

EXPERIMENTAL STUDY OF HYDRAULIC JUMP EVOLVING IN AN U-SHAPED CHANNEL, WITH ROUGH BED

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

Laboratoire de recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS)
Université de Biskra, BP 145 RP 07000 Biskra, Algérie

Received: 08 November 2009 / Accepted: 22 December 2009 / Published online: 31 December 2009

ABSTRACT

This study aims to examine and analyze the experimental approach of controlled hydraulic jump threshold, moving in a channel profile 'U' bottom rough, linking the different characteristics of projection, showing the effect of roughness of the bottom .

Key words: hydraulic jump, channel profile 'U', rough bottom canal, roughness

1. INTRODUCTION

L'étude se propose d'étudier et d'analyser l'approche expérimentale du ressaut hydraulique contrôlé par seuil en canal profilé en "U" à fond rugueux. 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.

À l'exception des travaux de Hager (1987, 1989) et ceux plus récemment de Debabeche (2003) et Achour et Debabeche (2003) qui ont concerné, le ressaut hydraulique en canal profilé en U à fond lisse, ce type de ressaut n'a pas reçu beaucoup d'attention.

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

[ICID: 1040459](https://doi.org/10.1007/s10445-009-0000-0)

Quant au ressaut en canal à fond rugueux, à notre connaissance l'étude la plus connue est celle de Rajaratnam (1968), qui a expérimenté le ressaut hydraulique en canal rectangulaire à fond rugueux également celle de Kateb (2005) relative au ressaut hydraulique en canal triangulaire à paroi rugueuse. A notre connaissance, le canal profilé en 'U' à fond rugueux, n'a pas connu une étude détaillée jusqu'à ce jour. C'est dans le but de combler cette lacune que cette étude a été proposée.

2. POSITION DU PROBLEME

La modification des conditions à l'amont (débit, hauteurs,...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. 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 mince en canal profilé en 'U' à fond demi-circulaire rugueux. Six rugosités équivalentes sont étudiées :

$$\varepsilon = 0,00\text{mm} ; \varepsilon = 3,55\text{mm} ; \varepsilon = 4,30\text{mm} ; \varepsilon = 5,63\text{mm} ; \varepsilon = 7,14\text{mm} ; \varepsilon = 9,11\text{mm}$$

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 5cm de la sortie du convergent, le premier seuil de hauteur s doit être surélevé. Ainsi à chaque valeur du nombre de Froude IF_1 ou 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 (Figure 1).

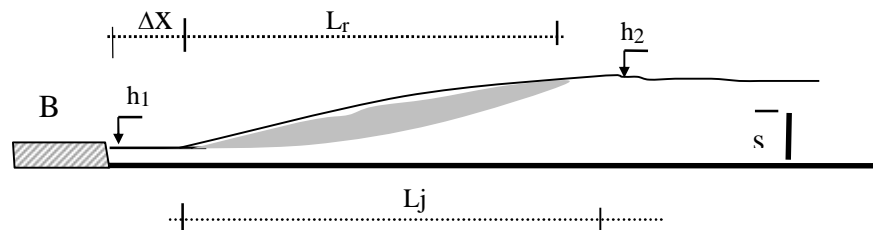


Fig.1. Ressaut contrôlé par seuil mince. h_1 hauteur d'eau amont, h_2 hauteur d'eau aval, s hauteur du seuil, L_r longueur du rouleau de surface, Δx distance séparant la boîte en charge B du pied du ressaut, B boîte en charge.

L'objectif principal de cette étude est d'étudier l'approche expérimentale du ressaut hydraulique contrôlé par seuil, évoluant dans un canal profilé en 'U' à fond rugueux.

Les caractéristiques adimensionnelles du ressaut, concernées par cette étude sont les suivantes : le nombre de Froude IF_1 ; le débit relatif Q^* ; 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_j/h_2 du ressaut; la hauteur relative aval $y_2 = h_2/D$; la hauteur relative amont $y_1 = h_1/D$; la rugosité relative ε/D .

Il est nécessaire de noter que le régime d'écoulement de toutes les expérimentations réalisées, se situe dans le domaine du turbulent de transition.

3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

- **Description du modèle**

Le canal de mesure qui nous a servi de banc d'essai (photographie1) est constitué essentiellement d'une rigole demi-circulaire en 'pvc' de 5,67m de longueur, et de diamètre 24,5cm sur laquelle est fixée latéralement, d'un coté une tôle en aluminium de 0,50m de hauteur et de l'autre coté 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.



Photo1. 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 100mm 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 (Figure 1). 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' de l'Université de Biskra.

- **Description des essais**

L'étude expérimentale s'est intéressée au ressaut contrôlé par seuil à paroi mince dans un canal profilé en "U", à fond demi-circulaire rugueux.

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 ($2,3 < IF_1 < 19$).

Des seuils de différentes hauteurs s ont été 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.

Pour une hauteur s et une position x 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 en outre le calcul du nombre de Froude IF_1 de l'écoulement incident. L'accroissement de IF_1 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 5cm de la sortie du convergent, le seuil de hauteur s doit être surélevé. Ainsi à chaque valeur du nombre de Froude IF_1 correspond une valeur de la longueur L_j de ressaut et une valeur de la hauteur s du seuil. Un échantillon constitué d'une quarantaine 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_r du rouleau de surface et la longueur L_j du ressaut, compté à partir du début du ressaut.

Ceux-ci permettent de composer les produits adimensionnels suivants :

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

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

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

$$r(rd) = a \cos(1 - 2y_1)$$

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

- la hauteur relative amont $y_1 = h_1/D$,
- la hauteur relative aval $y_2 = h_2/D$,
- le rapport $Y = h_2/h_1$ des hauteurs conjuguées du ressaut.
- la hauteur relative $S = s/h_1$ du seuil,
- la longueur relative L_j/h_1 du ressaut,
- la rugosité relative ε/D .

- **Description du mode de préparation de la rugosité du fond du canal**

Afin d'obtenir un fond demi-circulaire rugueux, avec une répartition uniforme de la rugosité, nous avons procédé selon les étapes suivantes :

- Le tamisage du sable ou gravier de granulométrie différente est effectué par le moyen d'un tamiseur électrique composé par plusieurs tamis de différents diamètres normalisés variant entre 1 et 12mm (photographie 3), avec des temps de tamisage bien fixés en relations avec la gamme de gravier à tamiser (moins de 5 minutes).
- Après l'obtention de la gamme de gravier voulue, ce dernier est lavé puis séché.
- Les gammes choisies, varient entre 3 et 12mm selon le refus du tamis normalisé. Les particules obtenues sont ensuite uniformément réparties sur une toile en plastique (photographie 4), puis collées par le moyen d'une colle forte.
- Enfin, les rugosités équivalentes obtenues sont: $\varepsilon = 3,55\text{mm}$ $\varepsilon = 4,3\text{mm}$ $\varepsilon = 5,63\text{mm}$
- $\varepsilon = 7,14\text{mm}$ et $\varepsilon = 9,11\text{mm}$



photo 2.a) Echantillon de grains de gravier de rugosité équivalente $\varepsilon = 3,55\text{mm}$ et $\varepsilon = 4,3\text{mm}$, b) $\varepsilon = 5,63\text{mm}$ $\varepsilon = 7,14\text{mm}$ $\varepsilon = 9,11\text{mm}$



Photo 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^* ($y_1=0,0939$)

La Figure 1 montre la représentation graphique de la variation de la hauteur relative h_2/D du ressaut en fonction du débit relatif Q^* de l'écoulement incident, pour les six rugosités absolues testées. Six nuages de points distincts sont ainsi perceptibles, correspondant chacun une rugosité relative ϵ/D . Nous pouvons constater que pour une rugosité ϵ/D relative donnée, l'augmentation du débit relatif Q^* engendre celle de la hauteur relative h_2/D . En outre, pour une valeur donnée du débit relatif Q^* , l'augmentation de la rugosité relative ϵ/D provoque la diminution de la hauteur relative h_2/D .

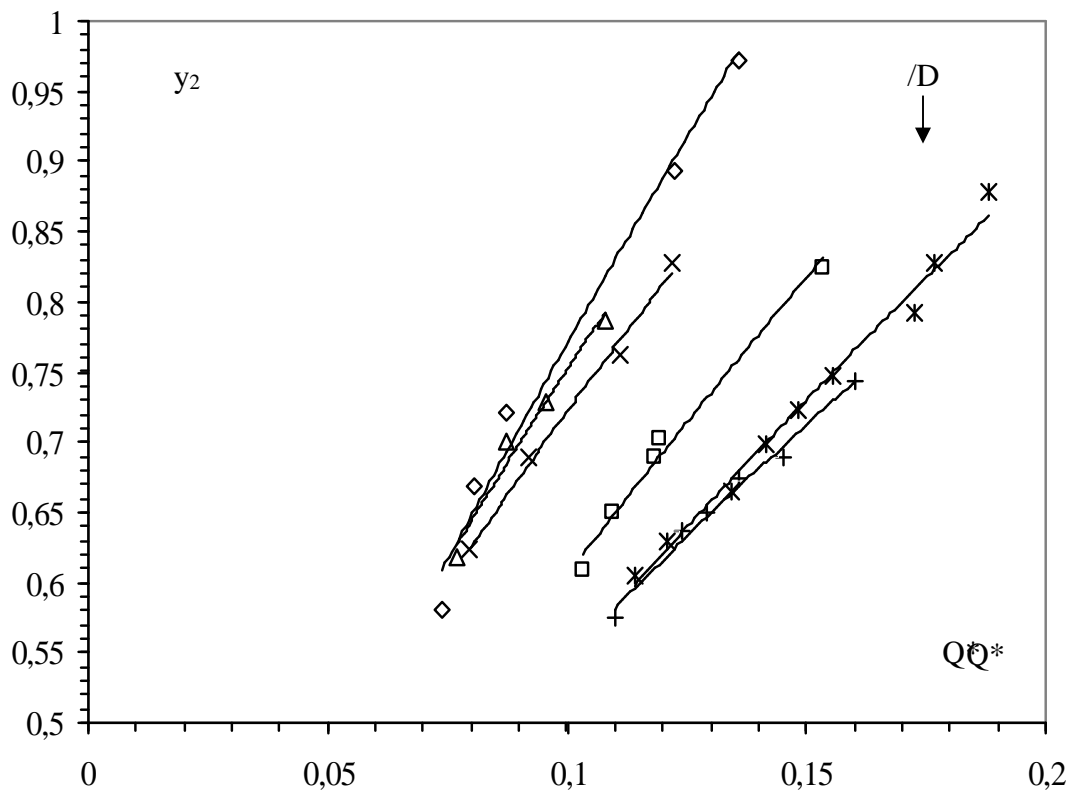


Fig.1. Variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif Q^* , pour six valeurs de la rugosité relative ϵ/D : (\diamond) 0,000 (\triangle) 0,0145, (\square) 0,0175, (\circ) 0,023, ($*$) 0,0291, et (+) 0,0372 (\emptyset) courbes d'ajustement

Par ailleurs, l'analyse statistique des points de mesures expérimentales par la méthode des moindres carrés non linéaire, a montré que pour chacune des rugosité relatives ϵ/D

testées, la hauteur relative aval y_2 est en dépendance de débit relatif Q^* selon la relation suivante:

$$y_2 = a_1 Q^{*b_1} \quad (1)$$

Le tableau 1 regroupe les valeurs des coefficients a_1 et b_1 ainsi que celles du coefficient de corrélation R^2 issues de l'ajustement effectué

Tableau 1. Valeurs des coefficients a_1 et b_1 de la relation (1)

y_1	v/D	Coefficient a_1	Coefficient b_1	R^2
0.0939	0.0000	4,6427	0,7801	0,98
0.0939	0.0145	3,6958	0,6918	0,98
0.0939	0.0230	3,3470	0,7430	0,98
0.0939	0.0291	2,9110	0,7290	0,99
0.0939	0.0372	2,4620	0,6537	0,99

Le tableau 1 montre ainsi que le coefficient a_1 diminue avec l'augmentation de la Rugosité relative v/D et La variation de $a_1(v/D)$ est représentée graphiquement sur la figure 2.

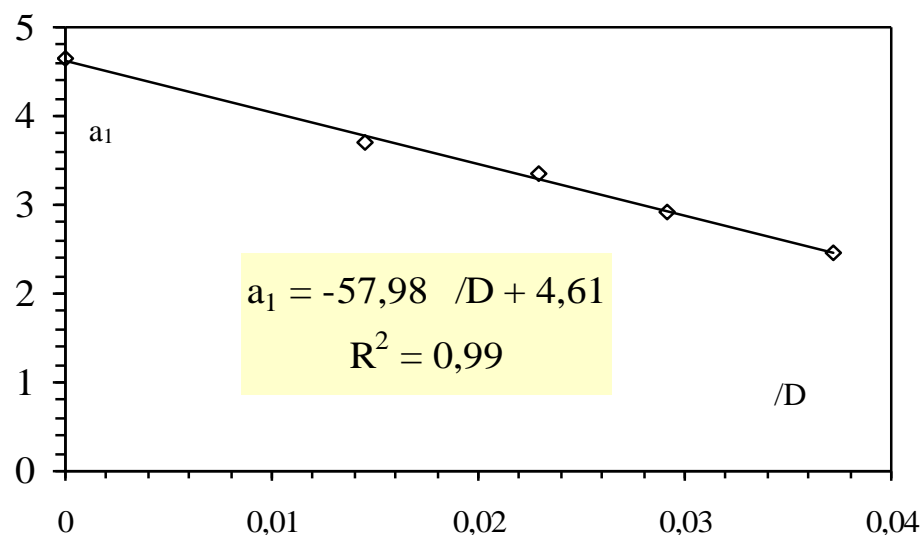


Fig.2. Variation du coefficient a_1 de la relation (1) en fonction de la rugosité relative v/D

L'ajustement statistique des couples de valeurs $(\epsilon/D, a_1)$, par la méthode des Moindres carrés, a permis d'écrire:

$$a_1 = -57,98 \epsilon/D + 4,61 \quad (2)$$

Pour ce qui est du coefficient b_2 , la fluctuation de ses valeurs montre qu'il ne dépend pas de ϵ/D et laisse penser qu'une valeur moyenne serait la mieux appropriée. Cette valeur est $b_1 = 0,70$. En effet, en remplaçant les coefficients a_1 et b_1 par leurs expressions dans la relation $y_2 = a_1 (Q^*)^{b_1}$, l'équation liant la hauteur relative aval $y_2 = h_2/D$ au débit relatif Q^* et à la rugosité relative ϵ/D devient :

$$y_2 = (-57,98 \epsilon/D + 4,61) Q^{*0,70} \quad (3)$$

Pour $0,0000 \leq \epsilon/D \leq 0,0372$.

La figure 3 montre la variation de la fonction $y_2 = (Q^*, \epsilon/D)$ exprimée par la relation (3) en fonction des valeurs expérimentales de la hauteur relative aval $(h_2/D)_{exp}$.

Ainsi, les points obtenus se répartissent autour de la première bissectrice, confirmant alors que $(h_2/D)_{exp}$ est raisonnablement définie par la relation (3).

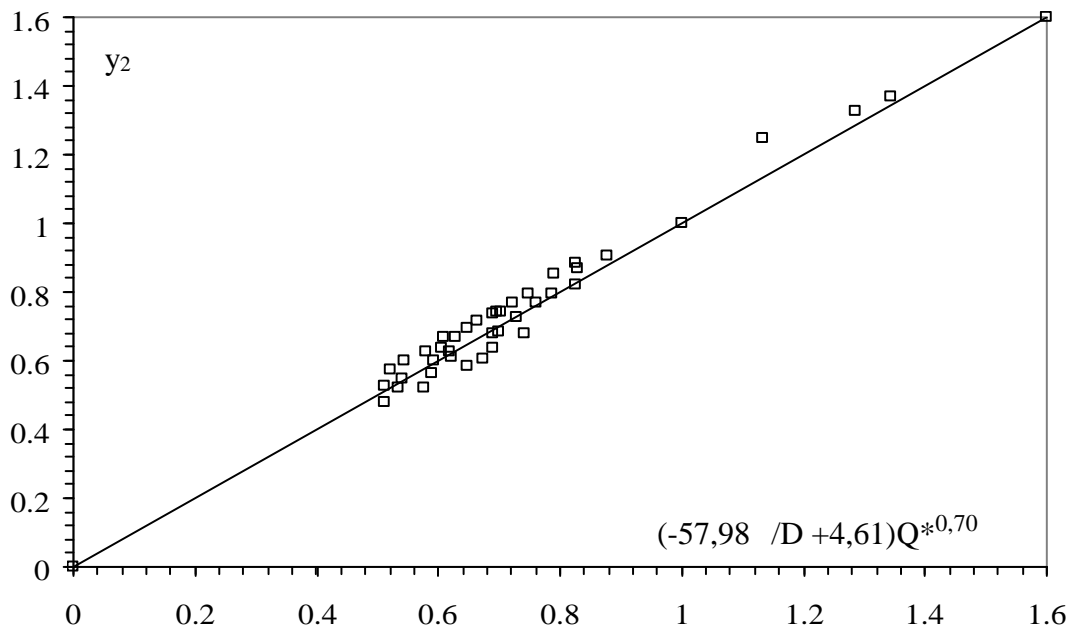


Fig.3. Variation de la hauteur relative aval expérimentale $(h_2/D)_{Exp}$ en fonction de $(\epsilon/D, Q^*)$ exprimé par la relation (3). () $(h_2/D)_{exp}$ du ressaut contrôlé dans un canal à fond rugueux. () Première bissectrice

2. Hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif Q^* ($h_1/D=0,1388$)

La Figure 4 montre la représentation graphique de la variation de la hauteur relative h_2/D du ressaut en fonction du débit relatif Q^* de l'écoulement incident, pour les six rugosités absolues testées. six nuages de points distincts sont ainsi perceptibles, correspondant chacun une rugosité relative ϵ/D . Nous pouvons constater que pour une rugosité ϵ/D relative donnée, l'augmentation du débit relatif Q^* engendre celle de la hauteur relative h_2/D . En outre, pour une valeur donnée du débit relatif Q^* , l'augmentation de la rugosité relative ϵ/D provoque la diminution de la hauteur relative h_2/D .

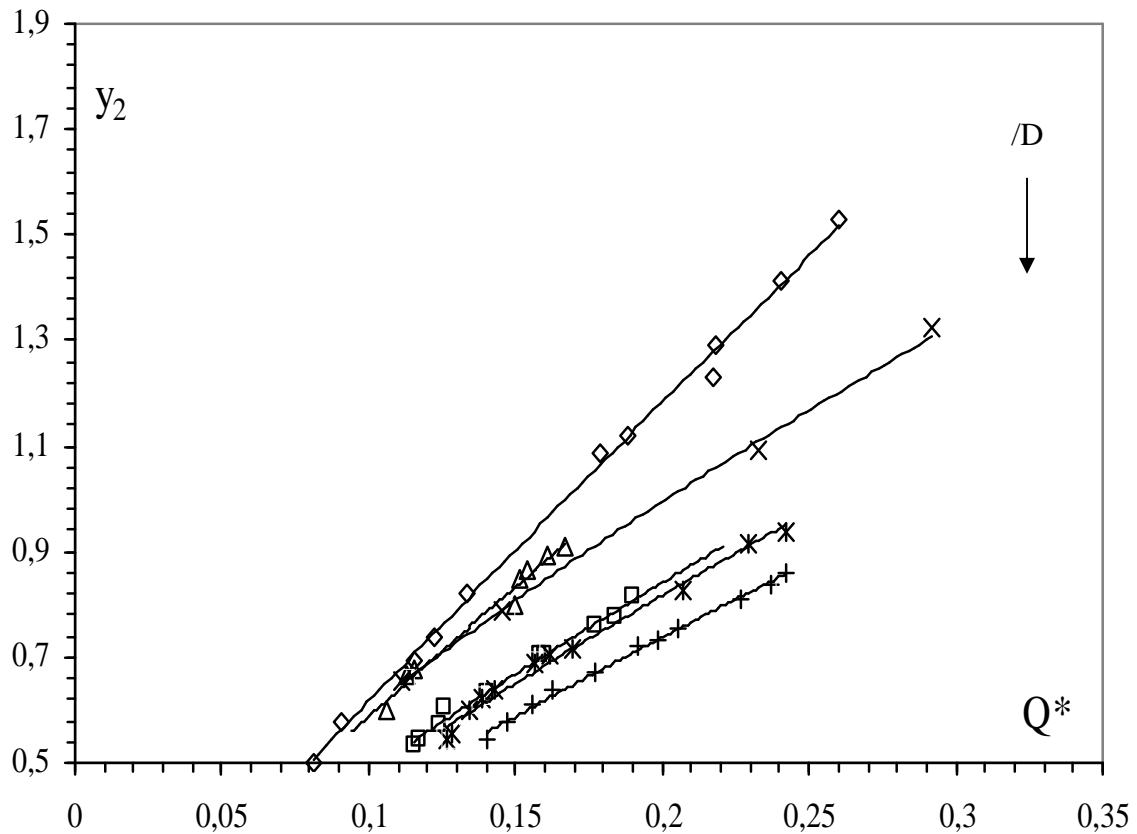


Fig.4. Variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif Q^* , pour six rugosités relatives de valeurs (ϵ/D): (\diamond) 0,000 (\triangle) 0,0145, (\times) 0,0175, (\square) 0,023, ($*$) 0,0291, et ($+$) 0,0372 (—) courbes d'ajustement

Par ailleurs, l'analyse statistique des points de mesures expérimentales par la méthode des moindres carrés non linéaire, a montré que pour chacune des rugosités relatives ϵ/D

testées, la hauteur relative aval y_2 est en dépendance de débit relatif Q^* selon la relation suivante:

$$y_2 = a_2 Q^{*b_2} \quad (4)$$

Le tableau 2 regroupe les valeurs des coefficients a_2 et b_2 ainsi que celles du coefficient de corrélation R^2 issues de l'ajustement effectué

Tableau 2. Valeurs des coefficients a_2 et b_2 de la relation (4)

y_1	$/D$	Coefficient a_2	Coefficient b_2	R^2
0.0939	0.0000	5,3686	0,9397	0,99
0.0939	0.0145	4,2615	0,8604	0,98
0.0939	0.0291	2,9433	0,7963	0,98
0.0939	0.0372	2,6324	0,7904	0,99

Le tableau 2 montre ainsi que le coefficient a_2 diminue avec l'augmentation de la Rugosité relative $/D$ et La variation de $a_2(/D)$ est représentée graphiquement sur la figure5

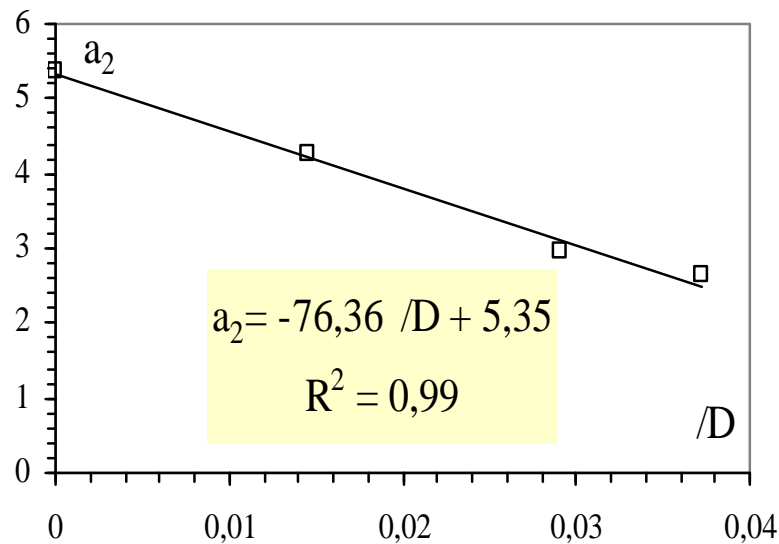


Fig.5. Variation du coefficient a_2 de la relation (4) en fonction de la rugosité relative $/D$

Pour ce qui est du coefficient b_2 , la fluctuation de ses valeurs montre qu'il ne dépend pas de $/D$ et laisse penser qu'une valeur moyenne serait la mieux appropriée. Cette valeur est $b_2 = 0,87$. En effet, en remplaçant les coefficients a_2 et b_2 par leur expressions

dans la relation $y_2 = a_2 (Q^*)^{b_2}$, l'équation liant la hauteur relative aval $y_2 = h_2/D$ au débit relatif Q^* et à la rugosité relative ϵ/D devient:

$$y_2 = (-76,36 \epsilon/D + 5,35) Q^{*0,84} \quad (5)$$

pour $0,0000 \leq \epsilon/D \leq 0,0372$.

La figure 6 montre la variation de la fonction $y_2 = (Q^*, \epsilon/D)$ exprimée par la relation (5) en fonction des valeurs expérimentales de la hauteur relative aval $(h_2/D)_{exp}$. Ainsi, les points obtenus se répartissent autour de la première bissectrice, confirmant alors que $(h_2/D)_{exp}$ est raisonnablement définie par la relation (5).

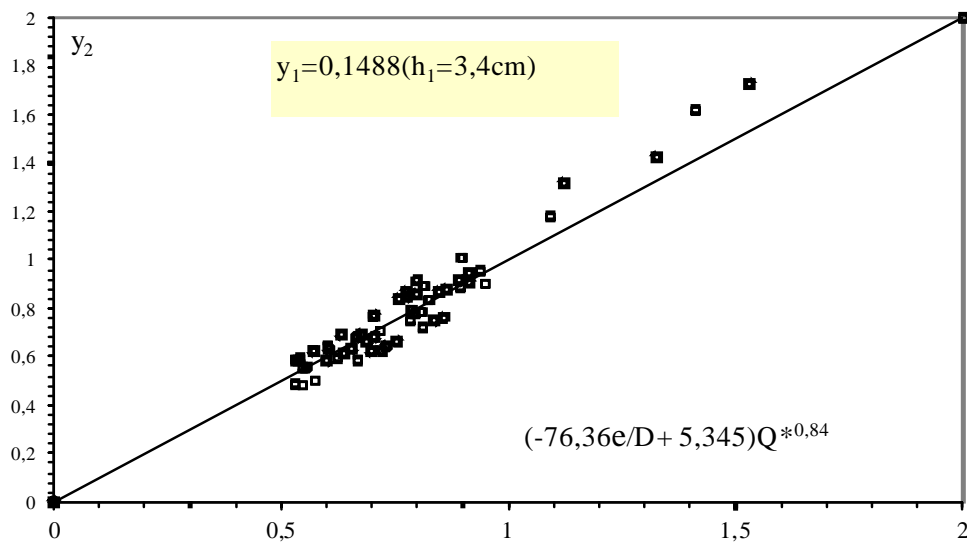


Fig.6. Variation de la hauteur relative aval expérimentale $(h_2/D)_{Exp}$ en fonction de $(\epsilon/D, Q^*)$ exprimé par la relation (5). () $(h_2/D)_{exp}$ du ressaut contrôlé dans un canal à fond rugueux. (—) Première bissectrice

3. Hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif $Q^*(h_1/D) \approx 10,2122$

La Figure 7 montre la représentation graphique de la variation de la hauteur relative h_2/D du ressaut en fonction du débit relatif Q^* de l'écoulement incident, pour les six rugosités absolues testées.

six nuages de points distincts sont ainsi perceptibles, correspondant chacun une rugosité relative ϵ/D . Nous pouvons constater que pour une rugosité ϵ/D relative donnée, l'augmentation du débit relatif Q^* engendre celle de la hauteur relative h_2/D . En outre,

pour une valeur donnée du débit relatif Q^* , l'augmentation de la rugosité relative ϵ/D provoque la diminution de la hauteur relative h_2/D

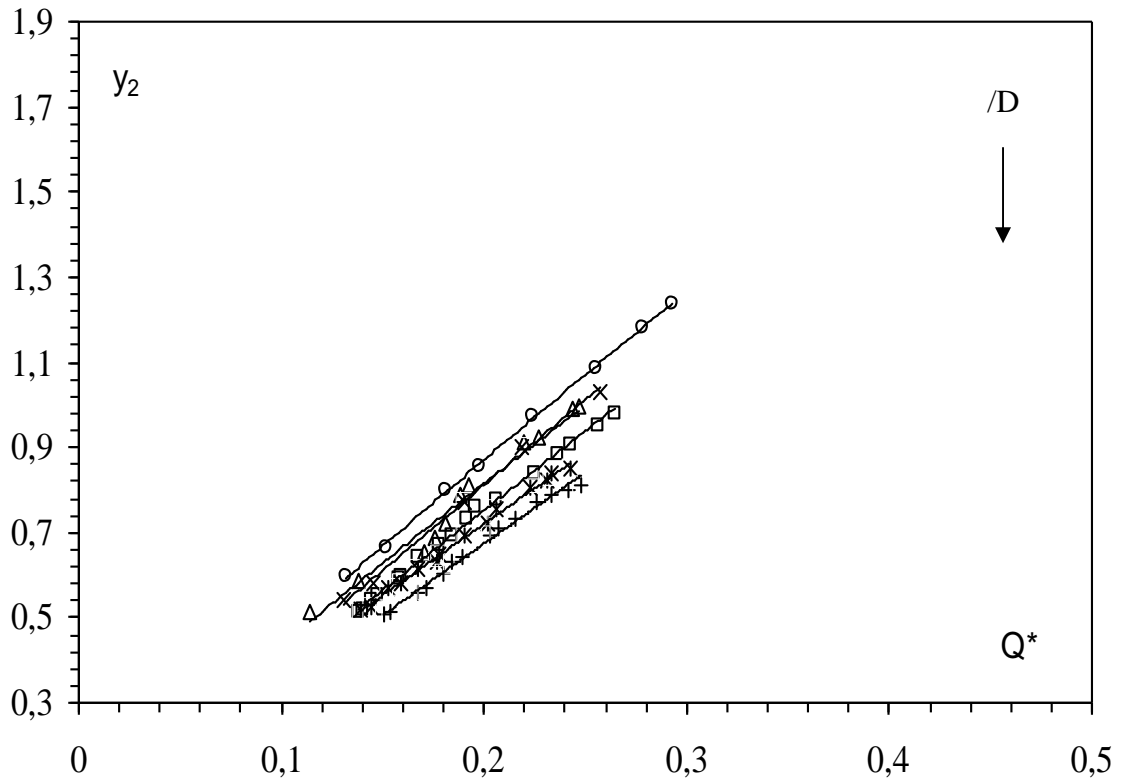


Fig.7. Ressaut contrôlé en canal à fond rugueux. Variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif Q^* , pour six rugosités relatives de valeurs (ϵ/D): (\diamond) 0.000 (\circ) 0.0145, (\times) 0.0175, (\square) 0.023, ($*$) 0.0291, et ($+$) 0.0372 (—) courbes d'ajustement

Par ailleurs, l'analyse statistique des points de mesures expérimentales par la méthode des moindres carrés non linéaire, a montré que pour chacune des rugosités relatives ϵ/D testées, la hauteur relative aval y_2 est en dépendance de débit relatif Q^* selon la relation suivante:

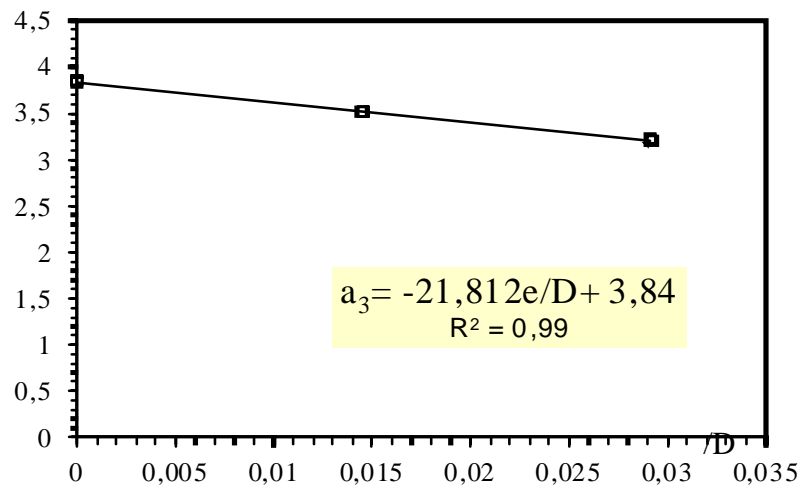
$$y_2 = a_3 Q^{*b_3} \quad (6)$$

Le tableau 3 regroupe les valeurs des coefficients a_3 et b_3 ainsi que celles du coefficient de corrélation R^2 issues de l'ajustement effectué

Tableau 3. Valeurs des coefficients a_3 et b_3 de la relation (6)

y_1	$/D$	Coefficient a_3	Coefficient b_3	R^2
0,0939	0,0000	3,8446	0,9224	0,99
0,0939	0,0145	3,5152	0,9076	0,97
0,0939	0,0291	3,2089	0,9279	0,99

Le tableau 3 montre ainsi que le coefficient a_3 diminue avec l'augmentation de la Rugosité relative $/D$ et La variation de a_3 ($/D$) est représentée graphiquement sur la figure 8

**Fig.8.** Variation du coefficient a_3 de la relation (6) en fonction de la rugosité relative $/D$

Pour ce qui est du coefficient b_3 , la fluctuation de ses valeurs montre qu'il ne dépend pas de $/D$ et laisse penser qu'une valeur moyenne serait la mieux appropriée. Cette valeur est $b_3 = 0,92$. En effet, en remplaçant les coefficients a_3 et b_3 par leurs expressions dans la relation $y_2 = a_3 (Q^*)^{b_3}$, l'équation liant la hauteur relative aval $y_2 = h_2/D$ au débit relatif Q^* et à la rugosité relative $/D$ devient :

$$y_2 = (-21,812 /D + 3,84) Q^{*0,92} \quad (7)$$

pour $0,0000 \leq /D \leq 0,0372$

La figure 9 montre la variation de la fonction $y_2 = (Q^*, /D)$ exprimée par la relation (7) en fonction des valeurs expérimentales de la hauteur relative aval $(h_2/D)_{exp}$.

Ainsi, les points obtenus se répartissent autour de la première bissectrice, confirmant alors que $(h_2/D)_{exp.}$ est raisonnablement définie par la relation (7).

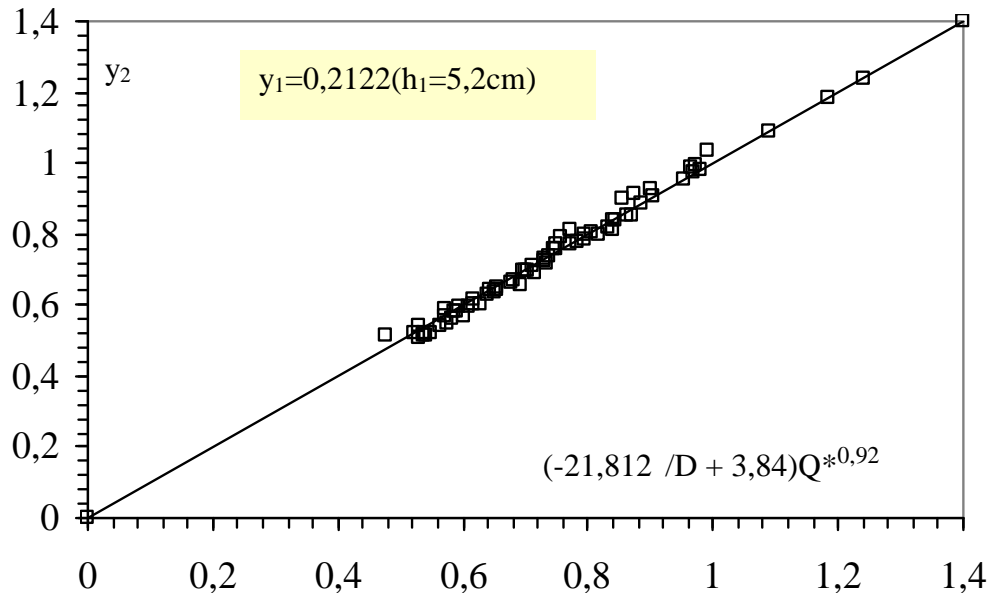


Fig.9. Variation de la hauteur relative aval expérimentale $(h_2/D)_{Exp.}$ en fonction de $(h_1/D, Q^*)$ exprimé par la relation (7). (□) $(h_2/D)_{exp.}$ du ressaut contrôlé dans un canal à fond rugueux. (—) Première bissectrice

4. Hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif $Q^*(h_1/D=0,2489)$

La Figure 10 montre la représentation graphique de la variation de la hauteur relative h_2/D du ressaut en fonction du débit relatif Q^* de l'écoulement incident, pour les cinq rugosités absolues testées. Cinq nuages de points distincts sont ainsi perceptibles, correspondant chacun une rugosité relative ϵ/D . Nous pouvons constater que pour une rugosité ϵ/D relative donnée, l'augmentation du débit relatif Q^* engendre celle de la hauteur relative h_2/D . En outre, pour une valeur donnée du débit relatif Q^* , l'augmentation de la rugosité relative ϵ/D provoque la diminution de la hauteur relative h_2/D .

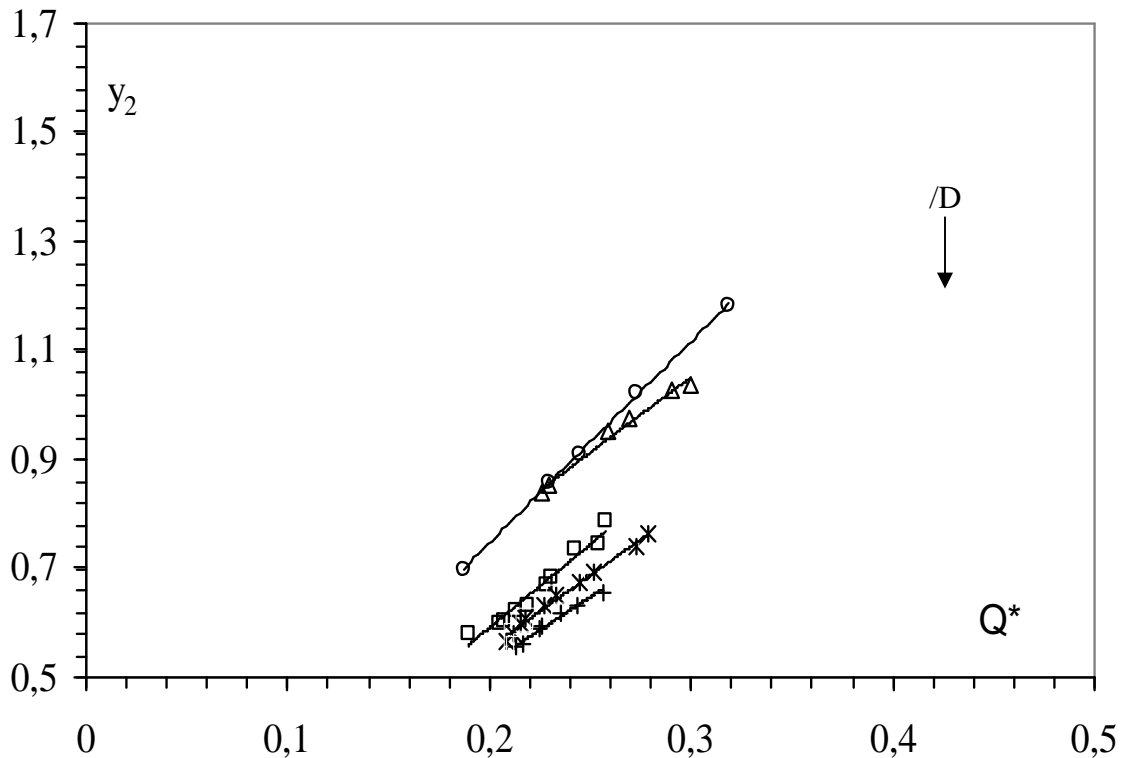


Fig.10. Ressaut contrôlé en canal à fond rugueux. Variation de la hauteur relative aval y_2 n fonction du débit relatif Q^* , pour les cinq rugosités relatives de valeurs (v/D) : (\diamond)0.000 (\square) 0.0145, (\triangle) 0,023, (*) 0,0291, et (+)0,0372 (—) courbes d'ajustement

Par ailleurs, l'analyse statistique des points de mesures expérimentales par la méthode des moindres carrés non linéaire, a montré que pour chacune des rugosité relatives v/D testées, la hauteur relative aval y_2 est en dépendance de débit relatif Q^* selon la relation suivante:

$$y_2 = a_4 Q^{*b_4} \quad (8)$$

Le tableau 4 regroupe les valeurs des coefficients a_4 et b_4 ainsi que celles du coefficient de corrélation R^2 issues de l'ajustement effectué

Tableau 4. Valeurs des coefficients a_4 et b_4 de la relation (8)

y_1	v/D	Coefficient a_4	Coefficient b_4	R^2
0.0939	0.0000	3,6874	0,9923	1,00
0.0939	0,0230	3,1013	1,0296	0,96
0.0939	0.0291	2,6214	0,9655	0,99
0.0939	0.0372	2,3628	0,9336	0,99

Le tableau 4 montre ainsi que le coefficient a_4 diminue avec l'augmentation de la Rugosité relative ϵ/D et La variation de $a_4(\epsilon/D)$ est représentée graphiquement sur la figure 11

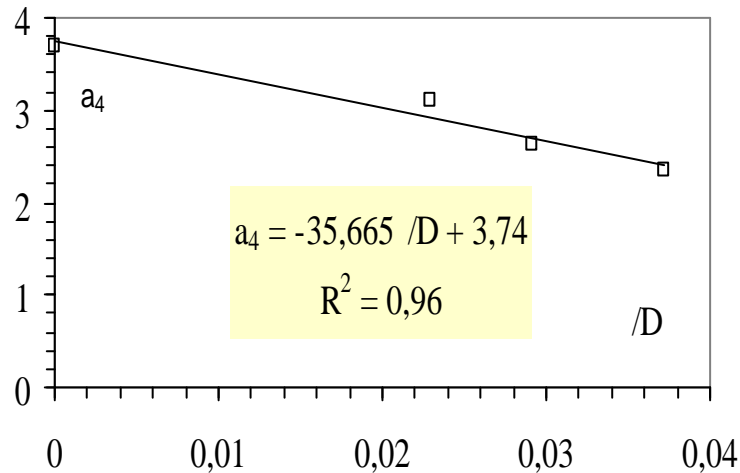


Fig.11. Variation du coefficient a_4 de la relation (8) en fonction de la rugosité relative ϵ/D

Pour ce qui est du coefficient b_4 , la fluctuation de ses valeurs montre qu'il ne dépend pas de ϵ/D et laisse penser qu'une valeur moyenne serait la mieux appropriée. Cette valeur est $b_4 = 0,98$. En effet, en remplaçant les coefficients a_4 et b_4 par leurs expressions dans la relation $y_2 = a_4 (Q^*)^{b_4}$, l'équation liant la hauteur relative aval $y_2 = h_2/D$ au débit relatif Q^* et à la rugosité relative ϵ/D devient :

$$y_2 = (-35,665 \epsilon/D + 3,74) Q^{*0,98} \quad (9)$$

pour $0,0000 \leq \epsilon/D \leq 0,0372$.

La figure 12 montre la variation de la fonction $y_2 = (Q^*, \epsilon/D)$ exprimée par la relation (9) en fonction des valeurs expérimentales de la hauteur relative aval $(h_2/D)_{exp}$.

Ainsi, les points obtenus se répartissent autour de la première bissectrice, confirmant alors que $(h_2/D)_{exp}$ est raisonnablement définie par la relation (9).

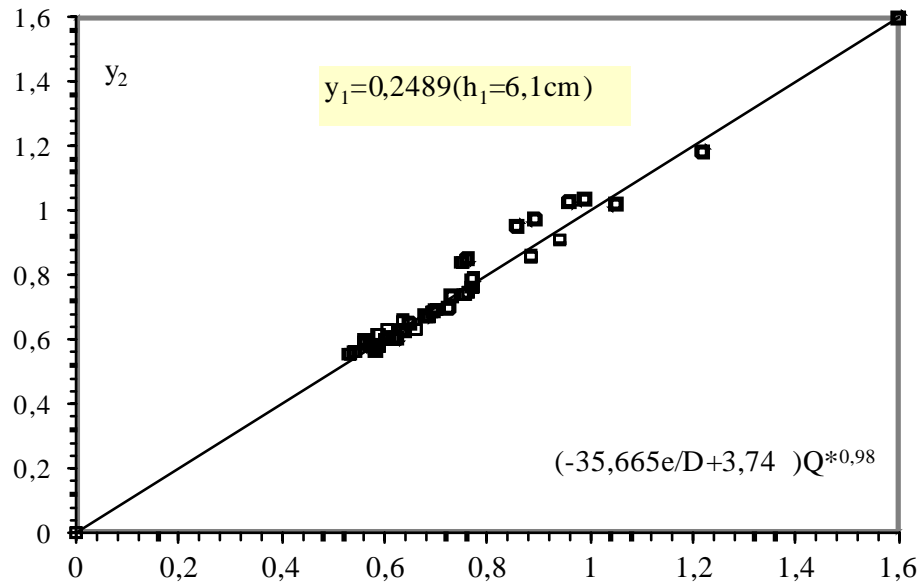


Fig.12. Variation de la hauteur relative aval expérimentale $(h_2/D)_{Exp}$ en fonction de (Q^*/D) exprimé par la relation (9). (□) $(h_2/D)_{exp}$ du ressaut contrôlé dans un canal à fond rugueux. (—) Première bissectrice

5. Longueur relative du ressaut L_j/h_1 en fonction du débit relatif Q^* ($h_1/D=0,1388$)

La Figure 13 montre la représentation graphique de la variation de la longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du débit relatif Q^* de l'écoulement incident, pour les cinq rugosités absolues testées.

Cinq nuages de points distincts sont ainsi perceptibles, correspondant chacun une rugosité relative e/D . Nous pouvons constater que pour une rugosité relative donnée l'augmentation du débit relatif Q^* engendre celle de la longueur relative du ressaut. En outre, pour une valeur du débit relatif Q^* , l'augmentation de la rugosité relative provoque la diminution de la longueur du ressaut

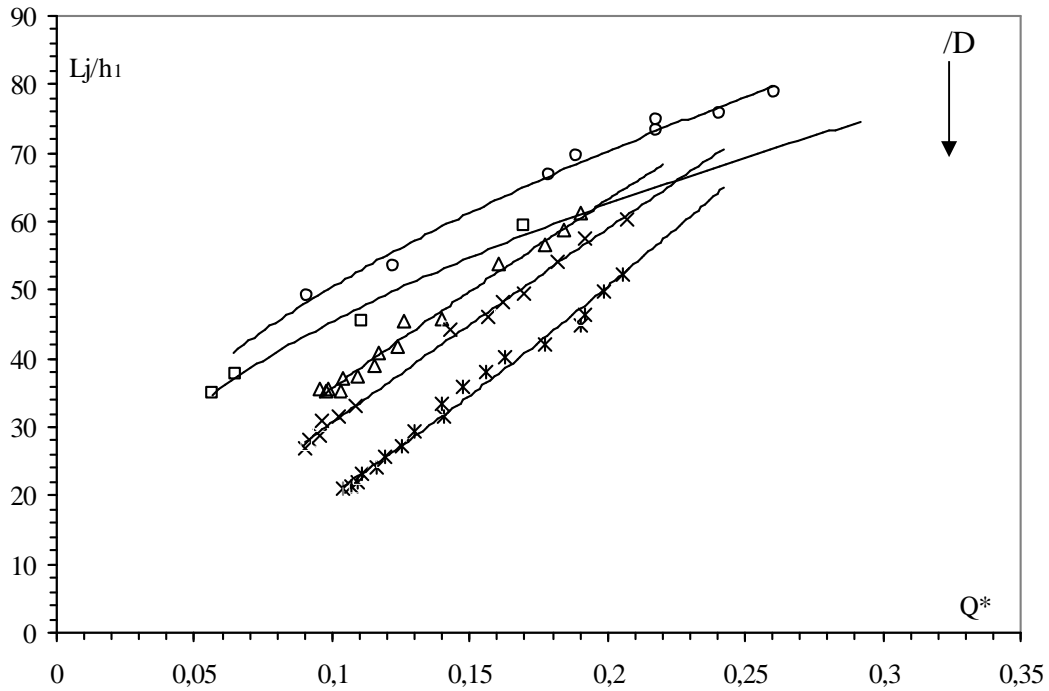


Fig.13. Variation de la longueur relative L_j/h_1 en fonction débit relative Q^* , pour cinq valeurs de rugosités différents de δ/D : (o) 0,000, (□) 0,0175 (Δ)0,0229 (×)0,029 et (*) 0,0371 (—) Courbes d’ajustements

Par ailleurs, l’analyse statistique des points de mesures expérimentales par la méthode des moindres carrés non linéaires, a montré que pour chacune des rugosités absolues testées, la longueur relative L_j/h_1 est en dépendante de Q^* selon la relation :

$$L_j / h_1 = a_5 (Q^*)^{b_5} \quad (10)$$

Le tableau 5 regroupe les valeurs des coefficients a_5 et b_5 ainsi que celles du coefficient de corrélation R^2 issues de l’ajustement effectué.

Tableau 5. Valeurs des coefficients a_5 et b_5 de la relation (10)

(mm)	δ/D	Coefficient a_5	Coefficient b_5	R^2
4,30	0,0175	131,88	0,4630	0,9838
5,63	0,0229	237,94	0,8245	0,9840
7,14	0,0291	269,56	0,9450	0,9955
9,11	0,0371	419,27	1,3140	0,9880

Le tableau 5 montre ainsi que les coefficients a_5 et b_5 augmentent avec l'augmentation de la Rugosité absolue et Les variations de a_5 ($/D$) et b_5 ($/D$) sont représentées graphiquement sur les figures 14 et 15

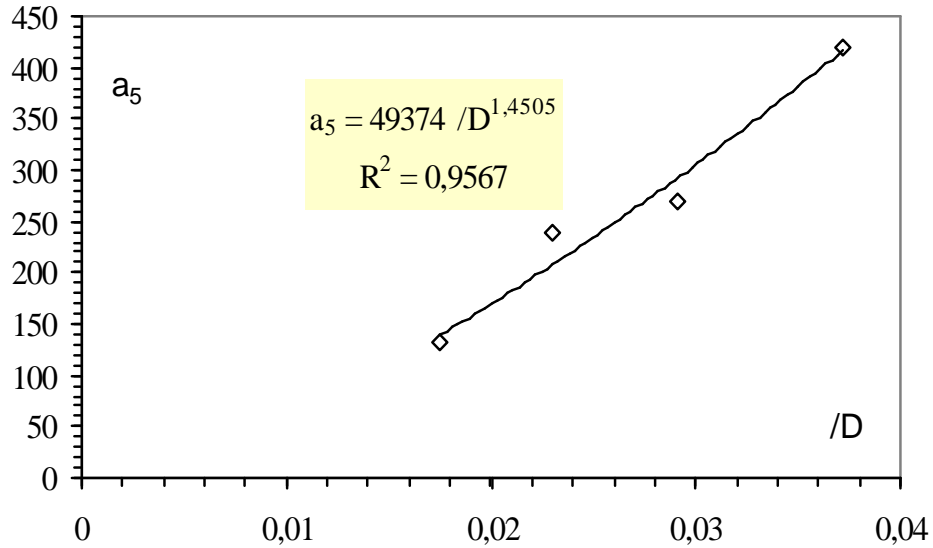


Fig.14. Variation du coefficient a_5 de la relation (10) en fonction de la rugosité relative $/D$

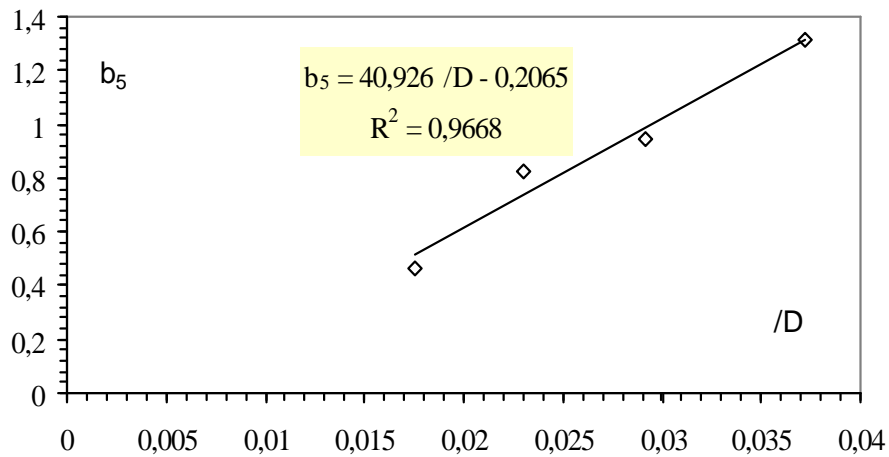


Fig.15. Variation du coefficient b_5 de la relation (10) en fonction de la rugosité relative $/D$

L'ajustement statistique des couples de valeurs $(a_5, /D)$ et $(b_5, /D)$, par la méthode des moindres carrés, a permis d'écrire :

$$a_5 = 49374 /D^{1,4505} \quad (11)$$

$$b_5 = 40,926 /D - 0,2065 \quad (12)$$

ainsi, en tenant compte équations 11 et 12 , la relation 10 s'écrit :

$$L_j / h_1 = (49374 /D^{1,4505}) Q^{*(40,926 /D - 0,2065)} \quad (13)$$

La relation (13) est applicable dans la gamme $0,000 \leq /D \leq 0,0371$.

La figure 16 montre la variation de la fonction $L_j/h_1 = (/D, Q^*)$ exprimée par la relation (13) en fonction des valeurs expérimentales de la longueur relative $(L_j/h_1)_{Exp}$. Ainsi, les points obtenus se répartissent autour de la première bissectrice, confirmant alors que $(L_j/h_1)_{exp}$ est raisonnablement définie par la relation 13.

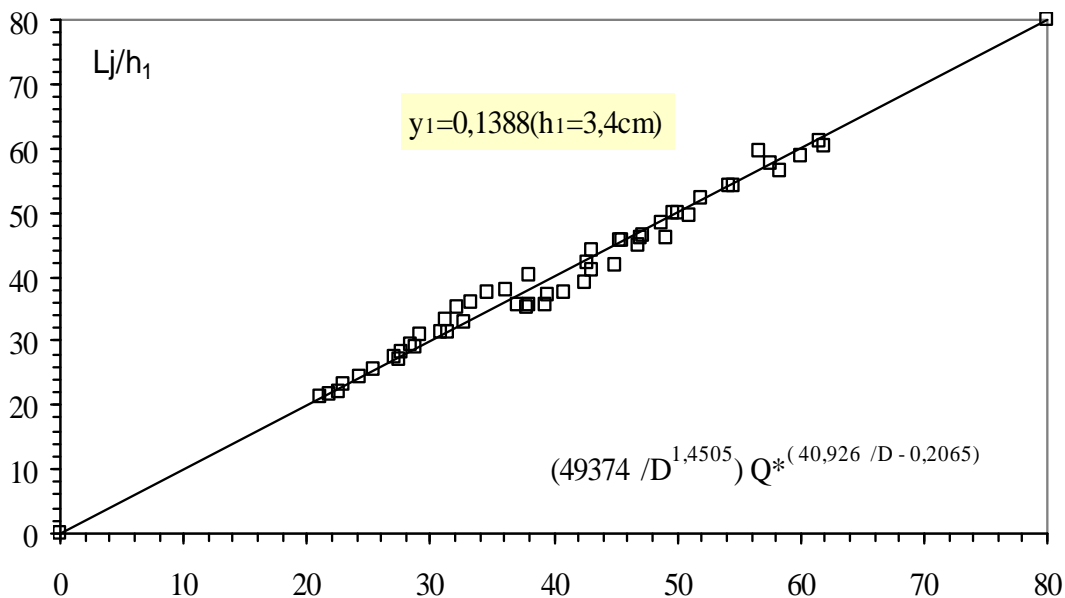


Fig.16. Variation de la longueur relative L_j/h_1 en fonction de $(Q^*, /D)$. ()

Points de mesure expérimentale du ressaut contrôlé en canal profilé en U à fond rugueux. (—) Première bissectrice.

5. 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 h_2/D du ressaut en fonction du débit relatif Q^* de l'écoulement incident pour quatre ouvertures différentes. Il a été observé que pour une valeur du débit relatif Q^* , l'augmentation de la rugosité absolue entraîne la diminution de la hauteur relative aval

.En outre, l'analyse statistique des points de mesures expérimentales a montré que, pour chacune des rugosités absolues testées, la hauteur relatif aval h_2/D était lié débit relatif Q^* par les lois de type puissance [Equations (3),(5),(7),(9)].

Dans un second temps, s'est intéressée à la variation de la longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction débit relatif Q^* de l'écoulement incident pour l'ouverture $y_1=0,1388$. Il a été observé que pour une valeur donnée du débit relatif Q^* de l'écoulement incident, l'augmentation de la rugosité absolue entraîne la diminution de la longueur relative L_j/h_1 du ressaut. En outre, l'analyse statistique des points de mesures a montré que, pour chacune des rugosités absolues testées, la longueur relative L_j/h_1 était lié débit relatif Q^* par une loi de type puissance [Equation(13)]

Cela dit, d'une manière générale nous pouvons conclure, que pour une gamme des débits relatif Q^* , le ressaut hydraulique en canal profilé en 'U' à fond rugueux, présente une longueur de ressaut assez réduite et une hauteur aval moindre que son homologue à fond lisse.

Principales notations

d, D	Diamètres, largeur du canal	[m]
IF 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	Charge totale	[m]
L _j	Longueur du ressaut	[m]
m	Cotangente de l'angle d'inclinaison d'un talus	[-]
P	Pression	[N/m ²]
Q	Débit volume	[m ³ /s]
Q*	Débit relatif	[-]
IRe	Nombre de Reynolds	[-]
V	Vitesse d'écoulement	[m/s]
Y	Rapport des hauteurs conjuguées	[-]
y ₁	hauteur relative amont du ressaut (h_1/D)	[-]
y ₂	hauteur relative aval du ressaut (h_2/D)	[-]
ε	Rugosité équivalente	[mm]
ρ	Masse volumique	
ω	Poids spécifique	[N/m ³]

6. REFERENCES

- [1] Achour B., Debabeche M. Ressaut contrôlé par seuil dans un canal profile en U. *Journal of hydraulic research.* 2003, 46, 97-103.
- [2] Bretz N. Ressaut Hydraulique Forcé par seuil, Laboratoire de constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département de Génie Civil, 1988.
- [3] Debabeche M., Achour B., Ressaut hydraulique classique en canal profilé en “U”. 1^{ER} Séminaire Sur L'eau, Université de Mascara, 2000.
- [4] Debabeche M., Achour B. Forced hydraulic jump in U-shaped channel. 29 *Convegno di hydraulica e C.I.*, Università di Trento, Italia, 2004.
- [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, N°A-2, 11.
- [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.

**ETUDE EXPERIMENTALE DU RESSAUT HYDRAULIQUE EVOLUANT
DANS UN CANAL PROFILE EN U, A FOND RUGUEUX**

RESUME

Cette étude a pour objectif d'étudier et d'analyser l'approche expérimentale du ressaut hydraulique contrôlé par seuil, évoluant dans un canal profilé en 'U' à fond rugueux, liant les différentes caractéristiques du ressaut, faisant apparaître l'effet de la rugosité du fond du canal.

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

How to cite this article

Ghomri A, Debabeche M and Riguet F. Experimental study of hydraulic jump evolving in an U-shaped channel, with rough bed. J Fundam Appl Sci. 2009, 1(2), 82-105.