  du seuil (Figure 1).



**Figure 1:** 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 roulement de surface,  $\Delta x$  distance séparant la boîte en charge B du pied du ressaut, B boîte sous pression.

Les caractéristiques adimensionnelles du ressaut concernées par cette étude sont les suivantes : le nombre de Froude  $F_1$ , la hauteur relative  $S = s/h_1$  du seuil à paroi mince ; la longueur relative  $L_j/h_1$  du ressaut ; la longueur relative  $L_r/h_2$  du roulement, la hauteur relative aval  $y_2 = h_2/D$ , la hauteur relative amont  $y_1 = h_1/D$  et la rugosité relative  $\varepsilon^* = \varepsilon/D$ .

## PROTOCOLE EXPERIMENTAL

### Description du modèle

Le canal de mesure qui nous a servi de banc d'essai (figure 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.



**Figure 1** : Photographie du canal ayant servi à l'expérimentation.

Le fond du canal est parfaitement horizontal (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 directement à l'aide d'un débitmètre

L'alimentation du canal s'effectue par le moyen d'une pompe débitant jusqu'à 34 l/s. Le canal de mesure a été conçu au laboratoire LARHYSS du département d'hydraulique de l'Université de Biskra.

## DESCRIPTION DES ESSAIS

L'expérimentation a été menée sous quatre hauteurs initiales ( $h_1$  (cm) = 2,3 ; 3,40; 5,2 ; 6,1). Une large gamme des nombres de Froude incidents a été ainsi obtenue ( $2,3 < F_1 < 19$ ).

Des seuils de différentes hauteurs sont testés, afin d'observer leur influence sur le contrôle du ressaut ; treize seuils ont ainsi été confectionnés, dont la hauteur s varie entre 3,2cm et 19,8 cm.

Un échantillon constitué d'une quarantaine de points de mesures expérimentales, pour chaque caractéristique, a permis ainsi d'aboutir à des résultats assez significatifs.

Par ailleurs, afin d'obtenir un fond demi-circulaire rugueux avec une répartition quasi uniforme de la rugosité, nous avons procédé, d'abord, par le tamisage du sable brute à l'aide d'un tamiseur électrique composé par plusieurs tamis de différents diamètres normalisés variant entre 1 et 12 mm. Les rugosités

*Etude expérimentale de l'effet de la rugosité sur la hauteur relative aval du ressaut hydraulique évoluant dans un canal profilé en U à fond rugueux*

équivalentes obtenues sont les suivantes :  $\varepsilon$  (mm) = 3,55 ; 4,3 ; 5,63 ; 7,14 et 9,11 (figures 2 et 3).



**Figure 2 :** Photographie de l'échantillon de grains de sable de rugosité équivalente :  $\varepsilon$  (mm) = 5,63 ; 7,14 et 9,11



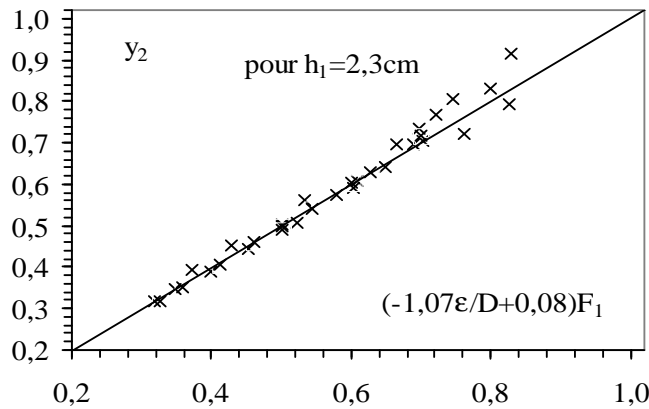
**Figure 3 :** Photographie de grains de sable répartis uniformément sur le fond du canal.

**RESULTATS EXPERIMENTAUX**

**Variation de la hauteur relative aval  $y_2$  en fonction du nombre de Froude  $F_1$  pour  $y_1= 0,0939$ .**

La figure 4 indique que la relation  $y_2 = f(\varepsilon/D, F_1)$  ajuste avec une bonne corrélation les points de mesures expérimentales. L’ajustement des points expérimentaux par la méthode des moindres carrés donne l’équation 1 :

$$y_2 = (-1,07\varepsilon^* + 0,08) F_1 \tag{1}$$



**Figure 4 :** Variation de la hauteur relative aval  $y_2$  en fonction de l’équation (1).  
 (x) Points expérimentaux. ( ) Première bissectrice.

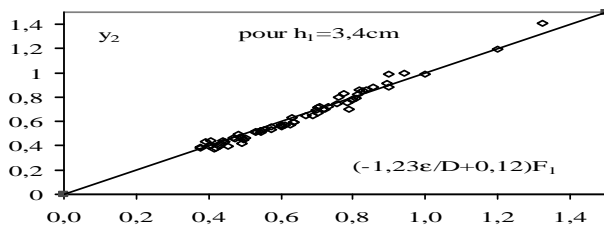
En effet, les écarts relatifs observés entre les valeurs des mesures expérimentales  $y_2 \text{ exp}$  et celles obtenues par l’équation (1) sont en majorité inférieure à 5%.

**Variation de la hauteur relative aval  $y_2$  en fonction du nombre de Froude  $F_1$  pour  $y_1= 0,1388$ .**

La Figure 5 montre également que la relation  $y_2 = f(\varepsilon/D, F_1)$  ajuste avec une bonne corrélation les mesures expérimentales, ce qui donne l’équation statistique suivante :

$$y_2 = (-1,23\varepsilon^* + 0,12) F_1 \tag{2}$$

*Etude expérimentale de l'effet de la rugosité sur la hauteur relative aval du ressaut hydraulique évoluant dans un canal profilé en U à fond rugueux*



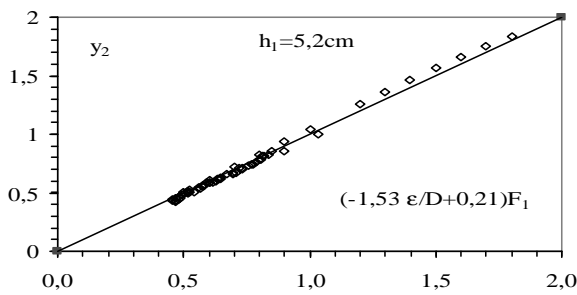
**Figure 5 :** Variation de la hauteur relative aval  $y_2$  en fonction de l'équation (2).  
 ( ) Points expérimentaux. ( ) Première bissectrice.

De même pour cet ajustement les écarts relatifs sont en majorité inférieurs à 5%.

**Variation de la hauteur relative aval  $y_2$  en fonction du nombre de Froude  $F_1$  pour  $y_1=0,2122$ .**

La figure 6 montre que la relation  $y_2=f(\epsilon/D, F_1)$  ajuste, à son tour, avec une bonne corrélation les mesures expérimentales et s'écrit comme suit :

$$y_2 = (-1,53\epsilon^* + 0,21) F_1 \quad (3)$$



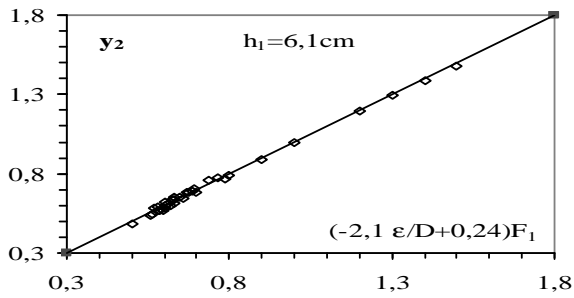
**Figure 6 :** Variation de la hauteur relative aval  $y_2$  en fonction de l'équation (3).  
 ( ) Points expérimentaux. ( ) Première bissectrice.

Les erreurs relatives obtenues sont dans leur majorité inférieur à 5%.

**Variation de la hauteur relative aval  $y_2$  en fonction du nombre de Froude  $F_1$  pour  $y_1=0,2489$ .**

La Figure 7 montre que la relation  $y_2= f(\epsilon/D, F_1)$  ajuste avec une bonne corrélation les mesures expérimentales et l'ajustement statistique donne l'expression suivante :

$$y_2 = (-2,10\varepsilon^* + 0,24)F_1 \quad (4)$$



**Figure 7:** Variation de la hauteur relative aval  $y_2$  en fonction de l'équation (4).  
 ( ) Points expérimentaux. ( ) Première bissectrice.

L'erreur relative est également très acceptable.

**Tableau 1 :** Tableau récapitulatif des relations obtenues pour les quatre ouvertures  $y_1$ .

$y_1$	$y_2$
0,0939	$(-1,07\varepsilon^* + 0,08)F_1$
0,1388	$(-1,23\varepsilon^* + 0,12)F_1$
0,2122	$(-1,53\varepsilon^* + 0,21)F_1$
0,2489	$(-2,10\varepsilon^* + 0,24)F_1$

**Equation générale liant la hauteur relative  $y_2$  aval, le nombre de Froude  $F_1$  de l'écoulement incident, la hauteur relative  $y_1$  amont et la rugosité relative  $\varepsilon^*$ .**

L'équation générale escomptée se présente sous la forme  $y_2 = (A \varepsilon^* + B) F_1$ . Le tableau 2 regroupe les valeurs des coefficients A et B.



**Tableau 2** : coefficients A et B des relations expérimentales.

$y_1$	A	B
0,0939	-1,07	0,08
0,1388	-1,23	0,12
0,2122	-1,53	0,21
0,2489	-2,10	0,24

Un ajustement des couples de valeurs (A,  $y_1$ ) et (B,  $y_1$ ) du tableau 2 donne avec une bonne corrélation les relations linéaires suivantes :  $A = -4y_1 - 0,70$  et  $B = 0,95y_1$ .

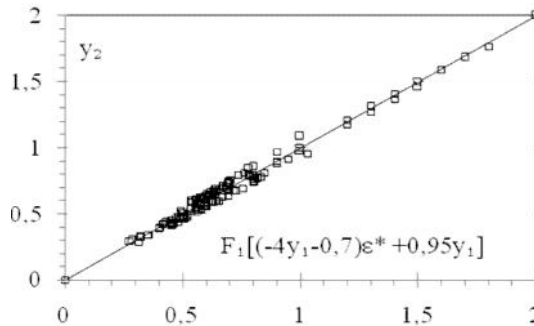
En remplaçant les coefficients A et B par leurs expressions respectives dans la relation générale, l'équation finale s'écrit comme suit :

$$y_2 = F_1[(-4y_1 - 0,7)\varepsilon^* + 0,95y_1] \quad (5)$$

pour  $0 \leq \varepsilon^* \leq 0,0372$

Cette équation montre clairement que l'augmentation de la rugosité engendre la diminution de la profondeur aval et par conséquent la dissipation de la charge hydraulique.

La Figure 8 montre que l'équation (5) ajuste avec une bonne corrélation les mesures expérimentales.



**Figure 8** : Variation de la hauteur relative aval  $y_2$  en fonction de l'équation (5).

( ) Points de mesures expérimentales. ( ) Première bissectrice.

## CONCLUSION

Dans cette étude, l'effet de la rugosité absolue du fond du canal profilé en U, de pente horizontale, sur les caractéristiques du ressaut hydraulique a été examiné. Six valeurs de la rugosité absolue ont été testées.

Dans un premier temps, l'étude s'est intéressée à la variation de la hauteur relative aval du ressaut en fonction du nombre de Froude de l'écoulement incident, pour quatre ouvertures différentes. En outre, l'analyse statistique des points de mesures expérimentales a montré que la hauteur relative aval est liée au nombre de Froude incident et à la rugosité relative du canal, par des équations de type linéaire. Dans un second temps, l'étude s'est intéressée à l'élaboration d'une relation générale liant la hauteur relative aval, le nombre de Froude de l'écoulement incident, la hauteur relative amont et la rugosité relative du canal. Une équation de forme linéaire a été alors obtenue. Il a été observé en outre que l'augmentation de la rugosité engendre la diminution de la profondeur aval et par conséquent la dissipation de la charge hydraulique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHOUR B., DEBABECHE M. (2003). Ressaut contrôlé par seuil dans un canal profile en U, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 41, n° 2, 97-103.
- GHOMRI A. (2005). Thèse de doctorat en sciences hydrauliques, Département d'Hydraulique, Université de Biskra, Algérie.
- HAGER, W.H. (1987), Der Abfluss im U-Profil, *Korrespondenz Abwasser*, Vol. 34, 468-482.
- HAGER, W.H. (1989). Hydraulic jump in U-shaped channel, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 115, n°5, 667-675.
- RAJARTNAM, N. (1968). Hydraulic jumps on rough beds, *Transaction of the Engineering Institute of Canada*, Vol. 11, n° A-2.