

**STUDY OF THE EXPERIMENTAL APPROACH OF THE RELATIVE THRESHOLD  
OF THE HYDRAULIC JUMP EVOLVING IN A RECTANGULAR CHANNEL OF  
COMPOSED SECTION WITH ROUGH MINOR BED**

W. Djamaa<sup>1</sup>, A. Ghomri<sup>2\*</sup>, S. Khechana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of the exploitation and development of natural resources in arid zones,  
Department of Hydraulics and Civil Engineering, University of Ouargla, Algeria

<sup>2</sup>Laboratory of Underground and Surface Hydraulics, Department of Hydraulics and Civil  
Engineering, University of El Oued, Algeria

<sup>3</sup>Resource Exploitation and Development Laboratory Saharan energetics, University of El  
Oued, Algeria

Received: 02 March 2021 / Accepted: 26 April 2021 / Published online: 01 May 2021

**ABSTRACT**

The aim of this experimental study is to analyze the ratio of the relative threshold of the hydraulic jump evolving in a rectangular channel composed with a rough minor bed. functional relations, in dimensionless terms, as a function of the Froude number and of the roughness were obtained.

Indeed, for a fixed initial height  $h_1$ , the increase in the incident Froude number causes both the displacement of the step downstream. therefore, it corresponds to a length  $L_j$  of the step and  $L_r$  of the roll, as well as a height  $h_2$  downstream of the step and a height  $S$  of the threshold..

**Keywords:** roughness; compound channel; relative threshold; hydraulic jump; rough minor bed, thin wall threshold.

Author Correspondence, e-mail: [alighomri@yahoo.fr](mailto:alighomri@yahoo.fr)

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v13i2.24>



## 1. INTRODUCTION

Notre étude concerne l'établissement de l'approche empirique de la hauteur relative de seuil pour un ressaut hydraulique contrôlé par seuil à paroi mince évaluant dans un canal rectangulaire de forme composée avec lit mineur rugueux. L'étude bibliographique montre clairement que les caractéristiques adimensionnelles fondamentales, intervenant au phénomène du ressaut hydraulique qui s'évolue dans un canal rectangulaire de forme composée [1] sont le nombre de Froude incident  $F_1$  ou le débit volume relatif  $Q^*$ , la hauteur amont  $h_1$  ( $h_1$  est la hauteur au pied du ressaut), la hauteur aval  $h_2$  ( $h_2$  est la hauteur maximale mesurée à l'aval du ressaut) et le rapport  $S/h_1$  est la hauteur relative de seuil du ressaut hydraulique.

L'objectif primordial de notre étude expérimentale est d'élaborer des approches purement empiriques de la hauteur relative de seuil pour un ressaut hydraulique évoluant dans un canal rectangulaire de section composée à fond rugueux ainsi d'apparaître l'effet de la rugosité testée expérimentalement sur les caractéristiques du ressaut hydraulique.

## 2. POSITION DU PROBLEME

La modification des conditions à l'amont (nombre de Froude, hauteurs, débit, .....etc.) et à l'aval (type d'obstacle, sa position, sa hauteur, ...etc.) [2], peut conduire à différentes configurations de ressaut. On appelle ressaut classique lorsqu'il se forme dans un canal rectangulaire de pente faible ou nulle[3], sans obstacle à l'aval. Aussi on l'appelle contrôler lorsque sa formation est conditionnée par la mise en place d'un obstacle à l'aval de l'écoulement [4]. Il est dit forcé lorsqu'il se forme de part et d'autre de l'obstacle [2]. Le ressaut hydraulique peut évoluer dans des canaux prismatiques ou non prismatiques, à fond lisse [5] ou rugueux [9].

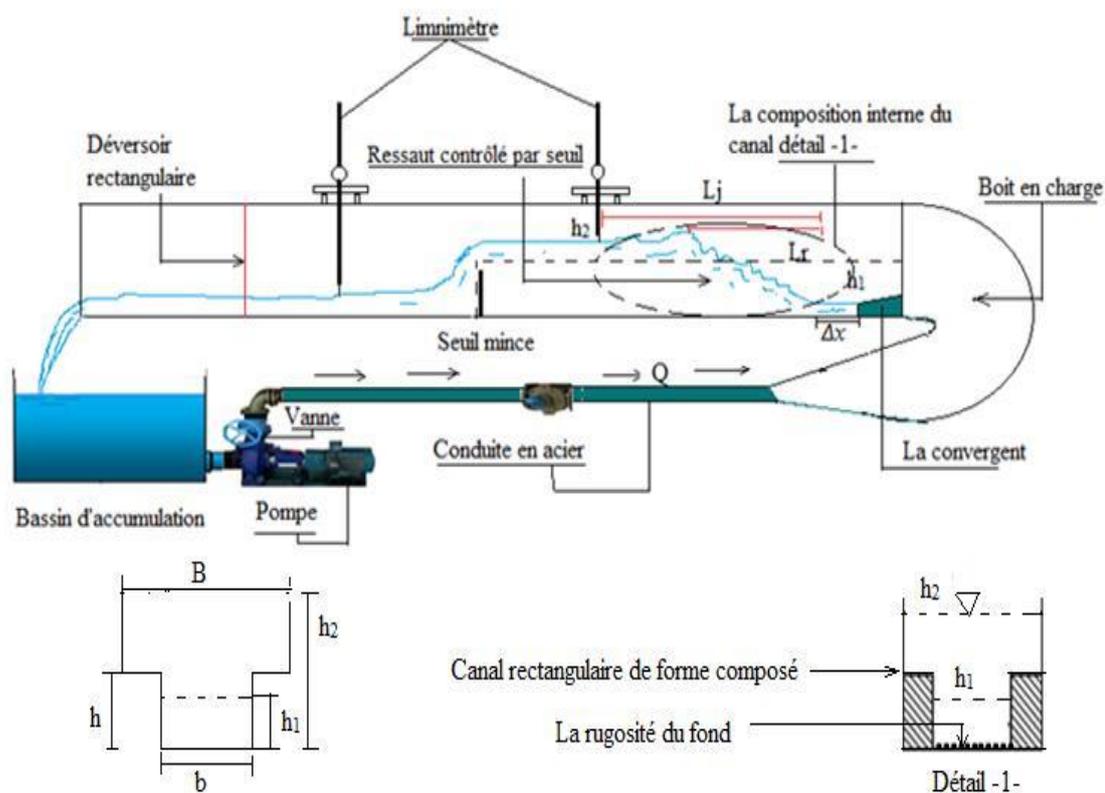
Pour notre étude qui se présente est un ressaut hydraulique contrôlé par seuil à paroi mince qui s'évolue dans un canal rectangulaire de section composée à fond rugueux avec différentes ouvertures  $h_1$  (photographie 1). Ainsi, Pour une hauteur initiale  $h_1$  fixe, plusieurs mesures expérimentales avec des différentes hauteurs de seuil et des différentes rugosités relatives  $\varepsilon/b$  ont été obtenues.

Les caractéristiques hydrauliques et géométriques s'intéressant pour notre étude expérimentale sont : le débit relatif  $Q^*$  ou nombre de Froude incident  $F_1$ , la hauteur  $h_1$  de l'écoulement incident, la hauteur finale  $h_2$  du ressaut, la hauteur relative de seuil  $S/h_1$  et la rugosité relative  $\varepsilon/b$ . par conséquent les paramètres adimensionnels suivants :

- Le nombre de Froude  $F_1$  tel que :  $F_1 = Q / (gb^2 h_1^3)$  [6]
- Le rapport  $S/h_1$  de la hauteur de seuil du ressaut hydraulique.

### 3. DESCRIPTION DES ESSAIS

Notre étude expérimentale s'est intéressée au ressaut hydraulique contrôlé par un seuil à parois mince évoluant dans un canal rectangulaire de section composée avec lit mineur rugueux au niveau du Laboratoire d'exploitation et valorisation des ressources naturelles en zones aride (EVRNZA) [6] du Département de Génie civil et Hydraulique de l'Université d'Ouargla. Le fond du canal d'expérimentation est parfaitement horizontal (de pente nulle). Un bassin d'alimentation est relié au canal par le moyen d'une conduite circulaire de 150 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 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. L'alimentation du canal s'effectue par le moyen d'une pompe débitant jusqu'à 55.55 l/s.



**Fig.1.** Schéma de définition du ressaut hydraulique contrôlé par seuil continu à paroi mince en canal rectangulaire de section composée à fond rugueux. [7]



**Photographie 1.** Photographie du canal d'expérience rectangulaire de section composée à fon rugueux

L'expérimentation a été menée sous cinq hauteurs initiales de l'écoulement :  $h_1(\text{cm}) = 2 ; 2.5 ; 3 ; 3.5$  et  $4$ . La formation du ressaut contrôlé est conditionnée par la mise en place d'un seuil à l'aval de l'écoulement. Nous avons utilisé des seuils de différentes hauteurs (2.5 cm au 21cm)

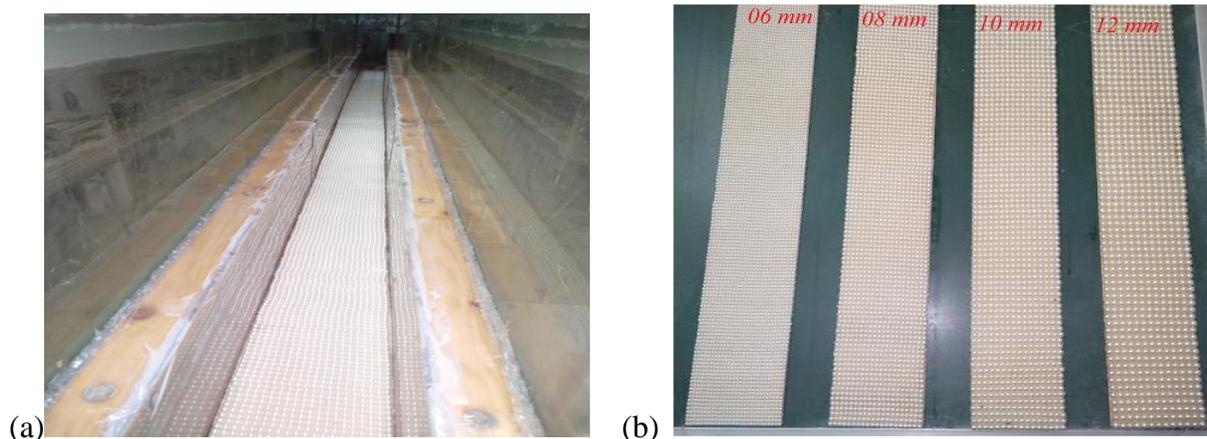
pour la formation et le contrôle du ressaut (Photographie 2).



**Photographie 2.** Les seuils à paroi mince 2.5 à 21 cm

Concernant le fond rugueux du canal, nous avons testé des différentes rugosités qui sont imposées au fond du canal de section composée, les étapes de préparation des rugosités sont suivantes :

1. Nous avons collé des boules en plastique sur un tapis de manière linéaire et régulière, sur 4 mètres du canal d'essai.
2. Les tapis rugueux obtenus, sont soigneusement collés sur le lit mineur du canal ectangulaire de section composée.
3. Les rugosités obtenues sont :  $\varepsilon=06$  mm,  $\varepsilon=08$  mm,  $\varepsilon=10$  mm et  $\varepsilon=12$  mm



**Photographie .3.** (a) Photographie d'un tapis rugueux soigneusement collé sur le fond du canal rectangulaire de section composée. (b) Photographie des quatre tapis rugueux :  $\varepsilon = 06$  mm,  $\varepsilon = 08$  mm,  $\varepsilon = 10$  mm et  $\varepsilon = 12$  mm [7]

Ainsi pour une configuration du ressaut contrôlé obtenue, 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.
2. Calcul du débit volume correspondant, par application de la relation du débitmètre rectangulaire (HachemiRachedi L.2006) : [8]

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

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.

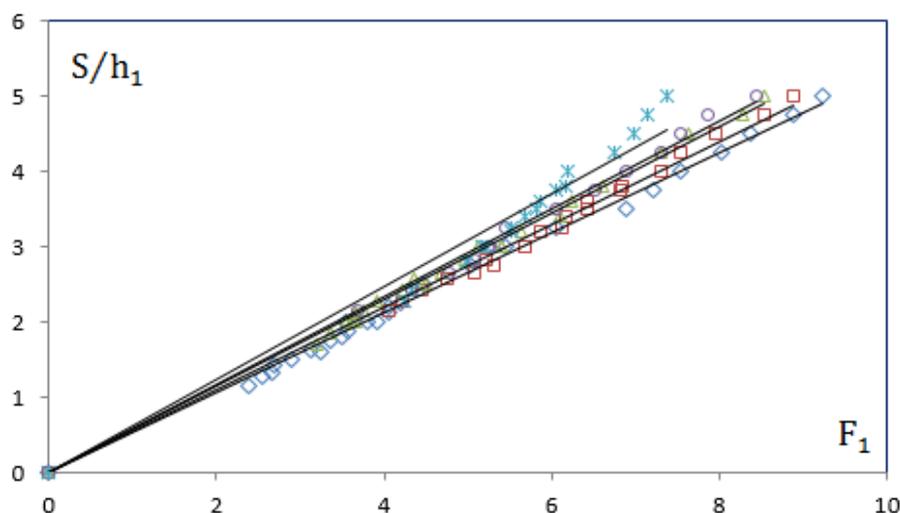
## 4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 4.1. Variation de la hauteur relative du seuil $S/h_1$ en fonction du Froude $F_1$

#### 4.1.1 Variation de la hauteur relative du seuil $S/h_1$ en fonction du Froude $F_1$ dans le lit mineur ( $0 < h_2 < 20$ cm).

La figure (2) montre la représentation graphique de la variation de la hauteur relative  $S/h_1$  en fonction du nombre de Froude  $F_1$  incident pour cinq valeurs de rugosités absolues :  $\varepsilon = 0$  mm ;  $\varepsilon = 06$  mm ;  $\varepsilon = 08$  ;  $\varepsilon = 10$  mm, et  $\varepsilon = 12$  mm.

On remarque cinq nuages de points distincts, correspondant chacun à une rugosité fixée. Par ailleurs, l'analyse des points de mesures expérimentales du ressaut à fond rugueux, montre qu'à chaque rugosité " $\varepsilon$ ", correspond une courbe de type linéaire de la forme  $Y=a_1(F_1)$ .



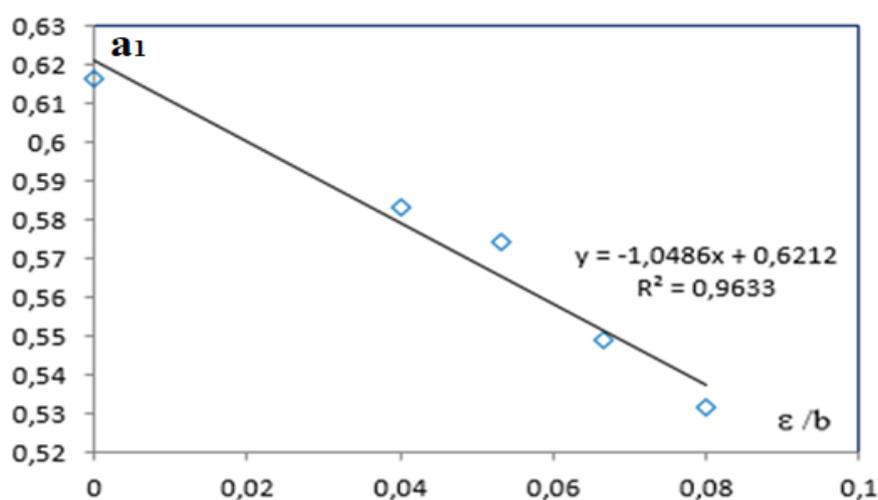
**Fig.2.** Variation de la hauteur relative  $s/h_1$  en fonction du nombre de Froude, pour cinq valeurs différentes de " $\varepsilon$ " : ( $\square$ ) 12 mm ; ( $\square$ ) 10 mm ; ( $\triangle$ ) 08 mm ; ( $\circ$ ) 06 mm et ( $*$ ) 0 mm.

(—) Courbes d'ajustements

L'analyse de ces résultats montre que la hauteur relative  $s/h_1$  augmente au fur et à mesure que le nombre de Froude  $F_1$  augmente aussi et ceci pour toutes les rugosités. En outre, l'augmentation relative de la rugosité  $\varepsilon/b$  provoque la diminution de la hauteur relative  $s/h_1$ .

Le tableau (1) regroupe les valeurs du coefficient  $a_1$ .

| $\varepsilon / b$ | Coefficient $a_1$ | $R^2$  |
|-------------------|-------------------|--------|
| 0,08              | 0.5314            | 0,9962 |
| 0,06666667        | 0.5489            | 0,9937 |
| 0,05333333        | 0.5741            | 0,9964 |
| 0,04              | 0.5835            | 0,9956 |
| 0                 | 0.6166            | 0,962  |



**Fig.3.** Variation du coefficient "  $a_1$  " en fonction de la rugosité relative  $\varepsilon/b$  dans le lit mineur

L'ajustement des couples de valeurs ( $a_1$ ,  $\varepsilon/b$ ) du tableau ci-dessus a permis d'aboutir avec une bonne corrélation par la méthode des moindres carrés selon la relation linéaire suivante :

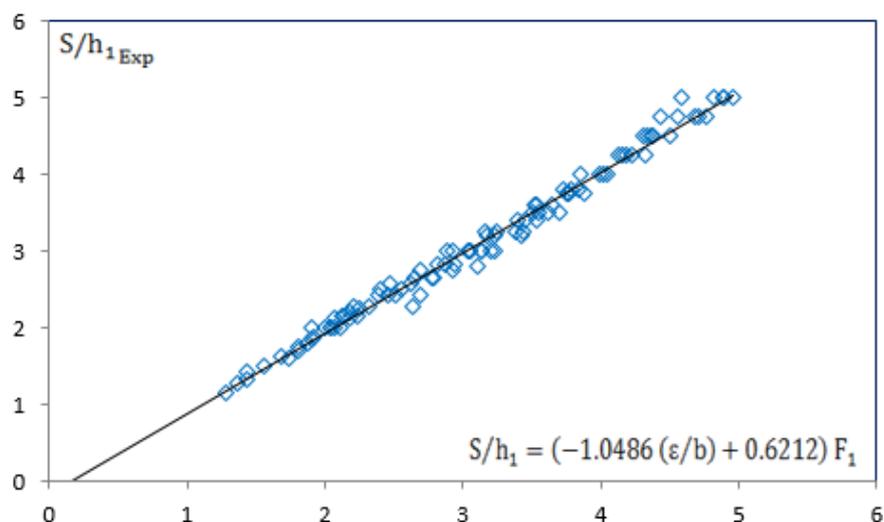
$a_1 = (-1.0486 * \varepsilon/b + 0.6212)$  , avec  $R^2 = 0,9633$ . Cette équation est présentée par la figure (3).

L'équation liant la hauteur relative  $S/h_1$ , le nombre de Froude  $F_1$  et la rugosité relative  $\varepsilon/b$  s'écrit alors :

$$S/h_1 = (-1.0486 * \varepsilon/b + 0.6212) F_1 \quad (2)$$

Pour  $0 \leq \varepsilon / b \leq 0.08$

La figure (4) montre également que la relation  $S/h_1 = f(\varepsilon / b, F_1)$  ajuste avec une bonne Corrélation pour le lit mineur en majorités des points de mesures expérimentales obtenues et ces derniers suivent parfaitement la première bissectrice.



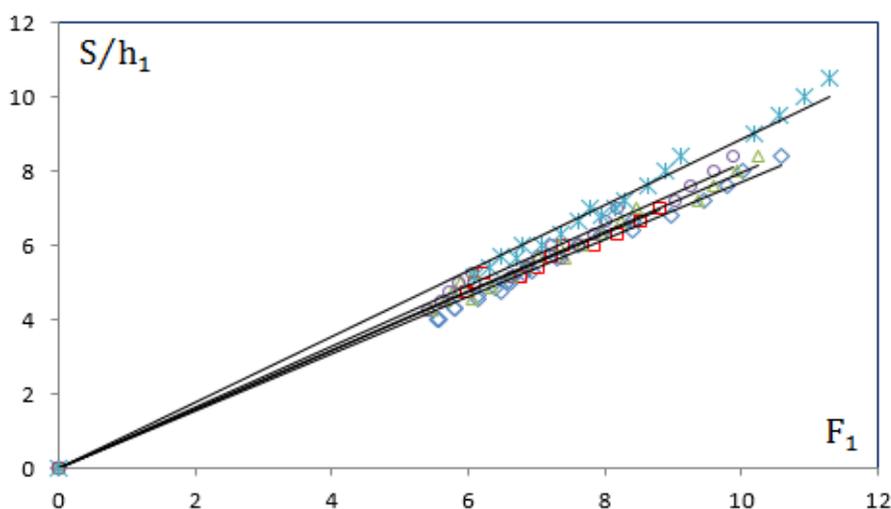
**Fig.4.** Variation de la hauteur relative  $S/h_1$  en fonction de  $f(\varepsilon/b, F_1)$ .

(□) Les points expérimentaux du ressaut hydraulique contrôlé à fond rugueux.

(—) Première bissectrice

#### 4.1.2. Variation de la hauteur relative du seuil $s/h_1$ en fonction du nombre de Froude $F_1$ dans le lit majeur ( $20 \text{ cm} < h_2 < 50 \text{ cm}$ )

nous avons tracé le graphique du variation de la hauteur relative  $S/h_1$  en fonction du nombre de Froude  $F_1$  pour cinq valeurs de rugosité relative  $\varepsilon/b$  pour le lit majeur.



**Fig.5.** Variation de la hauteur relative  $S/h_1$  en fonction du nombre de Froude dans le lit majeur, pour cinq rugosités différentes testées " $\varepsilon$ ". (□) 12 mm ; (□) 10 mm ; (△) 08 mm ; (○) 06 mm et

(\*) 0 mm,

(—) Courbes d'ajustements.

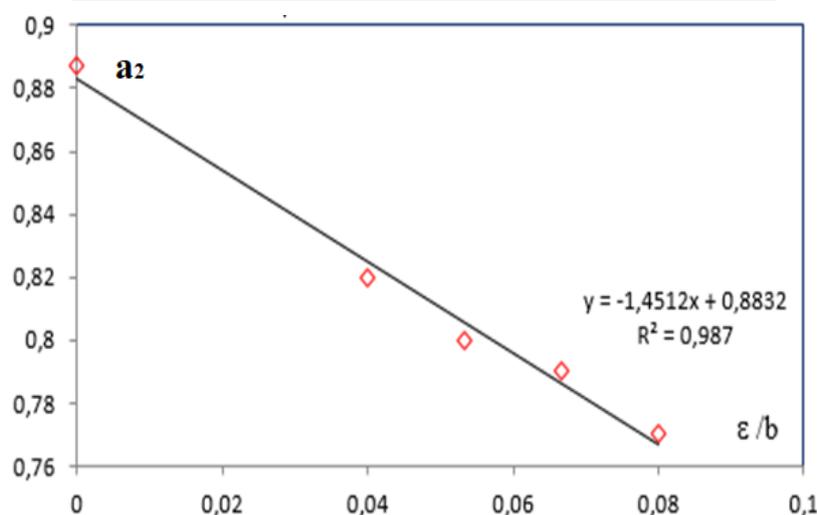
On remarque cinq allures de points distincts dont chacun dépend d'une rugosité bien déterminée. Par ailleurs, l'analyse des points de mesures expérimentales du ressaut à fond rugueux pour le lit majeur, montre aussi qu'à chaque valeur de rugosité " $\varepsilon$ " correspond une courbe de type linéaire de la forme  $S/h_1 = a_2(F_1)$ .

L'analyse de ces résultats montre que la hauteur relative  $s/h_1$  augmente au fur et à mesure que le nombre de Froude  $F_1$  augmente aussi et ceci pour toutes les rugosités. En outre, l'augmentation relative de la rugosité  $\varepsilon/b$  provoque la diminution de la hauteur relative  $s/h_1$ , ceci est dû à la rugosité du fond du canal qui engendre la compacité du ressaut hydraulique.

Le tableau (2) regroupe les valeurs du coefficient  $a_2$ .

**Tableau 2.** Coefficient  $a_2$  des courbes d'ajustement

| $\varepsilon / b$ | Coefficient ( $a_2$ ) | $R^2$  |
|-------------------|-----------------------|--------|
| 0,08              | 0.7703                | 0,9912 |
| 0,0667            | 0.7904                | 0,9922 |
| 0,0533            | 0.7999                | 0,9883 |
| 0,04              | 0.8198                | 0,9874 |
| 0                 | 0.8871                | 0,9904 |



**Fig.6.** Variation du coefficient " $a_2$ " en fonction de la rugosité relative  $\varepsilon/b$  dans le lit mineur

L'ajustement des couples de valeurs ( $a_2$ ,  $\varepsilon/b$ ) du tableau ci-dessus a permis d'aboutir avec une bonne corrélation par la méthode des moindres carrés selon la relation linéaire suivante :

$$a_2 = (-1.4512 \cdot \varepsilon/b + 0.8832), \text{ avec } R^2 = 0,987. \text{ Cette équation est présentée par la figure (6).}$$

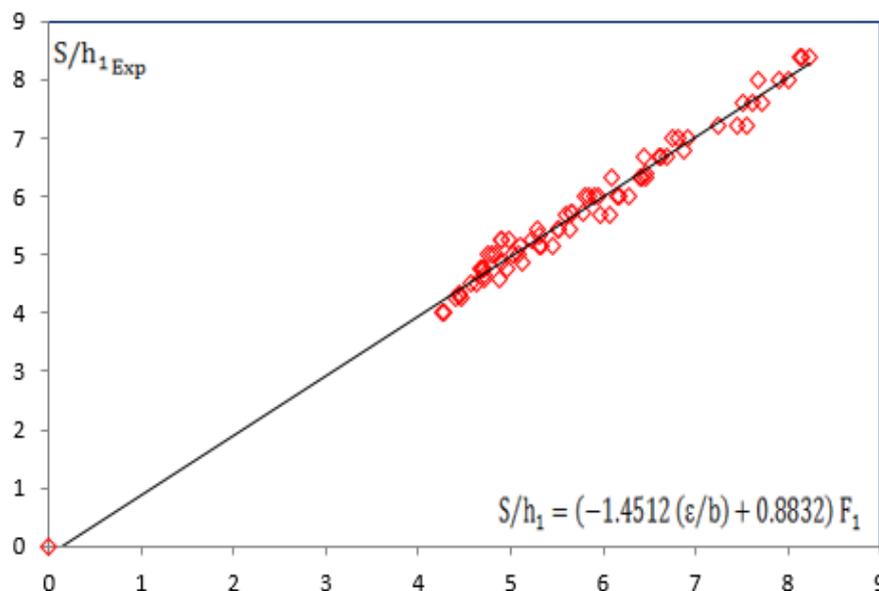
L'équation liant la hauteur relative  $S/h_1$ , le nombre de Froude  $F_1$  et la rugosité relative  $\varepsilon/b$

s'écrit alors :

$$S/h_1 = (-1.4512 \cdot \varepsilon/b + 0.8832) F_1 \quad (3)$$

Pour  $0 \leq \varepsilon/b \leq 0.08$

La figure (7) montre également que la relation  $S/h_1 = f(\varepsilon/b, F_1)$  ajuste avec une bonne Corrélation pour le lit majeur en majorités des points de mesures expérimentales obtenues et ces derniers suivent parfaitement la première bissectrice.



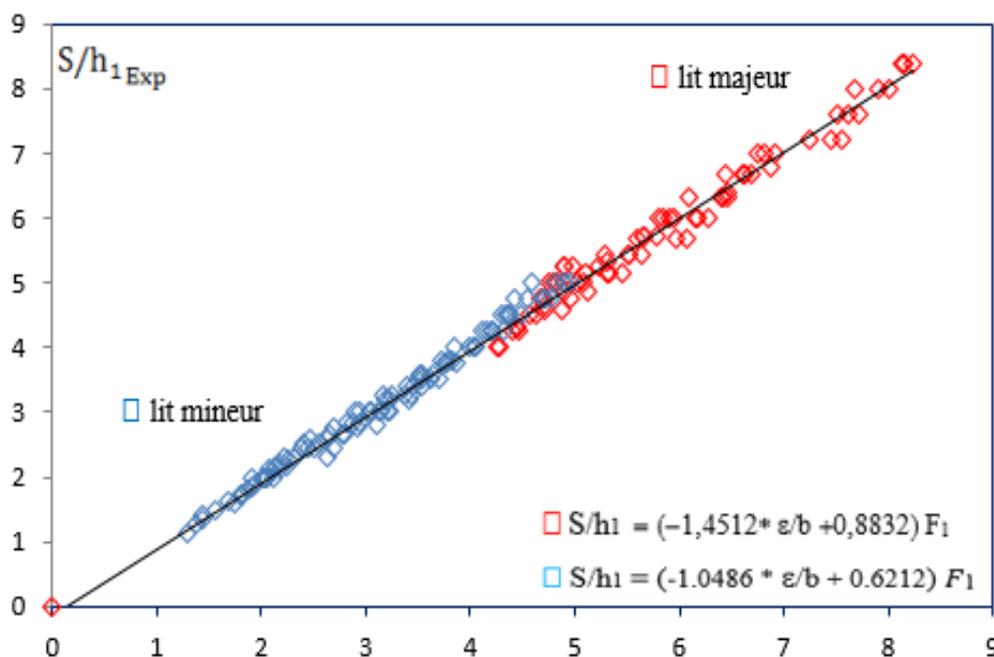
**Fig.7.** Variation de la hauteur relative  $S/h_1$  en fonction de  $f(\varepsilon/b, F_1)$ .

(□) Les points expérimentaux du ressaut hydraulique contrôlé à fond rugueux.

(—) Première bissectrice.

La figure (8) montre la variation de la hauteur relative  $S/h_1$  expérimentale en fonction de  $f(\varepsilon/b, F_1)$  du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée.

Cette figure indique la comparaison entre des mesures expérimentales la hauteur relative  $S/h_1$  avec leurs relations globales empiriques obtenues pour les deux lits du canal rectangulaire de section composée.



**Fig.8.** La variation de la hauteur relative  $S/h_1$  expérimentale en fonction de  $f(\varepsilon/b, F_1)$  pour les deux cas (□lit mineur ; □lit majeur)

## 5. CONCLUSION

A partir des essais et des résultats obtenus au niveau du laboratoire, il ressort que l'effet de la rugosité apparaît clairement sur les caractéristiques ce type du ressaut hydraulique étudié par contre l'effet l'ouverture  $h_1$  n'apparaît plus sur leurs caractéristiques.

Dans un premier temps, l'étude s'est intéressée à la variation de la hauteur relative du seuil  $S/h_1$  en fonction du nombre de Froude  $F_1$  pour cinq ouvertures différentes et cinq rugosités testées expérimentalement pour les deux lits du canal d'expérimentation. En second temps, on constate que l'augmentation du nombre de Froude  $F_1$  entraîne celle de la hauteur relative du seuil du ressaut hydraulique  $S/h_1$  pour les deux lits du canal. Parailleurs, pour le même nombre de Froude  $F_1$ , la hauteur relative du seuil  $S/h_1$  dimunie avec l'augmentation de la rugosité relative  $\varepsilon/b$  imposé au fond du canal d'expérimentation. En dernier temps, Nous pouvons conclure, que pour une gamme des nombres de Froude et des différentes rugosités testées, le ressaut hydraulique en canal rectangulaire de section composée, présente deux approches expérimentales globales  $S/h_1 = f(F_1, \varepsilon/b)$  par lesquelles on pourrait utiliser aux dimensionnements des ouvrages annexes tel que le bassin d'amortissement.

Finalement on pourrait juger que le ressaut hydraulique évoluant dans un canal rectangulaire de section composée présente un effet réducteur aux caractéristiques de l'écoulement en lit

mineur plus que le lit majeur.

## 6. RINCIPALES NOTATIONS

b largeur du lit mineur du canal [m]

B Largeur du lit majeur [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]

h Hauteur de plein bord du lit mineur [m]

S La hauteur de seuil [m]

$S/h_1$  La hauteur relative de seuil du ressaut [ ]

Q Débit volume [ $m^3/s$ ]

$\varepsilon$  Rugosité absolue [m]

$\varepsilon/b$  rugosité relative [ ]

## 7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Khattaoui, M., Achour, B., (2012). Ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire composé. Revue scientifique et technique LJEE N°20.

[2] Debabeche, M., Ressaut hydraulique dans les canaux prismatiques. Thèse de doctorat d'état, Département d'Hydraulique, Université de Biskra, Algérie, 2003.

[3] Achour, B., Dissipation d'énergie par ressaut, thèse d'état. Université de Tizi-Ouzou, Institut de Génie-Civil, 1998.

[4] Achour, B., Debabeche, M., Ressaut contrôlé par seuil dans un canal profile en U. Journal of hydraulicresearch, Vol. 41 (02), pp. 97-103, 2003.

[5] Achour, B., (2000). Ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie. JHR 2000 ; 38(4) : 307-311.

[6] Djamaa.W., Ghomri. A., (2020). Study of experimental approach of the relative length of the surface role of the hydraulic jump evolving in a rectangular channel of section composed with rough bottom; Journal of Fundamental and Applied Sciences ISSN 1112-9867.

- 
- [7] Senna.L., Ghomri.A., Kateb.S. (2021). Contribution To The Study Of The Semi Theoretical Approach Of The Hydraulic Jump In A Rectangular Channel Of Compound Section With Rough Major Bed; Journal of Fundamental and Applied Sciences ISSN 1112-9867.
- [08] Hachemi Rachedi, L., (2006). Analyse d'un écoulement au travers d'une contraction latérale, mémoire de magistère en science hydrauliques, Département d'hydraulique, Université de Biskra, Algérie.
- [9] Nouacer.B., Kateb.S., Abd Elouahed.B., (2021). Experimental Approach To The Length Of The Threshold-Controlled Hydraulic Flow In A Rectangular Channel With A Rough Bottom; Journal of Fundamental and Applied Sciences ISSN 1112-9867.

**How to cite this article:**

Djamaa W, Ghomri A, Khechana S. Study of the experimental approach of the relative threshold of the hydraulic jump evolving in a rectangular channel of composed section with rough minor bed. J. Fundam. Appl. Sci., 2021, 13(2), 1079-1092.