

Khechiba Haroun⁽¹⁾; Ghomri Ali⁽²⁾; Besser Djamel et Herri ibtissam⁽³⁾

⁽¹⁾ doctorant à l'université Hamma Lakhdar el oued, khechibaharoun20@gmail.com

⁽²⁾ Université Hamma Lakhdar el oued, ali-ghomri@univ-eloued.dz; ⁽³⁾ doctorants à l'Université Hamma Lakhdar el Oued.

Unité de développement d'énergie renouvelable dans les zones arides (UDERZA), Université el Oued.



I. INTRODUCTION

Cette étude a pour objectif de faire une étude comparative des caractéristiques du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de section composée avec lits rugueux. Tel que Y qui est le rapport des hauteurs conjuguées du ressaut, F_1 est le nombre de Froude incident, $\tau = h_1/h_2$: rapport de forme, $\beta = b/B$: Rapport de l'élargissement. L_j/h_1 et L_r/h_1 sont respectivement la longueur relative du ressaut et celle du rouleau de surface du ressaut hydraulique caractérisée en haut.

II. 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 ϵ/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 : $F_1 = Q / (g h_1^3)^{0.5}$ **le rapport $Y = h_2/h_1$ des hauteurs conjuguées du ressaut.** **Cr : est le coefficient de résistance dû à la rugosité imposée au lit majeur de la section composée du canal d'expérimentation.**

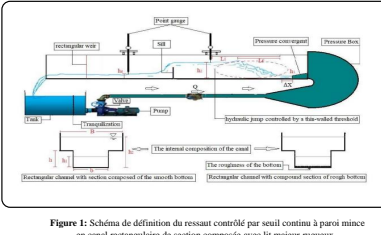


Figure 1: Schéma de définition du ressaut contrôlé par seuil continu à paroi mince en canal rectangulaire de section composée avec lit majeur rugueux.

III. Plan de travail

ANALYSE THEORIQUE

Chapitre 01/ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire composé (approche de Khataoui et Achour)

Partie expérimentale

Chapitre 01/ description du model expérimental

Chapitre 02/ résultats et discussions

ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

Conclusion générale.

V. ANALYSE THEORIQUE

Chapitre 01/ ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire composé (approche de Khataoui et Achour)

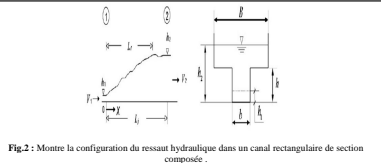


Fig.2: Montage de la configuration du ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de section composée.

$$2F_1^2 \left(\frac{\beta}{1-\beta} - 1 \right) = 1 - \frac{(Y-1)}{\beta} \left(\frac{Y-1}{\beta} - (Y-1)^2 \right)$$

$$F_1 = \frac{Q}{\sqrt{g h_1^3}}$$

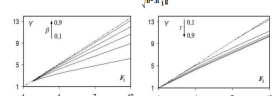


Fig.3: Variation de Y, en fonction de F_1 . (---) $\beta = 1$.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Hager, W. H., Singler, R., (1985). Flow characteristics of the hydraulic jump in Sillling Channel with an abrupt bottom rise. *J. Hydraulic Research* Vol. 23, 1985, No. 2, pp. 101-113; Vol. 24(3), pp. 207-215.
- Khataoui, M., Achour, B., (2012). Ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire composé. *Revue scientifique et technique LIER* N°20.
- Debaeche, M., Ghomri, A., Kabeb, S. and Achour, B., Theoretical study of the hydraulic jump in a triangular channel with rough walls. *Dam engineering, IIVPDC*, Vol. XXII (01), pp. 89-97, 2011.
- Debaeche, M., Kabeb, S., Ghomri, A., Etude expérimentale du ressaut hydraulique dans un canal triangulaire à parois rugueuses. *L'artys Journal*, N°5, pp. 187-196, Mai 2006.
- Ghomri, A., Ressaut hydraulique évoluant en canal profilé en "U" à fond rugueux. Mémoire de magistère, Département d'Hydraulique, Université de Biskra, Algérie, 2005.
- Ghomri, A., Debaeche, M., Rigout, F., Etude semi théorique du ressaut hydraulique en canal profilé en "U", à fond rugueux. *Revue des sciences fondamentales et appliquées, centre universitaire d'Oued Souf*, N°1, pp. 41-56, 2009.
- Ghomri, A., Debaeche, M., Rigout, F., Etude expérimentale du ressaut hydraulique évoluant dans un canal profilé en "U", à fond rugueux. *Séminaire conférence sur les ressources en eau dans le bassin méditerranéen*, Wamied S. Lillie, France, Novembre 2010.
- Ghomri, A., Debaeche, M., Rigout, F., Etude d'une approche semi théorique du ressaut hydraulique dans un canal profilé en "U" à fond rugueux, colloque international sur le génie de l'eau, 06 du XXI^{ème} siècle, IUT de Limonin, Limoges, France, du 19 au 21 Octobre 2011.
- Ghomri A., Rigout F., Debaeche M., effect for a single roughness $\epsilon = 9,11$ mm of experimental to study hydraulic jump profile in a channel in a rough bottom. *J. Fluid. App. Sci.*, 2012, 4(2), 1-15.

VI. Partie expérimentale

Chapitre 01/ Description du model expérimental

1. DESCRIPTION DU CANAL

Les expériences ont été conduites dans un canal à surface libre représenté sur la (Photographie 1). Il s'agit d'un canal de 10 m de longueur, ayant une hauteur de 0,5m, et des parois latérales en plexiglas transparent. On dispose ici d'un canal horizontal de section rectangulaire composée, de longueur 4 m et de hauteur $h=20$ cm à la largeur de lit mineur $b=15$ cm de lit majeur $B=25$ cm.



Photographie 1: 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 150 mm de diamètre. Celle-ci est reliée à une boîte métallique fermée, sur laquelle est inscrite une ouverture à paroi plane en rôle 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. L'alimentation du canal s'effectue par le moyen d'une pompe axiale assurant un débit maximum de 55.55 l/s. Le canal de mesure a été conçu au "Laboratoire d'exploitation et valorisation des ressources naturelles en zones aride" de l'Université de Ouargla.

2. APPAREILLAGES DE MESURE

a) Mesure de débit :

Comme il a été cité précédemment, le canal de mesure de section rectangulaire de la forme composé à fond rugueux sur 4 m de canal de pente nul est relié dans sa partie aval à un second canal de section droite rectangulaire, dans lequel est inséré un déversoir rectangulaire sans hauteur de pelle avec contraction latérale réalisé et testé par Hachemi Rachdi (2007), permettant la mesure directe du débit.



Photographie 2: déversoir rectangulaire avec contraction latérale permettant de mesurer des débits pompés.

Avec :
 Q : le débit en (m³/s).
 $Q = 0,3794 \sqrt{2g} \beta^{0.116} (1 + 0,16496 \beta^{0.0714} h_1^{0.2})^{0.5} h_2^{1.5}$
 $\beta = b/B$: Rapport de forme. $\beta = b/B=0.44$
 b : largeur de l'échancrure (m) $b=11$ cm.
 B : la largeur du canal (m) $B=25$ cm.
 g : l'accélération de la pesanteur (m/s²).
 h_1 : La hauteur de la lame déversant en (m).
 La condition d'application de cette relation est : $\beta < 0.45$
 D'où l'expression du débit volume : $Q = 0.193 h_{dvs}^{3/2}$

b) Limmimètre :

A l'exception de la hauteur initiale du ressaut, dont la valeur est assimilée à la hauteur de la section de la sorte du convergent en charge, les profondeurs d'eau dans le canal mesure ont été évaluées par un Limmimètre (Photographie 3).

La lecture sur le Limmimètre s'effectue en deux étapes : on procède d'abord à la lecture de la graduation sur la règle, située immédiatement en haut du zéro du vernier, puis on effectue la lecture du nombre de cinquième en face de la division qui coïncide ou qui est la plus rapprochée d'une division de la règle.

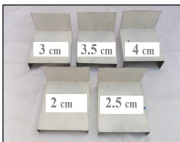


Photographie 3: Mesure de la profondeur d'eau par pointe limnimètre.

3. DESCRIPTION DES ESSAIS

a) Procédure Expérimentale Des Essais

L'étude expérimentale s'est intéressée au ressaut contrôlé par seuil à paroi mince dans un canal rectangulaire à section composée avec lit mineur rugueux. L'expérimentation a été menée sous cinq hauteurs initiales (h_1 (cm) = 02 ; 02.5 ; 03 ; 03.5 et 04) (Figure 1.8). Une large gamme des nombres de Froude incidents a été ainsi obtenue ($2 < F_1 < 20$).



Photographie 4: Les cinq hauteurs initiales (h_1 (cm) = 02 ; 02.5 ; 03 ; 03.5 et 04).

Des seuils de différentes hauteurs 'S'ont été testés (Photographie 5), afin d'observer leur influence sur le contrôle du ressaut ; 28 seuils ont ainsi été confectionnés, dont la hauteur s varie entre 2 cm et 21 cm.



Photographie 5: La série de seuils minces ayant servi au contrôle du ressaut.

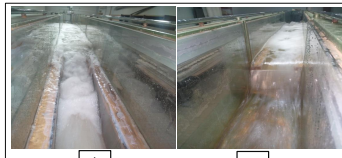
Pour une hauteur S et une position x du seuil et pour une hauteur h_1 de l'écoulement incident, l'augmentation du débit volume Q , provoque l'apparition d'un ressaut. Le couple de valeur (Q, h_1) permet en outre le calcul du nombre de Froude F_1 de l'écoulement incident. L'accroissement de F_1 entraîne à la fois le déplacement du ressaut vers l'aval et l'augmentation de sa longueur de ressaut L_j . La distance x sur laquelle le ressaut s'étend augmente également et pour ramener celui-ci dans sa position initiale, x est à dire à environ 5 cm de la sortie du convergent, le seuil de hauteur s doit être surélevé. Ainsi à chaque valeur du nombre de Froude F_1 , correspond une valeur de la longueur L_j du 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 : 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 F_1 ;

$$F_1 = \frac{Q}{\sqrt{g h_1^3}}$$

- La hauteur relative amont h_1
- La hauteur relative aval h_2
- 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 longueur relative L_r/h_1 du rouleau.
- La rugosité relative ϵ/B du fond du canal.



Photographie 6: Photographie du ressaut hydraulique évoluant dans un canal rectangulaire à section composée du fond rugueux. A) Vue à l'amont du ressaut. B) Vue à l'aval du ressaut.



Photographie 7: Photographie du ressaut hydraulique évoluant dans un canal rectangulaire à section composée du fond rugueux. A) canal avec fond lisse. B) canal avec fond rugueux.

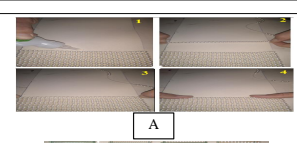
4. Description du mode de préparation de la rugosité du fond du canal

Afin d'obtenir un canal rectangulaire de la forme composée, avec une répartition uniforme de la rugosité, nous avons procédé selon les étapes suivantes :

Nous apportons des Pellets en plastique avec des trous au milieu, et nous les attachons à travers un fil utilisé pour la pèche et nous dormons en les collants sur un tapie 4m x 15cm (Photographie 8).

L'avantage de ces rugosités est tous les Pellets qui ont utilisé avoir le même diamètre et même position (position linéaire) et aussi par cette méthode nous évitons l'érosion et on peut utiliser plusieurs fois.

Les rugosités équivalentes obtenues sont : $\epsilon = 06$ mm $\epsilon = 08$ mm $\epsilon = 10$ mm et $\epsilon = 12$ mm .



Photographie 8: Les tapies pour différent diamètre de la rugosité (A) la méthode pour Fabriquer les tapies de la rugosité

VII. ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

Rapport des hauteurs conjuguées du ressaut Yen fonction du nombre de Froude F1

Rapport des hauteurs conjuguées du ressaut Y en fonction du nombre de Froude F1 dans le lit mineur lisse (0 < h2 < 20) cm :
 La figure (2) montre la représentation graphique de la variation de Y en fonction du nombre de Froude F_1 incident pour valeurs de rugosités absolues : $\epsilon=0$ mm.

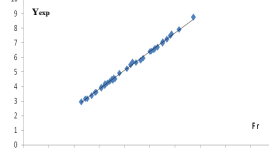


Figure 2: Variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude dans le lit mineur lisse, pour rugosités "e" (cm) = 0 mm.

Rapport des hauteurs conjuguées du ressaut Y en fonction du nombre de Froude F1 dans le lit majeur (20 < h2 < 50) cm :

Comme nous l'avons fait avec le lit mineur, nous avons tracé le graphique du rapport des hauteurs conjuguées h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude F_1 pour cinq valeurs de rugosité relative ϵ/B pour le lit majeur rugueux ($20 < h_2 < 50$) cm.

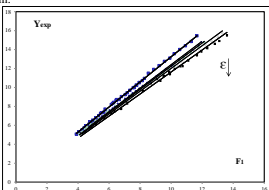


Figure 3: Variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude dans le lit majeur, pour cinq rugosités différentes testées "e" (cm) 12 mm ; () 10 mm ; (O) 08 mm ; (+) 06 mm et (x) 0 mm.

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 rugueux pour le lit majeur, montre aussi qu'à chaque valeur de rugosité "e" correspond une courbe de type linéaire de la forme $h_2/h_1 = b_1(F_1)$. Le tableau (1) regroupe les valeurs du coefficient b_1 .

$\epsilon / (B-b)$	Coefficient b_1	R ²
0.12	1.1629	0.994
0.10	1.201	0.995
0.08	1.2249	0.997
0.06	1.2406	0.997
0	1.3237	0.999

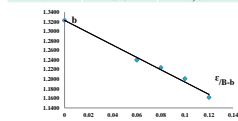


Figure 4: Variation du coefficient "b" en fonction de la rugosité relative ϵ/B dans le lit majeur rugueux.

L'ajustement des couples de valeurs ($b_1, \epsilon/B$) du tableau ci-dessus a permis d'aboutir avec une bonne corrélation par la méthode des moindres carrées selon la relation linéaire suivante : $b_1 = -1.290 \epsilon/B + 1.322$, avec $R^2 = 0.990$. Cette équation est présentée par la figure (4).

L'équation liant le rapport des hauteurs conjuguées h_2/h_1 , le nombre de Froude F_1 et la rugosité relative ϵ/B s'écrit alors : $Y = (-1.290 \epsilon/B + 1.322) F_1$ Pour $0 \leq \epsilon/B \leq 0.12$

La figure (5) montre également que la relation $Y = f(\epsilon/B, F_1)$ ajuste avec une bonne Corrélation pour le lit majeur ($20 < h_2 < 50$) cm, en majorité des points de mesures expérimentales obtenues et ces derniers suivent parfaitement la première bissectrice justifient les mesures expérimentales.

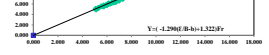


Figure 5: Rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut en fonction de $f(\epsilon/B, F_1)$. Les points de mesures expérimentales du ressaut contrôlé avec lit majeur rugueux.

Cette figure 6 indique la comparaison entre les mesures expérimentales du rapport Y des hauteurs conjuguées avec leurs relations globales empiriques obtenues pour les deux lits du canal rectangulaire de section composée.

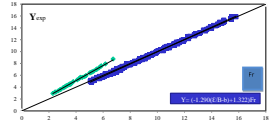


Figure 6: La variation du rapport des hauteurs conjuguées h_2/h_1 , expérimentale en fonction de $f(\epsilon/B, F_1)$ pour les deux cas () lit mineur ; (x) lit majeur.

CONCLUSION

Notre étude concerne l'étude du rapport du ressaut hydraulique évoluant dans un canal rectangulaire de section composée avec lit majeur rugueux.

Les travaux de Khataoui et Achour en 2012 liés au ressaut hydraulique formé dans un canal rectangulaire de forme composée résume comme suit :

- une relation fonctionnelle est de forme $\phi(Fr_1, Y, \beta, \tau) = 0$ sans tenir compte des forces de frottements. Une relation deuxième a été exposée, y compris les forces de frottements. L'approche globale est déduite par le développement théorique mené par Achour (2000) sur le ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie.
- On a exposé tout les mesures expérimentales obtenues au niveau du laboratoire qui sont liées à la variation des rapports des hauteurs conjuguées (Y) du ressaut hydrauliques variant en fonction du nombre de Froude incident et avec des diverses rugosités testées au lit majeur du canal d'expérimentation.
- Les approches adimensionnelles obtenues sont en fonction de la rugosité relative ϵ/B et du nombre de Froude incident F_1 .
- D'après les résultats obtenus, on déduit que l'effet de la rugosité imposée au lit majeur de canal est perceptible, ce qui justifie la réduction des profondeurs au lit majeur par rapport au lit mineur.