



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure
Et de la Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de technologie

Département d'Hydraulique et Génie Civil

MEMOIRE :

*Présenté en vue de l'obtention du diplôme de master
professionnel en Hydraulique*

Option : Conception et diagnostic du système d'AEP et d'Assainissement

Thème

*Etude Comparative des caractéristiques du Ressaut
Hydraulique Evoluant dans un canal Rectangulaire de section
Composée Avec Lit majeur et celui mineur Rugueux*

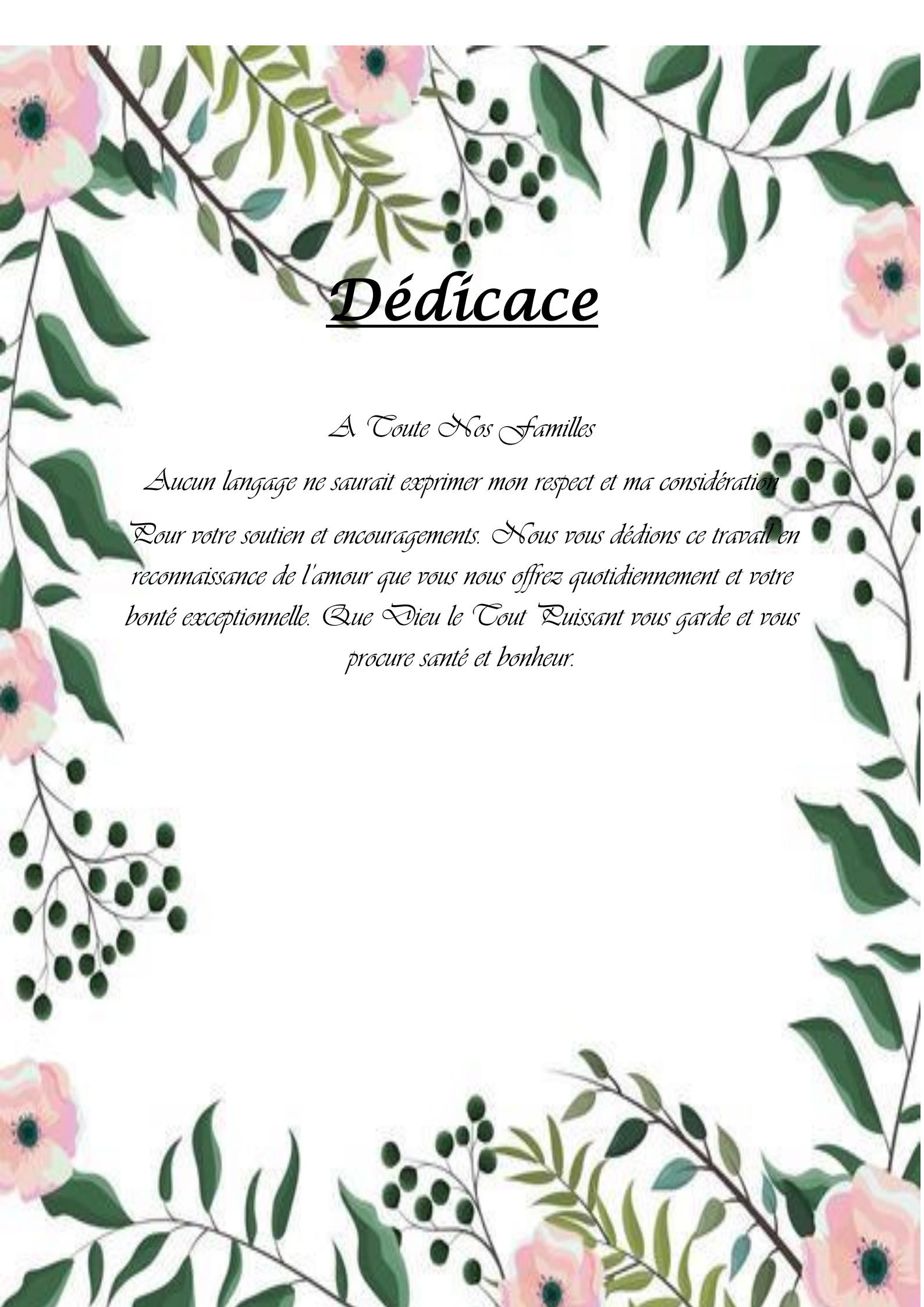
Devant le Jury composé de

- Président : Meziani Assia
- Examineur : Riguet Farhate
- Encadreur : GHOMRI Ali

Présenté par

- Meziane Khaled
- Alia Belgacem
- Guater Chouib

2022-2023



Dédicace

A Toute Nos Familles

*Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération
Pour votre soutien et encouragements. Nous vous dédions ce travail en
reconnaissance de l'amour que vous nous offrez quotidiennement et votre
bonté exceptionnelle. Que Dieu le Tout Puissant vous garde et vous
procure santé et bonheur.*



Remerciement

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à notre encadreur de mémoire, Monsieur GHOMRI Ali nous le remercions de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Nous adressons notre sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Nous remercions nos très chers parents, qui ont toujours été là pour moi. Et tous nos familles et amis.

À tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements, nos respects et notre gratitude.

Sommaire

Dédicaces	2
Remerciement	3
Sommaire	4
Résumé.....	6
Liste des symboles	7
Liste des figures.....	8
Liste des tableaux	11
Introduction Générale.....	12

Partie I : Eude Bibliographique

Chapitre I : Approche théorique de Khattoui et Achour en 2012	14
I.1. Introduction.....	14
I.2. Approche Théorique de Khattoui et Achour en 2012.....	14
I.2.1. Les différentes caractéristiques hydrauliques du ressaut hydrauliques.....	14
I.3.Conclusion	17

Chapitre II : Approche de Riguet et All

II.1. La problématique.....	
II.2. Analyse des essais expérimentaux.....	19
II.3.3. Résultats expérimentaux.....	20
II.3.3.1. Rapport des hauteurs conjuguées.....	21
II.4. Conclusion.....	23

Chapitre III : Ressaut hydraulique en canal triangulaire

à parois rugueuses

III.1. Introduction.....	25
III.2. Procédure Expérimentale.....	25
III.2.1. Déroulement des essais.....	25
III.2.2. Description du mode de préparation de la rugosité des parois.....	26
III.3. Résultats Expérimentaux.....	27
III.3.1. Longueur relative L_j/h_1 fonction du nombre de Froude F_1	27
III.3.2. Rapport Y des hauteurs conjuguées en fonction du nombre de Froude F_1 ...	30
III.4. Conclusion.....	34

Partie II : Eude Expérimentale	35
Chapitre I : Protocole expérimentale	36
I.1. Introduction.....	37
I.2. Procédure d'expérimentation.....	37
3. Appareillage de mesure.....	38
I.3.1. Procédure de mesure des débits	39
I.3.2. L'appareil Limnométrique.....	40
I.4. Aperçu des essais Expérimentaux.....	41
I.4.1. Protocole Expérimentale des essais.....	42
I.4.2. Mode de préparation de la rugosité équivalente.....	44
I.5. Conclusion.....	46
Chapitre II : Interprétation des Résultats Expérimentaux	47
Introduction.....	48
II.1. Longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du nombre de Froude Fr pour le lits majeur rugueux.....	48
II.2. Variation de la longueur relative de ressaut L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude F_1 dans le lits mineur ($0 < h_2 < 20$)	56
II.2.1. Variation de la longueur relative du ressaut L_j/h_1 en fonction de nombre Froude F_1 dans le lits majeur ($20 < h_2 < 50$) cm.....	60
II.3. Etude Comparative du rapport des longueurs relative du ressaut hydraulique variant en fonction du nombre de Froude.....	68
II.3.1. Comparaison entre la longueur relative L_j/h_1 de ressaut variant en fonction du nombre de Froude	68
II.3.2. Comparaison entre la relative du ressaut Hydraulique L_j/h_1 variant en fonction du nombre de Froude Fr pour le lit majeur lisse et son homologue rugueux.....	72
Conclusion Générale	82
Références	86

ملخص

تهدف هذه الرسالة إلى المساهمة في الدراسة والمقارنة لخصائص القفزة المائية التي تتطور داخل قناة من الشكل مركب مع قاع رئيسي وثنائي خشن. أتاحت الدراسة إلى إظهار نوع القفزة المائية التي تتطور داخل القناة المستطيلة الأكثر مردودية وربحية فيما يتعلق بتبديد الطاقة.

Résumé

Ce mémoire est destiné à l'Etude Comparative des caractéristiques du Ressaut Hydraulique Evoluant dans un canal Rectangulaire de section Composée Avec Lit majeur et celui mineur Rugueux.

L'étude a permis de montrer l'effet de cette rugosité sur les caractéristiques du ressaut hydraulique. Il a été permis d'obtenir un type du ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé avec lit mineur rugueux est plus rentable et plus réducteur aux caractéristiques des longueurs relatives que son homologue avec lit majeur rugueux.

Mots clés : Ressaut hydraulique, canal rectangulaire composé, lit mineur rugueux, majeur rugueux.

Abstract

This thesis is intended for the Comparative Study of the Hydraulic Jump characteristics Evolving in a Rectangular channel of section Composed with the Major Beds and the Rough Minor Bed.

The study made it possible to show the effect of this roughness on the characteristics of the hydraulic jump. It was possible to obtain a type of hydraulic jump evolved in rectangular channel composed with rough minor bed is more profitable and more reducing in the characteristics of the relative lengths than its counterpart with rough major bed.

Keywords: Hydraulic jump, compound rectangular channel, rough minor bed, rough major.

Liste des symboles

B et b	Largeur de lit majeur et de lit mineur du canal	[m]
F_1	Nombre de Froude à l'amont du ressaut	
g	Accélération de la pesanteur	[m/s ²]
h	Hauteur de plein bord du lit mineur	[m]
h_1	Hauteur initiale du ressaut	[m]
h_2	Hauteur finale du ressaut	[m]
h_1^*	Hauteur initiale du ressaut classique	[m]
h_2^*	Hauteur finale du ressaut classique	[m]
Q	Débit volume	[m ³ /s]
q	Débit unitaire	[m ² /s]
R_h	Rayon hydraulique	[m]
s	Hauteur d'un seuil	[m]
ϖ	Poids spécifique du liquide	[N/m ³]
X	Coordonnée longitudinale	[m]
X^*	Position d'un seuil	[m]
Y	Rapport des hauteurs conjuguées	
Y^*	Rapport des hauteurs conjuguées du ressaut classique	
β	Rapport de l'élargissement	
τ	Rapport des hauteurs	
ε	Rugosité absolue	[mm]

Liste des figures

Partie I : Eude Bibliographique

Chapitre I : Approche théorique de Khattoui et Achour en 2012 :

Figure 1. 1: configuration du ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de section composée	14
Figure1. 2: le rapport de Y, calculé par (1.4), varie en fonction de F_1 .(---) : $\beta = 1$	16
Figure 1.3: le rapport de Y varie en fonction de F_1 . (o) : expression (1.6), (+) : expression(1.4).....	17

Chapitre II : Approche de Riguet et All :

Figure 2. 1 : configuration du ressaut contrôlé par seuil mince en canal rectangulaire de forme composée.....	19
Figure 2. 2 : Photographie du canal ayant servi à l'expérimentation (laboratoire larhyss de Biskra)	21
Figure 2.3: le rapport des hauteurs conjuguées Y varie en fonction de Froude F_1 pour le canal composée. (o)les mesures expérimentales pour le lit majeur ; (Δ) les mesures expérimentales pour le lit mineur. (—) Courbes d'ajustements.....	22

Chapitre III : Ressaut hydraulique en canal triangulaire à parois rugueuses :

Figure 3.1 : Echantillon de toile rugueuse de rugosité absolue $\varepsilon = 8,73\text{mm}$	26
Figure 3.2 : Toile rugueuse soigneusement collée sur les deux parois du canal triangulaire	27
Figure 3.3 : Variation de la longueur relative L_j/h_1 en fonction du nombre Froude F_1 , pour quatre valeurs de la rugosité absolue ε . (- - -) Courbes d'ajustements.	28
Figure 3.4 : Variation du coefficient a de la relation (1) en fonction de la rugosité absolue ε	29
Figure 3.5 : Variation de la longueur relative expérimentale $(L_j / h_1)_{Exp}$ en fonction de $\xi(\varepsilon, F_1)$ exprimée par la relation (3.3) (o) $(L_j / h_1)_{Exp}$ du ressaut contrôlé dans un canal à parois rugueuses. (—) Première bissectrice.	30
Figure 3.6 : Variation du rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut en fonction de F_1 , pour les quatre valeurs testées de la rugosité absolue ε .(- - -) : Courbes d'ajustement. (—●—) : $Y(F_1)$ pour $\varepsilon \rightarrow 0$ (Hager et Wanoschek, 1987)	31

Figure 3.7 : Variation du coefficient b de la relation (3.5) en fonction de la rugosité absolue ε (—) Courbe d'ajustement tracée selon la relation (3.6)	32
Figure 3.8 : Variation Y_{Exp} en fonction de $\Phi(F_1, \varepsilon)$. (- - -) : Première bissectrice.....	33

Partie II : Eude Expérimentale

Chapitre I : Protocole expérimentale :

Figure 1.1: photographie du canal d'expérimentation (Laboratoire Université Ouargla)	37
Figure 1.2 : Photographie de la pompe axiale (Laboratoire Université Ouargla)	38
Figure 1.3: Photographie de La vanne de régulation du débit (Laboratoire Université Ouargla)	38
Figure 1.4: Photographie du déversoir rectangulaire avec contraction latérale pour mesurer les débits pompés (Laboratoire Université Ouargla)	39
Figure 1.5: Schéma de définition de la deuxième partie du canal avec déversoir, <i>Hachemi</i> , 2007.....	39
Figure 1.6: La profondeur d'eau mesuré par pointe limnométrique (Laboratoire Université Ouargla)	41
Figure 1.7: Photographie des ouvertures (h_1 (cm) = 02 ; 02.5 ; 03 ; 03.5 et 04) (Laboratoire Université Ouargla)	42
Figure 1.8: Photographie des parois de contrôle du ressaut (Laboratoire Université Ouargla).	42
Figure 1.9: Photographe du ressaut hydraulique. a) Vue à l'amont du ressaut lisse. b) Vue à l'aval du ressaut lisse (Laboratoire Université Ouargla)	44
Figure 1.10: Photographie des tapis rugueux imposés au lit majeur du canal composé. a) canal avec fond lisse. Et avec lit majeur rugueux (Laboratoire Université Ouargla).	44
Figure 1.11: Photographe des tapis rugueux imposés au lit mineur du canal composé. a) Canal avec fond lisse. b) canal avec lit mineur rugueux.	45
Figure 1.12: Les tapis rugueux divers.....	45

Chapitre II : Interprétation des Résultats Expérimentaux :

Figure 2-1 La variation de la longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du nombre de Froude Fr	48
Figure 2-2 L'ajustement statistique des couples de valeurs ($\varepsilon/(B-b)$, a)	49
Figure 2-3 Représentation graphique de L_j/h_1 expérimentale en fonction de L_j/h_1 globale d'un lit majeur rugueux.....	50

Figure 2.4: Ressaut contrôlé dans un canal rectangulaire de section composée à fond rugueux	56
Figure 2.5: Variation du coefficient " a_1 " en fonction de la rugosité relative ε/b dans le lit mineur.....	57
Figure 2.6: La variation de la longueur relative L_j/h_1 en fonction de $f(\varepsilon/b, F_1)$.	
(□) Les points expérimentaux du ressaut hydraulique contrôlé à fond rugueux. (—) Première bissectrice.....	58
Figure 2.7 : La variation de la longueur relative L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude, pour cinq rugosités différentes " ε " : (◇) 12 mm ; (□) 10 mm ; (Δ) 08 mm ; (○) 06 mm et (*) 0 mm. (—) Courbes d'ajustements.....	61
Figure 2.8: Variation du coefficient " b_1 " en fonction de la rugosité relative ε/b dans le lit majeur.....	62
Figure 2.9: La variation de la longueur relative L_j/h_1 expérimentale en fonction de $f(\varepsilon/b, F_1)$	62
Figure 2.10: Représentation de la variation de la longueur relative L_j/h_1 expérimental en fonction de $f(\varepsilon/b, F_1)$ pour les deux cas (lit mineur et lit majeur)	67
Figure 2.11 Comparaison du rapport L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude Fr pour le lit mineur lisse et celui rugueux.....	68
Figure 2.12 : variation du rapport L_j/h_1 en fonction de Fr pour le lit majeur rugueux et son homologue lisse poseur les deux types deux types du ressaut.....	72

Liste des tableaux

Partie I : Eude Bibliographique

Chapitre III : Ressaut hydraulique en canal triangulaire à parois rugueuses

Tableau 3.1 : Valeurs du coefficient a de la relation (3.1) 28

Tableau 3.2 : Valeurs des coefficients b et c de la relation (3.5) 32

Partie II : Eude Expérimentale

Chapitre II : Interprétation des Résultats Expérimentaux :

Tableau 2-1 Mesures expérimentales ayant servi au traçage du graphique $L_j/h_1 = f(F_r)$ 49

Tableau 2-2 récapitulation des résultats pour le ressaut hydraulique en canal rectangulaire composé avec lit majeur rugueux 50

Tableau 2.3: coefficients a_1 des courbes d'ajustements. 57

Tableau 2.4: Ecarts relatifs entre L_j/h_1 expérimentale et L_j/h_1 d'ajustement dans le lit mineur.
.....58

Tableau 2.5: coefficients b_1 des courbes d'ajustements.....61

Tableau 2.6: Ecarts relatifs entre L_j/h_1 expérimentale et L_j/h_1 d'ajustement dans le lit majeur.
.....63

Tableau 2.7 mesures expérimentales du ressaut hydraulique L_j/h_1 en fonction du Fr pour le lit mineur rugueux avec son homologue lit mineur lisse. (Docteur Walid jamaa 2021)69

Tableau 2.8 : Les mesures du rapport expérimentales L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude Fr pour le type du ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé avec lit majeur rugueux (Docteur Sena 2021)73

Tableau 2.9 : Les mesures du rapport expérimentales L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude Fr pour le type du ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé avec lit majeur lisse (mesures Walid jamaa 2021) 77

Introduction Générale

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Les barrages détournent d'importants ruissellements, notamment lors des crues, qui s'écoulent le long de l'ouvrage vers les oueds via le déversoir. Afin d'éviter l'érosion dommageable qui peut se produire, ce que l'on appelle des bassins de dissipation d'énergie sont créés. A cet effet, les chercheurs considèrent ce phénomène comme le moyen le plus rentable, un ressaut dit hydraulique, pour évaluer les propriétés géométriques de ce ressaut, telles que : la profondeur initiale et finale, le nombre de Froude de l'écoulement incident, et la longueur de la course et la pente de la surface et le ressaut hydraulique.

Le phénomène de ressaut hydraulique peut se produire juste derrière la vanne Du fond, c'est-à-dire au pied du barrage déversant. Pour cela, il est utilisé dans la pratique. Le ressaut hydraulique se caractérise principalement par deux hauteurs conjuguées, sortie et finale, comme B. Longueur du rouleau de surface et du ressaut hydraulique.

Le but de ce travail est d'étudier et de comparer la relation entre les caractéristiques du ressaut hydraulique se développant dans un canal rectangulaire de forme composée. Les approches fonctionnelles sont présentées sous des approches adimensionnelles combinant différentes caractéristiques dans le but de montrer l'influence de la rugosité des lits du canal sur les caractéristiques de ressaut hydraulique.

Il est très important de noter que ce type de ressaut hydraulique n'a jamais été étudié dans un canal rectangulaire à section composée et notre sujet de recherche est présenté pour combler cette lacune.

❖ L'organisation de ce mémoire :

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire s'articule en deux parties :

- La première partie porte sur l'étude bibliographique, grâce à laquelle nous passerons en revue les travaux effectués dans le domaine du ressaut hydraulique évilué dans un canal rectangulaire composé rugueux.
- La seconde partie concernera notre propre contribution intitulée : Etude Comparative des caractéristiques du Ressaut Hydraulique Evoluant dans un canal Rectangulaire de section Composée Avec le Lit majeur et celui mineur Rugueux D'un point de vue expérimentale.
- On termine ce mémoire par une conclusion générale.

Partie I : Etude Bibliographique

Chapitre I

Approche théorique de Khattoui et Achour en 2012

I.1. INTRODUCTION :

Cette partie diviser à deux chapitres pour le premier chapitre, l'approche théorique sera présentée par Khattoui et Achour en 2012 concernant le ressaut hydraulique en lit composé, le deuxième chapitre sera consacré à l'étude expérimentale la plus récente de F. Riguet, M. Debabeche et A. Ghomri en 2019 reflétant l'étude expérimentale du ressaut hydraulique contrôlé par seuil mince évoluant dans un canal rectangulaire de forme composée.

I.2. APPROCHE DE KHATTAOUI ET ACHOUR 2012 :

I.2.1. Les différentes caractéristiques hydrauliques du ressaut hydraulique :

La figure ci-dessous. (1) indique les caractéristiques hydrauliques et géométriques du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée.

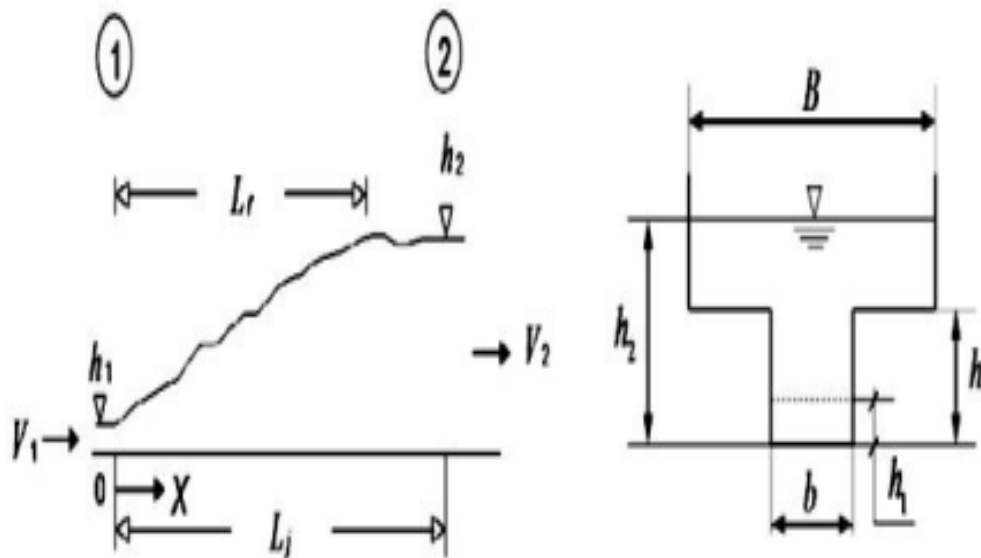


Figure 1.1: configuration du ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de section composée

Selon l'auteur (Bousmar et al. En 2004), entre le lit mineur et le lit majeur du canal rectangulaire de section composée, un transfert de quantité de mouvement et de masse se produit.

Entre le pied et la fin du ressaut hydraulique, la théorie de la quantité de mouvement entre le pied et la fin du ressaut, présenté par la figure 1.1, se résume de la manière suivante :

$$\rho Q (P_2 V_2 - P_1 V_1) = F_1 - F_2 \quad (1.1)$$

En se penchant sur les travaux de *Achour (2000)*, et en utilisant la relation de *Borda-Carnot* et compte tenue l'expression (1.1). Il semble acceptable d'ajouter une force de résistance dont la projection selon l'axe horizontal de l'écoulement aurait comme relation suivante :

$$f_x = -k\bar{\omega}(h_2 - h)^x h_1^y (B - b)^z \quad (1.2)$$

Cette expression représente la perte de charge engendré par le transfert quantité de mouvement et de la masse entre le lit mineur et celui majeur. Les exposants x, y et z sont exprimées par la relation $x + y + z = 3$, le facteur k s'écrit comme suit : $k = \varphi(L_j \text{ ou } L_r, h_1, h_2, h)$. Tenant compte de l'expression de f_x , l'équation de la quantité de mouvement d'Euler se transforme comme suit :

$$\rho Q^2 (1/A_2 - 1/A_1) = f_1 - f_2 + f_x \quad (1.3)$$

Étudions l'équation en prenant compte de cette relation suivante :

$$f_x = (1/2)\bar{\omega}(h_2 - h)h_1(B - b) :$$

La supposition de la distribution des vitesses uniforme dans les sections au pied et à la fin du ressaut donne $\beta_1 = \beta_2 = 1$. Les deux sections A_1 et A_2 sont écrites par : $A_1 = bh_1$ et $A_2 = B(h_2 - h) + bh$. Tenant compte en considération de l'hypothèse qui suppose que la distribution des pressions est hydrostatique pour deux sections 1 et 2 du ressaut, ainsi les deux relations des forces s'écrivent comme suit :

$$f_1 = \bar{\omega} \left(\frac{h_1}{2} \right) bh_1 \text{ Et } f_2 = \bar{\omega}(h_2 - h/2)bh + \bar{\omega}[(h_2 - h)/2]B(h_2 - h).$$

Tenant en considération de ces hypothèses et de la relation de continuité $V_1 A_1 = V_2 A_2 = Q$, l'expression (1.3) se transforme après réarrangement de la manière suivante :

$$F_1^2 \left(\frac{\beta}{Y - (1 - \beta)/\tau} - 1 \right) = 1 - \frac{(2Y - 1/\tau)}{\tau} - \frac{(Y - 1/\tau)^2}{\beta} - (Y - \frac{1}{\tau}) \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right) 2 \quad (1.4)$$

Où :

$$F_1 = Q / \sqrt{b^2 h_1^3 g} \quad (1.5)$$

L'équation finale serait, après l'annulation de la force de résistance f_x , comme suit :

$$2F_1^2 \left(\frac{\beta}{Y - (1 - \beta)/\tau} - 1 \right) = 1 - \frac{(2Y - 1/\tau)}{\tau} - \frac{(Y - 1/\tau)^2}{\beta} \quad (1.6)$$

Les deux expressions (1.4) et (1.6) sont deux expressions fonctionnelles de forme :

$$\emptyset(F_1, Y, \beta, \tau) = 0.$$

Sachant que les deux expressions 1.4 et 1.6 peuvent être formulée sous la forme :

$$Y^3 + aY^2 + bY + C = 0.$$

Le changement de variable $Y = x - a/3$, la relation de troisième degré devient alors : $Y^3 + pY + q = 0$ dont la solution se fait facilement par l'utilisation le procédé trigonométrique.

La variation de Y , calculé par l'équation (1.6), en fonction de F_1 est montrée par la figure (1.2). En faisant changer l'une des deux variables, β ou τ , est fixée, la deuxième variable change de pas de 0.2. Les valeurs de F_1 à prendre en considération doivent être strictement supérieur à la valeur minimale

$$F_{1min} = [1/(2\sqrt{2})]\sqrt{(2/\tau + 1)^2 - 1}$$

Qui correspond à $h_2 = h$, dans le but que le ressaut se produise nécessairement dans le canal de forme composée ($h_2 > h$) On constate qu'à partir de ces deux figures montrées ci-dessous, que pour un β et τ fixées, Y s'accroît avec l'augmentation de F_1 . Lorsque les valeurs de β seront importantes, l'augmentation du rapport Y en fonction de F_1 sera aussi plus rapide. Le rapport Y croît avec l'accroissement de β et diminue avec l'augmentation de τ , Pour un nombre de Froude F_1 fixé.

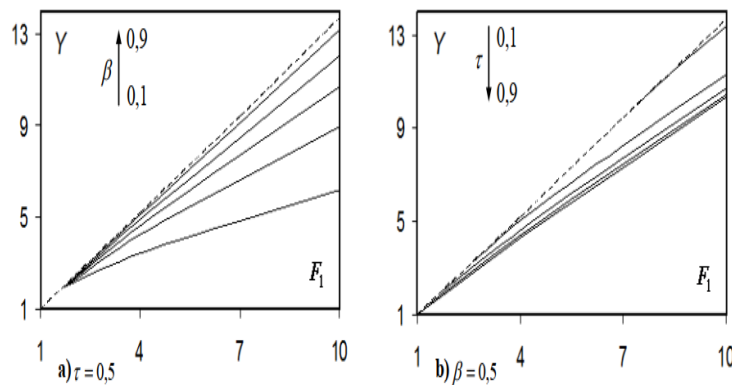


Figure1. 2 : le rapport de Y , calculé par (1.4), varie en fonction de F_1 .(---) : $\beta = 1$.

La figure ci-dessus montre la variation du rapport Y en fonction du nombre de Froude incident F_1 avec $\beta = \tau = 0,5$. on note que les rapports Y calculées selon la relation (1.4) Qui tient compte des forces de frottements sont inférieures à celles calculées de la relation (1.6). Cette baisse est remarquée lorsque le nombre de Froude F_1 sera important. La force f_x explique les pertes de charge dues à l'expansion de l'écoulement vers le haut.

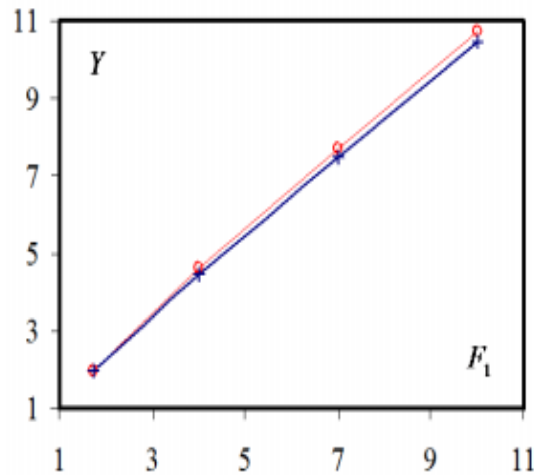


Figure 1.3: le rapport de Y varie en fonction de F_1 . (o) : expression (1.6), (+) : expression(1.4).

I.3.Conclusion

A travers ce premier chapitre, nous avons cité, les travaux de Khattoui et Achour en 2012, liée avec le ressaut hydraulique formé en canal rectangulaire de forme composée. Cette 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.

Chapitre II

Approche de Rigut et All

II.1. La problématique :

Des différentes configurations du ressaut hydrauliques peuvent être présentées, avec la modification des conditions à l'amont tel que débits, hauteurs etc.... et à l'aval tel que le type d'obstacle, sa position, etc. Le ressaut s'appelle classique quand il se forme dans un canal rectangulaire de pente nulle ou faible, sans obstacle à l'aval. Il s'appelle contrôlé quand sa création est conditionnée par un obstacle mis à l'aval de l'écoulement. Il s'appelle forcer quand il se crée de part et d'autre de l'obstacle. L'évolution du ressaut hydraulique peut être formé dans des canaux non prismatiques ou prismatiques, avec lit rugueux ou lisse. Il s'agit pour notre cas le ressaut hydraulique formé par seuil mince évoluant dans un canal de forme composée avec des différentes ouvertures h_1 (Figure 2.1). Pour une ouverture initiale h_1 donné, l'évolution du débit engendre le déplacement du ressaut vers l'aval et l'augmentation aussi de la longueur de rouleau de surface L_r . La distance Δx sur laquelle le ressaut se forme augmente aussi et pour rendre celui-ci dans sa position initiale, environ à 5 cm de la sortie du convergent, le seuil premier de hauteur s doit être augmenté. Par conséquent pour chaque nombre de Froude incident F_1 , correspond la longueur du ressaut L_j et la longueur du rouleau de surface L_r , ainsi pour une hauteur h_2 à l'aval du ressaut hydraulique et une hauteur du seuil s (Figure2. 4).

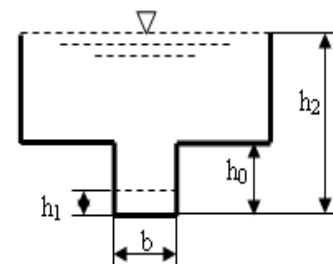
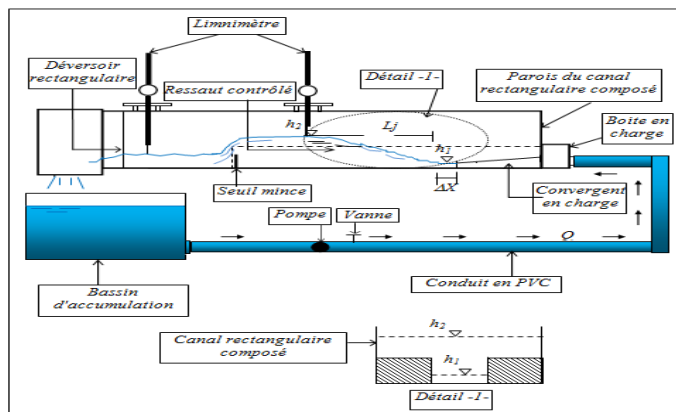


Figure 2. 1: configuration du ressaut contrôlé par seuil mince en canal rectangulaire de forme composée.

II.2. analyse des essais expérimentaux:

Une série de mesures expérimentales ont été obtenues lors de l'expérimentation faite au laboratoire , pour chacune des mesures obtenue intervient au phénomène du ressaut hydraulique formé , a permis aussi , d'aboutir à des résultats fiables. Ces caractéristiques obtenues sont : la hauteur amont h_1 , le débit d'écoulement Q , la hauteur du seuil mince s , la hauteur aval h_2 ,. Ces mesures permettent de composer les produits adimensionnels tel que : le rapport des profondeurs $Y = h_2/h_1$ et le nombre de Froude F_1 :

$$F_1^2 = \frac{Q^2}{b^2 h_1^3 g} \quad (2.1)$$

Une fois le profil du ressaut se forme, nous réalisons, pour une hauteur amont h_1 et une position x de seuil données, les étapes suivante sont :

- 1- la mesure de la hauteur déversant H_{dev} se détermine par le déversoir rectangulaire.
- 2- la détermination du débit spécifique en appliquant la relation du débitmètre rectangulaire (*HachemiRachedi L.2006*) :

$$Q = 0,3794 \cdot B \sqrt{2g} \beta (1 + 0,16496 \beta^{2,0716})^{3/2} H_{dev}^{3/2} \quad (2.2)$$

OU :

Q : le débit volumique en (m^3/s).

$\beta = b/B$: Rapport de l'élargissement.

b : l'échancrure du canal (m).

B : la largeur au miroir du canal (m).

g : l'accélération gravitationnelle (m/s^2).

H_{dev} : La lame déversant en (m).

3. le nombre de Froude se Calcule, par application de l'expression (1.7).
4. la lecture de la hauteur aval h_2 du ressaut hydraulique.



Figure 2. 2: Photographie du canal ayant servi à l'expérimentation (laboratoire larhyss de Biskra)

II.3.3. résultats expérimentaux:

II.3.3.1. rapport des hauteurs conjuguées:

Y est le rapport de la hauteur aval du ressaut h_2 sur la hauteur amont h_1 tel que $Y = h_2/h_1$.

La figure ci-dessous représente la variation du rapport Y des hauteurs du ressaut variant en fonction du nombre de Froude F_1 , pour cinq ouvertures h_1 : 2 ; 2.5 ; 3 ; 3.5 et 4cm pour le lit mineur et celui majeur du canal rectangulaire de forme composée.

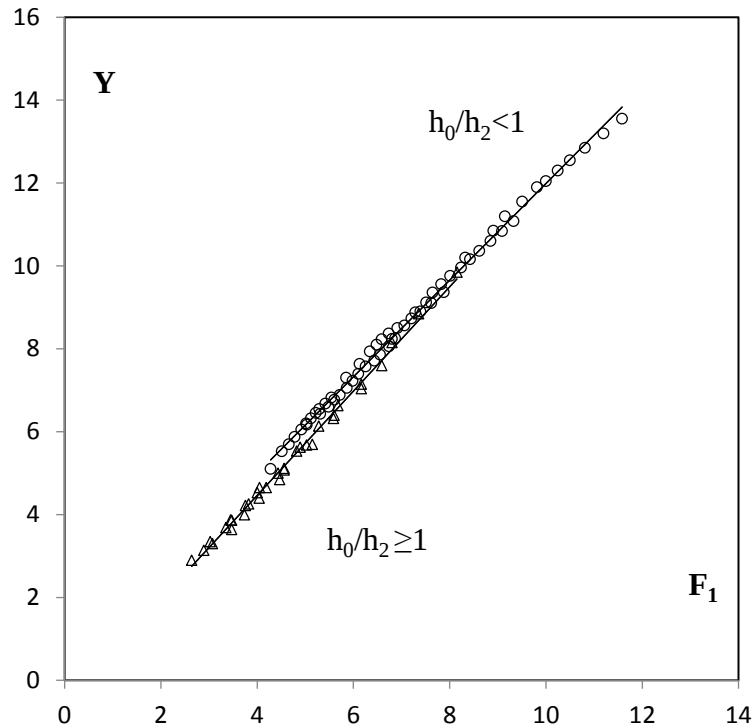


Figure 2.3: le rapport des hauteurs conjuguées Y varie en fonction de Froude F_1 pour le canal composée. (o) les mesures expérimentales pour le lit majeur ; (Δ) les mesures expérimentales pour le lit mineur . (—) Courbes d'ajustements.

L'ajustement des mesures expérimentales, du rapport des hauteurs conjuguées h_2/h_1 et des nombre de Froude incident F_1 est de type linéaire , d'équation suivante :

Pour $h_0/h_2 \geq 1$ et $2.64 < F_1 < 8.14$

$$Y = 1,258 F_1 - 0,573 \quad (2.3)$$

Pour $h_0/h_2 < 1$ et $4.27 < F_1 < 11.58$

$$Y = 1,165 F_1 + 0,328 \quad (2.4)$$

II.4. CONCLUSION:

Des mesures expérimentales au laboratoire (LARHYSS) on peut déduire que l'influence des trous h_1 sur la variation du rapport de portance hydraulique Y , qui varie en fonction du nombre de Froude incident F_1 , est significative.

L'étude a ensuite examiné la variation du rapport Y , qui varie selon le nombre de Froude F_1 pour différentes ouvertures pour les deux lits d'un canal rectangulaire complexe. On voit que ce rapport augmente lorsque le nombre de Froude F_1 augmente. et que pour un nombre de Froude fixe F_1 , Y est plus grand dans le lit principal. Notons que pour une gamme de nombres de Froude et pour différents sondages h_1 , l'ascendance hydraulique se développant dans un canal rectangulaire à section complexe représente deux relations expérimentales globales sans dimension, telles que $B. Y = f(F_1)$ par lequel la plomberie de construction pourrait être dimensionnée.

Enfin, on conclut que le ressaut hydraulique qui se développe dans un canal rectangulaire de forme complexe entraîne une diminution du rapport de hauteur $Y = h_2/h_1$, caractéristique d'une cavité plus petite que celle du canal principal

Chapitre III

*Ressaut hydraulique en canal triangulaire à parois
rugueuses*

III.1. INTRODUCTION

La présente étude s'intéresse à l'analyse expérimentale du ressaut hydraulique contrôlé par seuil en canal triangulaire symétrique à angle d'ouverture de 90° , à parois rugueuses M. Debabeche, S. Kateb, A. Ghomri (2006). Nous présenterons à travers cette étude des relations fonctionnelles liant la rugosité des parois du canal aux caractéristiques du ressaut hydraulique.

III.2. PROCEDURE EXPERIMENTALE

III.2.1. Déroulement des essais

L'étude expérimentale s'est intéressée un ressaut hydraulique contrôlé par seuil dans un canal triangulaire à angle d'ouverture de 90° , à parois rugueuses. Quatre valeurs de la rugosité absolue ont été testées : ε (mm) = 4.53 ; 6.04 ; 7.11 ; 8.73.

L'expérimentation a été menée sous sept hauteurs initiales de l'écoulement :

h_1 (mm) = 18 ; 25 ; 30 ; 34 ; 40 ; 44 ; 51. Une large gamme du nombre de Froude incident a été ainsi obtenue, correspondent à $4 < F_1 < 24$.

La formation de ressaut contrôlé est conditionnée par la mise en place d'un seuil à l'aval de l'écoulement. A cet effet des seuils des différentes hauteurs ont été utilisés.

Pour une hauteur s de seuil placé à l'extrémité aval du canal et pour une hauteur h_1 de l'écoulement incident, l'augmentation du débit volume Q provoque l'apparition d'un ressaut. Le couple (Q, h_1) permet en outre le calcul du nombre de Froude F_1 de l'écoulement incident, pour la valeur donnée de l'angle d'ouverture du canal triangulaire testé. L'accroissement de F_1 entraîne à la fois le déplacement du ressaut vers l'aval et l'augmentation de sa longueur L_j . Ainsi, à chaque valeur du nombre de Froude F_1 correspond une valeur de la longueur L_j de ressaut ainsi qu'une valeur de la hauteur s du seuil. Un échantillon constitué d'une soixantaine de points de mesures expérimentales, pour chacune des valeurs de la rugosité absolue testées, a permis ainsi d'aboutir à des résultats significatifs.

Les caractéristiques hydrauliques et géométriques qui intéressent la présente étude expérimentale sont : le débit volume Q , la hauteur h_1 de l'écoulement incident, la hauteur finale h_2 du ressaut, la longueur L_j de celui-ci et la rugosité absolue ε des parois du canal. En outre, l'attention est portée sur l'évolution des paramètres adimensionnels suivants :

- i. Le nombre de Froude F_1 tel que :

$$F_1^2 = 2Q^2 / (gm^2 h_1^5)$$

Où m désigne la cotangente de l'angle d'inclinaison, par rapport à l'horizontale, des parois du canal triangulaire testé, soit $m = \cotg(45^\circ) = 1$.

- ii. La longueur relative L_j/h_1 du ressaut.
 iii. Le rapport $Y = h_2/h_1$ des hauteurs conjuguées du ressaut

III.2.2. Description du mode de préparation de la rugosité des parois :

Afin d'obtenir des parois rugueuses caractérisées par une répartition quasi-uniforme de la rugosité, nous avons procédé selon les étapes suivantes :

- i. Le tamisage du gravier de granulométrie variée est effectué au moyen d'un appareil électrique de tamisage "la tamiseuse", composé de plusieurs tamis de différents diamètres normalisés. Le temps de tamisage est choisi selon la gamme de gravier à tamiser, mais ne dépassant pas cinq minutes.
- ii. Après l'obtention de la gamme voulue de gravier, ce dernier est lavé puis séché.
- iii. La gamme choisie varie entre 4 et 12,50mm, selon le refus du tamis normalisé. Les particules obtenues sont ensuite uniformément réparties sur une toile en plastique (Figure 3.1), puis collées au moyen d'une colle forte "BECTA 10000".
- iv. A la fin de la préparation de la toile rugueuse, la valeur de la rugosité équivalente est estimée par un appareil numérique de mesure dit "Palmer", de précision 0,001mm.
- v. La toile rugueuse obtenue est ensuite soigneusement collée sur les deux parois du canal triangulaire (Figure3.2).



Figure 3.1 : Echantillon de toile rugueuse de rugosité absolue $\varepsilon = 8,73\text{mm}$



Figure 3.2 : Toile rugueuse soigneusement collée sur les deux parois du canal triangulaire

III.3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

III.3.1. Longueur relative L_j/h_1 fonction du nombre de Froude F_1

La Figure (3.3) montre la représentation graphique de la variation de la longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du nombre de Froude F_1 de l'écoulement incident, pour les quatre rugosités absolues testées.

Quatre nuages de points distincts sont ainsi perceptibles, correspondant chacun à une rugosité absolue ε . Nous pouvons constater que pour une rugosité absolue donnée, l'augmentation du nombre de Froude F_1 engendre celle de la longueur relative du ressaut. En outre, pour une valeur donnée du nombre de Froude F_1 , l'augmentation de la rugosité absolue provoque la diminution de la longueur relative du ressaut.

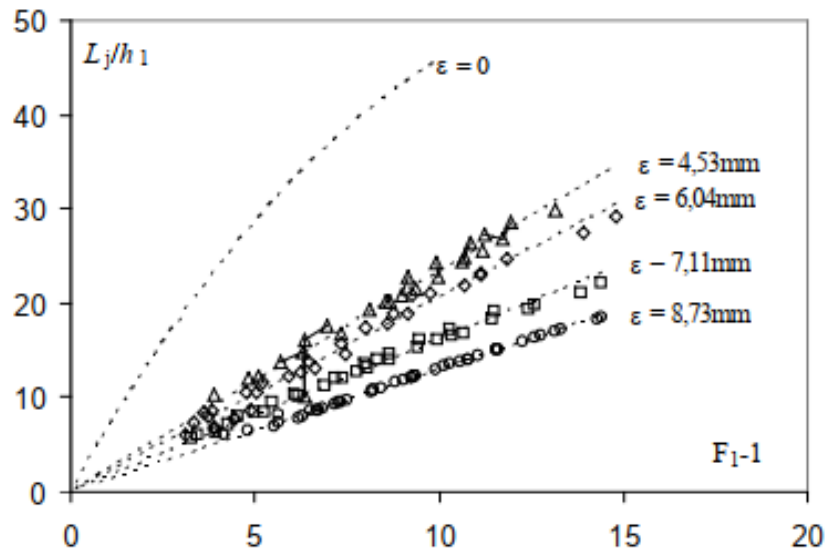


Figure 3.3 : Variation de la longueur relative L_j/h_1 en fonction du nombre Froude F_1 , pour quatre valeurs de la rugosité absolue ε .
(- - -) Courbes d'ajustements.

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 linéairement dépendante de F_1 selon la relation :

$$L_j / h_1 = a (F_1 - 1) \quad (3.1)$$

Le tableau (3.1) regroupe les valeurs du coefficient a ainsi que celles du coefficient de corrélation R^2 issues de l'ajustement effectué.

Tableau 3.1 : Valeurs du coefficient a de la relation (3.1)

ε (mm)	a	R^2
4,53	2,34	0,98
6,04	2,08	0,99
7,11	1,66	0,99
8,73	1,30	0,99

Le tableau (3.1) montre ainsi que le coefficient a diminue avec l'augmentation de la rugosité absolue ε et la variation de $a(\varepsilon)$ est représentée graphiquement sur la figure (3.4).

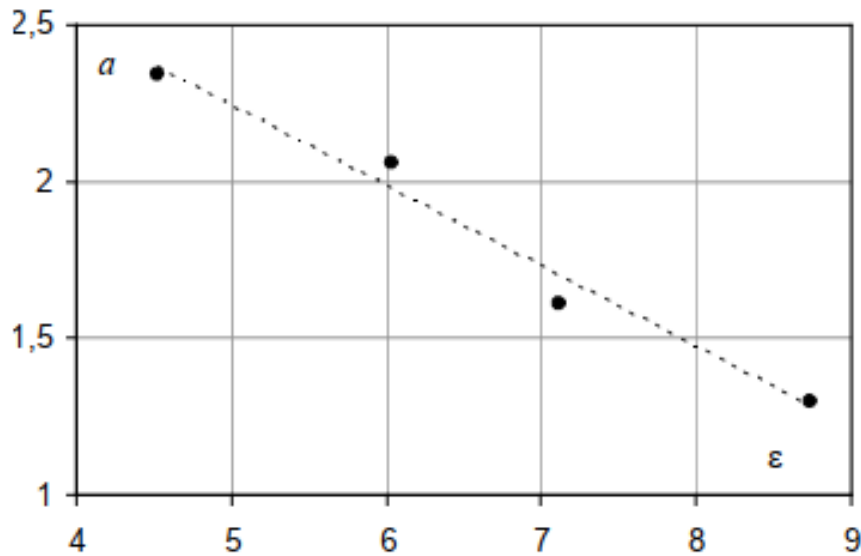


Figure 3.4 : Variation du coefficient a de la relation (1) en fonction de la rugosité absolue ε

L'ajustement statistique des couples de valeurs (ε, a) , par la méthode des moindres carrés, a permis d'écrire :

$$a = 3,53 - 0,26\varepsilon \quad (3.2)$$

En éliminant le coefficient a entre les relations (3.1) et (3.2), nous pouvons alors écrire :

$$L_j / h_1 = (3,53 - 0,26\varepsilon) (F_1 - 1) \quad (3.3)$$

La relation (3.3) est applicable dans la gamme $4,53\text{mm} \leq \varepsilon \leq 8,73\text{mm}$.

La figure (3.5) montre la variation de la fonction $L_j / h_1 = \xi(\varepsilon, F_1)$ exprimée par la relation (3.3) 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 (3.3).

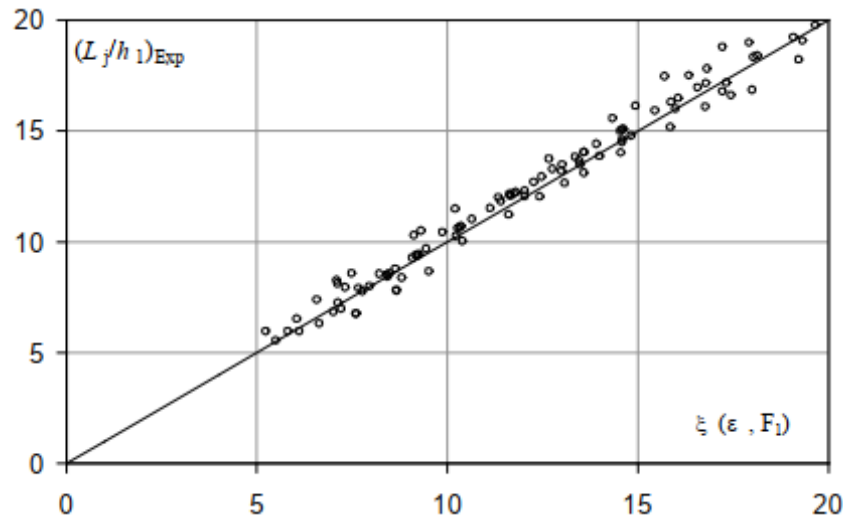


Figure 3.5 : Variation de la longueur relative expérimentale $(L_j / h_1)_{Exp}$ en fonction de $\xi(\epsilon, F_1)$ exprimée par la relation (3.3).

(o) $(L_j / h_1)_{Exp}$ du ressaut contrôlé dans un canal à parois rugueuses.

(—) Première bissectrice.

III.3.2. Rapport Y des hauteurs conjuguées en fonction du nombre de Froude F_1 :

La figure (3.6) représente la variation du rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut en fonction du nombre de Froude incident F_1 , pour les quatre rugosités absolues testées. Nous pouvons ainsi observer que, pour toutes les rugosités, l'augmentation du nombre de Froude incident F_1 entraîne celle du rapport Y des hauteurs conjuguées. L'influence de la rugosité des parois du canal sur le rapport Y est clairement mise en évidence par la figure (3.6), puisque pour la même valeur du nombre de Froude incident F_1 , l'augmentation de la rugosité absolue ϵ engendre la diminution du rapport Y. La figure (3.6) montre quatre nuage de points, correspondant chacun à une valeur donnée de la rugosité absolue ϵ .

Les traits discontinus représentent l'ajustement des points de mesures par la méthode des moindres carrés non linéaires. Nous avons également représenté sur la figure (3.6), la variation $Y(F_1)$ correspondant à une rugosité absolue $\epsilon \rightarrow 0$ ou pouvant être considérée comme telle en raison de la nature pratiquement lisse des parois du canal triangulaire. La courbe a été tracée selon la relation de Hager et Wanoschek (1987), issue de l'application de l'équation de la quantité de mouvement entre les sections initiale et finale du ressaut et telle :

$$Y = \frac{2Y^2(Y^2 + Y + 1)}{3(Y + 1)} \quad (3.4)$$

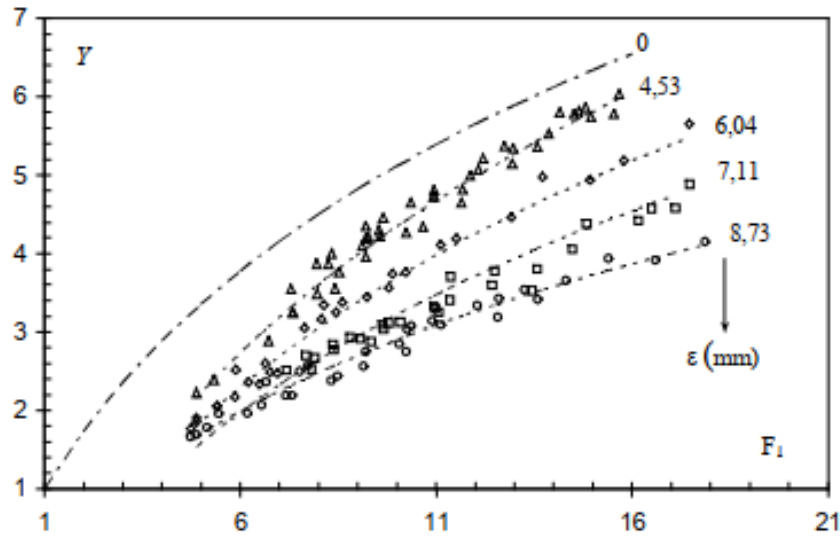


Figure 3.6 : Variation du rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut en fonction de F_1 , pour les quatre valeurs testées de la rugosité absolue ε .

(- - -) : Courbes d'ajustement.

(—●—) : $Y(F_1)$ pour $\varepsilon \rightarrow 0$ (Hager et Wanoscsek, 1987)

Les mesures expérimentales ont été soumises à une analyse statique basée sur la méthode des moindres carrés non linéaires. Il a été observé que, pour chacune des rugosités absolues testées, le rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut est lié au nombre de Froude incident F_1 par une loi de type logarithmique d'équation :

$$Y = b \ln \left(\frac{F_1 + 4}{5} \right) + c \quad (3.5)$$

Le tableau (3.2) regroupe les valeurs des coefficients b et c , ainsi que les coefficients de corrélation R^2 issues de l'ajustement.

Tableau 3.2 : Valeurs des coefficients b et c de la relation (3.5)

$\varepsilon(\text{mm})$	b	c	R^2
4,53	4,82	-0,60	0,98
6,04	4,22	-0,60	0,98
7,11	3,70	-0,60	0,95
8,73	2,74	-	0,97

Le tableau (3.2) montre que le coefficient b diminue avec l'augmentation de la rugosité absolue ε . L'ajustement des couples de valeurs (ε, b) par la méthode des moindres carrés (Figure 3.7) a permis d'écrire une relation de type linéaire d'équation :

$$b = 7.14 - \frac{1}{2} \varepsilon \quad (3.6)$$

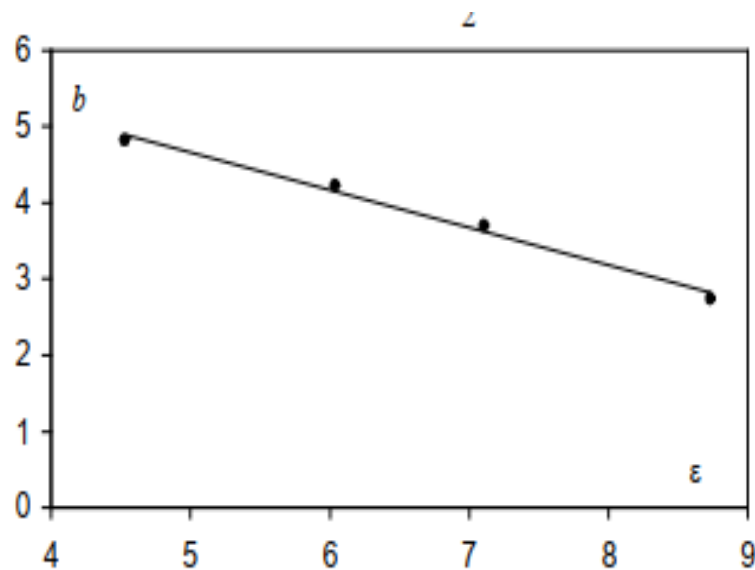


Figure 3.7 : Variation du coefficient b de la relation (3.5)
en fonction de la rugosité absolue ε

(—) Courbe d'ajustement tracée selon la relation (3.6)

Le tableau (3.2) montre également que le coefficient c ne dépend pas de la rugosité absolue ε et qu'il prend une valeur constante telle que :

$$C = -\frac{3}{5} \quad (3.7)$$

Ainsi, en tenant compte des équations (3.6) et (3.7), la relation (3.5) s'écrit :

$$Y = \left(7.14 - \frac{1}{2}\varepsilon\right) \ln\left(\frac{F_1 + 4}{5}\right) - \frac{3}{5} \quad (3.8)$$

La relation (3.8) est applicable dans la gamme $4,53mm \leq \varepsilon \leq 8,73mm$.

La variation de $Y = \Phi(F_1, \varepsilon)$ exprimé par la relation (3.8) est représentée graphiquement sur la figure (3.8) en fonction des valeurs expérimentales Y_{Exp} .

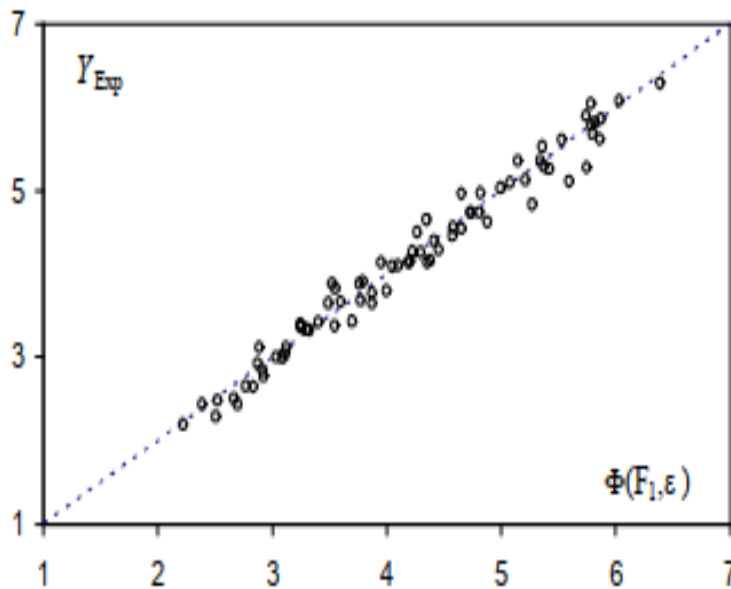


Figure 3.8 : Variation Y_{Exp} en fonction de $\Phi(F_1, \varepsilon)$. (- -) : Première bissectrice

La figure (3.8) montre clairement que les points obtenus se répartissent autour de la première bissectrice, ce qui confirme la fiabilité et la validité de la relation (3.8).

III.4. CONCLUSION

Dans ce travail, l'influence de la rugosité absolue des parois d'un canal triangulaire avec un angle d'ouverture de 90° et une inclinaison horizontale sur les propriétés de la charge hydraulique a été étudiée. Quatre valeurs de rugosité absolue ont été testées.

Les recherches ont d'abord porté sur la variabilité de la longueur de course relative L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude F_1 de l'afflux. Il a été observé que pour une valeur incidente du nombre de Froude donnée, une augmentation de la rugosité absolue se traduit par une diminution de la longueur de course relative. De plus, l'analyse statistique des points de mesure a montré que pour chacune des rugosités absolues testées, la longueur relative L_j/h_1 était liée au nombre de Froude F_1 via une loi linéaire [équation (3.3)].

Dans un deuxième temps, l'évolution du rapport Y des hauteurs des marches conjuguées en fonction du nombre de Froude incident F_1 sous l'influence de chacune des rugosités absolues testées a été étudiée. Nous avons pu observer que pour une même valeur du nombre de Froude F_1 , une augmentation de la rugosité absolue entraîne une diminution du rapport Y . La variabilité de $Y (F_1, \varepsilon)$ a été modélisée par la loi logarithmique [équation (3.8)], qui résulte de l'analyse statistique des points de mesure expérimentaux.

Partie II : Etude Expérimentale

Chapitre I

Protocole expérimentale

I.1. INTRODUCTION :

Aperçu générale sur les instruments et appareils utilisées au laboratoire y compris le canal d'essai pour réaliser l'expérimentation.

I.2. procédure d'expérimentation:

Les essais ont été effectués dans un banc expérimental montré à la figure (2.1) de longueur 10 m et de hauteur 0,5 m surmonté par des parois latérales en plexiglas transparent. le canal disposé est de section composée, de longueur 4 m , de hauteur $h=20$ cm , de largeur pour le lit mineur $b=15$ cm et de lit majeur $B=25$ cm.



Figure 1.1: photographie du canal d'expérimentation (Laboratoire Université Ouargla).

Le canal d'expérimentation est horizontal avec pente nulle. La conduite circulaire de 150 mm de diamètre est relié au bassin d'alimentation par un canal. Cette conduite est reliée à la boîte métallique fermée, dans laquelle est insérée une ouverture à paroi plane en tôle de largeur fixée débouchant dans le canal.

La tâche principale de ce trou inséré est de créer un torrent. Sa section est variable et sa hauteur correspond à la hauteur initiale h_1 de la course hydraulique. Des débits spécifiques sont obtenus en manipulant la vanne. Le canal est alimenté en eau par une pompe axiale qui assure un débit de 55,55 l/s. Les tests ont été effectués dans un canal conçu au "Laboratoire d'Exploitation et de Valorisation des

Ressources Naturelles en Zones Arides" de l'Université de Ouargla.



Figure 1.2 : Photographie de la pompe axiale(Laboratoire Université Ouargla).



Figure 1.3: Photographie de La vanne de régulation du débit(Laboratoire Université Ouargla).

I.3. APPAREILLAGES DE MESURE :

I.3.1. procédure de mesure des débits :

Le banc de mesure de forme composée avec lit majeur rugueux sur une longueur de 4 m, est relié dans sa partie aval un canal de forme rectangulaire dans lequel est inséré un déversoir de section rectangulaire de hauteur avec contraction latérale et sans hauteur de pelle .celui-ci est conçu et testé par Hachemi Rachdi (2007),permettant de mesurer directement les débits d'écoulement.



Figure 1.4: Photographie du déversoir rectangulaire avec contraction latérale pour mesurer les débits pompés(Laboratoire Université Ouargla).

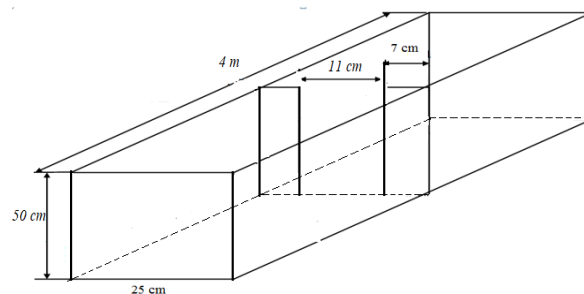


Figure 1.5: Schéma de définition de la deuxième partie du canal avec déversoir, *Hachemi, 2007.*

En effet, lors du passage du débit Q à travers les deux parois du débitmètre, la hauteur h_{dev} de la lame d'eau qui traverse ce débitmètre est lue sur l'appareil limnométrique placé au-dessus du déversoir. Par conséquent, le débit spécifique est obtenu en entrant la hauteur h dans l'équation (2.1) du déversoir.

$$Q = 0,3794\sqrt{2g}\beta(1+0,16496\beta^{2,0716})^{3/2}h_{dev}^{3/2} \quad (1.1)$$

ou :

Q : Le débit spécifique en (m^3/s).

$\beta = b/B$: aspect de forme. $\beta = b/B=0.44$

b : Largeur de l

'échancrure (m). $b=11$ cm.

B

: largeur au miroir du canal (m). $B=25$ cm.

g : L'accélération gravitationnelle (m/s^2).

h_{dev} : hauteur de la lame déversant en (m).

La condition d'application est justifiée : $\beta < 0.45$

La relation du débit spécifique : $Q = 0.193h_{dev}^{3/2}$

II.3.2. l'appareil Limnométrique:

L'évaluation des profondeurs d'eau d'écoulement dans le banc d'expérimentation est faite par un l'instrument Limnométrique (Figure 1.6).

Les étapes de lecture des profondeurs sont : On lit la graduation sur la règle, qui est située directement au-dessus du zéro du vernier, puis on lit le nombre cinquante devant la division qui coïncide à la division de cette règle.

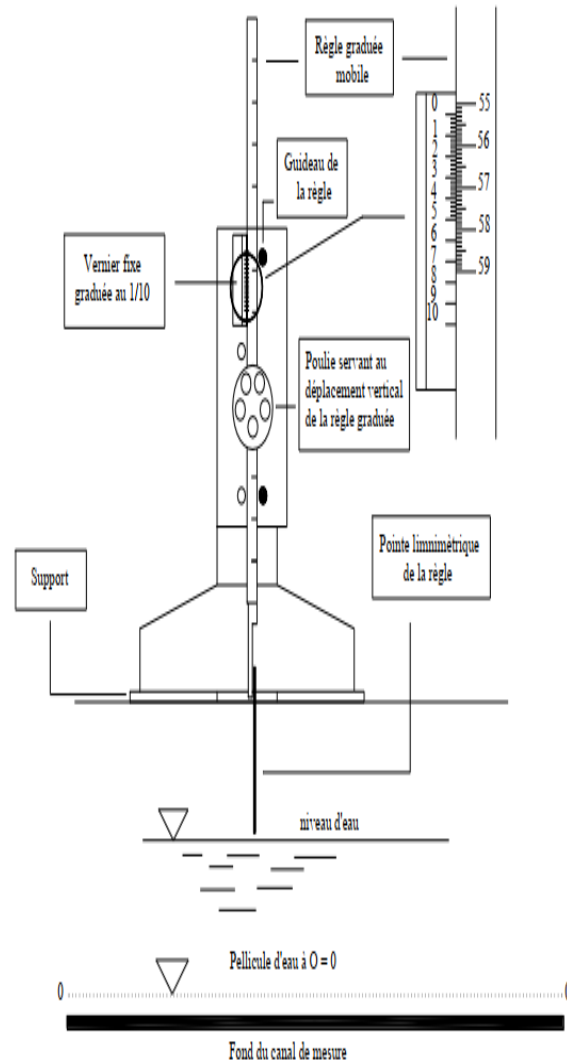


Figure 1.6: La profondeur d'eau mesurée par pointe limnométrique (Laboratoire Université Ouargla).

II.4. Les essais expérimentaux :

II.4.1. protocole expérimental des essais:

L'expérimentation concerne le ressaut hydraulique formé par seuil mince en canal rectangulaire de forme composée avec un fond rugueux. Elle a été réalisée avec cinq ouvertures de la section amont (h_1 (cm) = 02 ; 02.5 ; 03 ; 03.5 et 04). Une gamme des mesures des nombres de Froude a été obtenue ($2 < F_1 < 20$).

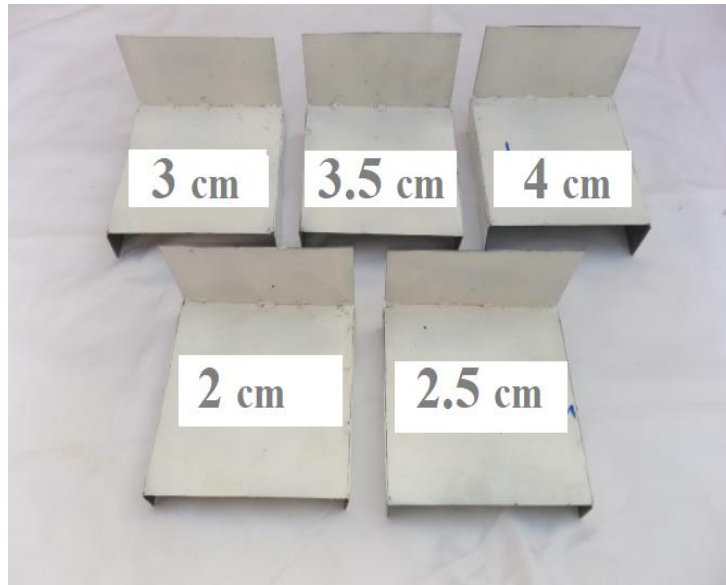


Figure 1.7: Photographie des ouvertures (h_1 (cm) = 02 ; 02.5 ; 03 ; 03.5 et 04)(Laboratoire Université Ouargla).

Les parois de différentes hauteurs 'S'ont été examinées (Figure1.7), dans le but de contrôler et former le ressaut hydraulique ; par conséquent, 28 parois de contrôle ont été conçues, dont leurs hauteurs situées dans l'intervalle 2 cm et 21 cm.



Figure 1.8: Photographie des parois de contrôle du ressaut(Laboratoire Université Ouargla).

Pour une hauteur S du seuil et une position x de la paroi du seuil et une hauteur h_1 de l'ouverture générant l'écoulement torrentiel, l'accroissement du débit spécifique Q , engendre la formation d'un ressaut. Le couple de mesure (Q, h_1) permet aussi d'évaluer le nombre de Froude F_1 . L'augmentation de Froude provoque le déplacement du ressaut vers l'aval et l'accroissement de sa longueur L_j . Par conséquent, pour chaque valeur du nombre de Froude F_1 correspond une valeur de la hauteur S du seuil et une valeur de L_j du ressaut. Une gamme de mesures expérimentales, pour chaque caractéristique hydraulique, permettant d'avoir des résultats importants. Ces caractéristiques sont : la hauteur aval h_2 , le débit spécifique Q , la hauteur S du seuil, la longueur L_r du rouleau de surface, la hauteur amont h_1 , et la longueur L_j du ressaut, mesuré au début du ressaut. Ceux-ci permettent de formuler les paramètres adimensionnels suivants :

- Le débit relatif q ou le nombre de Froude incident F_1 ,

$$F_1 = \sqrt{\frac{Q}{gh_1^3 b^2}} \quad (1.2)$$

- hauteur amont h_1 ; [m]
- hauteur aval h_2 ; [m]
- Rapport $y=h_2/h_1$ des hauteurs du ressaut .
- hauteur relative $S = s/h_1$ du seuil.
- longueur relative L_j/h_1 du ressaut.
- longueur relative L_r/h_1 du rouleau.
- rugosité relative $\varepsilon/(B - b)$ du fond du canal.



Figure 1.9: Photographe du ressaut hydraulique

a) Vue à l'amont du ressaut lisse. b) Vue à l'aval du ressaut lisse (Laboratoire Université Ouargla).

II.4.2. mode de préparation de la rugosité équivalente:

Les étapes à suivre pour concevoir les tapis rugueux qui seront imposées dans le canal rectangulaire de forme composée sont :

Des Pellets en plastique ont été préparés avec des trous au milieu, et nous les attachons à travers un fil utilisé pour la pêche en faisant les coller sur un tapis de 4m x 15cm (Figure 2.11 et Figure 2.12). Ces tapis rugueux sont uniformes grâce aux diamètres homogènes des pellets imposés. Les rugosités équivalentes conçues sont : $\varepsilon = 06 \text{ mm}$ $\varepsilon = 08 \text{ mm}$ $\varepsilon = 10 \text{ mm}$ et $\varepsilon = 12 \text{ mm}$



Figure 1.10: Photographie des tapis rugueux imposés au lit majeur du canal composé .

a) canal avec fond lisse. et avec lit majeur rugueux (Laboratoire Université Ouargla).

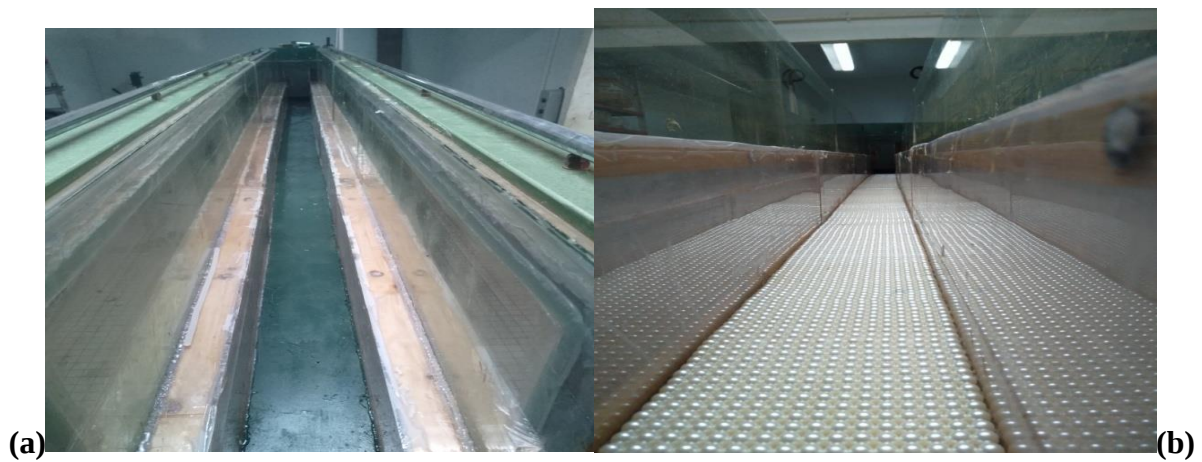


Figure 1.11: Photographe des tapis rugueux imposés au lit mineur du canal composé .

b) canal avec fond lisse. b) canal avec lit mineur rugueux.

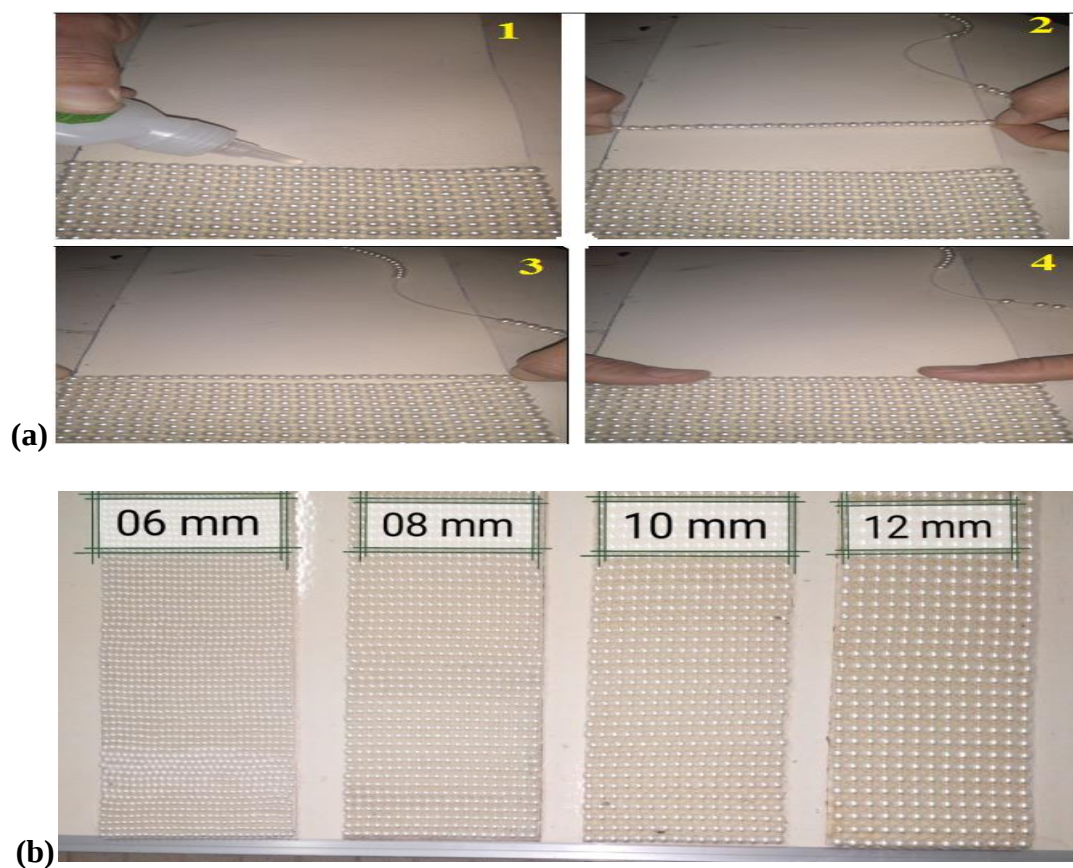


Figure 1.12: Les tapis rugueux divers

(a) la méthode de conception des tapis rugueux ; (b) les divers tapis rugueux(Laboratoire Université Ouargla).

III.5. CONCLUSION :

Pour le premier chapitre de la partie deuxième , nous avons exposé le banc expérimental utilisé en expérimentation sous forme des diverses photographies, nous avons aussi expliqué la procédure de l'utilisation des appareils permettant de mesurer les caractéristiques du ressaut hydraulique. Pour les mesures de débit, nous avons utilisé le débitmètre à déversoir rectangulaire sans hauteur de pelle avec contraction latérale de *HachemiRachedi L. (2006)*. Finalement, nous avons expliqué clairement la méthode de préparation des divers tapis rugueux qui se sont imposées au lit majeur du canal.

Chapitre II

Interprétation des Résultats

Expérimentaux

Introduction

A travers ce dernier chapitre , nous allons contribuer à l'étude comparative des caractéristiques du ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé avec lit majeur et celui mineur rugueux . Cette étude va permettre d'obtenir des approches empiriques adimensionnelles régissant ce type du ressaut hydraulique et de juger lequel le type du ressaut hydraulique est plus rentable.

2.1. Longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du nombre de Froude F_r pour le lit majeur rugueux:

La Figure 2.1 montre la représentation graphique de la variation de la longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du nombre de Froude F_r de l'écoulement incident, pour Cinq rugosités absolues : ε (mm)= 0, 6, 8, 10, 12. Cinq nuages de points distincts sont perceptibles, correspondant chacun à une rugosité absolue ε . On constate que pour une rugosité absolue fixe, l'augmentation du nombre de Froude engendre celle ε la longueur relative du ressaut.

En outre, pour une valeur fixe du nombre de Froude incident, l'augmentation de la rugosité absolue provoque la diminution de la longueur relative du ressaut.

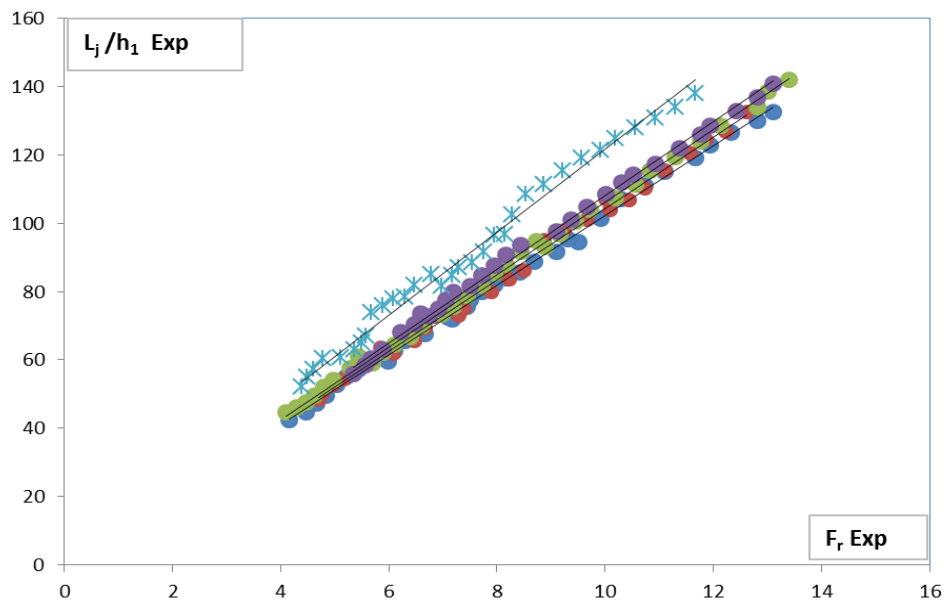


Figure 2-1 La variation de la longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du nombre de Froude F_r .

Par ailleurs, l'analyse statistique des points de mesures expérimentales par la méthode des moindres carrés non linéaire, montre que pour chaque rugosité absolue, un ajustement linéaire de la forme $L_j/h_1 = a.F_r$ est possible. La figure 2.2 le montre bien. Le tableau : regroupe les valeurs du coefficient (**a**).

Tableau 2-1 Mesures expérimentales ayant servi au traçage du graphique $L_j/h_1 = f(F_r)$

Rugosité	$\varepsilon/(B-b)$	Equation linéaire pour chaque allure= (a)	R ²
12	0.12	10.2310	0.9983
10	0.1	10.433	0.9954
8	0.08	10.623	0.9984
6	0.06	10.815	0.9975
0	0	12.181	0.989

Le tableau montre, que le coefficient 'a' diminue progressivement avec l'augmentation de la rugosité absolue (ε). L'ajustement statistique des couples de valeurs ($\varepsilon/(B-b)$, **a**) par la méthode des moindres carrés donne la relation de type linéaire suivante :

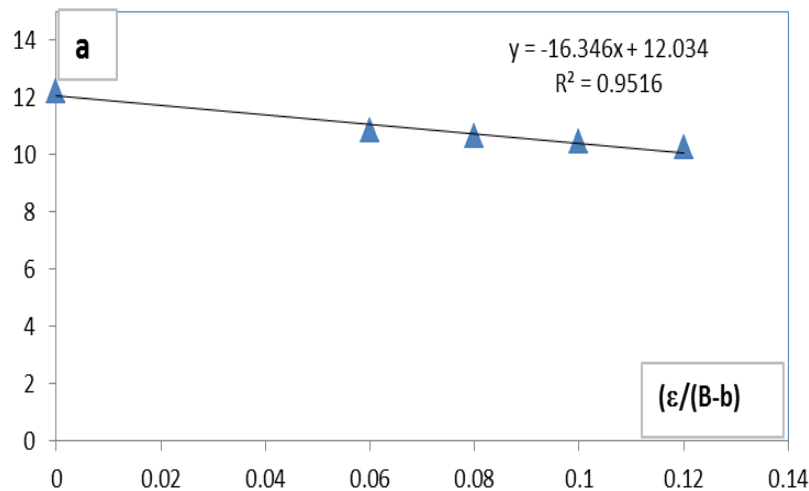


Figure 1-2 L'ajustement statistique des couples de valeurs ($\varepsilon/(B-b)$, **a**)

$$a = - 16,346 x + 12.034$$

Celle-ci est représentée dans la figure 2.2

La relation globale adimensionnelle obtenue est mentionnée dans la figure 2.3

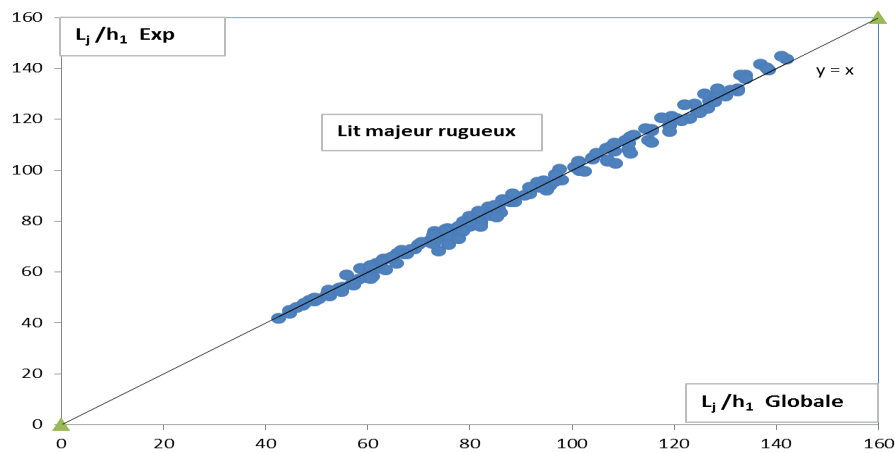


Figure 1-3 Représentation graphique de L_j/h_1 expérimentale en fonction de L_j/h_1 globale d'un lit majeur rugueux

On a constaté que l'effet réducteur de la rugosité imposée au lit majeur par rapport à la longueur du ressaut hydraulique est perceptible. ainsi, la majorité de toutes les mesures expérimentales tournent autour de la première bissectrice.

Ce qui justifié la fiabilité de mesures obtenues

Tableau 2-2 récapitulation des résultats pour le ressaut hydraulique en canal rectangulaire composé avec lit majeur rugueux

$L_j/h_1 = (-16.346(\epsilon/(B-b)) + 12.034) * Fr$				
Fr	L_j/h_1 Exp	$\epsilon/(B-b)$	L_j/h_1 Globale	err relative
4.158338	42.5000	0.12	41.88477587	-1.468849041
4.462122	44.7500	0.12	44.94463865	0.433063104
4.668576	47.2500	0.12	47.02413767	-0.480311473
4.842982	49.5000	0.12	48.78084333	-1.47426042
7.09454	72.5000	0.12	71.45961599	-1.455904837
7.456259	75.5000	0.12	75.10302141	-0.528578716
5.039816	52.5714	0.12	50.76344915	-3.561577174
5.203262	54.8571	0.12	52.4097524	-4.66972338
5.451668	57.1429	0.12	54.91181688	-4.062951093

5.746314	60.0000	0.12	57.87963229	-3.66340909
5.995771	59.6667	0.12	60.3922816	1.201502765
6.096539	62.6667	0.12	61.40726477	-2.050900499
6.299746	65.6667	0.12	63.45407003	-3.486926271
7.510355	77.6667	0.12	75.64790295	-2.668631427
7.728038	80.0000	0.12	77.84051173	-2.774247272
7.947785	82.0000	0.12	80.0539043	-2.430981626
8.169576	84.0000	0.12	82.2878873	-2.08063757
6.660661	67.6000	0.12	67.08937314	-0.761114369
7.166404	72.0000	0.12	72.18345787	0.254155
7.359215	75.6000	0.12	74.12554946	-1.989125952
8.415884	85.6000	0.12	84.76882626	-0.980518159
8.687352	88.8000	0.12	87.50317489	-1.482032062
9.099901	91.6000	0.12	91.65857462	0.063905228
9.518782	94.4000	0.12	95.87774628	1.541281831
9.308557	95.5000	0.12	93.76024932	-1.855531201
9.926064	101.5000	0.12	99.98008146	-1.520221348
10.28482	107.0000	0.12	103.5936047	-3.288229374
10.73919	111.0000	0.12	108.170237	-2.616027362
11.10737	115.0000	0.12	111.8787324	-2.789866773
11.66734	119.0000	0.12	117.5190294	-1.260196433
11.95075	123.0000	0.12	120.3736656	-2.181818081
12.33214	126.5000	0.12	124.2152	-1.839388396
12.81446	130.0000	0.12	129.0733449	-0.717929074
13.10679	132.5000	0.12	132.0179138	-0.365167241
4.703286	48.5000	0.1	48.91135703	0.841025582
4.772964	50.2500	0.1	49.63596241	-1.237082061
4.984035	52.7500	0.1	51.83097021	-1.773128658
5.162238	54.5000	0.1	53.68417485	-1.519675316
5.306295	56.7500	0.1	55.18228459	-2.840975901
5.488215	58.2500	0.1	57.07414741	-2.060219279
5.672169	60.5000	0.1	58.98714946	-2.564712075
5.858132	63.5000	0.1	60.92105966	-4.233249313

6.089323	61.7143	0.1	63.32530043	2.544030117
6.483049	65.7143	0.1	67.41982131	2.529724292
7.294755	73.1429	0.1	75.86107829	3.583156489
7.386899	75.1429	0.1	76.81931646	2.182340839
7.892656	80.0000	0.1	82.07888539	2.532789504
8.225341	83.6667	0.1	85.53860649	2.188415149
8.506054	86.3333	0.1	88.45785806	2.401736576
6.660661	69.2000	0.1	69.26687638	0.096548867
6.848867	72.8000	0.1	71.22411081	-2.212578261
7.102513	76.0000	0.1	73.86187637	-2.894759435
7.618938	82.0000	0.1	79.23238016	-3.493041394
8.014108	86.0000	0.1	83.34191815	-3.189369654
9.23883	98.0000	0.1	96.07828539	-2.000154985
9.6598	101.2000	0.1	100.4561249	-0.740497555
10.08698	104.0000	0.1	104.8985083	0.856550116
10.44763	106.8000	0.1	108.6491308	1.701928725
10.73919	110.4000	0.1	111.6810917	1.147098131
8.875645	95.0000	0.1	92.30138042	-2.923704466
10.01535	107.0000	0.1	104.1536686	-2.732819188
10.64779	111.0000	0.1	110.7306175	-0.243277303
11.10737	115.5000	0.1	115.5099529	0.008616446
11.57337	120.5000	0.1	120.3561374	-0.119530733
11.85603	124.5000	0.1	123.2955558	-0.976875567
12.23642	127.0000	0.1	127.2513774	0.197543963
12.62079	132.5000	0.1	131.2486231	-0.953440032
4.091805	44.7500	0.08	43.89001347	-1.959412777
4.292472	46.0000	0.08	46.0424232	0.092139378
4.462122	47.5000	0.08	47.86215276	0.756657897
4.633951	49.5000	0.08	49.70524372	0.41292167
4.807931	52.0000	0.08	51.57140365	-0.831073647
4.984035	54.2500	0.08	53.46035083	-1.477074426
5.285635	57.4286	0.08	56.69540801	-1.293161911
5.451668	60.8571	0.08	58.47633548	-4.071403167

5.696848	59.0000	0.08	61.10621463	3.446809197
5.895564	62.0000	0.08	63.23770874	1.957232107
6.096539	64.3333	0.08	65.39342567	1.621099259
6.40218	66.6667	0.08	68.67183243	2.919924656
6.608692	70.0000	0.08	70.88694781	1.251214562
6.975306	73.3333	0.08	74.81936394	1.986157764
7.187743	75.6667	0.08	77.0980299	1.856549689
7.456259	78.6667	0.08	79.97822191	1.639890479
7.728038	81.6667	0.08	82.89341232	1.479907295
7.947785	85.3333	0.08	85.25048396	-0.097183459
8.169576	88.0000	0.08	87.62948264	-0.422822716
8.44966	91.6667	0.08	90.6337613	-1.139647467
8.732875	94.6667	0.08	93.67160906	-1.062283033
8.892829	93.2000	0.08	95.38732952	2.293102799
9.169278	96.8000	0.08	98.35260808	1.578614042
9.448533	100.4000	0.08	101.3479923	0.935383383
9.730568	104.0000	0.08	104.3731825	0.357546361
10.01535	108.4000	0.08	107.427888	-0.904897274
10.19473	107.5000	0.08	109.3519412	1.693560447
10.55665	111.5000	0.08	113.2340361	1.531373547
10.83084	115.5000	0.08	116.1750892	0.581096335
11.293	119.5000	0.08	121.1323651	1.34758793
11.76156	124.0000	0.08	126.1582119	1.710718503
12.14094	128.5000	0.08	130.2276387	1.32662981
12.81446	134.0000	0.08	137.4519484	2.51138557
13.0091	138.5000	0.08	139.539804	0.745166562
13.40132	142.0000	0.08	143.7468598	1.215233362
5.342515	55.7500	0.06	59.05210494	5.591849675
5.561554	58.5000	0.06	61.4731911	4.836565411
5.672169	60.5000	0.06	62.69584013	3.502369735
5.895564	63.0000	0.06	65.1650866	3.322464094
6.582759	73.5000	0.06	72.7608137	-1.015912632
6.21965	68.2857	0.06	68.74728521	0.671402402

6.483049	70.5714	0.06	71.65869817	1.51728907
6.750065	72.8571	0.06	74.61008788	2.34947454
6.930061	75.1429	0.06	76.59962558	1.901795769
7.06609	77.7143	0.06	78.10319036	0.497936956
7.202998	80.0000	0.06	79.61646617	-0.481726766
7.510355	81.6667	0.06	83.01375896	1.622733762
7.728038	84.6667	0.06	85.41986262	0.881757393
7.947785	87.6667	0.06	87.8487738	0.207296157
8.169576	90.6667	0.06	90.30028031	-0.405742212
8.44966	93.6667	0.06	93.39612428	-0.289671965
9.099901	97.6000	0.06	100.5833939	2.966089908
9.378458	101.2000	0.06	103.6623458	2.375352202
9.6598	104.8000	0.06	106.7720885	1.847007544
10.01535	108.4000	0.06	110.7021074	2.07955154
10.30286	112.0000	0.06	113.8800388	1.650894036
10.52027	114.4000	0.06	116.2830855	1.619397622
10.92276	117.5000	0.06	120.7318816	2.676908198
11.38621	122.0000	0.06	125.8544571	3.062630551
11.76156	126.0000	0.06	130.0032997	3.079383157
11.95075	128.5000	0.06	132.0944808	2.721143788
12.42811	133.0000	0.06	137.3708422	3.181783038
12.81446	137.0000	0.06	141.6412501	3.27676445
13.10679	141.0000	0.06	144.8725325	2.673061899
7.947785	96.5000	0	95.6436433	-0.895361853
8.281232	102.5000	0	99.65634297	-2.853463162
8.534298	108.5000	0	102.7017382	-5.645729002
8.875645	111.5000	0	106.8095094	-4.391454128
9.221425	115.5000	0	110.970632	-4.081591603
9.571583	119.0000	0	115.1844305	-3.31257396
9.926064	121.5000	0	119.4502546	-1.715982462
10.19473	125.0000	0	122.6833864	-1.888286358
10.55665	128.0000	0	127.0387598	-0.756651114
10.92276	131.0000	0	131.4444872	0.338155827

11.293	134.0000	0	135.8999994	1.398086422
11.66734	138.0000	0	140.4047464	1.712724406
6.975306	81.6000	0	83.94083205	2.788669106
7.166404	84.8000	0	86.24050204	1.67033123
7.294755	87.2000	0	87.78508531	0.666497399
7.553726	88.4000	0	90.90153687	2.751919223
7.74992	91.6000	0	93.26254295	1.782648099
8.147305	96.8000	0	98.04466976	1.269492533
5.121322	60.5714	0	61.62998667	1.717602357
5.368437	62.8571	0	64.60377484	2.703606694
5.493443	64.8571	0	66.10809449	1.892282093
5.577312	67.1429	0	67.11736757	-0.037977614
6.307045	78.5714	0	75.89897776	-3.521062986
6.483049	82.0000	0	78.01701345	-5.105279445
6.794916	85.1429	0	81.77001656	-4.124788915
4.393999	52.2500	0	52.87738561	1.186491348
4.496315	55.0000	0	54.10865252	-1.647328923
4.599413	57.2500	0	55.34933061	-3.433951891
4.772964	60.5000	0	57.43784946	-5.331241625
5.672169	73.7500	0	68.25887614	-8.044556501
5.895564	75.7500	0	70.9472202	-6.769510895
6.083912	77.7500	0	73.21379912	-6.195827741

II.2. Variation de la longueur relative de ressaut L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude F_1 dans le lit mineur ($0 < h_2 < 20$) cm.

La longueur relative du ressaut hydraulique est la distance entre le début de sa formation à la hauteur h_1 et sa fin à la hauteur h_2 .

La figure (2.4) montre la représentation graphique de la variation de L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude F_1 pour cinq valeurs de rugosités absolues $\varepsilon = 00$ mm ; $\varepsilon = 06$ mm ; $\varepsilon = 08$ mm ; $\varepsilon = 10$ mm et $\varepsilon = 12$ mm dans le lit mineur ($0 < h_2 < 20$) cm.

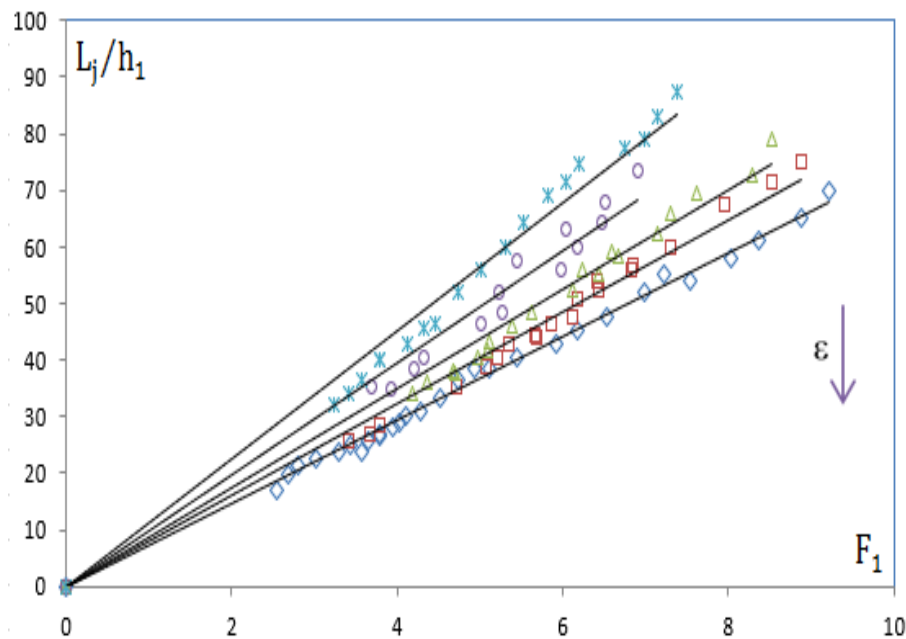


Figure 1.4: Ressaut contrôlé dans un canal rectangulaire de section composée à fond rugueux.

La variation de la longueur relative L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude dans le lit mineur ($0 < h_2 < 20$), pour quatre rugosités différentes " ε " : ($\diamond$) 12 mm ; ($\square$) 10 mm ; (Δ) 08 mm ;

($\circ$) 06 mm et (*) 0 mm. (—) Courbes d'ajustements.

On note également de cette figure cinq nuages perceptible, chacun dépendant d'une rugosité bien définie. De plus, une analyse expérimentale des points de mesure du ressaut à fond rugueux dans le lit mineur, montre que chaque valeur de rugosité " ε " correspond une courbe de type linéaire de la forme $L_j/h_1 = a_1(F_1)$.

L'analyse de ces courbes montre que la longueur relative du ressaut L_j/h_1 augmente avec l'augmentation du nombre de Froude F_1 et ceci pour toutes les rugosités.

En outre, la rugosité « ε » augmente avec la diminution du rapport de la longueur relative L_j/h_1 , Ceci est dû à la rugosité du fond du canal qui entraîne une dissipation d'énergie.

Le tableau (2.3) regroupe les valeurs du coefficient a_1 .

Tableau 2.3:coefficients a_1 des courbes d'ajustements.

ε/b	Coefficient a_1	R^2
0,08	7,349	0,995
0,0667	8,117	0,986
0,053	8,727	0,988
0,04	9,887	0,971
0	11,32	0,979

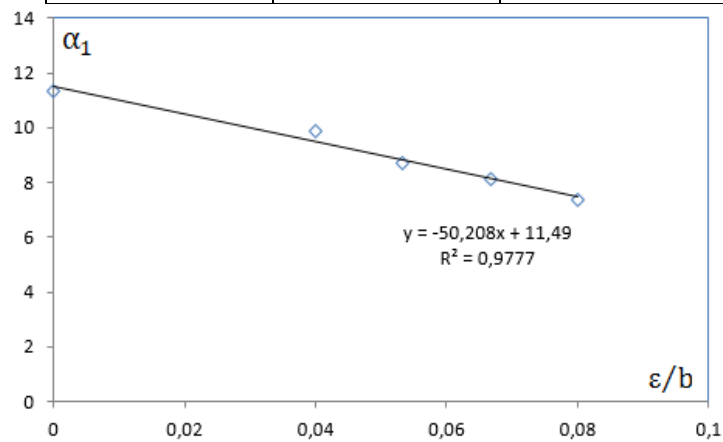


Figure 1.5:Variation du coefficient" a_1 " en fonction de la rugosité relative ε/b dans le lit mineur.

L'ajustement des couples de valeurs (a_1 , ε/b) du tableau (3.1) a permis de décrire avec une bonne corrélation la relation linéaire suivante : $a_1 = -50.208 (\varepsilon/b) + 11.49$.

Cette équation est illustrée à la figure (3.2).L'équation liant la longueur relative amont L_j/h_1 , le nombre de Froude F_1 et la rugosité relative ε/b s'écrit alors :

$$L_j/h_1 = (-50.208 (\varepsilon/b) + 11.49)F_1 \quad (3.1)$$

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

La figure (2.6) montre également que la relation $L_j / h_1 = f (b, F_1)$ est proportionnelle à une bonne corrélation pour le lit mineur ($0 < h_2 < 20$) cm. Les points expérimentaux suivent exactement la première bissectrice.

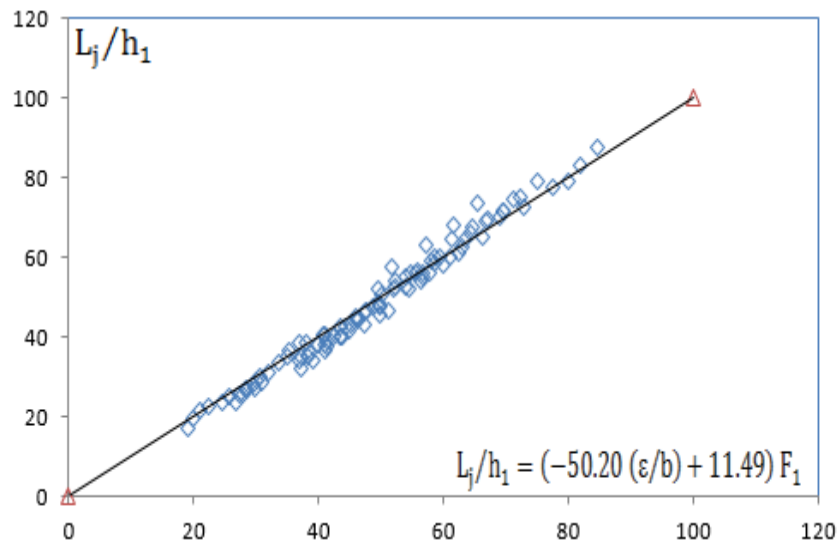


Figure 1.6: La variation de la longueur relative L_j/h_1 en fonction de $f(\varepsilon/b, F_1)$. (□) Les points expérimentaux du ressaut hydraulique contrôlé à fond rugueux. (—) Première bissectrice.

De plus, les écarts relatifs entre les valeurs des mesures expérimentales L_j/h_1 et les mesures issues de l'équation globale d'ajustement (3.1) sont évalués et montrés au tableau (3.2), Afin de justifier la fiabilité de l'équation empirique. Le tableau (3.2), montre clairement que les écarts relatifs sont dans la plupart inférieure à 5%.

Tableau 2.4: Ecarts relatifs entre L_j/h_1 expérimentale et L_j/h_1 d'ajustement dans le lit mineur.

$L_j/h_{1_relation}$	L_j/h_{1_Exp}	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)	$L_j/h_{1_relation}$	L_j/h_{1_Exp}	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)
26,702	23,750	11,055	60,022	58,000	3,368
19,034	17,143	9,934	62,522	61,000	2,435
20,010	19,714	1,476	66,337	65,000	2,015
21,002	21,429	-2,033	68,921	70,000	-1,566
22,520	22,571	-0,230	27,812	25,667	7,712
24,597	23,714	3,591	29,871	27,000	9,612
25,659	24,857	3,126	30,919	28,667	7,285
27,279	25,714	5,737	41,262	39,000	5,481
28,378	26,857	5,359	42,428	40,333	4,936
29,491	28,286	4,086	43,604	42,667	2,150
30,618	30,000	2,017	38,357	35,200	8,231

28,378	26,667	6,030	46,311	44,000	4,990
30,005	29,000	3,351	47,766	46,400	2,859
31,998	31,000	3,119	50,223	50,800	-1,148
33,691	33,333	1,061	52,219	54,000	-3,411
35,412	36,333	-2,601	55,773	56,800	-1,842
36,810	38,333	-4,138	46,190	44,500	3,660
38,155	38,400	-0,643	49,852	47,500	4,718
40,746	40,400	0,849	52,344	52,500	-0,297
44,288	42,800	3,359	55,516	56,000	-0,871
46,095	45,200	1,942	59,404	60,000	-1,004
48,851	47,600	2,561	64,721	67,500	-4,293
52,133	52,000	0,256	69,498	71,500	-2,881
54,041	55,200	-2,145	72,277	75,000	-3,767
56,335	54,000	4,145	38,467	36,286	5,669
41,346	37,667	8,900	37,236	35,000	6,006
43,819	40,333	7,954	47,595	46,500	2,301
45,072	43,333	3,859	49,630	52,000	-4,776
49,596	48,400	2,412	51,693	57,500	-11,234
53,816	52,400	2,631	57,329	63,000	-9,892
54,889	56,000	-2,025	61,682	68,000	-10,243
58,149	59,200	-1,808	65,390	73,500	-12,403
36,940	34,000	7,960	43,626	40,000	8,312
41,143	38,000	7,638	47,397	43,000	9,276
44,863	41,500	7,496	51,270	46,500	9,303
47,402	46,000	2,957	54,441	52,000	4,483

Tableau 2.4 (suite et fin) : Ecart relatifs entre L_j/h_1 expérimentales et L_j/h_1 d'ajustement

dans le lit mineur

$L_j/h_{1_relation}$	L_j/h_{1_Exp}	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)	$L_j/h_{1_relation}$	L_j/h_{1_Exp}	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)
56,647	55,000	2,907	57,674	56,000	2,903
58,698	58,500	0,338	60,969	60,000	1,590
62,873	62,500	0,594	63,480	64,500	-1,606
64,286	66,000	-2,666	66,881	69,000	-3,169
67,143	69,500	-3,510	69,470	71,500	-2,923
72,980	72,500	0,657	71,213	74,500	-4,615
75,210	79,000	-5,039	77,430	77,500	-0,091
34,955	35,143	-0,537	80,146	79,000	1,430
39,927	38,286	4,112	81,975	83,000	-1,251
41,021	40,571	1,097	84,743	87,500	-3,254
49,858	48,333	3,057	49,708	45,714	8,035
56,757	56,000	1,333	37,108	32,000	13,764
58,479	60,000	-2,600	39,241	34,250	12,719
61,388	64,400	-4,906	41,049	36,500	11,083
			43,626	40,000	8,312

II.2.1 Variation de la longueur relative du ressaut L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude F_1 dans le lit majeur ($20 < h_2 < 50$) cm.

Comme nous l'avons fait avec le lit mineur, nous avons tracé le graphique de la variation de L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude F_1 pour quatre valeurs de rugosité absolue dans le lit majeur ($20 < h_2 < 50$) cm.

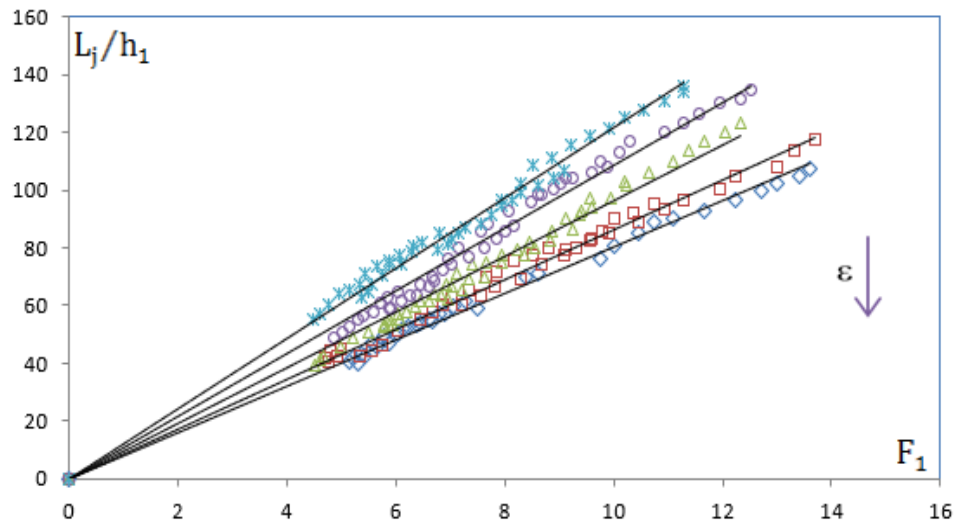


Figure 1.7: La variation de la longueur relative L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude, pour cinq rugosités différentes " ε " : ($\diamond$) 12 mm ; ($\square$) 10 mm ; (Δ) 08 mm ; ($\circ$) 06 mm et (*) 0 mm.

(—) Courbes d'ajustements.

On observe cinq nuages de points distincts, où chaque nuage de point dépend d'une rugosité bien déterminée.

De plus, l'analyse expérimentale des points de mesure du ressaut hydraulique à fond rugueux dans le lit majeur ($20 < h_2 < 50$) cm, montre que chaque valeur de rugosité " ε " correspond une courbe de type linéaire de la forme $L_j/h_1 = b_1(F_1)$.

L'analyse de ces courbes montre que la longueur relative augmente avec l'augmentation de nombre de Froude F_1 et ceci pour toutes les rugosités. En outre, le rapport de la longueur relative L_j / h_1 diminue lorsque la rugosité « ε » augmente.

Le tableau (2.5) regroupe les valeurs du coefficient b_1 .

Tableau 2.5: coefficients b_1 des courbes d'ajustements.

ε / b	Coefficient b_1	R^2
0,08	8,06	0,993
0,06666667	8,648	0,99
0,05333333	9,66	0,986
0,04	10,88	0,984
0	12,17	0,988

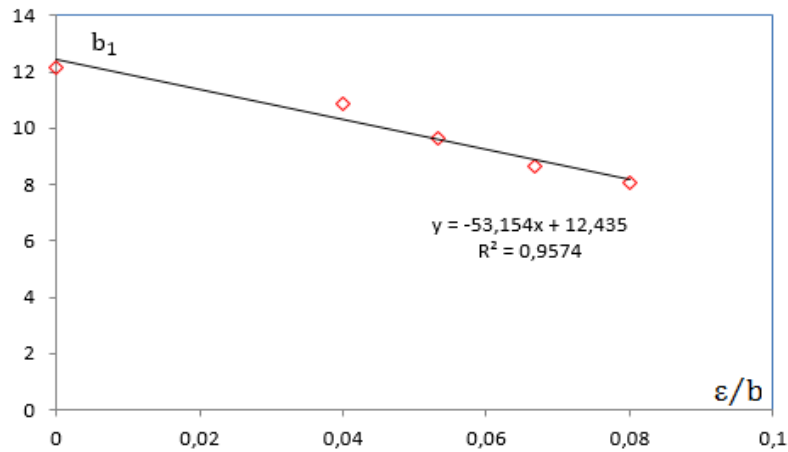


Figure 1.8: Variation du coefficient " b_1 " en fonction de la rugosité relative ϵ/b dans le lit majeur.

L'ajustement des couples de valeurs (b_1 , ϵ/b) du tableau (3.3) a permis d'aboutir avec une bonne corrélation à la relation linéaire suivante : $b_1 = -53.154 (\epsilon/b) + 12.435$.

Cette équation est présentée à la figure (2.8).

L'équation liant la longueur relative amont L_j/h_1 , le nombre de Froude F_1 et la rugosité relative ϵ/b pour le lit majeur s'écrit alors :

$$L_j/h_1 = (-53.154 (\epsilon/b) + 12.435) F_1 \quad (3.2)$$

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

La figure (2.9) montre que la relation $f(\epsilon/b, F_1)$ ajuste avec une bonne corrélation pour le lit majeur ($20 < h_2 < 50$) cm. Les points expérimentaux obtenus suivent exactement la première bissectrice.

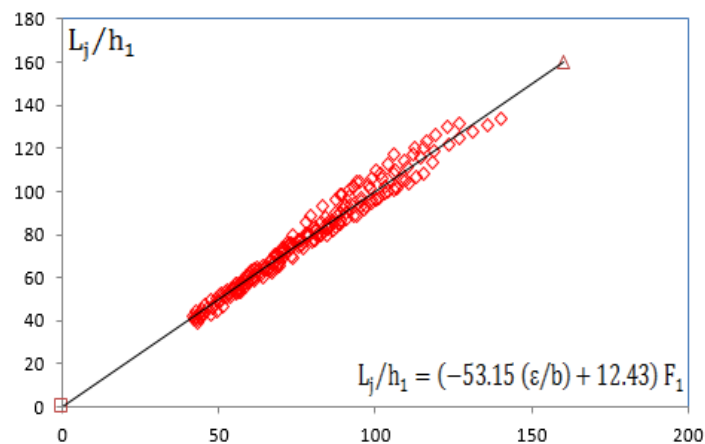


Figure 1.9:La variation de la longueur relative L_j/h_1 expérimentale en fonction de $f(\epsilon/b, F_1)$.

(□) Les points expérimentaux du ressaut contrôlé à fond rugueux dans le lit majeur.

(—) Première bissectrice.

De plus, les écarts relatifs entre les valeurs des mesures expérimentales L_j/h_1 et les mesures issues de l'équation globale d'ajustement (3.2) sont évalués et montrés au tableau (3.4), afin de justifier la fiabilité de l'équation empirique et les mesures expérimentales obtenues.

Le tableau (3.4) montre clairement que dans la plupart des cas les écarts relatifs sont inférieurs à 5%.

Tableau 2.6: Ecart relatifs entre L_j/h_1 expérimentale et L_j/h_1 d'ajustement dans le lit majeur.

L_j/h_1 relation	L_j/h_1 Exp	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)	L_j/h_1 relation	L_j/h_1 Exp	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)
43,395	40,250	7,247	82,052	80,000	2,501
44,584	42,750	4,113	84,671	82,800	2,209
46,387	45,500	1,912	88,650	86,400	2,538
48,214	47,250	1,999	89,989	91,600	-1,790
49,445	50,250	-1,628	92,012	94,000	-2,161
50,998	52,500	-2,945	95,415	97,200	-1,871
52,883	54,000	-2,112	98,167	101,600	-3,497
54,152	55,000	-1,566	85,165	86,000	-0,981

Tableau 2.6 (suite) : Ecart relatifs entre L_j/h_1 expérimentale et L_j/h_1 d'ajustement dans le lit majeur

L_j/h_1 relation	L_j/h_1 Exp	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)	L_j/h_1 relation	L_j/h_1 Exp	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)
55,753	57,000	-2,238	87,649	90,000	-2,682
42,217	40,286	4,574	90,157	93,000	-3,153
43,903	43,143	1,732	91,843	97,500	-6,160
45,611	47,143	-3,358	97,822	103,000	-5,293
47,341	49,429	-4,410	102,169	106,000	-3,750
50,153	51,714	-3,113	106,579	110,000	-3,210
52,297	53,429	-2,164	109,254	114,000	-4,344
54,471	54,286	0,340	111,952	117,000	-4,509

56,305	57,143	-1,488	115,583	120,000	-3,822
57,786	59,429	-2,842	50,264	48,750	3,012
59,657	61,429	-2,970	51,721	51,000	1,394
42,608	42,000	1,428	53,192	52,750	0,830
68,641	70,000	-1,980	54,676	55,000	-0,592
70,488	71,333	-1,199	55,798	56,750	-1,706
61,243	58,800	3,988	57,685	57,750	-0,112
79,721	76,500	4,041	58,828	60,750	-3,268
81,906	80,500	1,716	60,362	63,000	-4,370
85,589	85,000	0,688	62,299	65,000	-4,336
87,825	89,000	-1,338	60,969	59,143	2,995
90,836	90,000	0,920	62,744	61,429	2,097
95,415	93,000	2,532	65,892	63,714	3,306
100,069	96,500	3,567	68,172	66,857	1,929
104,004	100,000	3,850	60,748	59,333	2,329
106,388	102,000	4,125	64,387	63,667	1,119
109,596	105,000	4,194	66,498	67,333	-1,256
41,797	42,000	-0,487	68,631	70,000	-1,994
42,726	44,250	-3,566	70,787	72,333	-2,184
42,283	40,286	4,723	72,419	74,333	-2,644
43,708	42,571	2,600	75,719	77,000	-1,692
44,426	44,857	-0,969	78,506	80,000	-1,904
47,585	42,667	10,335	80,759	83,333	-3,187
49,315	44,333	10,101	82,463	86,000	-4,289
51,066	46,333	9,267	84,179	87,667	-4,143
53,730	51,333	4,460	69,276	68,800	0,687
57,351	55,333	3,518	71,874	76,000	-5,741
59,191	58,000	2,012	73,843	80,000	-8,339
61,050	60,000	1,721	77,834	86,000	-10,492
62,457	63,000	-0,869	79,179	88,400	-11,645

65,303	65,333	-0,046	83,263	92,800	-11,455
68,191	69,667	-2,164	87,414	96,000	-9,822

Tableau 2.6 (suite) : Ecart relatifs entre L_j/h_1 expérimentale et L_j/h_1 d'ajustement dans le lit majeur

L_j/h_1 relation	L_j/h_1 Exp	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)	L_j/h_1 relation	L_j/h_1 Exp	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)
69,651	71,667	-2,895	89,514	98,400	-9,926
72,600	75,667	-4,224	91,632	100,400	-9,569
75,590	77,333	-2,306	93,052	102,000	-9,616
78,113	80,333	-2,843	95,197	104,400	-9,667
64,255	60,400	5,999	98,807	106,000	-7,280
67,127	63,600	5,255	101,727	108,000	-6,166
69,455	66,800	3,823	88,812	98,500	-10,908
73,593	69,200	5,969	94,123	104,500	-11,025
77,202	74,000	4,147	100,446	110,000	-9,511
80,868	77,600	4,041	104,121	113,000	-8,528
82,722	80,000	3,291	105,975	117,000	-10,404
85,216	83,200	2,366	112,548	120,000	-6,621
87,103	86,000	1,266	116,363	123,000	-5,704
89,003	90,400	-1,569	119,252	126,500	-6,078
92,201	92,000	0,218	123,141	130,000	-5,570
95,436	95,600	-0,172	127,070	131,500	-3,486
81,176	79,500	2,064	55,889	55,000	1,591
85,059	82,500	3,009	57,171	57,250	-0,139
88,210	85,000	3,639	59,328	60,500	-1,976
93,006	89,000	4,307	61,512	64,000	-4,045
97,067	93,500	3,675	64,167	65,500	-2,078
100,357	96,500	3,843	66,407	67,500	-1,645
106,202	100,500	5,369	67,764	71,000	-4,775

108,741	105,000	3,440	70,505	73,750	-4,602
115,608	108,000	6,581	73,282	75,750	-3,368
118,218	113,500	3,991	75,623	77,750	-2,813
44,133	41,250	6,532	78,465	80,750	-2,913
55,495	52,500	5,396	66,730	62,857	5,803
56,570	53,000	6,311	68,283	64,857	5,018
58,377	55,250	5,357	69,326	67,143	3,149
44,892	42,571	5,168	73,016	74,000	-1,348
47,969	45,714	4,701	75,690	74,571	1,478
49,927	48,571	2,715	78,397	78,571	-0,223
52,711	50,857	3,518	80,584	82,000	-1,757
55,546	53,143	4,326	84,461	85,143	-0,808
56,365	55,143	2,168	84,349	79,600	5,630
58,014	57,429	1,009	86,703	81,600	5,886
60,939	59,714	2,010	87,492	83,200	4,906

Tableau 2.6 (suite et fin) : Ecart relatifs entre L_j/h_1 expérimentale et L_j/h_1 d'ajustement dans le lit majeur

$L_j/h_{1\text{relation}}$	$L_j/h_{1\text{Exp}}$	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)	$L_j/h_{1\text{relation}}$	$L_j/h_{1\text{Exp}}$	$(\Delta L_j)/L_j$ (%)
63,484	61,429	3,237	89,078	84,800	4,803
65,631	63,714	2,920	90,674	87,200	3,831
67,365	66,857	0,755	93,893	88,400	5,850
70,437	69,429	1,432	96,332	91,600	4,912
57,050	53,333	6,515	98,791	94,800	4,040
59,471	57,667	3,033	101,271	96,800	4,415
61,924	61,333	0,955	102,936	99,200	3,629

64,411	64,000	0,638	107,137	101,600	5,168
66,424	67,333	-1,369	110,538	104,000	5,915
68,457	71,000	-3,714	113,112	106,800	5,580
71,027	74,000	-4,185	98,791	96,500	2,319
73,629	75,000	-1,862	102,936	102,500	0,423
76,262	77,667	-1,842	106,081	108,500	-2,280
78,925	79,667	-0,940	110,324	111,500	-1,066
81,077	81,667	-0,727	114,622	115,500	-0,766
66,930	62,400	6,769	118,975	119,000	-0,021
69,379	65,200	6,023	123,381	121,500	1,525
73,106	70,000	4,249	126,720	125,000	1,358
76,262	74,800	1,917	131,219	128,000	2,453
80,106	77,200	3,628	135,770	131,000	3,513
			140,372	134,000	4,539

La figure (2.10) montre la variation de la longueur relative L_j/h_1 expérimental en fonction de l'équation empirique $f(\varepsilon/b, F_1)$ pour les deux cas (lit mineur et lit majeur) dans le même graphe. On remarque une continuation entre les deux courbes.

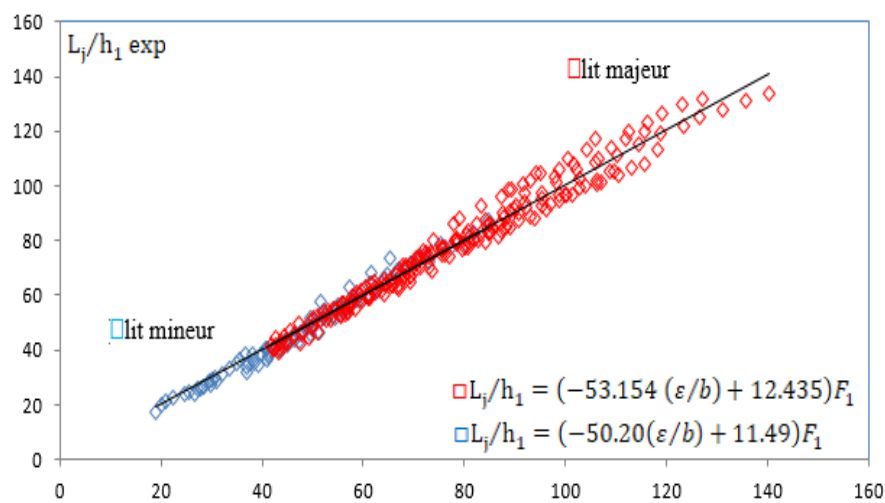


Figure 1.10: Représentation de la variation de la longueur relative L_j/h_1 expérimental en fonction de $f(\varepsilon/b, F_1)$ pour les deux cas (lit mineur et lit majeur)

On déduit de cette figure que la section composée à fond rugueux a un effet réducteur de la longueur du ressaut en lit mineur que celui en lit majeur.

II.3. Etude Comparative du rapport des longueurs relative du ressaut hydraulique variant en fonction du nombre de Froude :

II.3.1. Comparaison entre la longueur relative L_j/h_1 de ressaut variant en fonction du nombre de Froude :

Cette figure (2.11) montre clairement la variation de la longueur relative L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude Fr pour le lit mineur rugueux avec son homologue lisse.

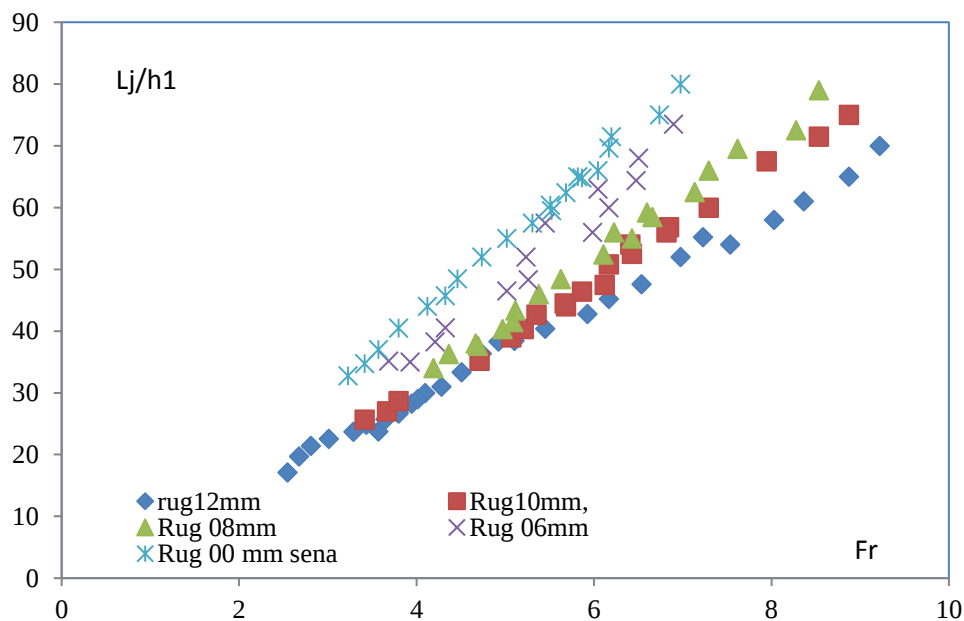


Figure 1.11 Comparaison du rapport L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude Fr pour le lit mineur lisse et celui rugueux.

On constate que le rapport L_j/h_1 augmente proportionnellement avec le nombre de Froude Fr pour les deux types d'aspect de ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé avec lit mineur rugueux et celui le lit mineur lisse. Par ailleurs pour le même nombre de Froude Fr , le rapport L_j/h_1 de la longueur relative du ressaut hydraulique s'accroît avec l'abaissement de la rugosité imposée au lit mineur du canal.

On déduit que le rapport L_j/h_1 sera moindre avec l'importance de la rugosité testée expérimentalement au lit mineur rugueux que son lisse ce qui montre l'effet réduction de cette rugosité imposée au lit mineur du canal au longueur caractéristique du ressaut.

Tableau 2.7 mesures expérimentales du ressaut hydraulique L_j/h_1 en fonction du Fr pour le lit mineur rugueux avec son homologue lit mineur lisse. (Docteur Walid jamaa 2021)

Rug 12(mm)	Fr	L_j/h_1
	3,57262497	23,75
	2,54664438	17,1428571
	2,67722603	19,7142857
	2,80996629	21,4285714
	3,01304897	22,5714286
	3,29107172	23,7142857
	3,43312037	24,8571429
	3,64991022	25,7142857
	3,79687565	26,8571429
	3,94576234	28,2857143
	4,0965458	30
	3,79687565	26,6666667
	4,01463742	29
	4,2812396	31
	4,50773161	33,3333333
	4,73808255	36,3333333
	4,9250989	38,3333333
	5,10498586	38,4
	5,451668	40,4
	5,92556709	42,8
	6,16740869	45,2
	6,53616454	47,6
	6,97530597	52
	7,23048456	55,2
	7,53745212	54
	8,03071788	58
	8,36530478	61
	8,87564479	65
	9,2214253	70
rug10mm	Fr	L_j/h_1
	3,41525507	25,6666667
	3,66817497	27
	3,79687565	28,6666667
	5,06693638	39
	5,2101099	40,3333333
	5,3546071	42,6666667
	4,71023882	35,2
	5,68697193	44
	5,86561222	46,4
	6,16740869	50,8

	6,41245372	54
	6,84886732	56,8
	5,67216853	44,5
	6,1218181	47,5
	6,42787445	52,5
	6,81737831	56
	7,2947553	60
	7,94778488	67,5
	8,53429767	71,5
	8,87564479	75
Rug08mm	Fr	Lj/h1
	4,36491057	36,2857143
	4,69170675	37,6666667
	4,97222883	40,3333333
	5,11451305	43,3333333
	5,6278356	48,4
	6,10664631	52,4
	6,22837127	56
	6,59831482	59,2
	4,19173816	34
	4,66857593	38
	5,09070619	41,5
	5,37881781	46
	6,42787445	55
	6,66066084	58,5
	7,13443464	62,5
	7,2947553	66
	7,61893765	69,5
	8,28123176	72,5
	8,53429767	79
Rug06mm	Fr	Lj/h1
	3,68647008	35,1428571
	4,21086394	38,2857143
	4,32622612	40,5714286
	5,25812915	48,3333333
	5,98572484	56
	6,16740869	60
	6,47421064	64,4
	3,92704728	35
	5,01950815	46,5
	5,23410117	52
	5,451668	57,5
	6,04608481	63
	6,505163	68
	6,89619144	73,5

rug10mm	Fr	Lj/h1
	3,79687565	40
	4,12502693	43
	4,4621224	46,5
	4,73808255	52
	5,01950815	56
	5,30629504	60
	5,52484414	64,5
	5,82077964	69
	6,04608481	71,5
	6,19786499	74,5
	6,73886772	77,5
	6,97530597	79
	7,13443464	83
	7,37535988	87,5
	4,32622612	45,7142857
	3,22955736	32
	3,41525507	34,25
	3,57262497	36,5
	3,79687565	40

II.3.2 COMPARAISON ENTRE L_j/h_1 RELATIVE DU RESSAUT HYDRAULIQUE VARIANT EN FONCTION DU NOMBRE DE FROUDE Fr POUR LE LIT MAJEUR LISSE ET SON HOMOLOGUE RUGUEUX :

Cette figure (2 .12) montre clairement la variation du rapport L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude Fr pour le lit majeur rugueux avec son homologue lisse pour les deux types du ressaut.

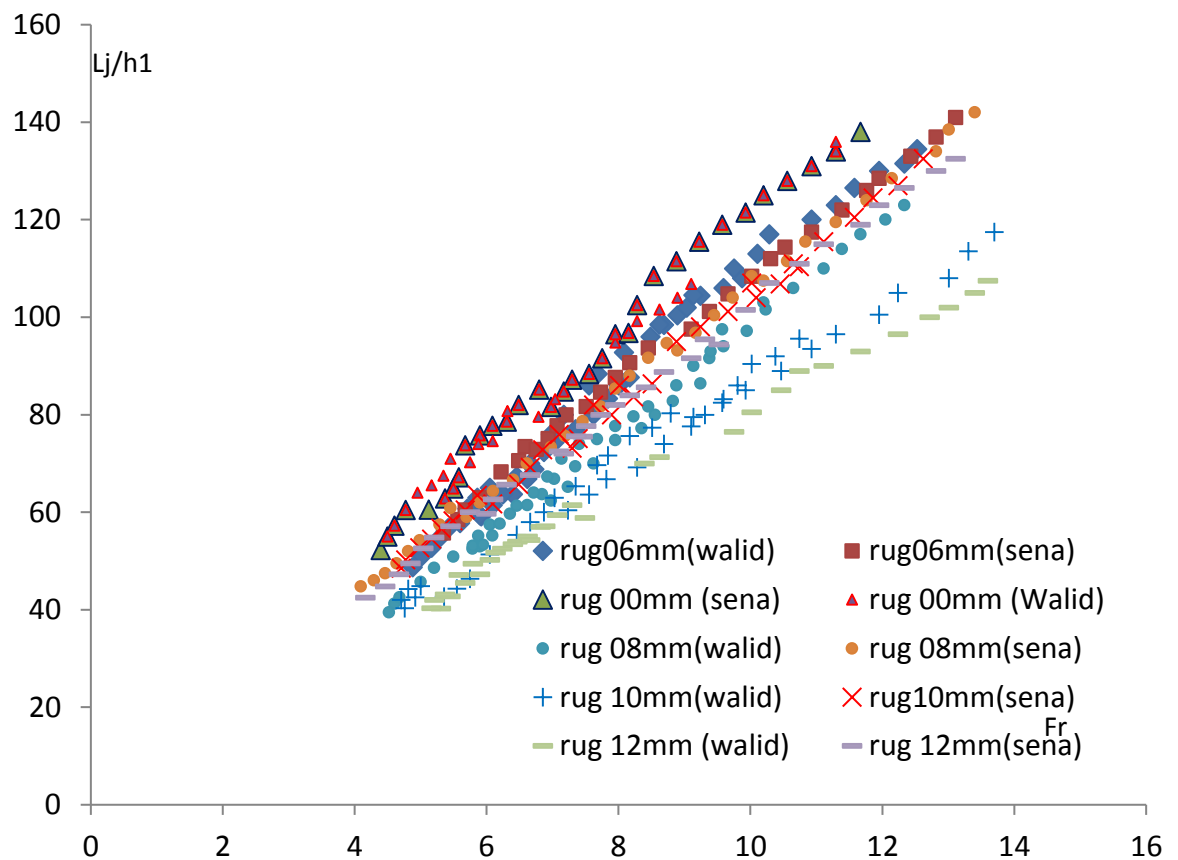


Figure 1.12 : variation du rapport L_j/h_1 en fonction de Fr pour le lit majeur rugueux et son homologue lisse pour les deux types du ressaut.

Cette figure montre la variation du rapport L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude incident Fr pour différentes rugosités testées et imposées au lit mineur et celui majeur pour deux type du ressaut..

Les mesures expérimentales injectées dans la figure ci-dessus correspondent aux deux types du ressaut hydraulique expérimentés cité auparavant.

On constate pour le même nombre de Froude Fr , que les caractéristiques L_j/h_1 variant en fonction du nombre de Froude Fr des deux types du ressaut hydraulique sont moindres avec l'augmentation de la rugosité imposée au lits du canal.

Aussi, en comparant les différents nuages de points pour les deux types du ressaut expérimentés, on déduit que pour les mêmes rugosités expérimentées obtenues, les nuages de points du type de ressaut hydraulique évolué en canal composé avec lit mineur rugueux sont en majorités en dessous de ceux obtenus pour le type du ressaut évolué en canal composé avec lit majeur rugueux.

On conclue que le type du ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé avec lit mineur rugueux est rentable et plus réducteur aux caractéristiques du ressaut hydraulique que son homologue avec lit majeur rugueux.

Tableau 2.8 : Les mesures du rapport expérimentales L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude Fr pour le type du ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé avec lit majeur rugueux (Docteur Sena 2021)

Rug 12mm	L_j/h_1	Fr
	42,5	4,15833795
	44,75	4,4621224
	47,25	4,66857593
	49,5	4,8429824
	72,5	7,09454037
	75,5	7,45625917
	52,5714286	5,03981633
	54,8571429	5,203262
	57,1428571	5,451668
	60	5,74631395
	59,6666667	5,99577081
	62,6666667	6,09653876
	65,6666667	6,29974644
	77,6666667	7,51035524
	80	7,72803835
	82	7,94778488
	84	8,16957565
	67,6	6,66066084
	72	7,16640369
	75,6	7,35921535
	85,6	8,4158843
	88,8	8,68735157
	91,6	9,09990138

	94,4	9,51878249
	95,5	9,30855651
	101,5	9,92606403
	107	10,2848161
	111	10,7391861
	115	11,107367
	119	11,6673381
	123	11,9507475
	126,5	12,3321367
	130	12,8144553
	132,5	13,1067933
Rug 10mm	Lj/h1	Fr
	48,5	4,70328644
	50,25	4,77296406
	52,75	4,98403468
	54,5	5,16223771
	56,75	5,30629504
	58,25	5,48821542
	60,5	5,67216853
	63,5	5,85813217
	61,7142857	6,0893225
	65,7142857	6,48304915
	73,1428571	7,2947553
	75,1428571	7,3868989
	80	7,89265586
	83,6666667	8,22534055
	86,3333333	8,50605401
	69,2	6,66066084
	72,8	6,84886732
	76	7,10251326
	82	7,61893765
	86	8,01410833
	98	9,23882968
	101,2	9,65980007
	104	10,086977
	106,8	10,4476346
	110,4	10,7391861
	95	8,87564479
	107	10,0153536
	111	10,6477891
	115,5	11,107367
	120,5	11,5733732
	124,5	11,8560259
	127	12,2364153

	132,5	12,620788
rug 08mm	Lj/h1	Fr
	44,75	4,09180534
	46	4,29247153
	47,5	4,4621224
	49,5	4,63395123
	52	4,80793074
	54,25	4,98403468
	57,4285714	5,28563459
	60,8571429	5,451668
	59	5,696848
	62	5,89556425
	64,3333333	6,09653876
	66,6666667	6,4021801
	70	6,60869225
	73,3333333	6,97530597
	75,6666667	7,18774285
	78,6666667	7,45625917
	81,6666667	7,72803835
	85,3333333	7,94778488
	88	8,16957565
	91,6666667	8,4496604
	94,6666667	8,73287475
	93,2	8,892829
	96,8	9,16927782
	100,4	9,44853335
	104	9,73056766
	108,4	10,0153536
	107,5	10,1947305
	111,5	10,5566528
	115,5	10,8308431
	119,5	11,2930031
	124	11,7615559
	128,5	12,1409429
	134	12,8144553
	138,5	13,0091032
	142	13,4013212
Rug 06mm	Lj/h1	Frexp
	55,75	5,3425154
	58,5	5,561554
	60,5	5,67216853
	63	5,89556425
	73,5	6,58275887
	68,2857143	6,21965009

	70,5714286	6,48304915
	72,8571429	6,75006495
	75,1428571	6,93006083
	77,7142857	7,06609016
	80	7,20299805
	81,6666667	7,51035524
	84,6666667	7,72803835
	87,6666667	7,94778488
	90,6666667	8,16957565
	93,6666667	8,4496604
	97,6	9,09990138
	101,2	9,37845788
	104,8	9,65980007
	108,4	10,0153536
	112	10,3028649
	114,4	10,5202715
	117,5	10,9227594
	122	11,386205
	126	11,7615559
	128,5	11,9507475
	133	12,4281063
	137	12,8144553
	141	13,1067933
Rug 00mm	Lj/h1	Fr
	96,5	7,94778488
	102,5	8,28123176
	108,5	8,53429767
	111,5	8,87564479
	115,5	9,2214253
	119	9,57158306
	121,5	9,92606403
	125	10,1947305
	128	10,5566528
	131	10,9227594
	134	11,2930031
	138	11,6673381
	81,6	6,97530597
	84,8	7,16640369
	87,2	7,2947553
	88,4	7,55372585
	91,6	7,74992047
	96,8	8,14730512
	60,5714286	5,12132181
	62,8571429	5,36843733

	64,8571429	5,49344312
	67,1428571	5,57731158
	78,5714286	6,30704485
	82	6,48304915
	85,1428571	6,79491579
	52,25	4,39399914
	55	4,49631482
	57,25	4,59941255
	60,5	4,77296406
	73,75	5,67216853
	75,75	5,89556425
	77,75	6,08391218

Tableau 2.9 : Les mesures du rapport expérimentales L_j/h_1 en fonction du nombre de Froude Fr pour le type du ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé avec lit majeur lisse (mesures Walid jamaa 2021).

ruig06mm	L_j/h_1 (m)	Fr_{exp}
	48,75	4,87811882
	51	5,01950815
	52,75	5,16223771
	55	5,30629504
	56,75	5,41520207
	57,75	5,5983448
	60,75	5,70920112
	63	5,85813217
	65	6,04608481
	59,1428571	5,91698967
	61,4285714	6,0893225
	63,7142857	6,39484516
	66,8571429	6,61610802
	59,3333333	5,89556425
	63,6666667	6,2487365
	67,3333333	6,45360308
	70	6,66066084
	72,3333333	6,86988685
	74,3333333	7,02821586
	77	7,34845889
	80	7,61893765
	83,3333333	7,8376549
	86	8,00304167

	87,6666667	8,16957565
	68,8	6,72320201
	76	6,97530597
	80	7,16640369
	86	7,55372585
	88,4	7,68433603
	92,8	8,08061524
	96	8,48348156
	98,4	8,68735157
	100,4	8,892829
	102	9,03070079
	104,4	9,23882968
	106	9,58920487
	108	9,87261835
	98,5	8,61921567
	104,5	9,13456764
	110	9,74828645
	113	10,1049094
	117	10,2848161
	120	10,9227594
	123	11,2930031
	126,5	11,5733732
	130	11,9507475
	131,5	12,3321367
	134,5	12,5243237
rug 08mm	Lj /h1 (m)	Frexp
	41,25	4,59941255
	52,5	5,78350684
	53	5,89556425
	55,25	6,08391218
	39,4285714	4,52079119
	42,5714286	4,67848447
	45,7142857	4,99922732
	48,5714286	5,203262
	50,8571429	5,49344312
	53,1428571	5,78882664
	55,1428571	5,87416476
	57,4285714	6,04608481
	59,7142857	6,35089443
	61,4285714	6,61610802
	63,7142857	6,83986552
	66,8571429	7,02064915
	69,4285714	7,34077891
	53,3333333	5,94559716
	57,6666667	6,19786499

	61,3333333	6,45360308
	64	6,71276495
	67,3333333	6,92252952
	71	7,13443464
	74	7,40229362
	75	7,67342337
	77,6666667	7,94778488
	79,6666667	8,22534055
	81,6666667	8,4496604
	62,4	6,97530597
	65,2	7,23048456
	70	7,61893765
	74,8	7,94778488
	77,2	8,34846753
	80	8,55125884
	82,8	8,82415869
	86,4	9,23882968
	91,6	9,37845788
	94	9,58920487
	97,2	9,94390062
	101,6	10,230733
	86	8,87564479
	90	9,13456764
	93	9,39596045
	97,5	9,57158306
	103	10,1947305
	106	10,6477891
	110	11,107367
	114	11,386205
	117	11,6673381
	120	12,0457201
	123	12,3321367
rug 10mm	Lj /h1 (m)	Frexp
	42	4,70328644
	44,25	4,80793074
	40,2857143	4,7580044
	42,5714286	4,91837827
	44,8571429	4,99922732
	42,6666667	5,3546071
	44,3333333	5,54930838
	46,3333333	5,74631395
	51,3333333	6,04608481
	55,3333333	6,45360308
	58	6,66066084
	60	6,86988685

	63	7,02821586
	65,3333333	7,34845889
	69,6666667	7,67342337
	71,6666667	7,8376549
	75,6666667	8,16957565
	77,3333333	8,50605401
	80,3333333	8,78989014
	60,4	7,23048456
	63,6	7,55372585
	66,8	7,81569044
	69,2	8,28123176
	74	8,68735157
	77,6	9,09990138
	80	9,30855651
	83,2	9,58920487
	86	9,80150723
	90,4	10,0153536
	92	10,3751656
	95,6	10,7391861
	79,5	9,13456764
	82,5	9,57158306
	85	9,92606403
	89	10,4657781
	93,5	10,9227594
	96,5	11,2930031
	100,5	11,9507475
	105	12,2364153
	108	13,0091032
	113,5	13,3029029
	117,5	13,6980228
Rug 12mm	Lj /h1 (m)	Frexp
	40,25	5,30629504
	42,75	5,451668
	45,5	5,67216853
	47,25	5,89556425
	50,25	6,04608481
	52,5	6,23600563
	54	6,46648024
	55	6,62167167
	57	6,81737831
	40,2857143	5,16223771
	43,1428571	5,36843733
	47,1428571	5,57731158
	49,4285714	5,78882664
	51,7142857	6,13266277

	53,4285714	6,39484516
	54,2857143	6,66066084
	57,1428571	6,88491394
	59,4285714	7,06609016
	61,4285714	7,29475553
	42	5,2101099
	70	8,39339196
	71,3333333	8,61921567
	58,8	7,48870117
	76,5	9,74828645
	80,5	10,0153536
	85	10,4657781
	89	10,7391861
	90	11,107367
	93	11,6673381
	96,5	12,2364153
	100	12,7174988
	102	13,0091032
	105	13,4013212
	107,5	13,5988817

Conclusion Générale
Et Perspective

CONCLUSION GENERALE :

Notre étude concerne à une Contribution à l'étude comparative du rapport des longueurs relatives L_j/h_1 variant en fonction du nombre Fr les deux types du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée avec lit majeur et mineur rugueux.

Cette étude est scindée en deux parties fondamentales telle que la première partie bibliographique est composé de trois chapitres et la deuxième partie est composée de deux chapitres aussi .

Pour la partie bibliographique elle se résume comme suit :

- **le premier chapitre récapitule ce que suit:**
- **Les travaux de Khattoui et Achour en 2012** liés au ressaut hydraulique formé dans un canal rectangulaire de forme composée. 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.
- le deuxième chapitre expose les travaux suivants :
- les travaux de : F. Riguet et al (2019) qui se basent purement à l'expérimentation faite au niveau du laboratoire (LARHYSS), ils ont constaté que l'effet des ouvertures h_1 sur la variation du rapport Y du ressaut hydraulique qui varie en fonction du nombre de Froude incident F_1 est remarquable.
- Le troisième décrit une analyse expérimentale du ressaut hydraulique contrôlé par seuil en canal triangulaire symétrique à angle d'ouverture de 90° , à parois rugueuses **M. Debabeche, S. Kateb, A. Ghomri (2006)**. On présente des relations fonctionnelles liant la rugosité des parois du canal aux caractéristiques du ressaut hydraulique.
 - Dans un premier temps, l'étude s'est intéressée à la variation de la longueur relative L_j/h_1 du ressaut en fonction du nombre de Froude F_1 de l'écoulement incident. Il a été observé que pour une valeur donnée du nombre de Froude incident, l'augmentation de la rugosité absolue entraîne la diminution de la longueur relative du ressaut. En outre, l'analyse statistique des points de

CONCLUSION GENERALE

mesures a montré que, pour chacune des rugosités absolues testées, la longueur relative L_j/h_1 était liée au nombre de Froude F_1 par une loi linéaire

- Dans un second temps, la variation du rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut en fonction du nombre de Froude incident F_1 a été examinée sous l'effet de chacune des rugosités absolues testées. Nous avons pu observer que, pour une même valeur du nombre de Froude F_1 , l'augmentation de la rugosité absolue engendre la diminution du rapport Y . La variation $Y(F_1, \varepsilon)$ a été modélisée par une loi de type logarithmique, issue de l'analyse statistique des points de mesures expérimentales.

Pour la partie deuxième expérimentale, elle se résume comme suit :

- Pour le premier chapitre de la partie deuxième, nous avons exposé le banc expérimental utilisé en expérimentation sous forme de diverses photographies, nous avons aussi expliqué la procédure de l'utilisation des appareils permettant de mesurer les caractéristiques du ressaut hydraulique. Pour les mesures de débit, nous avons utilisé le débitmètre à déversoir rectangulaire sans hauteur de pelle avec contraction latérale de *HachemiRachedi L. (2006)*. Finalement, nous avons expliqué clairement la méthode de préparation des divers tapis rugueux qui se sont imposées au lit majeur du canal.
- **Pour le deuxième chapitre de la partie expérimentale, On** a exploité toutes les mesures expérimentales obtenues au niveau du laboratoire qui sont liées à la variation des rapports des longueurs relatives du ressaut hydraulique variant en fonction du nombre de Froude incident et avec des diverses rugosités testées au lit majeur et mineur du canal d'expérimentation.

D'après les résultats obtenus, en comparant le rapport L_j/h_1 relatif variant en fonction du nombre de Froude Fr pour les deux types du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire composé avec lit mineur rugueux et son homologue avec lit majeur rugueux, on déduit ce que suit :

- ✓ On constate que le rapport L_j/h_1 augmente proportionnellement avec le nombre de Froude Fr pour les deux types d'aspect de ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé avec lit mineur rugueux et celui le lit mineur lisse. Par ailleurs pour le même nombre de Froude Fr , le rapport L_j/h_1 du ressaut

CONCLUSION GENERALE

hydraulique s'accroît avec l'abaissement de la rugosité imposée au lit mineur du canal.

On déduit que le rapport L_j/h_1 se réduit avec l'importance de la rugosité imposée au lit mineur que son homologue au lit majeur.

- ✓ On constate aussi deux aspects du ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé l'un avec lit mineur rugueux de la section composée et l'autre avec lit majeur rugueux de la section composée.

on note que pour le même nombre de Froude Fr , que les rapports L_j/h_1 du ressaut hydraulique sont moindres avec l'augmentation de la rugosité imposée au lit majeur.

Aussi, en comparant les différents nuages de points pour les deux types du ressaut examinés, on note que pour les mêmes rugosités testées, les nuages de points du type de ressaut hydraulique évolué en canal composé avec lit mineur rugueux sont en majorité en dessous de ceux obtenus pour le type du ressaut hydraulique évolué en canal composé avec lit majeur rugueux.

On conclue Finalement que le type du ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé avec lit mineur rugueux est plus rentable et plus réducteur aux caractéristiques des longueurs relatives que son homologue avec lit majeur rugueux.

On conseillera aux étudiants futurs de continuer les travaux de recherches scientifiques théoriques et expérimentales pour ce type de ressaut évolué en canal rectangulaire composé rugueux, en but de développer des approches adimensionnelles expérimentales servant au dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

A

- Achour, B., Dissipation d'énergie par ressaut, thèse d'état. Université de Tizi-Ouzou, Institut de Génie-Civil, 1998.
- Achour, B., Ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie. JHR 2000; 38(4): 307-311.
- Achour, B., Debabeche, M., Ressaut contrôlé par seuil dans un canal profilé en U. Journal of Hydraulic Research, Vol. 41 (02), pp. 97-103, 2003.
- Ackers, P., (1991) Hydraulic design of straight compound channels brusquement élargie. JHR2000 ; 38(4) : 307-311.

B

- Bousmar, D., Wilkin, N., Jacquemart, J H, Zech Y., Overbank flow in symmetrically narrowing flood plains. JH Eng 2004; 130(4): 305-312.
- Bousmar, D., Rivière, N., Proust, S., Paquier, A., Morel, R., Zech Y., (2005) Upstream discharge distribution in compound-channel flumes. J H Eng 2005, ASCE ; 131(5) : 408-412.

D

- Debabeche, M., Ressaut hydraulique dans les canaux prismatiques. Thèse de doctorat d'état, Département d'Hydraulique, Université de Biskra, Algérie, 2003.
- Debabeche, M., Ghomri, A., Sahnoune, C., Ismail, K., "Effet de la rugosité sur le ressaut hydraulique dans un canal profilé en U (partie1) " Larhyss journal, N 004, pp.107-118, juin 2005.
- Debabeche, M., Kateb, S., Ghomri, A., "Etude expérimentale du ressaut hydraulique dans un canal triangulaire à parois rugueuses ", Larhyss Journal, N005, pp.187-196, Juin 2006.
- 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 ISSN1112-9867.
- Djamaa, W., Ghomri. A., Khechana. S., (2021)., Study of the experimental approach of the relative threshold of the hydraulic jump evolving in a

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

rectangular channel of composed section with rough minor bed; Journal of Fundamental and Applied Sciences ISSN 1112-9867.

- Djamaa, W., Lecheheb. S., Ghomri. A., (2020)., Séminaire international «Durabilité d'agriculture saharienne et l'utilisation de l'eau ».
- Communication poster intitulée : L'étude de l'effet d'une rugosité sur ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée du lit mineur rugueux ; Université d'El-Oued ; 02-03 Mars 2020.
- Djamaa, W., Lecheheb. S., Ghomri. A., (2020)., Séminaire national « Colloque Maghrébin sur l'Eau et l'Environnement dans les Zones Arides et Semi-Arides (CMEEZASA'2020) ».
- Communication poster intitulée : « la contribution à l'étude de l'approche semi théorique du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de section composée à fond rugueux » ; Université Biskra 22-23 Mars 2021

.- Djamaa, W., Lecheheb. S., Ghomri. A., (2020)., La quatrième journée d'étude Valorisation et Gestion Durable des Ressources Hydrique (VGDRH) : une communication intitulée : « Contribution à l'étude de l'approche semi-théorique du ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de section composée avec lit mineur rugueux ». Université d'El Oued ; 19 novembre 2019

E

- Ead, S. A., Rajaratnam, N., "plan turbulent wall jets in shallow" J.eng. mech., 128(2), pp. 143-155, 2002.
- Ead, S. A., Rajaratnam, N., Katopodis, C., and Ade, "Turbulent open-channel flow in circular corrugated culverts." J. Hydraulic. Eng., 126(10), pp. 750-757. F, 2000.

F

- Forster, J. W., Skrinde, R. A., Control of hydraulic jump by sills, Transactions, American Society of Civil Engineers, Vol. 115, pp. 973-987, 1950.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

G

- Ghomri, A., Ressaut hydraulique contrôlé par seuil évoluant en canal profilé en “U”, Mémoire de Magister en Sciences Hydrauliques, Département d'Hydraulique, Université de Biskra, 2005.
- Ghomri, A., Le ressaut hydraulique dans les canaux prismatiques à parois rugueuse, Mémoire de Magister en Sciences Hydrauliques, Département d'Hydraulique, Université de Biskra, 2012.
- Ghomri, A., Debabeche, M., Riguet, F., l'étude semi théorique du ressaut hydraulique évoluant en canal profilé en U à fond rugueux, Revues des sciences fondamentales et appliquées, centre universitaire d'Oued Souf, N°01, pp.40-57,2009.
- Ghomri, A., Riguet, F., Contribution to the Experimental Study on the Hydraulic Jump Evolving in a U-Shaped Channel with Rough Bed, Journal of Fundamental and Applied Sciences, Université El Oued, N0 02, pp.254-271,2010.

H

- 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.
- Hager, W., Bremen R., H., Classical Hydraulic jump; sequent depth, J. Hydraulic Research27(5), 565-585, 1989.
- Hager, W., Bremen R., H., et Kawogoshi N. Classical Hydraulic jump; length of roller, J. Hydraulic Research 28(5), 591-608, 1990
- Hager, W. H. and LI, D“ Dissipateurs d'énergie contrôlé par seuil ”, J. Recherches Hydrauliques, 30. n°2,165-181,1992.
- Hager, W. H., Wanoschek, R (1987). Hydraulic Jump in Triangular Channel. J. Hydraulic Res. LAHR 25 (5), 549-564.

K

- Kateb, S., Ressaut hydraulique contrôlé par seuil, évoluant dans un canal triangulaire à parois rugueuses, Mémoire de Magister, Université de Biskra, 2006.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Kateb, S., Etude théorique et expérimentale de quelques types de ressaut hydraulique dans un canal trapézoïdal, Doctorat en sciences, Université de Biskra, 2014.
- Kateb, S., Debabeche, M., Zegait.R et Baouia K. (2018)., Approche expérimentale de la longueur du ressaut hydraulique dans un Canal Triangulaire A Parois Rugueux ; journal of Advanced Research in science and Technologie JARST.
- Khattaoui, M., Achour, B., (2012). Ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire composé. Revue scientifique et technique LJEE N°20.

L

- Lecheheb. S., Djamaa, W., Ghomri. A., (2020). Séminaire national « Colloque Maghrébin sur l'Eau et l'Environnement dans les Zones Arides et Semi-Arides (CMEEZASA'2020) ». Communication poster intitulé : « la contribution à l'étude de l'approche semi théorique du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de section composée à lit majeur rugueux » ; Université Biskra 22-23 Mars 2021.

M

- Morvan, H., Pender. G., Wright, N, G., Ervine, D, A. (2002) Three-Dimensional hydrodynamics of meandering compound channels JHE 2002 ; 128(7) : 674-682.

R

- Rajaratnam, N., Hydraulic jumps on rough beds, Transaction of the engineering institute of Canada, Vol. 11, N° A-2 may 1968.
- Rajaratnam, N., (2002)., Hydraulic jumps on corrugated beds. J Hydraulic Engineering ASCE 128 (7), 656-336.
- Rajaratnam, N., Subramanya, K., Profile of the Hydraulic Jump, Proc. ASCE J. Hydraulic Division, 94, HY3, 663-676; Vol. 95, HY1, 546-557; HY2, 725-727, Vol. 96, 1970, HY2, 579-580, 1968.
- Rand, W., An approach to generalized design of stilling basins, Trans. New York Academy of Sciences, Vol. 20 (2), pp. 173-191, 1957.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Rand, W., Flow over vertical sill in an open channel. proc. ASCE, J. Hydraulic Division 91, Hy4,97-121,1965. Riguët, F., Debabeche, M., Ghomri, A., (2019). Experimental study of the sequent depth of the hydraulic jump in a straight compound rectangular channel; Journal of Fundamental and Applied Sciences ISSN 1112-9867.

S

- Silvester, R., "Hydraulics jumps in all shapes of Horizontal Channels" Proc. ASCE. J. hydro Div., No90, pp. 23-55, 1964.
- Saman, N., Younes., Numerical Simulation of Hydraulic Jump over Rough Beds. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 2020.
- Sellin, R. H. J., (1964) A laboratory investigation into the interaction between the flow in the channel of a river and that over its flood plain. La Houille Blanche 2002 ; 7 : 793-802.

Z

- Ziani, S., Dissipation d'énergie par Ressaut Hydraulique dans une conduite circulaire avec banquettes. Mémoire de magistère en science hydrauliques, Département d'hydraulique, Université de Bejaia, Algérie, 2015.