

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ELCHAHID HAMMALAKHDAR

Faculté des technologies

Département d'hydraulique et de génie civil

Filière d'hydraulique

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

THEME:

**L'ETUDE DE L'APPROCHE EXPERIMENTALE
DU RESSAUT HYDRAULIQUE DANS UN CANAL
RECTANGULAIRE DE FORME COMPOSEE
AVEC LIT MAJEUR RUGUEUX**

Promoteur :

- GHOMRI Ali

CO- Promoteur :

- CHELBI Abderrahmane

Présenté par:

- SELATNA Abouelala
- ZID Bachir
- BELAL Abderraouf

Promotion: Juin 2022

∞ Dédicaces ∞

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :.

- ❄ A ma mère qui n’a pas cessé de me prodiguer.
- ❄ A ma femme et toute mes filles (ranim – ala'a – ahmed)
- ❄ A tous mes frères et sœurs.
- ❄ A mon Spirituel père (AZZALI - ELHAJE- MOHAMMED).
- ❄ A tout(s) (tes) mes ami(s) (es) du Travail.
- ❄ A Tous mes amis de l'université d'el-oued.

Selatna abou elala

Promo: juin 2022

∞ Dédicaces ∞

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :

- ✱ *A mon père qui m'a tant aidé et encouragé.*
- ✱ *A ma mère qui n'a pas cessé de me prodiguer.*
- ✱ *A ma femme et toute mes filles*
- ✱ *A tous mes frères et sœurs.*
- ✱ *A mon Spirituel père*
- ✱ *A tout(s) (tes) mes ami(s) (es) du Travail.*
- ✱ *A Tous mes amis de l'université d'el-oued .*

ZID Bachir

Promo: juin 2022

∞ Dédicaces ∞

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :

- * A mon père qui m'a tant aidé et encouragé.*
- * A ma mère qui n'a pas cessé de me prodiguer.*
- * A ma femme et toute mes filles*
- * A tous mes frères et sœurs.*
- * A mon Spirituel père*
- * A tout(s) (tes) mes ami(s) (es) du Travail.*
- * A Tous mes amis de l'université d'el-oued .*

BELAL Abderraouf

Promo: juin 2022

Remerciement

Nous remercions notre Dieu qui nous a donné la force et la sagesse pour achever ce modeste travail.

Nous adressons tous nos respects et nos remerciements à ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour l'élaboration de cette étude et particulièrement à :

- *Notre promoteur M^{onsieur} GHOMRI.ALI pour ses orientations et son soutien.*
- *A tous les enseignants d'hydraulique qui ont contribué à notre formation.*
- *Aux membres du jury qui ont bien voulu examiner notre travail et de l'apprécier à sa juste valeur.*

SELATNA – ZID–BELAL

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	01
CHAPITRE : PARTIE PUBLIOGRAPHIQUE	03
Introduction de la partie bibliographique	04
I.1. Introduction	05
I.2. Approche de khattaoui et Achour 2012	05
I.2.1. Les différentes caractéristiques hydrauliques du ressaut hydrauliques	05
I.3. L'étude expérimentale des caractéristiques du ressaut hydraulique évoluant dans un canal rectangulaire de forme composée	08
I.3.1. La problématique	08
I.3.2. Analyse des essais expérimentaux	10
I.3.3. Résultats expérimentaux	11
I.3.3.1. Rapport des hauteurs conjugués	11
I.4. Conclusion	13
CHAPITRE II : DESCRIPTION DU MODELE EXPERIMENTAL	
II.1. Introduction	15
II.2. Procédure d'expérimentation	15
II.3. Appareillages de mesure	18
II.3.1. Procédure de mesure des débits	18
II.3.2. L'appareil limnimétrique	19
II.4. Aperçu des essais expérimentaux	20
II.4.1. Protocole expérimental des essais	20
II.4.2. Mode de préparation de la rugosité équivalente	23
II.5. Conclusion	25
CHAPITRE III : ETUDE EXPERIMENTALE	
III.1. Introduction	27

III.2. Analyse des résultats expérimentaux	27
III.2.1. Rapport des hauteurs conjugués du ressaut Y en fonction du nombre de Froude F_1	27
III.2.1.1. Rapport des hauteurs conjugués du ressaut Y en fonction du nombre de Froude F_1 dans le lit mineur lisse ($0 < h_2 < 20$) cm.	27
III.2.2.2. Variation du rapport des hauteurs conjugués h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude F_1 dans le lit majeur rugueux ($20 < h_2 < 50$) cm	28
III.4. Conclusion	55
CONCLUSION GENERALE	57

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre III

Tableau 3.1: coefficients b_1 des courbes d'ajustements.....	29
Tableau 3.2: Ecart relatifs entre h_2/h_1 expérimentale et h_2/h_1 d'ajustement dans le lit majeur rugueux	(32-33-34 et 35)
Tableau 3.3:les resultats du lit majeur (rugosité 12mm.....	(37-38-39)
Tableau 3.4:les resultats du lit majeur (rugosité 10mm)	(40-41-42)
Tableau 3.5:les resultats du lit majeur (rugosité 08mm)	(43-44-45)
Tableau 3.6:les resultats du lit majeur (rugosité 06mm).....	(46-47-48)
Tableau 3.7:les resultats du lit majeur lisse (rugosité 00mm).....	(49-50-51)
Tableau 3.8:les resultats du lit mineur (rugosite 00mm).....	(52-53-54)

LISTE DE FIGURES ET PHOTOS

Figure 1.1: configuration du ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de section composée	5
Figure 1.2: le rapport de Y. Calculé par (2.4), varie en fonction de F_1 (---): $\beta=1$.	7
Figure 1.3: le rapport de Y varie en fonction de F_1 . (O): expression (2.6), (+): expression (2.4).	8
Figure 1.4: configuration du ressaut contrôlé par seuil mince en canal rectangulaire de forme composée	9
Figure 1.5: Photographie du canal ayant servi à l'expérimentation (Laboratoire larhyss de Biskra).	11
Figure 1.6: le rapport des hauteurs conjuguées Y varie en fonction de Froude F_1 pour le canal composé. (o) les mesures expérimentales pour le lit majeur ; (Δ) les mesures expérimentales pour le lit mineur. (—) Courbes d'ajustements.	12
Figure 2.1: Photographie du canal d'expérimentation (Laboratoire Université Ouargla).	15
Figure 2.2: schématisation de déroulement de l'expérimentation (Laboratoire Université Ouargla).	16
Figure 2.3 : photographie de la pompe axiale (Laboratoire Université Ouargla).	17
Figure 2.4: photographie de la vanne de régulation du débit (Laboratoire Université Ouargla).	17
Figure 2.5: photographie du déversoir rectangulaire avec contraction latérale permettant de mesurer des débits pompés (Laboratoire Université Ouargla).	18
Figure 2.6: schéma de définition de la deuxième partie du canal avec déversoir du Hachemi. 2007. rachede2007 (Laboratoire Université Ouargla).	19
Figure 2.7: la profondeur d'eau mesure par pointe limnimétrique (Laboratoire Université Ouargla).	20
Figure 2.8: photographie des ouvertures h_1 (cm) = 02; 02.5; 03.5; et 04 (Laboratoire Université Ouargla).	21
Figure 2.9: photographie des parois de contrôle du ressaut (Laboratoire Université Ouargla).	22
Figure 2.10: photographie du ressaut hydraulique a)- Vue à l'amont du ressaut. b)- Vue à l'aval du ressaut. (Laboratoire Université Ouargla).	23
Figure 2.11: photographie des tapis rugueux imposés au lit majeur du canal composé a) Canal avec fond lisse. avec lit rugueux (Laboratoire Université Ouargla).	24
Figure 2.12 : Les tapis rugueux divers (Laboratoire Université Ouargla). a) La méthode de conception des tapis rugueux ; (b) les divers tapis rugueux.	24
Figure 3.1: variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude dans le lit mineur lisse, pour rugosités " ϵ ". ($\square$) mm; (-) Courbes d'ajustements.	28
Figure 3.2 : Variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude dans le lit majeur, pour cinq rugosités testées " ϵ ". (*) 12mm; (Δ) 10mm; (o) 08mm ; (+) 06mm et ($\square$) 0mm. (—) Courbes d'ajustements.	29
Figure 3.3 : variation du coefficient "b" en fonction de la rugosité relative $\epsilon / (B-b)$ dans le lit majeur	30
Figure 3.4 : Rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut en fonction de $f(\epsilon / (B-b), F_1)$ ($\square$) Les points de mesures expérimentales du ressaut contrôlé avec lit majeur rugueux dans le lit majeur. (—) premières bissectrice.	31
Figure 3.5 : La variation du rapport des hauteurs conjuguées h_1/h_2 expérimentale en fonction de $f(\epsilon / (B-b), F_1)$ pour les deux cas ($\square$ lit mineur ; $\square$ lit majeur).	36

ملخص

تهدف هذه المذكرة إلى التحليل، التجريبي الهيدروليكي للقفزة المائية المراقبة بعتبة رقيقة الجدران تتطور في قناة مستطيلة من قسم مركب ذات قاع أعلى خشن. تبحث الدراسة عن تأثير هذه الخشونة على خصائص القفزة. من خلال التحليل التجريبي، المدعوم بالبيانات التجريبية، سمح بالحصول على علاقة تجريبية بحتة دون أبعاد التي تمكننا من تحديد أبعاد حوض التبديد لنموذج القفزة الهيدروليكية.

الكلمات الرئيسية: القفز الهيدروليكية، القناة المستطيلة المركبة، خشونة القاع الأعلى، حوض التبديد.

Résumé

Ce présent mémoire est destinée à l'analyse expérimentale du ressaut hydraulique contrôlé par seuil à parois minces évoluant dans un canal rectangulaire de section composée avec lit majeur rugueux. L'étude a permis de montrer l'effet de cette rugosité sur les caractéristiques du ressaut hydraulique. Il a été permis d'obtenir des relations adimensionnelles purement empiriques qui nous permettent de déterminer les dimensions du bassin de dissipation.

Mots clés : Ressaut hydraulique, canal rectangulaire composé, rugosité du lit majeur, bassin de dissipation.

Abstract

This present memory is intended for the experimental analysis of the hydraulic jump controlled by threshold with thin-walls evolving in a rectangular channel of compound section with a rough major bed. The study made it possible to show the effect of this roughness on the characteristics of the hydraulic jump. it has been possible to obtain purely empirical dimensionless relations that allow us to determine the dimensions of the dissipation basin.

Keywords: Hydraulic jump, compound rectangular channel, bottom roughness, dissipation basin.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE:

En période des crues, les barrages évacuent un débit important qui traverse l'évacuateur des crues vers l'aval d'un barrage pour être dirigé vers la vallée, mais ce débit important se traduit par une vitesse importante qui peut créer des distorsions dans la vallée, ce qui conduit à des catastrophes, et pour éviter cela, nous créons ce que l'on appelle des bassins de dissipation d'énergie. Les bassins de dissipation d'énergie peuvent prendre beaucoup de surface et nous coûter cher, pour cela les chercheurs traitent ce phénomène par le moyen le moins onéreux qui s'appelait le ressaut hydraulique dans le but, en règle générale, d'évaluer les caractéristiques géométriques de celui-ci, telles que : les profondeurs initiales et finale, le nombre de Froude de l'écoulement incident, et les longueurs de ressaut et de rouleau de surface et celle du ressaut hydraulique. Quelques chercheurs se sont intéressés également à la distribution des vitesses et des pressions à l'intérieur du ressaut hydraulique.

Le phénomène du ressaut hydraulique peut se produire à l'aval immédiat d'une vanne du fond, ou au piémont d'un barrage déversoir. Le ressaut est le siège d'une dissipation importante d'énergie. C'est à cet effet qu'il est évidemment utilisé en pratique. Le ressaut hydraulique est caractérisé principalement par les deux hauteurs conjuguées, initiale et finale tel que sa longueur du rouleau de surface et celui du ressaut hydraulique.

On appelle ressaut classique quand il se forme en canal rectangulaire de pente faible, il peut s'appeler contrôlé quand sa création est conditionnée par l'emplacement d'un obstacle en travers de l'écoulement. on l'appelle ressaut forcé quand sa formation est créée de part et d'autre du seuil.

Cette présent mémoire a pour but d'étudier, d'un point de vue expérimental, le ressaut hydraulique, contrôlé par une paroi mince qui se forme en canal rectangulaire de section composée avec lit majeur rugueux. Des approches fonctionnelles, en terme adimensionnel, liant les différentes caractéristiques du ressaut, apparaissant l'influence de la rugosité imposée au lit majeur du canal sur les caractéristiques du ressaut, seront exposées. Il est très important de noter que ce type ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de section composée avec lit majeur rugueux n'a pas été entamé antérieurement, et pour combler cette lacune que notre thème de recherche a été présenté.

INTRODUCTION GENERALE

Notre mémoire est partagée essentiellement en deux parties fondamentales :

- ✚ La première partie concernera une étude bibliographique à travers laquelle nous passerons en revue les principaux travaux entrepris dans le domaine du ressaut hydraulique, en canal rectangulaire composé,
- ✚ La seconde partie concernera notre propre contribution intitulée l'étude de l'approche expérimentale du ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de forme composée avec lit majeur rugueux, d'un point de vue expérimentale.

Chapitre I

INTRODUCTION DE LA PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE:

La première partie de notre mémoire est consacrée aux travaux antérieurement réalisés touchant de près notre mémoire. Ce phénomène de ressaut hydraulique sur lequel nous travaillons, intéresse de nombreux ingénieurs hydrauliciens. Ces chercheurs sont parvenus à des résultats fiables grâce à leurs plusieurs expériences réalisées en laboratoire, d'une part pour obtenir une structure idéale du bassin d'amortissement, d'autre part, pour solutionner les phénomènes le dégradation du lit de la vallée et l'aval des Barrages.

Pour bien mené plan de travail, nous avons de vise cette partie en deux chapitres principaux. Pour le premier chapitre, nous allons, s'intéresser aux activités relatives au ressaut hydraulique évoluant dans un canal rectangulaire dont ou portera sur :

- Le ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de section composée droit, nous allons présente l'approche théorique de Khattoui et Achour en 2012 concernant le ressaut hydraulique évaluent canal rectangulaire de section composée.
- Le deuxième sera consacré à l'étude expérimentale la plus récente de F. Riguet et al en 2019 reflétant l'étude expérimentale du ressaut hydraulique contrôlé par seuil mince en canal rectangulaire de section composée.

Enfin, de cette partie bibliographique une conclusion récapitulative des principaux résultats aboutis sera présentée.

I.1. INTRODUCTION:

Deux axes seront traités pour ce présent chapitre, pour le premier axe, l'approche théorique sera présenté par de *Khattoui et Achour en 2012* concernant le ressaut hydraulique en lit composé, le deuxième 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 hydrauliques:

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

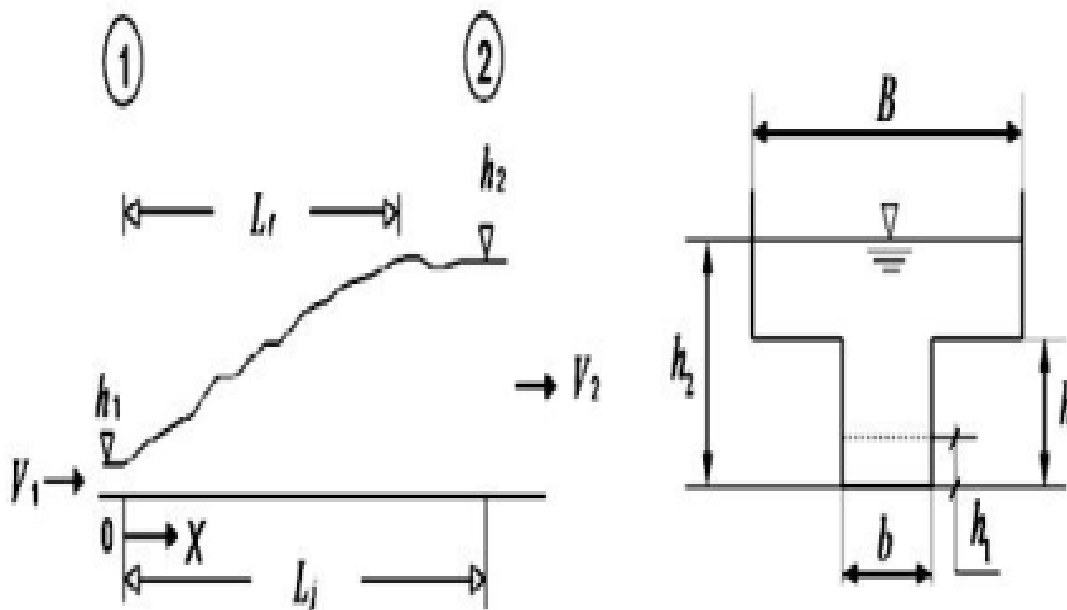


Figure 1. 1: configuration du ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de section composée

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 figure1.1, 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 :

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

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

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, le 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.

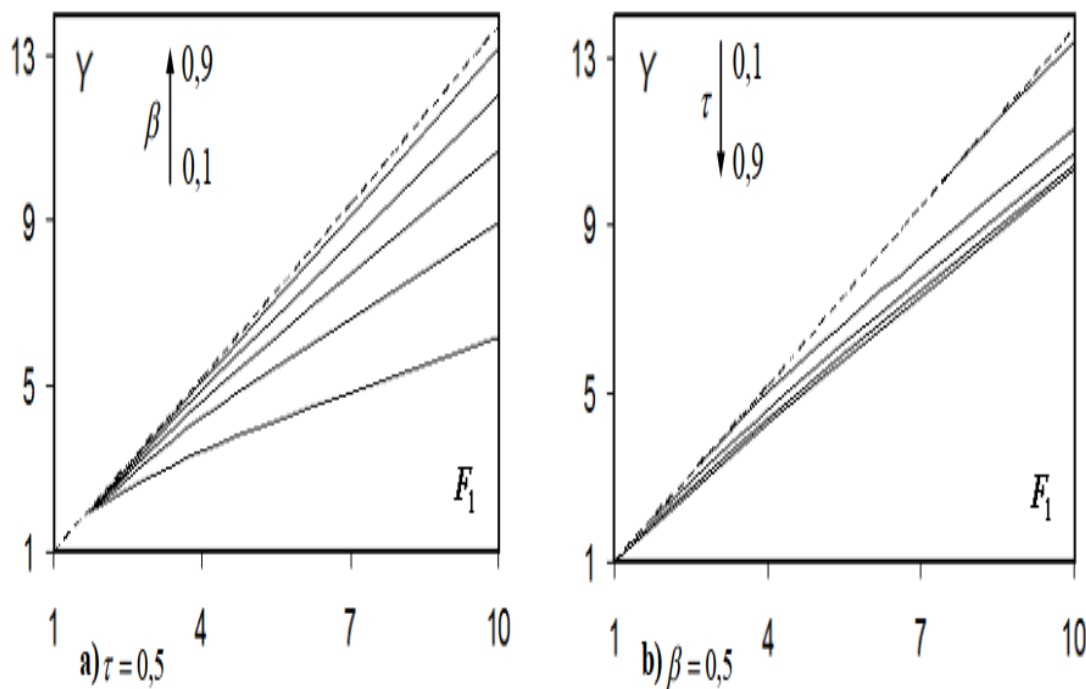


Figure1. 2: le rapport de Y , calculé par (1.4), varie en fonction de F_1 . (— — —) : $\beta = 1$.

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.

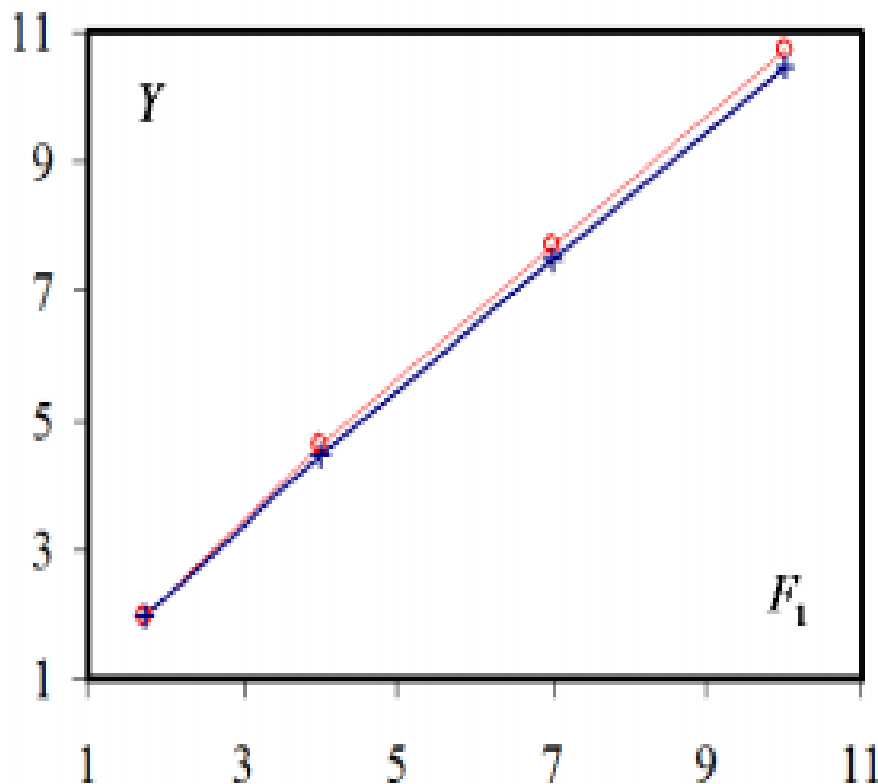


Figure1. 3: le rapport de Y varie en fonction de F_1 . (o) : expression (1.6), (+) : expression (1.4).

I.3. L'ETUDE EXPERIMENTALE DES CARACTERISTIQUES DU RESSAUT HYDRAULIQUE EVOLUANT DANS UN CANAL RECTANGULAIRE DE FORME COMPOSEE:

I.3.1. 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 forcé 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 1.4). 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 (Figure1. 4).

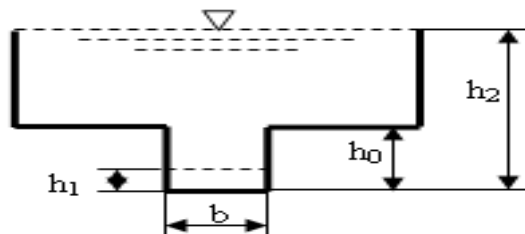
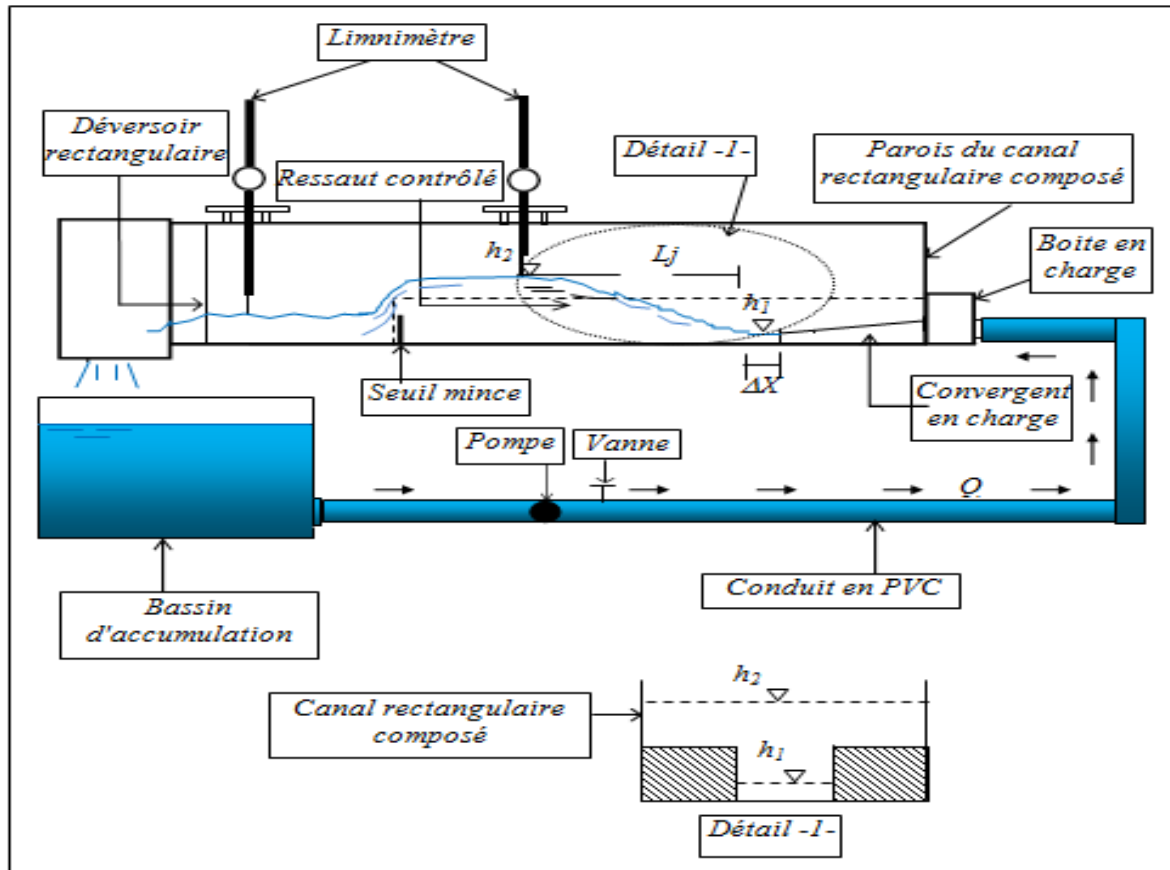


Figure1. 4: configuration du ressaut contrôlé par seuil i mince en canal rectangulaire de forme composée.

I.3.2. 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 :

$$F_1^2 = \frac{Q^2}{b^2 h_1^3 g} \quad (1.7)$$

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 (*Hachemi Rachedi L.2006*) :

$$Q = 0,3794 \sqrt{2g} \beta (1 + 0,16496 \beta^{2,0716})^{3/2} H_{dev}^{3/2} \quad (1.8)$$

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.



Figure1. 5: Photographie du canal ayant servi à l'expérimentation (laboratoire larhyss de Biskra)

I.3.3. résultats expérimentaux:

I.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.

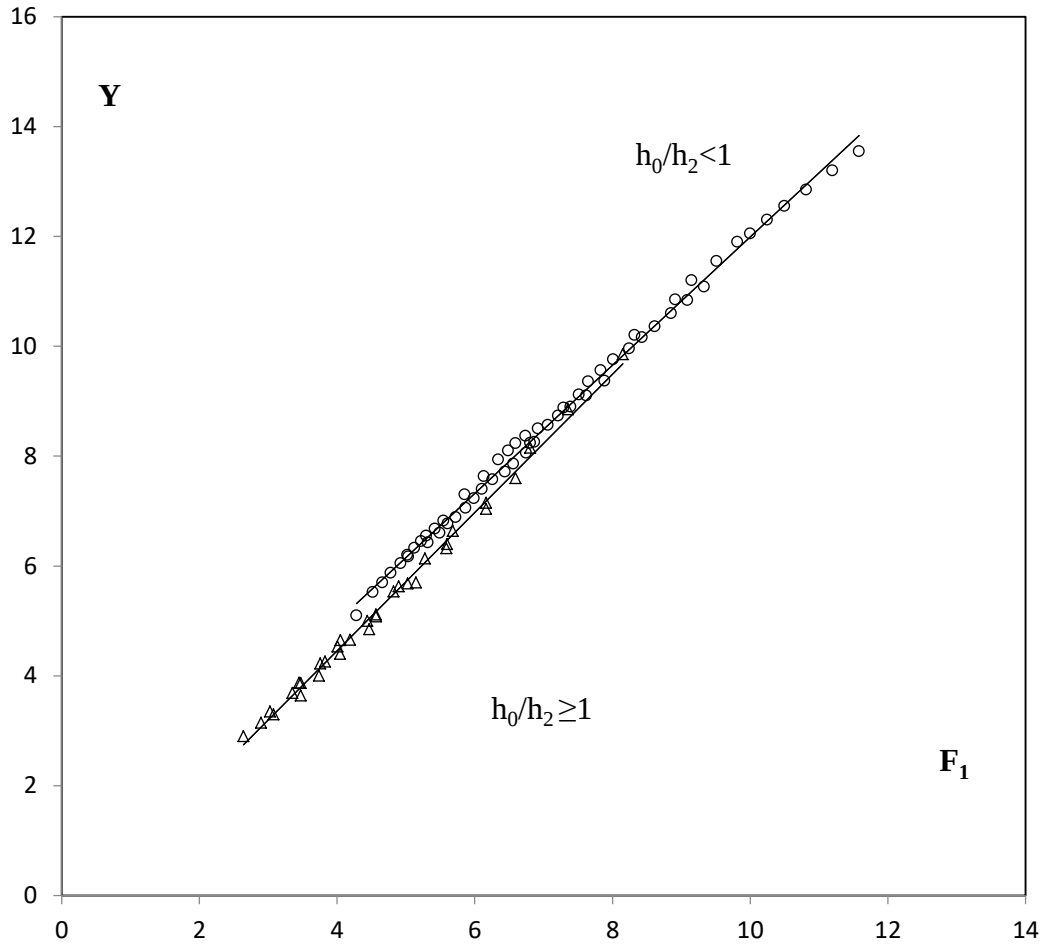


Figure 1.6: le rapport des hauteurs conjuguées Y varie en fonction de Froude F_1 pour le canal composée. (o)les mesures expérimentales pour le lit majeur ; (Δ) les mesures expérimentales pour le lit mineur . (—) Courbes d'ajustements.

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 $2.64 < F_1 < 8.14$ $Y = 1,258 F_1 - 0,573$ (1.9)

Pour $h_0/h_2 < 1$ et $4.27 < F_1 < 11.58$ $Y = 1,165 F_1 + 0,328$ (1.10)

I.4. CONCLUSION:

A travers ce deuxième chapitre de la première partie bibliographique nous avons cité les travaux en premier lieu 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.

En second lieu, et à partir des mesures expérimentales obtenues au niveau du laboratoire (LARHYSS), on constate 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.

L'étude s'est intéressée, ensuite à la variation de rapport Y qui varie en fonction du nombre de Froude F_1 pour différentes ouvertures pour les deux lits du canal rectangulaire de forme composée. On constate que ce rapport Y s'accroît avec l'augmentation du nombre de Froude F_1 , et que pour un nombre de Froude fixé F_1 , Y est plus important en lit majeur. On note que pour une série des nombres de Froude et pour différentes ouvertures testées h_1 , le ressaut hydraulique évoluant dans un canal rectangulaire de section composée, présente deux relations expérimentales globales adimensionnelles telles que $Y = f(F_1)$ par lesquelles on dimensionnerait les ouvrages hydrauliques.

Finalement, On conclue que le ressaut hydraulique qui s'évolue dans le canal rectangulaire de forme composée a pour effet réducteur aux caractéristique du rapports des hauteurs $Y = h_2/h_1$ au lit mineur que celui au lit majeur.

Chapitre II

II.1. INTRODUCTION :

Nous allons étudier dans ce chapitre deuxième, les dispositifs de mesure ainsi que le protocole expérimental.

II.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 2.1: 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. Le rôle fondamental de cette ouverture insérée est de

créer un écoulement torrentiel. La section de celle-ci est variable et sa hauteur correspondra à la hauteur initiale h_1 du ressaut hydraulique. les débits spécifiques s'effectue par manipulation de la vanne. L'alimentation en eau dans le canal sera effectué par une pompe axiale assurant un débit arrivant à 55,55 l/s. Les essais ont été réalisées dans un canal conçu au 'Laboratoire d'exploitation et valorisation des ressources naturelles en zones aride' de l'Université de Ouargla.

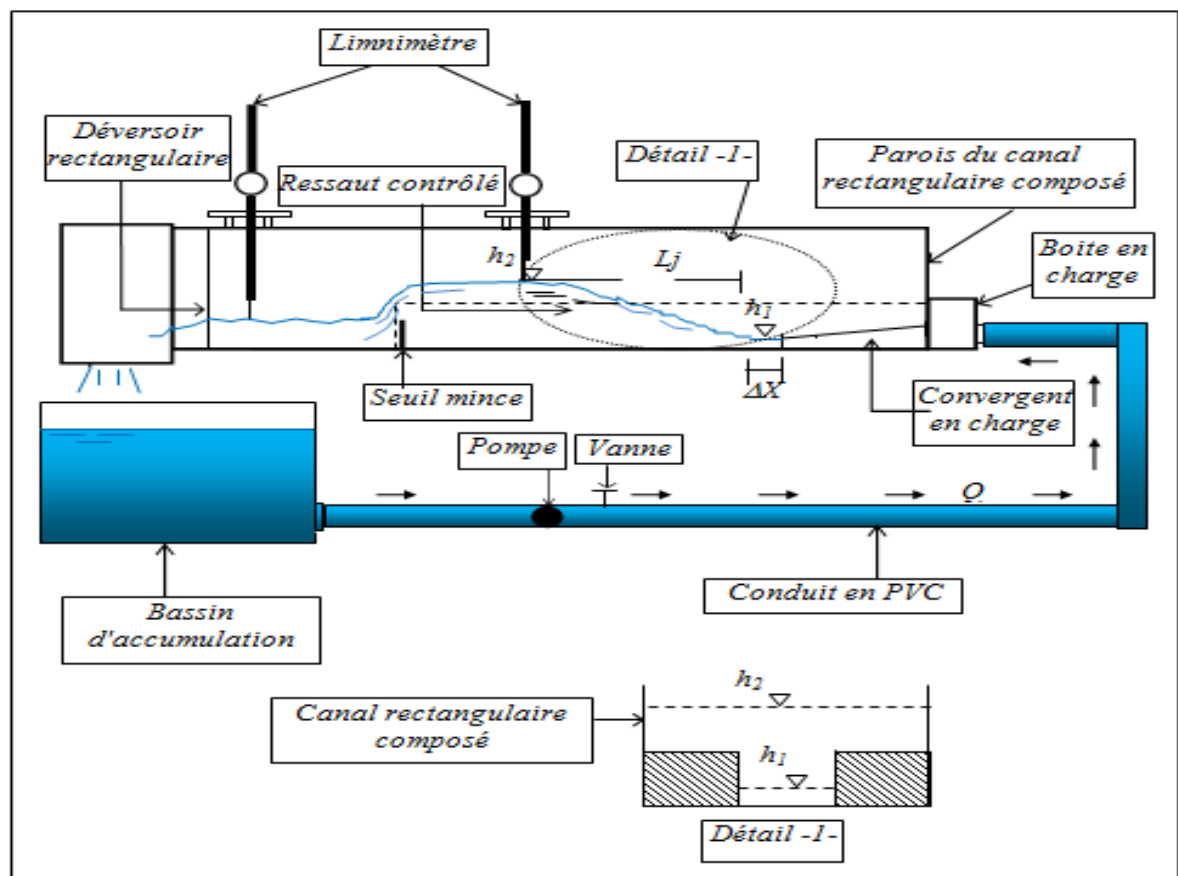


Figure 2.2: schématisation de déroulement de l'expérimentation.



Figure 2.3 : Photographie de la pompe axiale(Laboratoire Université Ouargla).



Figure 2.4: Photographie de La vanne de régulation du débit(Laboratoire Université Ouargla).

II.3. APPAREILLAGES DE MESURE :

II.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 2.5: Photographie du déversoir rectangulaire avec contraction latérale pour mesurer les débits pompés(Laboratoire Université Ouargla).

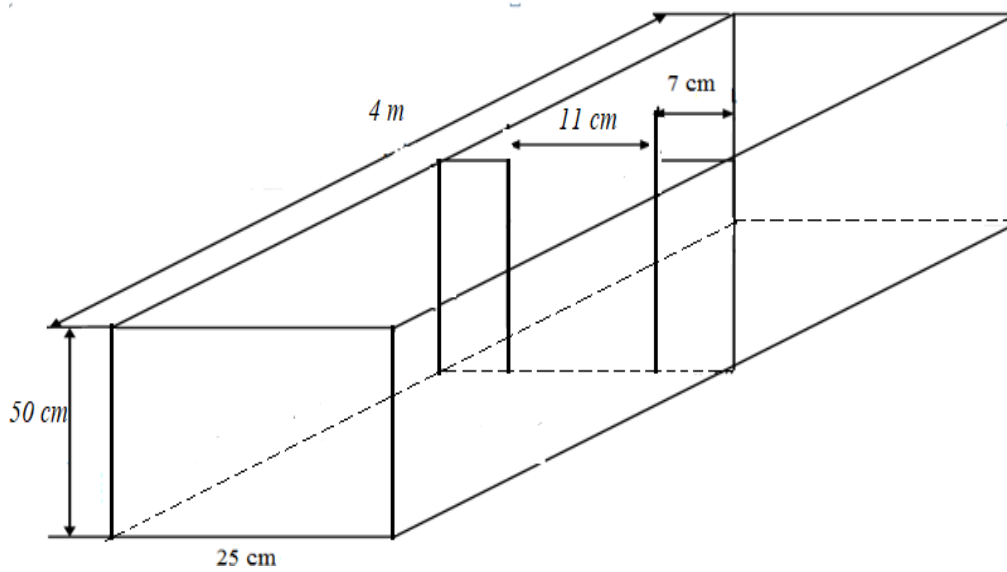


Figure 2.6: Schéma de définition de la deuxième partie du canal avec déversoir,
Hachemi, 2007.

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.

$$Q = 0,3794 \sqrt{2g} \beta (1 + 0,16496 \beta^{2,0716})^{3/2} h_{dev}^{3/2} \quad (2.1).$$

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 : $Q = 0.193 h_{dev}^{3/2}$

II.3.2. l'appareil Limnimétrique:

L'évaluation des profondeurs d'eau d'écoulement dans le banc d'expérimentation est faite par un l'instrument Limnimétrique (Figure 2.7).

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..

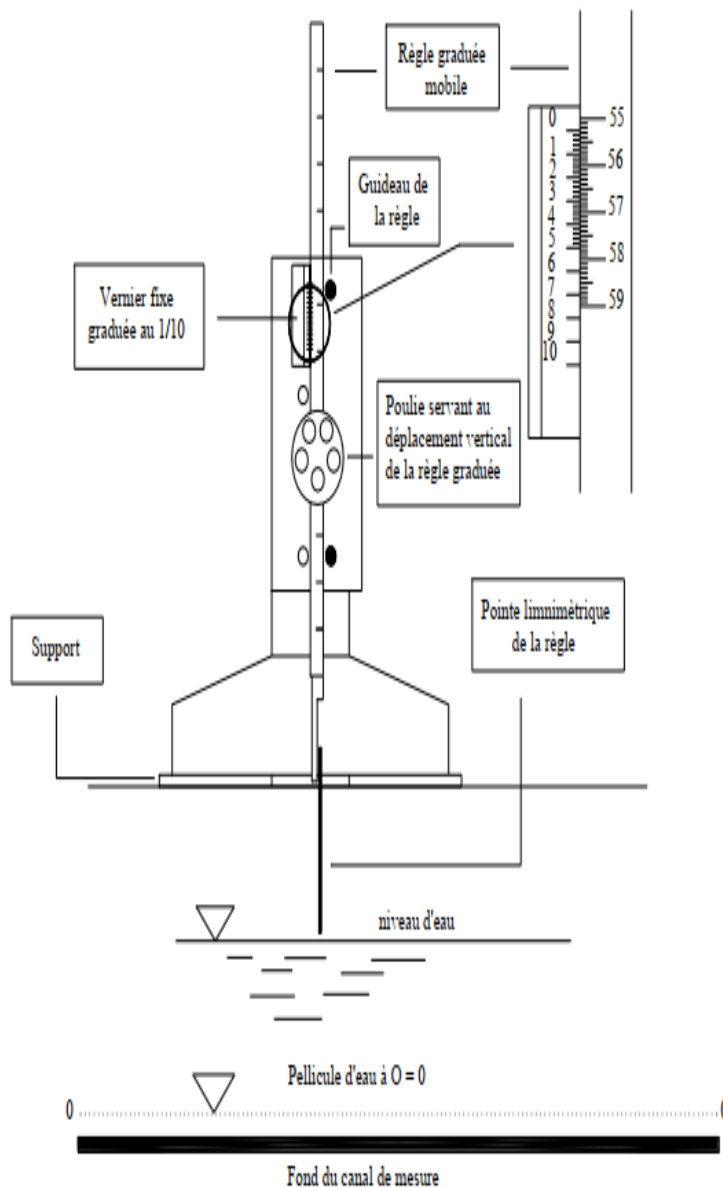


Figure 2.7: La profondeur d'eau mesurée par pointe limnimétrique (Laboratoire Université Ouargla).

II.4. APERÇU DES ESSAIS EXPERIMENTAUX:

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 ($2 < F_1 < 20$).

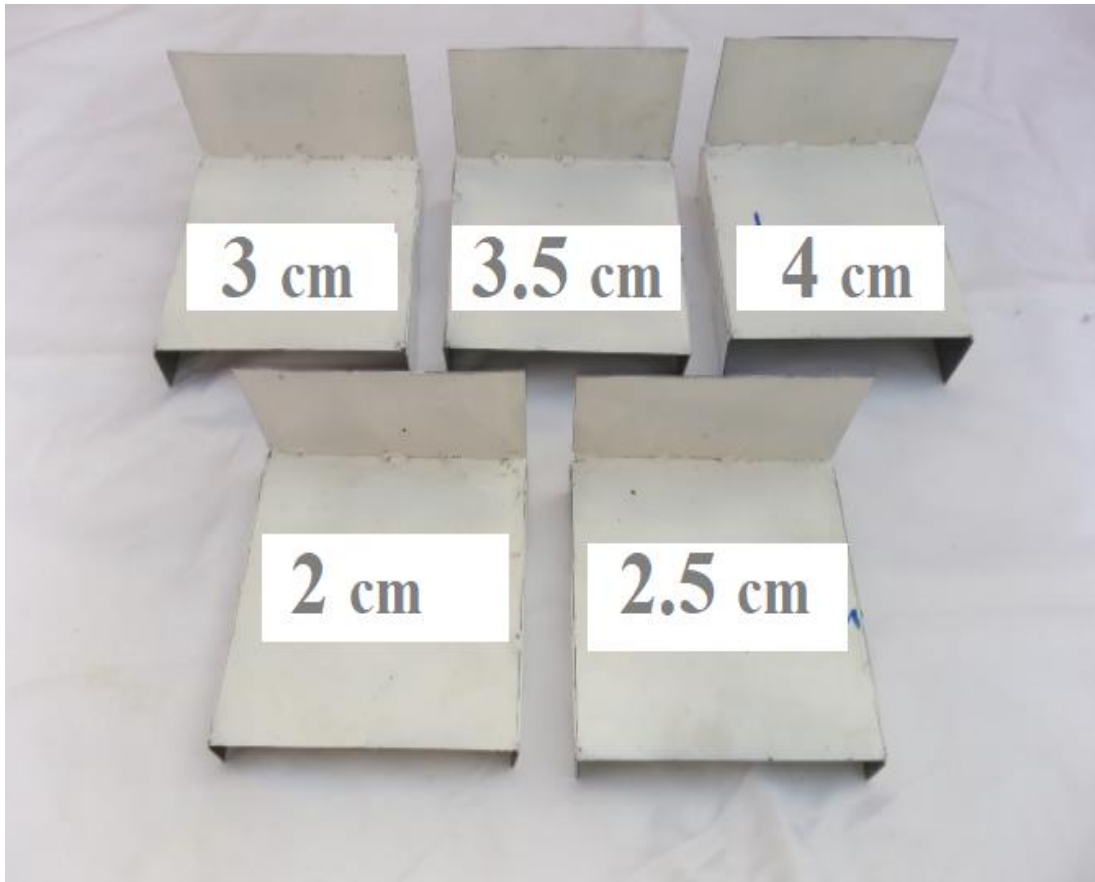


Figure 2.8: Photographie des ouvertures (h_1 (cm) = 02 ; 02.5 ; 03 ; 03.5 et 04) (Laboratoire Université Ouargla).

Les parois de différentes hauteurs 'S'ont été examinées (Figure2.9), 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.

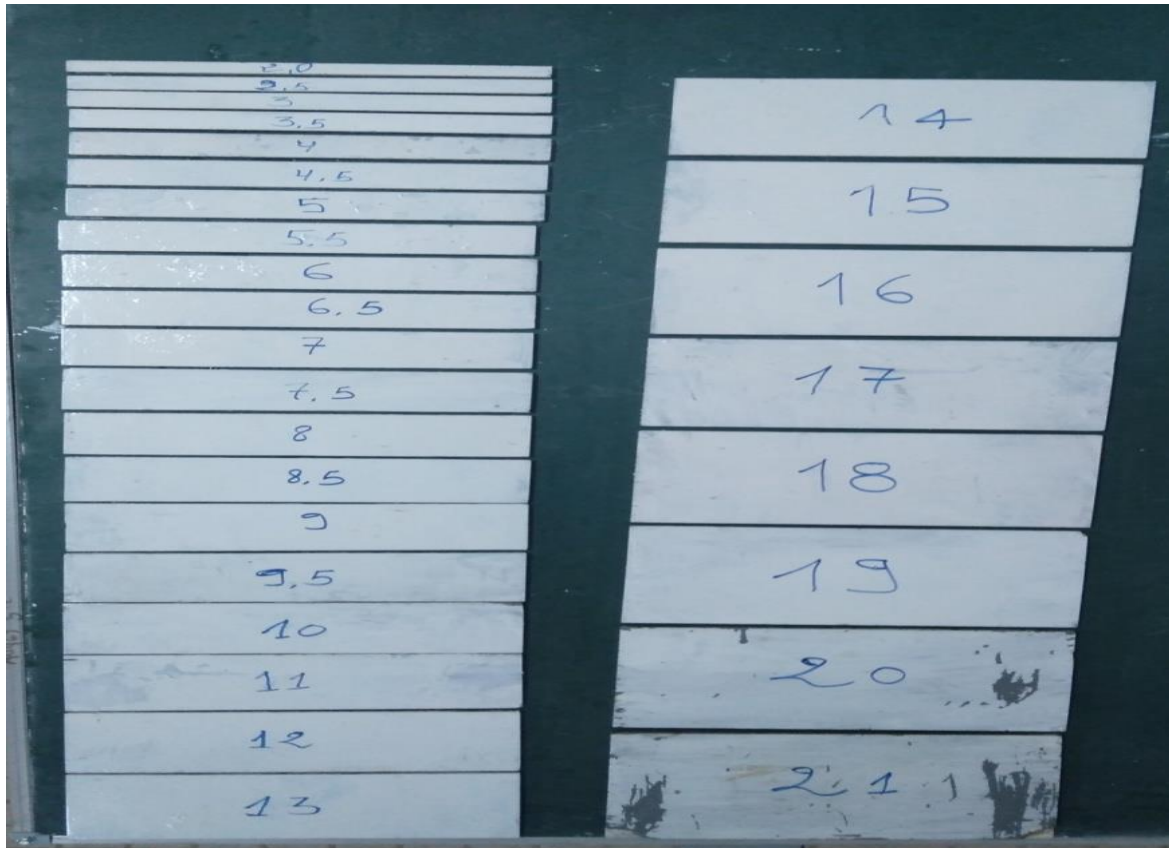


Figure 2.9: Photographie des parois de contrôle du ressaut (Laboratoire Université Ouargla).

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 ,

$$F_1 = \sqrt{\frac{Q}{gh_1^3 b^2}} \quad (2.2)$$

- 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 Lj/h_1 du ressaut,[]
- longueur relative Lr/h_1 du rouleau.[]
- rugosité relative $\varepsilon/(B -b)$ du fond du canal.[]

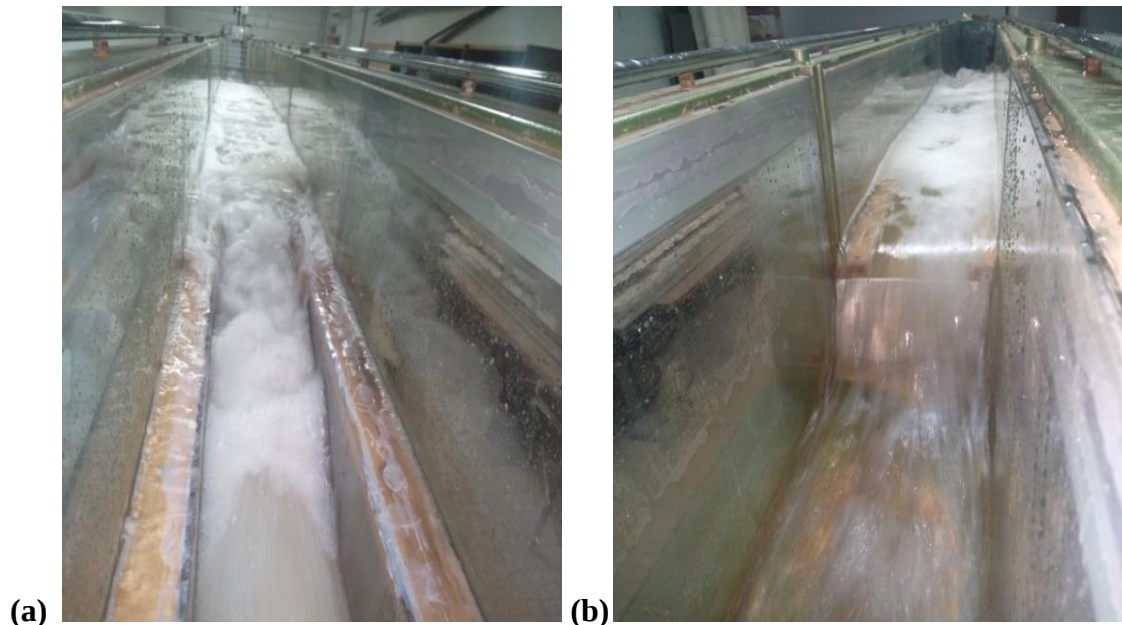


Figure 2.10: Photographie du ressaut hydraulique
. a) Vue à l'amont du ressaut lisse. b) Vue à l'aval du ressaut lisse(Laboratoire Université Ouargla).

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

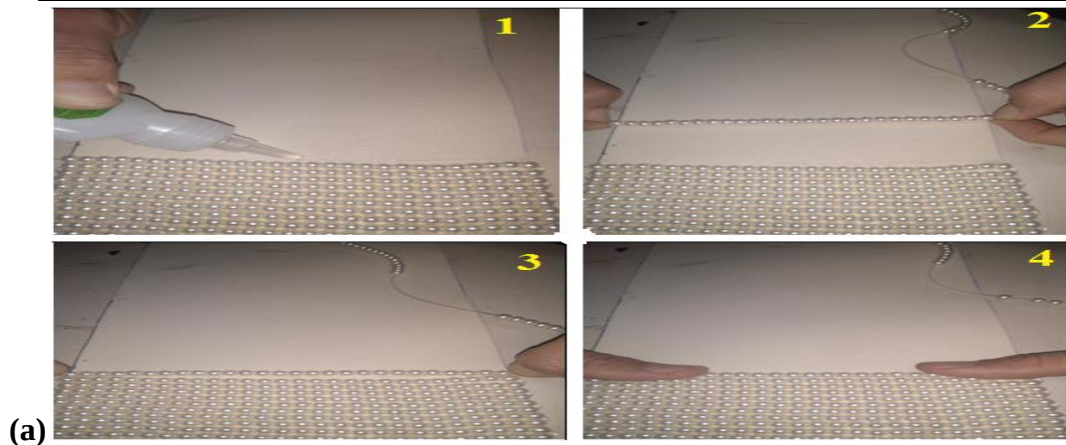
Les étapes à suivre pour concevoir les tapis rugueux qui seront imposée dans le canal rectangulaire de forme composée sont :

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 $\varepsilon = 12 \text{ mm}$.

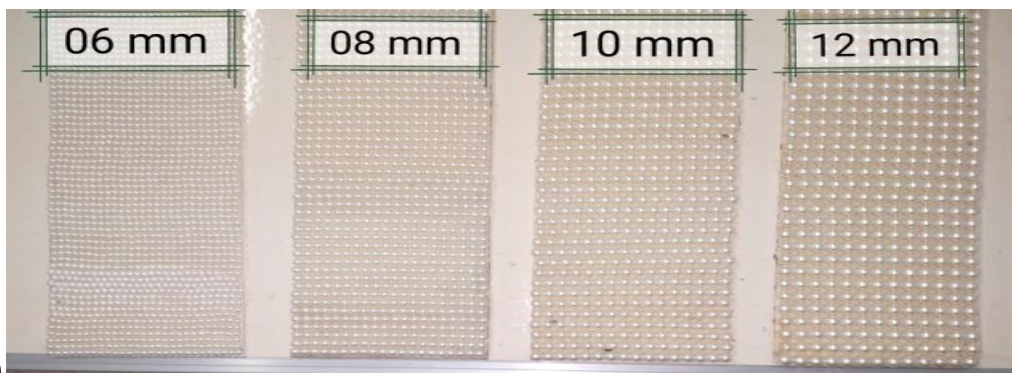


(a)

**Figure 2.11: Photographie des tapis rugueux imposés au lit majeur du canal composé .
a) canal avec fond lisse. et avec lit majeur rugueux(Laboratoire Université Ouargla).**



(a)



(b)

Figure 2.12: Les tapis rugueux divers

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

II.5. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, 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 *Hachemi Rachedi L. (2006)*.

Finalement, nous avons expliqué clairement la méthode de préparation des divers tapis rugueux qui s'imposent au lit majeur du canal.

Chapitre III

III.1. INTRODUCTION:

L'étude bibliographique montre que les caractéristiques adimensionnelles intervenant au phénomène du ressaut sont : le nombre de Froude F_1 ou le débit relatif q , la hauteur initiale amont h_1 (h_1 est la hauteur au pied du ressaut), la hauteur final aval h_2 (h_2 est la hauteur maximale mesurée à l'aval du ressaut) et le rapport $y=h_2/h_1$ des hauteurs conjuguées du ressaut.

Comme il a été signalé dans la partie bibliographique, à l'exception des travaux de Hager (1987,1989) et ceux plus récemment Khataoui et Achour (2012), très peu d'étude ont été entreprises dans le domaine du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de section composée. Quand au ressaut en canal à fond rugueux, à notre connaissance l'étude la plus connue est celle de Rajaratnam (1968), qui a expérimenté le ressaut hydraulique en canal rectangulaire à fond rugueux et celle aussi de Rajaratnam (2002), relative au ressaut hydraulique en canal rectangulaire à fond ondulé. A notre connaissance, le canal rectangulaire de la section composée avec lit majeur rugueux, n'a jamais fait l'objet d'étude de ce genre. C'est dans le but de combler cette lacune que cette étude pour ce type de ressaut a été proposée.

A travers ce chapitre nous allons analyser expérimentalement le ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de section composé avec lit majeur rugueux, cette étude permet d'obtenir des relations empiriques adimensionnelles régissant les caractéristiques de ce type du ressaut hydraulique.

III.2. ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

III.2.1. Rapport des hauteurs conjuguées du ressaut Y en fonction du nombre de Froude F_1

III.2.1.1. Rapport des hauteurs conjuguées du ressaut Y en fonction du nombre de Froude F_1 dans le lit mineur lisse ($0 < h_2 < 20$) cm.

La figure (3.1) montre la représentation graphique de la variation de Y en fonction du nombre de Froude F_1 incident pour valeurs de rugosités absolues : $\varepsilon=0$ mm.

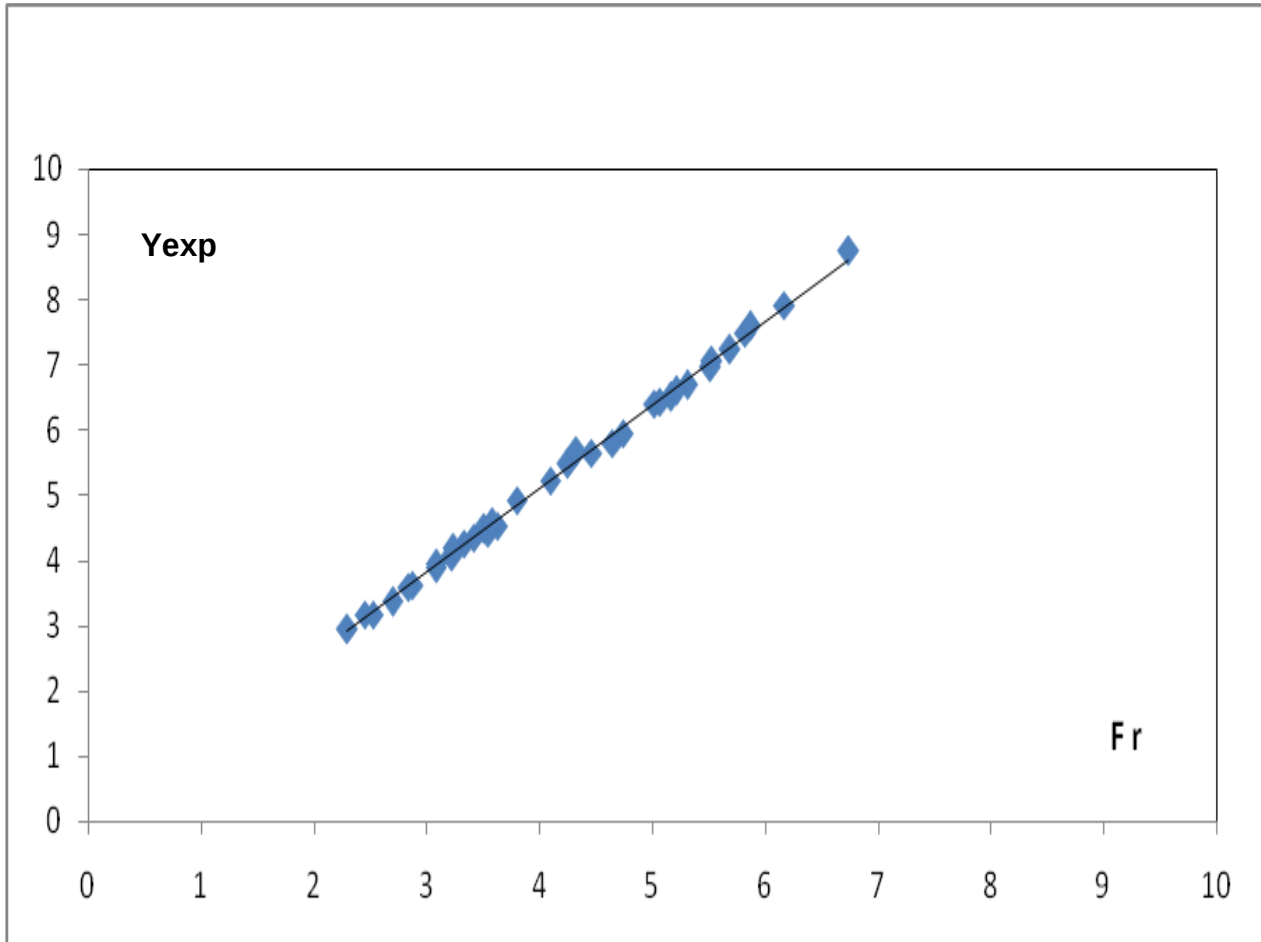


Figure 3.1: Variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude dans le lit mineur lisse, pour rugosités " ε ". ($\square$) 0 mm. (—) Courbes d'ajustements (courbe selatna –zid-belal-2022).

III.2.2.2. Variation du rapport des hauteurs conjuguées h_2/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 du variation du rapport des hauteurs conjuguées h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude F_1 pour cinq valeurs de rugosité relative $\varepsilon/B-b$ pour le lit majeur rugueux ($20 < h_2 < 50$) cm.

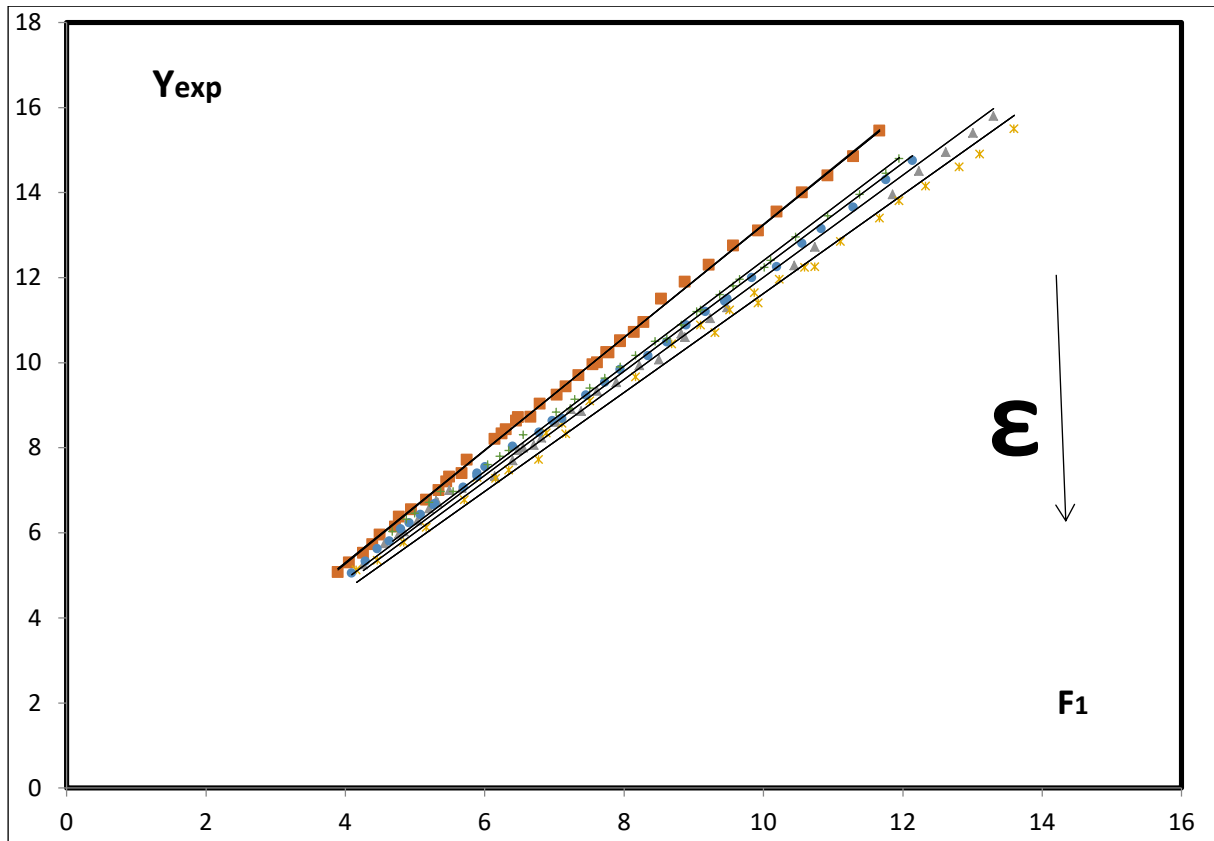


Figure 3.2: Variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude dans le lit majeur, pour cinq rugosités différentes testées " ε ". (*) 12 mm ; (Δ) 10 mm ; (O) 08 mm ; (+) 06 mm et ($\square$) 0 mm.
(—) Courbes d'ajustements (courbe selatna –zid-belal-2022).

On remarque cinq allures de points distincts dont chacun dépend d'une rugosité bien déterminée. Par ailleurs, l'analyse des points de mesures expérimentales du ressaut rugueux pour le lit majeur, montre aussi qu'à chaque valeur de rugosité " ε " correspond une courbe de type linéaire de la forme $h_2/h_1 = b_1 (F_1)$.

Le tableau (3.1) regroupe les valeurs du coefficient b_1 .

Tableau 3.1: coefficient b_1 des courbes d'ajustements (resultats selatna –zid-belal-2022)

$\varepsilon / (B-b)$	Coefficient b_1	R^2
0,12	1.1629	0,994
0,10	1.201	0,995
0,08	1.2249	0,997
0,06	1.2406	0,997
0	1.3237	0,999

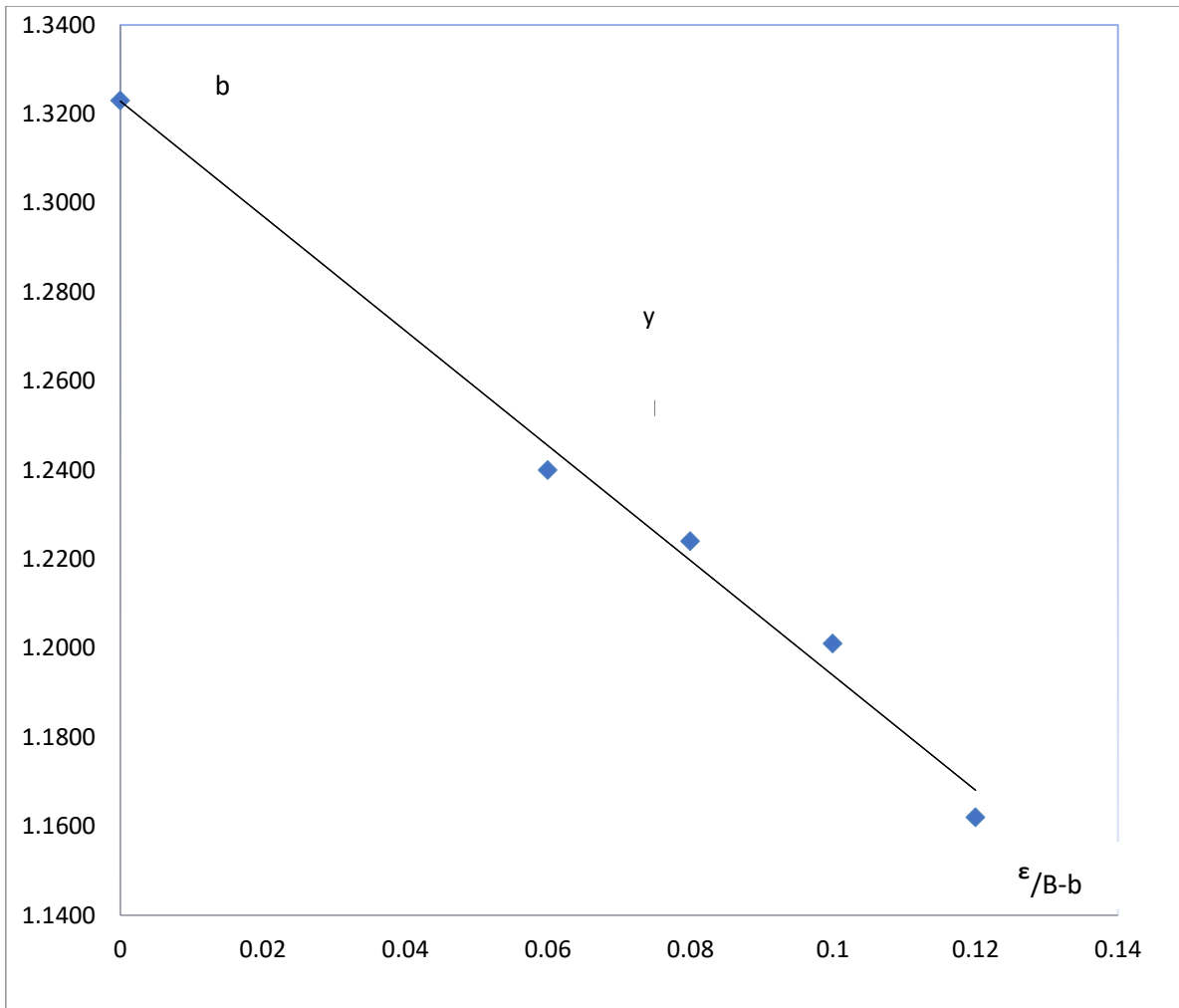


Figure 3.3: Variation du coefficient "b" en fonction de la rugosité relative $\epsilon/B-b$ dans le lit majeur rugueux (courbe selatna –zid-belal-2022).

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

$b = -1.290 \cdot \epsilon/B-b + 1.322$, avec $R^2 = 0,990$. Cette équation est présentée par la figure (3.3).

L'équation liant le rapport des hauteurs conjuguées h_2/h_1 , le nombre de Froude F_1 et la rugosité relative $\epsilon/B-b$ s'écrit alors : $Y = (-1,290(\epsilon/B-b) + 1,322) F_1$ (3.4)

Pour $0 \leq \epsilon/B-b \leq 0.12$

La figure (3.4) montre également que la relation $Y = f(\epsilon/B-b, F_1)$ ajuste avec une bonne Corrélation pour le lit majeur ($20 < h_2 < 50$) cm. en majorités des points de mesures expérimentales obtenues et ces derniers suivent parfaitement la première bissectrice justifient les mesures expérimentales.

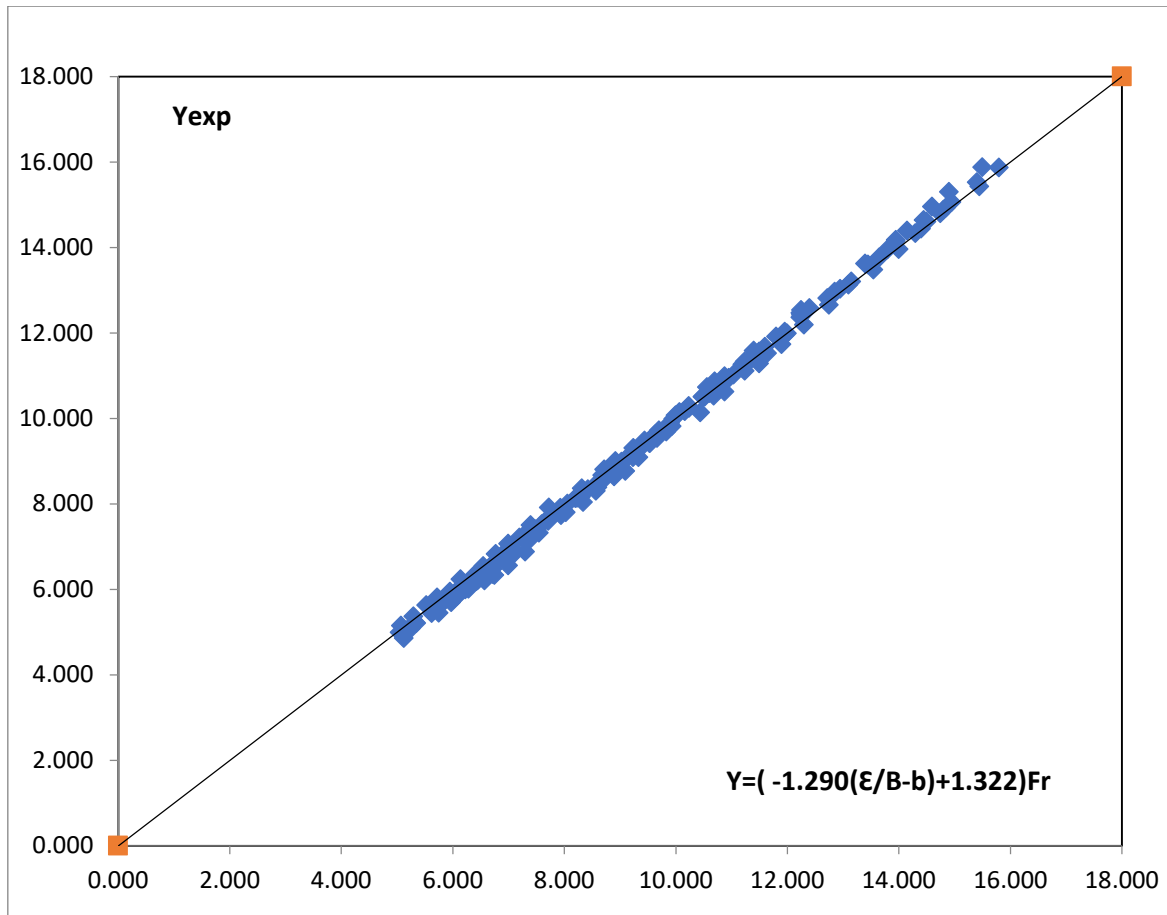


Figure 3.4: Rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut en fonction de $f(\epsilon/B-b, Fr)$.
(□) Les points de mesures expérimentales du ressaut contrôlé avec lit majeur rugueux.
(—) Première bissectrice (courbe selatna –zid-belal- 2022).

En outre, les écarts relatifs entre les valeurs des mesures expérimentales Y_{exp} . avec celles obtenues par la relation d'ajustement (3.4) sont estimés et présentés au tableau (3. 2). Le tableau (3.2), montre que les écarts relatifs sont en majorité inférieurs à 5%, ce qui justifie la fiabilité de la relation (3.4).

Tableau 3.2: Ecarts relatifs entre h_2/h_1 expérimentale et h_2/h_1 d'ajustements dans le lit majeur (résultats: selatna –zid-belal- 2022).

Yexp.	Y relation.	$\Delta Y/Y$ (%)	Yexp.	Y relation	$\Delta Y/Y$ (%)
5.125	4.854	-5.591	12.250	12.535	2.272
5.350	5.208	-2.723	12.850	12.965	0.883
5.775	5.653	-2.163	13.400	13.618	1.602
6.125	6.025	-1.654	13.800	13.949	1.068
6.775	6.664	-1.669	14.150	14.394	1.696
7.275	7.190	-1.186	14.600	14.957	2.387
7.475	7.413	-0.840	14.900	15.298	2.603
7.725	7.911	2.356	15.500	15.873	2.348
8.343	8.036	-3.818	5.250	5.081	-3.331
8.571	8.301	-3.262	5.750	5.446	-5.582
7.300	6.881	-6.085	5.975	5.694	-4.932
9.100	8.766	-3.809	6.025	5.778	-4.281
9.667	9.536	-1.375	6.750	6.330	-6.628
8.320	8.365	0.534	7.050	6.767	-4.184
10.440	10.140	-2.960	6.286	6.013	-4.544
10.880	10.621	-2.435	6.571	6.207	-5.863
11.240	11.110	-1.167	6.714	6.355	-5.652
11.640	11.523	-1.013	7.000	6.554	-6.810
11.960	11.941	-0.157	7.943	7.734	-2.697
12.240	12.364	1.005	8.057	7.999	-0.721
10.700	10.865	1.518	8.857	8.813	-0.506
11.400	11.586	1.603	7.333	7.334	0.003

Tableau 3.2 (suite): Ecarts relatifs entre h_2/h_1 expérimentale et h_2/h_1 d'ajustement dans le lit majeur (résultats: selatna–zid-belal- 2022).

Yexp.	Y relation.	$\Delta Y/Y$ (%)	Yexp.	Y relation	$\Delta Y/Y$ (%)
7.700	7.638	-0.814	5.625	5.438	-3.430
8.000	7.822	-2.271	5.800	5.648	-2.694
8.233	8.133	-1.232	6.650	6.423	-3.530
8.600	8.385	-2.568	7.400	7.186	-2.985
8.900	8.639	-3.024	7.550	7.323	-3.100
9.333	9.089	-2.684	6.086	5.848	-4.070
9.533	9.416	-1.247	6.229	5.995	-3.904
9.933	9.813	-1.228	6.429	6.192	-3.818
10.067	10.148	0.799	6.686	6.442	-3.781
10.680	10.527	-1.451	8.686	8.668	-0.208
11.040	11.022	-0.164	7.067	6.943	-1.777
12.280	12.464	1.476	7.333	7.186	-2.057
12.720	12.812	0.717	8.033	7.803	-2.952
10.600	10.589	-0.107	8.633	8.502	-1.551
11.300	11.314	0.124	9.233	9.088	-1.603
13.950	14.144	1.373	9.533	9.419	-1.215
14.500	14.598	0.672	9.833	9.687	-1.513
14.950	15.057	0.708	8.360	8.271	-1.080
15.400	15.520	0.772	10.160	10.175	0.149
15.800	15.870	0.443	10.480	10.505	0.239
5.050	4.987	-1.261	10.880	10.839	-0.382
5.325	5.232	-1.784	11.200	11.176	-0.219

Tableau 3.2 (suite) : Ecart relatifs entre h_2/h_1 expérimentale et h_2/h_1 d'ajustement dans le lit majeur (résultats: selatna-zid-belal- 2022).

Yexp.	Y relation.	$\Delta Y/Y$ (%)	Yexp.	Y relation	$\Delta Y/Y$ (%)
11.440	11.516	0.659	9.633	9.618	-0.156
11.500	11.559	0.507	9.900	9.892	-0.083
12.000	11.989	-0.089	10.167	10.168	0.012
12.250	12.425	1.411	10.500	10.516	0.156
12.800	12.866	0.516	8.920	8.999	0.879
13.150	13.201	0.384	10.560	10.727	1.561
13.650	13.764	0.828	10.880	10.983	0.934
14.300	14.335	0.244	11.240	11.326	0.757
14.750	14.797	0.320	11.600	11.672	0.621
6.029	5.823	-3.533	11.960	12.023	0.521
6.314	6.071	-4.002	12.240	12.465	1.806
6.457	6.222	-3.779	11.200	11.261	0.543
6.714	6.476	-3.680	11.800	11.913	0.947
6.971	6.682	-4.338	12.400	12.577	1.404
7.800	7.741	-0.762	12.950	13.026	0.581
6.967	6.907	-0.869	13.450	13.594	1.063
7.600	7.525	-0.997	13.950	14.171	1.561
7.933	7.904	-0.367	14.450	14.638	1.287
8.300	8.161	-1.707	14.800	14.874	0.497
8.833	8.747	-0.983	10.500	10.507	0.066
9.133	9.079	-0.598	10.950	10.948	-0.020
9.400	9.347	-0.563	11.500	11.282	-1.929

Tableau 3.2 (suite et fin) : Ecarts relatifs entre h_2/h_1 expérimentale et h_2/h_1 d'ajustement dans le lit majeur (résultats: selatna–zid-belal- 2022).

Yexp.	Y relation.	$\Delta Y/Y$ (%)	Yexp.	Y relation	$\Delta Y/Y$ (%)
11.900	11.734	-1.418	10.000	10.072	0.717
12.300	12.191	-0.896	10.233	10.289	0.539
12.750	12.654	-0.762	6.143	6.237	1.516
13.100	13.122	0.170	7.314	7.262	-0.715
13.550	13.477	-0.538	7.714	7.597	-1.549
14.000	13.956	-0.316	8.429	8.338	-1.087
14.400	14.440	0.276	8.714	8.571	-1.677
14.850	14.929	0.532	9.029	8.983	-0.509
15.450	15.424	-0.167	5.075	5.148	1.425
8.720	8.805	0.970	5.300	5.366	1.222
9.240	9.305	0.702	5.525	5.630	1.867
9.440	9.474	0.359	5.725	5.809	1.444
9.960	9.986	0.261	5.950	5.944	-0.099
10.240	10.245	0.053	6.375	6.310	-1.032
10.520	10.507	-0.124	6.550	6.542	-0.121
10.720	10.771	0.471	6.775	6.824	0.725
8.200	8.127	-0.904	7.000	7.063	0.889
8.333	8.261	-0.878	7.200	7.207	0.099
8.633	8.532	-1.192	7.400	7.499	1.315
9.700	9.715	0.151			

La figure (3.4) montre la variation du rapport Y des hauteurs conjuguées expérimentale en fonction de f ($\mathcal{E}/(B-b)$, F_1) du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée.

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

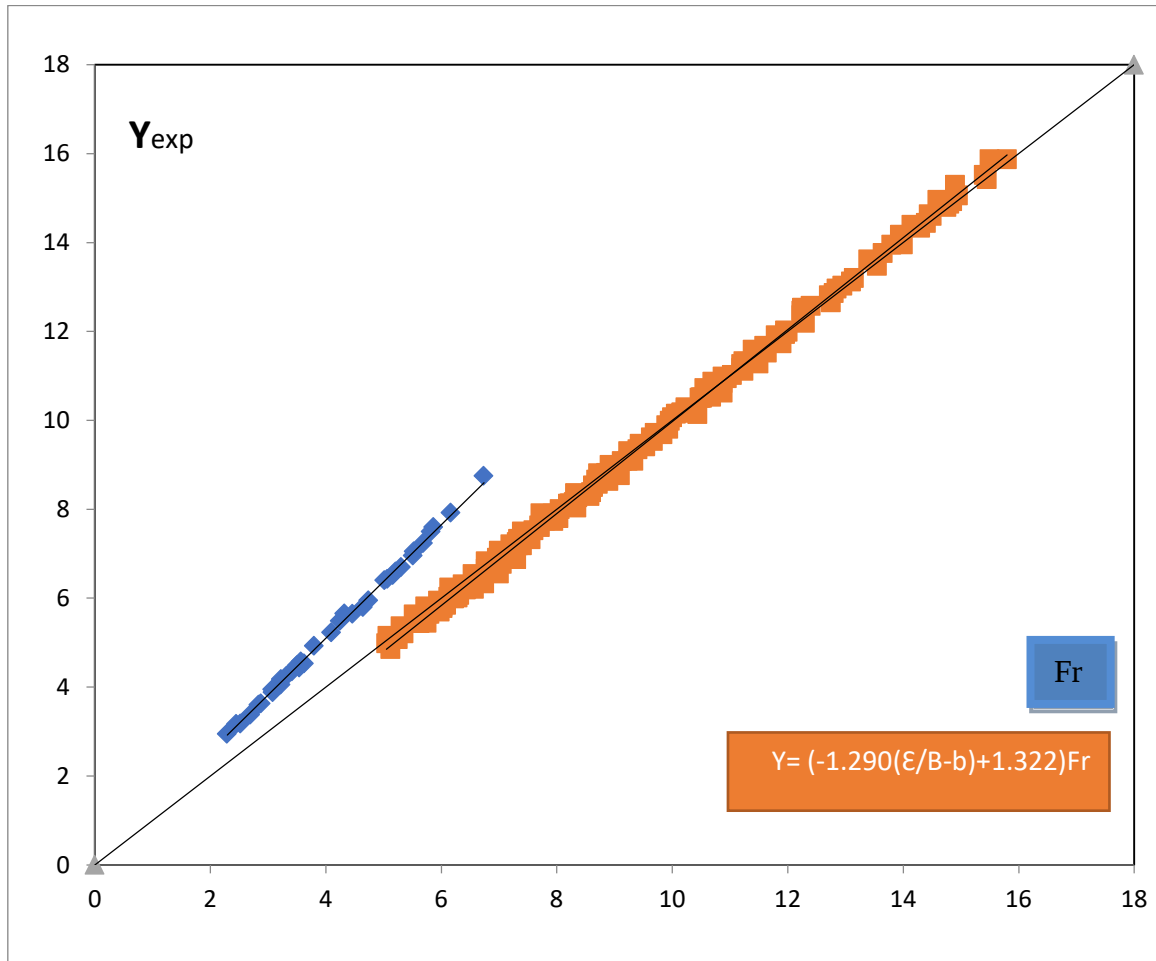


Figure 3.5: La variation du rapport des hauteurs conjuguées h_2/h_1 expérimentale en fonction de f ($\mathcal{E}/B-b$, F_1) pour les deux cas (□lit mineur ; □lit majeur) (courbe selatna – zid-belal-2022).

On conclue par de cette figure que le rapport des hauteurs conjuguées dans la section composée à avec lit majeur rugueux est moindre au lit majeur que celui au lit mineur, ainsi cette section a un effet positive dans le lit majeur que celui au lit mineur.

Tableau 3.3: les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 12mm(doctorant senna- Ouargla 2022).

H _{dev} (m)	h ₁ (m)	h (m)	b (m)	B (m)	τ	β	S (m)	h ₂ (m)
0.187	0.04	0.2	0.15	0.25	0.200	0.6	0.08	0.205
0.196	0.04	0.2	0.15	0.25	0.200	0.6	0.085	0.214
0.207	0.04	0.2	0.15	0.25	0.200	0.6	0.095	0.231
0.216	0.04	0.2	0.15	0.25	0.200	0.6	0.11	0.245
0.231	0.04	0.2	0.15	0.25	0.200	0.6	0.14	0.271
0.243	0.04	0.2	0.15	0.25	0.200	0.6	0.16	0.291
0.248	0.04	0.2	0.15	0.25	0.200	0.6	0.17	0.299
0.259	0.04	0.2	0.15	0.25	0.200	0.6	0.18	0.309
0.229	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.19	0.292
0.234	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.2	0.3
0.177	0.03	0.2	0.15	0.25	0.150	0.6	0.11	0.219
0.208	0.03	0.2	0.15	0.25	0.150	0.6	0.18	0.273
0.22	0.03	0.2	0.15	0.25	0.150	0.6	0.21	0.29
0.168	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.11	0.208
0.191	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.16	0.261
0.197	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.17	0.272
0.203	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.18	0.281
0.208	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.19	0.291
0.213	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.2	0.299
0.218	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.21	0.306
0.16	0.02	0.2	0.15	0.25	0.100	0.6	0.11	0.214
0.167	0.02	0.2	0.15	0.25	0.100	0.6	0.12	0.228
0.176	0.02	0.2	0.15	0.25	0.100	0.6	0.14	0.245
0.18	0.02	0.2	0.15	0.25	0.100	0.6	0.15	0.257
0.186	0.02	0.2	0.15	0.25	0.100	0.6	0.16	0.268
0.189	0.02	0.2	0.15	0.25	0.100	0.6	0.17	0.276
0.193	0.02	0.2	0.15	0.25	0.100	0.6	0.18	0.283
0.198	0.02	0.2	0.15	0.25	0.100	0.6	0.19	0.292
0.201	0.02	0.2	0.15	0.25	0.100	0.6	0.2	0.298
0.206	0.02	0.2	0.15	0.25	0.100	0.6	0.21	0.31

tableau 3.3: (Suite) les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 12mm(doctorant senna- Ouargla 2022).

Lj (m)	Lj /h1	Lr (m)	Hdev (m)	Y	Qd (m ³ /s)	Qc (m ³ /s)
1.7	42.50	1.1	0.2362	5.125	0.01563	0.01689
1.79	44.75	1.15	0.2326	5.35	0.01677	0.01709
1.98	49.50	1.3	0.2282	5.775	0.01820	0.01869
2.21	55.25	1.42	0.2246	6.125	0.01940	0.02016
2.51	62.75	1.69	0.2186	6.775	0.02146	0.02110
2.69	67.25	1.86	0.2138	7.275	0.02315	0.02320
2.76	69.00	1.94	0.2118	7.475	0.02387	0.02469
2.83	70.75	1.99	0.2074	7.725	0.02548	0.02632
2.55	72.86	1.74	0.2199	8.342857	0.02118	0.02092
2.64	75.43	1.81	0.2179	8.571429	0.02188	0.02128
1.69	56.33	1.19	0.2412	7.3	0.01439	0.01471
2.33	77.67	1.56	0.2288	9.1	0.01833	0.01848
2.52	84.00	1.73	0.224	9.666667	0.01994	0.02000
1.8	72.00	1.27	0.2453	8.32	0.01331	0.01370
2.22	88.80	1.61	0.2361	10.44	0.01613	0.01686
2.29	91.60	1.66	0.2337	10.88	0.01690	0.01754
2.36	94.40	1.71	0.2313	11.24	0.01768	0.01818
2.43	97.20	1.74	0.2293	11.64	0.01833	0.01883
2.5	100.00	1.78	71.20	11.96	0.01900	0.01953
2.56	102.40	1.82	72.80	12.24	0.01967	0.02033
1.91	95.50	1.27	63.50	10.7	0.01237	0.01316
2.03	101.50	1.36	68.00	11.4	0.01319	0.01385
2.22	111.00	1.5	75.00	12.25	0.01427	0.01502
2.3	115.00	1.57	78.50	12.85	0.01476	0.01543
2.38	119.00	1.63	81.50	13.4	0.01550	0.01563
2.46	123.00	1.69	84.50	13.8	0.01588	0.01592
2.53	126.50	1.75	87.50	14.15	0.01639	0.01639
2.6	130.00	1.81	90.50	14.6	0.01703	0.01724
2.65	132.50	1.87	93.50	14.9	0.01742	0.01818
2.7	135.00	1.93	96.50	15.5	0.01807	0.01887

tableau 3.3: (Suite) et fin les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 12mm(doctorant senna- Ouargla 2022).

Qd - Qc	F _{Rexp} ²	F _{exp}	$\varepsilon/B-b$	Y exp	Y approche	erreur relative
0.0013	17.291774	4.158338	0.12	5.125	4.854	-5.591
0.0003	19.910536	4.462122	0.12	5.350	5.208	-2.723
0.0005	23.454478	4.842982	0.12	5.775	5.653	-2.163
0.0008	26.648698	5.162238	0.12	6.125	6.025	-1.654
-0.0004	32.594977	5.709201	0.12	6.775	6.664	-1.669
0.0001	37.943166	6.159802	0.12	7.275	7.190	-1.186
0.0008	40.333860	6.350894	0.12	7.475	7.413	-0.840
0.0008	45.942437	6.778085	0.12	7.725	7.911	2.356
-0.0003	47.40204	6.884914	0.12	8.343	8.036	-3.818
-0.0006	50.575263	7.111629	0.12	8.571	8.301	-3.262
0.0003	34.757677	5.895564	0.12	7.300	6.881	-6.085
0.0001	56.405	7.510355	0.12	9.100	8.766	-3.809
0.0001	66.741966	8.169576	0.12	9.667	9.536	-1.375
0.0004	51.357341	7.166404	0.12	8.320	8.365	0.534
0.0007	75.470077	8.687352	0.12	10.440	10.140	-2.960
0.0006	82.808205	9.099901	0.12	10.880	10.621	-2.435
0.0005	90.607220	9.518782	0.12	11.240	11.110	-1.167
0.0005	97.468593	9.872618	0.12	11.640	11.523	-1.013
0.0005	104.66789	10.23073	0.12	11.960	11.941	-0.157
0.0007	112.21325	10.59308	0.12	12.240	12.364	1.005
0.0008	86.649224	9.308557	0.12	10.700	10.865	1.518
0.0007	98.526747	9.926064	0.12	11.400	11.586	1.603
0.0007	115.33011	10.73919	0.12	12.250	12.535	2.272
0.0007	123.37360	11.10737	0.12	12.850	12.965	0.883
0.0001	136.12677	11.66734	0.12	13.400	13.618	1.602
0.0000	142.82036	11.95075	0.12	13.800	13.949	1.068
0.0000	152.08159	12.33214	0.12	14.150	14.394	1.696
0.0002	164.21026	12.81446	0.12	14.600	14.957	2.387
0.0008	171.78803	13.10679	0.12	14.900	15.298	2.603
0.0008	184.92958	13.59888	0.12	15.500	15.873	2.348

tableau 3,4: les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 10mm (doctorant senna- Ouargla 2022).

Hdev (m)	h1 (m)	h (m)	b (m)	B (m)	τ	β	S (m)	h2 (m)
0.19	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.08	0.21
0.199	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.09	0.23
0.205	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.1	0.239
0.207	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.11	0.241
0.22	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.14	0.27
0.23	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.16	0.282
0.186	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.095	0.22
0.19	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.1	0.23
0.193	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.11	0.235
0.197	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.12	0.245
0.22	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.16	0.278
0.225	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.17	0.282
0.24	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.21	0.31
0.182	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.1	0.22
0.187	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.11	0.231
0.19	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.12	0.24
0.195	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.13	0.247
0.199	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.14	0.258
0.203	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.15	0.267
0.21	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.17	0.28
0.215	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.18	0.286
0.221	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.2	0.298
0.226	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.21	0.302
0.193	0.025	0.2	0.15	0.11	0.125	0.6	0.16	0.267
0.199	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.17	0.276
0.216	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.2	0.307
0.22	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.21	0.318
0.155	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.11	0.212
0.162	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.12	0.226
0.188	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.17	0.279
0.192	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.18	0.29
0.196	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.19	0.299
0.2	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.2	0.308
0.203	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.21	0.316

tableau 3,4: (suite) les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 10mm(doctorant senna- Ouargla 2022).

Lj (m)	Lj /h1	Lr (m)	Lr /h1	Y	Qd (m ³ /s)	Qc (m ³ /s)
1.67	41.75	1.1	27.50	5.25	0.01601	0.01736
1.85	46.25	1.24	31.00	5.75	0.01716	0.01880
2.01	50.25	1.35	33.75	5.975	0.01794	0.01934
2.11	52.75	1.42	35.50	6.025	0.01820	0.02041
2.36	59.00	1.62	40.50	6.75	0.01994	0.02160
2.53	63.25	1.78	44.50	7.05	0.02132	0.02294
1.6	45.71	1.16	33.14	6.285714	0.01550	0.01658
1.66	47.43	1.22	34.86	6.571429	0.01601	0.01704
1.7	48.57	1.29	36.86	6.714286	0.01639	0.01767
1.82	52.00	1.36	38.86	7	0.01690	0.01818
2.2	62.86	1.58	45.14	7.942857	0.01994	0.02110
2.26	64.57	1.6	45.71	8.057143	0.02063	0.02146
2.63	75.14	1.77	50.57	8.857143	0.02272	0.02375
1.63	54.33	1.15	38.33	7.333333	0.01501	0.01587
1.7	56.67	1.22	40.67	7.7	0.01563	0.01669
1.76	58.67	1.3	43.33	8	0.01601	0.01704
1.84	61.33	1.37	45.67	8.233333	0.01664	0.01724
1.92	64.00	1.45	48.33	8.6	0.01716	0.01764
1.98	66.00	1.52	50.67	8.9	0.01768	0.01862
2.23	74.33	1.68	56.00	9.333333	0.01860	0.01931
2.3	76.67	1.7	56.67	9.533333	0.01927	0.01984
2.45	81.67	1.79	59.67	9.933333	0.02008	0.01724
2.53	84.33	1.82	60.67	10.06667	0.02077	0.02105
2.36	94.40	1.66	66.40	10.68	0.01639	0.01757
2.45	98.00	1.72	68.80	11.04	0.01716	0.01805
2.65	106.00	1.92	76.80	12.28	0.01940	0.01908
2.74	109.60	2	80.00	12.72	0.01994	0.01965
1.9	95.00	1.36	68.00	10.6	0.01179	0.01364
2.05	102.50	1.44	72.00	11.3	0.01260	0.01377
2.5	125.00	1.84	92.00	13.95	0.01575	0.01704
2.59	129.50	1.9	95.00	14.5	0.01626	0.01739
2.68	134.00	1.96	98.00	14.95	0.01677	0.01808
2.79	139.50	2.02	101.00	15.4	0.01729	0.01855
2.88	144.00	2.06	103.00	15.8	0.01768	0.01890

tableau 3.4: (suite et fin) les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 10mm(doctorant senna- Ouargla 2022).

Qd - Qc	FRexp^2	Frexp	$\varepsilon/B-b$	Y exp	Y approche	erreur relative
0.0014	18.137421	4.258805	0.1	5.250	5.081	-3.331
0.0016	20.838860	4.56496	0.1	5.750	5.446	-5.582
0.0014	22.781185	4.772964	0.1	5.975	5.694	-4.932
0.0022	23.454478	4.842982	0.1	6.025	5.778	-4.281
0.0017	28.156767	5.306295	0.1	6.750	6.330	-6.628
0.0016	32.173495	5.672169	0.1	7.050	6.767	-4.184
0.0011	25.399748	5.039816	0.1	6.286	6.013	-4.544
0.0010	27.073935	5.203262	0.1	6.571	6.207	-5.863
0.0013	28.376740	5.326982	0.1	6.714	6.355	-5.652
0.0013	30.177917	5.493443	0.1	7.000	6.554	-6.810
0.0012	42.029926	6.483049	0.1	7.943	7.734	-2.697
0.0008	44.961225	6.705313	0.1	8.057	7.999	-0.721
0.0010	54.566275	7.386899	0.1	8.857	8.813	-0.506
0.0009	37.787235	6.147132	0.1	7.333	7.334	0.003
0.0011	40.98791	6.40218	0.1	7.700	7.638	-0.814
0.0010	42.992406	6.55686	0.1	8.000	7.822	-2.271
0.0006	46.476647	6.817378	0.1	8.233	8.133	-1.232
0.0005	49.395818	7.028216	0.1	8.600	8.385	-2.568
0.0009	52.434733	7.241183	0.1	8.900	8.639	-3.024
0.0007	58.048210	7.618938	0.1	9.333	9.089	-2.684
0.0006	62.294016	7.892656	0.1	9.533	9.416	-1.247
-0.0028	67.656227	8.225341	0.1	9.933	9.813	-1.228
0.0003	72.352954	8.506054	0.1	10.067	10.148	0.799
0.0012	77.865776	8.824159	0.1	10.680	10.527	-1.451
0.0009	85.355973	9.23883	0.1	11.040	11.022	-0.164
-0.0003	109.15306	10.44763	0.1	12.280	12.464	1.476
-0.0003	115.33011	10.73919	0.1	12.720	12.812	0.717
0.0018	78.777070	8.875645	0.1	10.600	10.589	-0.107
0.0012	89.939356	9.483636	0.1	11.300	11.314	0.124
0.0013	140.56535	11.85603	0.1	13.950	14.144	1.373
0.0011	149.72986	12.23642	0.1	14.500	14.598	0.672
0.0013	159.28429	12.62079	0.1	14.950	15.057	0.708
0.0013	169.23676	13.0091	0.1	15.400	15.520	0.772
0.0012	176.96722	13.3029	0.1	15.800	15.870	0.443

tableau 3.5: les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 0.08mm (doctorant senna- Ouargla 2022).

Hdev (m)	h1 (m)	h (m)	b (m)	B (m)	τ	β	S (m)	h2 (m)
0.185	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.08	0.202
0.191	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.085	0.213
0.196	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.09	0.225
0.201	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.095	0.232
0.219	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.13	0.266
0.236	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.18	0.296
0.239	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.19	0.302
0.18	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.09	0.213
0.183	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.095	0.218
0.187	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.1	0.225
0.192	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.11	0.234
0.234	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.2	0.304
0.173	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.095	0.212
0.177	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.1	0.22
0.187	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.12	0.241
0.198	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.14	0.259
0.207	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.16	0.277
0.212	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.17	0.286
0.216	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.18	0.295
0.162	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.1	0.209
0.186	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.14	0.254
0.19	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.15	0.262
0.194	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.16	0.272
0.198	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.17	0.28
0.202	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.18	0.286
0.162	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.11	0.23
0.166	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.12	0.24
0.17	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.13	0.245
0.174	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.14	0.256
0.177	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.15	0.263
0.182	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.16	0.273
0.187	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.17	0.286
0.191	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.18	0.295

tableau 3,5: (suite) les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 08mm (doctorant senna- Ouargla 2022).

Lj (m)	Lj /h1	Lr (m)	Lr /h1	Y	Qd (m ³ /s)	Qc (m ³ /s)
1.79	44.75	1.13	28.25	5.05	0.01538	0.01597
1.84	46.00	1.15	28.75	5.325	0.01613	0.01667
1.9	47.50	1.2	30.00	5.625	0.01677	0.01724
1.98	49.50	1.27	31.75	5.8	0.01742	0.01795
2.38	59.50	1.54	38.50	6.65	0.01981	0.02114
2.8	70.00	1.9	47.50	7.4	0.02216	0.02309
2.87	71.75	1.98	49.50	7.55	0.02258	0.02353
1.68	48.00	1.14	32.57	6.085714	0.01476	0.01488
1.76	50.29	1.21	34.57	6.228571	0.01513	0.01546
1.85	52.86	1.33	38.00	6.428571	0.01563	0.01575
2.01	57.43	1.4	40.00	6.685714	0.01626	0.01650
2.9	82.86	2.1	60.00	8.685714	0.02188	0.02232
1.65	55.00	1.07	35.67	7.066667	0.01391	0.01447
1.76	58.67	1.16	38.67	7.333333	0.01439	0.01534
1.92	64.00	1.3	43.33	8.033333	0.01563	0.01621
2.13	71.00	1.49	49.67	8.633333	0.01703	0.01736
2.35	78.33	1.67	55.67	9.233333	0.01820	0.01855
2.44	81.33	1.76	58.67	9.533333	0.01887	0.01927
2.55	85.00	1.85	61.67	9.833333	0.01940	0.02000
1.7	68.00	1.22	48.80	8.36	0.01260	0.01294
2.15	86.00	1.53	61.20	10.16	0.01550	0.01575
2.22	88.80	1.6	64.00	10.48	0.01601	0.01616
2.33	93.20	1.7	68.00	10.88	0.01651	0.01730
2.42	96.80	1.78	71.20	11.2	0.01703	0.01792
2.51	100.40	1.87	74.80	11.44	0.01755	0.01855
1.9	95.00	1.27	63.50	11.5	0.01260	0.01224
2.01	100.50	1.34	67.00	12	0.01307	0.01272
2.12	106.00	1.44	72.00	12.25	0.01355	0.01361
2.23	111.50	1.55	77.50	12.8	0.01403	0.01418
2.31	115.50	1.63	81.50	13.15	0.01439	0.01462
2.39	119.50	1.69	84.50	13.65	0.01501	0.01515
2.48	124.00	1.75	87.50	14.3	0.01563	0.01582
2.57	128.50	1.82	91.00	14.75	0.01613	0.01634

tableau 3.5: (suite et fin) les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 08mm(doctorant senna- Ouargla 2022).

Qd - Qc	FR _{exp} ²	FR _{exp}	$\varepsilon/B-b$	Y _{exp}	Y _{approche}	erreur relative
0.0006	16.742871	4.091805	0.08	5.050	4.987	-1.261
0.0005	18.425311	4.292472	0.08	5.325	5.232	-1.784
0.0005	19.910536	4.462122	0.08	5.625	5.438	-3.430
0.0005	21.473504	4.633951	0.08	5.800	5.648	-2.694
0.0013	27.774553	5.270157	0.08	6.650	6.423	-3.530
0.0009	34.757677	5.895564	0.08	7.400	7.186	-2.985
0.0009	36.100103	6.008336	0.08	7.550	7.323	-3.100
0.0001	23.020147	4.797932	0.08	6.086	5.848	-4.070
0.0003	24.190444	4.918378	0.08	6.229	5.995	-3.904
0.0001	25.811628	5.080515	0.08	6.429	6.192	-3.818
0.0002	27.937933	5.285635	0.08	6.686	6.442	-3.781
0.0004	50.575263	7.111629	0.08	8.686	8.668	-0.208
0.0006	32.454077	5.696848	0.08	7.067	6.943	-1.777
0.0009	34.757677	5.895564	0.08	7.333	7.186	-2.057
0.0006	40.98791	6.40218	0.08	8.033	7.803	-2.952
0.0003	48.654893	6.975306	0.08	8.633	8.502	-1.551
0.0004	55.595800	7.456259	0.08	9.233	9.088	-1.603
0.0004	59.722576	7.728038	0.08	9.533	9.419	-1.215
0.0006	63.167284	7.947785	0.08	9.833	9.687	-1.513
0.0003	46.048950	6.785938	0.08	8.360	8.271	-1.080
0.0002	69.696910	8.348468	0.08	10.160	10.175	0.149
0.0001	74.290878	8.619216	0.08	10.480	10.505	0.239
0.0008	79.082407	8.892829	0.08	10.880	10.839	-0.382
0.0009	84.075655	9.169278	0.08	11.200	11.176	-0.219
0.0010	89.274782	9.448533	0.08	11.440	11.516	0.659
-0.0004	89.939356	9.483636	0.08	11.500	11.559	0.507
-0.0003	96.767382	9.837041	0.08	12.000	11.989	-0.089
0.0001	103.93252	10.19473	0.08	12.250	12.425	1.411
0.0002	111.44291	10.55665	0.08	12.800	12.866	0.516
0.0002	117.30716	10.83084	0.08	13.150	13.201	0.384
0.0001	127.53191	11.293	0.08	13.650	13.764	0.828
0.0002	138.33419	11.76156	0.08	14.300	14.335	0.244
0.0002	147.40249	12.14094	0.08	14.750	14.797	0.320

tableau 3.6: les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 06mm (doctorant senna- Ouargla 2022).

Hdev (m)	h1 (m)	h (m)	b (m)	B (m)	τ	β	S (m)	h2 (m)
0.177	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.09	0.211
0.182	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.095	0.221
0.185	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.1	0.226
0.19	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.11	0.235
0.194	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.12	0.244
0.214	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.15	0.273
0.17	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.095	0.209
0.18	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.11	0.228
0.186	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.12	0.238
0.19	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.13	0.249
0.199	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.15	0.265
0.204	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.16	0.274
0.208	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.17	0.282
0.212	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.18	0.289
0.216	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.19	0.297
0.22	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.2	0.305
0.225	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.21	0.315
0.169	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.11	0.223
0.19	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.15	0.264
0.193	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.16	0.272
0.197	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.17	0.281
0.201	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.18	0.29
0.205	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.19	0.299
0.21	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.2	0.306
0.157	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.11	0.224
0.163	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.12	0.236
0.169	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.13	0.248
0.173	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.14	0.259
0.178	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.15	0.269
0.183	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.16	0.279
0.187	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.17	0.289
0.189	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.18	0.296

tableau 3.6: (suite) les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 06mm(doctorant senna- Ouargla 2022).

Lj (m)	Lj /h1	Lr (m)	Lr /h1	Y	Qd (m ³ /s)	Qc (m ³ /s)
1.92	54.86	1.25	35.71	6.028571	0.01439	0.01546
2	57.14	1.29	36.86	6.314286	0.01501	0.01600
2.06	58.86	1.31	37.43	6.457143	0.01538	0.01639
2.12	60.57	1.37	39.14	6.714286	0.01601	0.01724
2.18	62.29	1.4	40.00	6.971429	0.01651	0.01742
2.39	68.29	1.63	46.57	7.8	0.01913	0.01931
1.56	52.00	1.1	36.67	6.966667	0.01355	0.01346
1.79	59.67	1.24	41.33	7.6	0.01476	0.01497
1.91	63.67	1.32	44.00	7.933333	0.01550	0.01592
2.03	67.67	1.41	47.00	8.3	0.01601	0.01672
2.25	75.00	1.68	56.00	8.833333	0.01716	0.01818
2.36	78.67	1.76	58.67	9.133333	0.01781	0.01848
2.45	81.67	1.84	61.33	9.4	0.01833	0.01923
2.54	84.67	1.92	64.00	9.633333	0.01887	0.01984
2.63	87.67	2	66.67	9.9	0.01940	0.02041
2.72	90.67	2.05	68.33	10.16667	0.01994	0.02092
2.81	93.67	2.11	70.33	10.5	0.02063	0.02174
1.84	73.60	1.29	51.60	8.92	0.01343	0.01381
2.22	88.80	1.6	64.00	10.56	0.01601	0.01616
2.33	93.20	1.67	66.80	10.88	0.01639	0.01730
2.44	97.60	1.74	69.60	11.24	0.01690	0.01792
2.53	101.20	1.81	72.40	11.6	0.01742	0.01852
2.62	104.80	1.88	75.20	11.96	0.01794	0.01901
2.71	108.40	1.95	78.00	12.24	0.01860	0.01961
1.88	94.00	1.28	64.00	11.2	0.01202	0.01220
1.96	98.00	1.35	67.50	11.8	0.01272	0.01247
2.06	103.00	1.44	72.00	12.4	0.01343	0.01271
2.17	108.50	1.54	77.00	12.95	0.01391	0.01344
2.24	112.00	1.61	80.50	13.45	0.01451	0.01416
2.31	115.50	1.68	84.00	13.95	0.01513	0.01538
2.38	119.00	1.76	88.00	14.45	0.01563	0.01587
2.47	123.50	1.84	92.00	14.8	0.01588	0.01639

tableau 3.6: (suite et fin) les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 0.06mm (doctorant senna- Ouargla 2022).

Qd - Qc	F _{Rexp} ²	F _{Rexp}	$\varepsilon/B-b$	Y _{exp}	Y _{approche}	erreur relative
0.0011	21.888216	4.678484	0.06	6.029	5.823	-3.533
0.0010	23.796043	4.878119	0.06	6.314	6.071	-4.002
0.0010	24.992273	4.999227	0.06	6.457	6.222	-3.779
0.0012	27.073935	5.203262	0.06	6.714	6.476	-3.680
0.0009	28.820119	5.368437	0.06	6.971	6.682	-4.338
0.0002	38.684047	6.21965	0.06	7.800	7.741	-0.762
-0.0001	30.794823	5.549308	0.06	6.967	6.907	-0.869
0.0002	36.555141	6.046085	0.06	7.600	7.525	-0.997
0.0004	40.333860	6.350894	0.06	7.933	7.904	-0.367
0.0007	42.992406	6.55686	0.06	8.300	8.161	-1.707
0.0010	49.395818	7.028216	0.06	8.833	8.747	-0.983
0.0007	53.213454	7.294755	0.06	9.133	9.079	-0.598
0.0009	56.405435	7.510355	0.06	9.400	9.347	-0.563
0.0010	59.722576	7.728038	0.06	9.633	9.618	-0.156
0.0010	63.167284	7.947785	0.06	9.900	9.892	-0.083
0.0010	66.741966	8.169576	0.06	10.167	10.168	0.012
0.0011	71.396760	8.44966	0.06	10.500	10.516	0.156
0.0004	52.279907	7.230485	0.06	8.920	8.999	0.879
0.0001	74.290878	8.619216	0.06	10.560	10.727	1.561
0.0009	77.865776	8.824159	0.06	10.880	10.983	0.934
0.0010	82.808205	9.099901	0.06	11.240	11.326	0.757
0.0011	87.955472	9.378458	0.06	11.600	11.672	0.621
0.0011	93.311737	9.6598	0.06	11.960	12.023	0.521
0.0010	100.30730	10.01535	0.06	12.240	12.465	1.806
0.0002	81.866022	9.047984	0.06	11.200	11.261	0.543
-0.0003	91.615202	9.571583	0.06	11.800	11.913	0.947
-0.0007	102.10919	10.10491	0.06	12.400	12.577	1.404
-0.0005	109.53251	10.46578	0.06	12.950	13.026	0.581
-0.0004	119.30667	10.92276	0.06	13.450	13.594	1.063
0.0003	129.64566	11.38621	0.06	13.950	14.171	1.561
0.0002	138.33419	11.76156	0.06	14.450	14.638	1.287
0.0005	142.82036	11.95075	0.06	14.800	14.874	0.497

tableau 3.7: les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 00mm (doctorant senna- Ouargla 2022).

Hdev (m)	h1 (m)	h (m)	b (m)	B (m)	τ	β	S (m)	h2 (m)
0.144	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.11	0.21
0.148	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.12	0.219
0.151	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.13	0.23
0.155	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.14	0.238
0.159	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.15	0.246
0.163	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.16	0.255
0.167	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.17	0.262
0.17	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.18	0.271
0.174	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.19	0.28
0.178	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.2	0.288
0.182	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.21	0.297
0.186	0.02	0.2	0.15	0.25	0.1	0.6	0.22	0.309
0.16	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.11	0.218
0.166	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.125	0.231
0.168	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.13	0.236
0.174	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.15	0.249
0.177	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.16	0.256
0.18	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.17	0.263
0.183	0.025	0.2	0.15	0.25	0.125	0.6	0.175	0.268
0.182	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.13	0.246
0.184	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.14	0.25
0.188	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.15	0.259
0.205	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.19	0.291
0.21	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.2	0.3
0.213	0.03	0.2	0.15	0.25	0.15	0.6	0.21	0.307
0.178	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.095	0.215
0.197	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.14	0.256
0.203	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.16	0.27
0.216	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.19	0.295
0.22	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.2	0.305
0.227	0.035	0.2	0.15	0.25	0.175	0.6	0.21	0.316
0.179	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.08	0.203
0.184	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.085	0.212
0.19	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.09	0.221
0.194	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.1	0.229
0.197	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.11	0.238
0.205	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.13	0.255
0.21	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.14	0.262
0.216	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.15	0.271
0.221	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.16	0.28
0.224	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.17	0.288
0.23	0.04	0.2	0.15	0.25	0.2	0.6	0.18	0.296

tableau 3.7: (suite) les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 00mm(doctorant senna- Ouargla 2022).

Lj (m)	Lj /h1	Lr (m)	Lr /h1	Y	Qd (m ³ /s)	Qc (m ³ /s)
1.93	96.50	1.27	63.50	10.5	0.01056	0.010810
2.05	102.50	1.33	66.50	10.95	0.01100	0.011299
2.17	108.50	1.39	69.50	11.5	0.01134	0.011990
2.23	111.50	1.42	71.00	11.9	0.01179	0.012195
2.31	115.50	1.46	73.00	12.3	0.01225	0.012453
2.38	119.00	1.52	76.00	12.75	0.01272	0.012642
2.43	121.50	1.59	79.50	13.1	0.01319	0.012738
2.5	125.00	1.65	82.50	13.55	0.01355	0.013333
2.56	128.00	1.74	87.00	14	0.01403	0.014970
2.62	131.00	1.81	90.50	14.4	0.01451	0.015822
2.68	134.00	1.9	95.00	14.85	0.01501	0.016666
2.76	138.00	1.98	99.00	15.45	0.01550	0.016666
1.92	76.80	1.27	50.80	8.72	0.01237	0.012674
2.08	83.20	1.4	56.00	9.24	0.01307	0.013605
2.12	84.80	1.43	57.20	9.44	0.01331	0.013888
2.21	88.40	1.49	59.60	9.96	0.01403	0.014814
2.29	91.60	1.53	61.20	10.24	0.01439	0.015174
2.37	94.80	1.58	63.20	10.52	0.01476	0.015649
2.42	96.80	1.62	64.80	10.72	0.01513	0.015898
2.01	67.00	1.41	47.00	8.2	0.01501	0.016
2.08	69.33	1.47	49.00	8.333333	0.01525	0.016181
2.13	71.00	1.53	51.00	8.633333	0.01575	0.016583
2.49	83.00	1.72	57.33	9.7	0.01794	0.019083
2.54	84.67	1.79	59.67	10	0.01860	0.020120
2.65	88.33	1.85	61.67	10.23333	0.01900	0.020746
1.8	51.43	1.19	34.00	6.142857	0.01451	0.014684
2.27	64.86	1.49	42.57	7.314286	0.01690	0.017301
2.46	70.29	1.6	45.71	7.714286	0.01768	0.018656
2.75	78.57	1.84	52.57	8.428571	0.01940	0.020408
2.87	82.00	1.94	55.43	8.714286	0.01994	0.021141
2.98	85.14	2.02	57.71	9.028571	0.02090	0.022075
1.73	43.25	1.12	28.00	5.075	0.01464	0.015797
1.84	46.00	1.16	29.00	5.3	0.01525	0.015974
1.9	47.50	1.2	30.00	5.525	0.01601	0.016583
2.09	52.25	1.32	33.00	5.725	0.01651	0.017391
2.2	55.00	1.37	34.25	5.95	0.01690	0.017667
2.42	60.50	1.52	38.00	6.375	0.01794	0.018903
2.56	64.00	1.58	39.50	6.55	0.01860	0.019531
2.62	65.50	1.65	41.25	6.775	0.01940	0.02
2.7	67.50	1.73	43.25	7	0.02008	0.020661
2.84	71.00	1.82	45.50	7.2	0.02049	0.021008
2.95	73.75	1.91	47.75	7.4	0.02132	0.022321

tableau 3.7: (suite et fin) les résultats expérimentaux obtenus au lit majeur pour rugosité 00mm(doctorant senna- Ouargla 2022).

Qd - Qc	F _R exp ²	F _R exp	ε/B-b	Y exp	Y approche	erreur relative
0.0002	63.1672846	7.947785	0	10.500	10.507	0.066
0.0003	68.5787994	8.281232	0	10.950	10.948	-0.020
0.0006	72.8342368	8.534298	0	11.500	11.282	-1.929
0.0004	78.7770704	8.875645	0	11.900	11.734	-1.418
0.0002	85.0346845	9.221425	0	12.300	12.191	-0.896
-0.0001	91.6152023	9.571583	0	12.750	12.654	-0.762
-0.0005	98.5267472	9.926064	0	13.100	13.122	0.170
-0.0002	103.932529	10.19473	0	13.550	13.477	-0.538
0.0009	111.442918	10.55665	0	14.000	13.956	-0.316
0.0013	119.306674	10.92276	0	14.400	14.440	0.276
0.0017	127.531919	11.293	0	14.850	14.929	0.532
0.0012	136.126778	11.66734	0	15.450	15.424	-0.167
0.0003	44.3644029	6.660661	0	8.720	8.805	0.970
0.0005	49.5449001	7.038814	0	9.240	9.305	0.702
0.0006	51.3573419	7.166404	0	9.440	9.474	0.359
0.0008	57.0587742	7.553726	0	9.960	9.986	0.261
0.0008	60.0612673	7.74992	0	10.240	10.245	0.053
0.0009	63.1672846	7.947785	0	10.520	10.507	-0.124
0.0008	66.3785806	8.147305	0	10.720	10.771	0.471
0.0010	37.7872353	6.147132	0	8.200	8.127	-0.904
0.0009	39.0467079	6.248737	0	8.333	8.261	-0.878
0.0008	41.6489927	6.453603	0	8.633	8.532	-1.192
0.0011	53.999848	7.348459	0	9.700	9.715	0.151
0.0015	58.0482109	7.618938	0	10.000	10.072	0.717
0.0017	60.5717003	7.782782	0	10.233	10.289	0.539
0.0002	22.2613036	4.718189	0	6.143	6.237	1.516
0.0004	30.1779173	5.493443	0	7.314	7.262	-0.715
0.0010	33.020124	5.746314	0	7.714	7.597	-1.549
0.0010	39.7788148	6.307045	0	8.429	8.338	-1.087
0.0012	42.0299263	6.483049	0	8.714	8.571	-1.677
0.0012	46.1708805	6.794916	0	9.029	8.983	-0.509
0.0012	15.1660973	3.894367	0	5.075	5.148	1.425
0.0007	16.4728299	4.058673	0	5.300	5.366	1.222
0.0006	18.1374216	4.258805	0	5.525	5.630	1.867
0.0009	19.3072284	4.393999	0	5.725	5.809	1.444
0.0008	20.2168469	4.496315	0	5.950	5.944	-0.099
0.0010	22.7811859	4.772964	0	6.375	6.310	-1.032
0.0009	24.489089	4.948645	0	6.550	6.542	-0.121
0.0006	26.6486982	5.162238	0	6.775	6.824	0.725
0.0006	28.5424708	5.342515	0	7.000	7.063	0.889
0.0005	29.720684	5.451668	0	7.200	7.207	0.099
0.0010	32.1734959	5.672169	0	7.400	7.499	1.315

tableau 3.8: les résultats expérimentaux obtenus au lit mineur (doctorant senna- Ouargla 2022).

Hdev (cm)	h1 (m)	h (m)	b (m)	B (m)	τ	β
0.098	0.020	0.200	0.150	0.250	0.100	0.600
0.102	0.020	0.200	0.150	0.250	0.100	0.600
0.106	0.020	0.200	0.150	0.250	0.100	0.600
0.110	0.020	0.200	0.150	0.250	0.100	0.600
0.113	0.020	0.200	0.150	0.250	0.100	0.600
0.117	0.020	0.200	0.150	0.250	0.100	0.600
0.129	0.020	0.200	0.150	0.250	0.100	0.600
0.135	0.025	0.200	0.150	0.250	0.125	0.600
0.141	0.025	0.200	0.150	0.250	0.125	0.600
0.144	0.025	0.200	0.150	0.250	0.125	0.600
0.147	0.025	0.200	0.150	0.250	0.125	0.600
0.152	0.025	0.200	0.150	0.250	0.125	0.600
0.126	0.030	0.200	0.150	0.250	0.150	0.600
0.128	0.030	0.200	0.150	0.250	0.150	0.600
0.151	0.030	0.200	0.150	0.250	0.150	0.600
0.160	0.030	0.200	0.150	0.250	0.150	0.600
0.163	0.030	0.200	0.150	0.250	0.150	0.600
0.110	0.035	0.200	0.150	0.250	0.175	0.600
0.115	0.035	0.200	0.150	0.250	0.175	0.600
0.128	0.035	0.200	0.150	0.250	0.175	0.600
0.134	0.035	0.200	0.150	0.250	0.175	0.600
0.138	0.035	0.200	0.150	0.250	0.175	0.600
0.141	0.035	0.200	0.150	0.250	0.175	0.600
0.146	0.035	0.200	0.150	0.250	0.175	0.600
0.162	0.035	0.200	0.150	0.250	0.175	0.600
0.166	0.035	0.200	0.150	0.250	0.175	0.600
0.168	0.035	0.200	0.150	0.250	0.175	0.600
0.134	0.040	0.200	0.150	0.250	0.200	0.600
0.140	0.040	0.200	0.150	0.250	0.200	0.600
0.145	0.040	0.200	0.150	0.250	0.200	0.600
0.153	0.040	0.200	0.150	0.250	0.200	0.600
0.158	0.040	0.200	0.150	0.250	0.200	0.600
0.164	0.040	0.200	0.150	0.250	0.200	0.600
0.169	0.040	0.200	0.150	0.250	0.200	0.600
0.176	0.040	0.200	0.150	0.250	0.200	0.600

tableau 3.8: (suite) les résultats expérimentaux obtenus au lit mineur (doctorant senna- Ouargla 2022).

S (m)	h2 (m)	Lj (m)	Lj /h1	Lr (m)	Lr /h1	Y
0.045	0.113	0.880	44.000	0.520	26.000	5.650
0.050	0.119	0.960	48.000	0.560	28.000	5.950
0.055	0.128	1.040	52.000	0.620	31.000	6.400
0.060	0.134	1.090	54.500	0.700	35.000	6.700
0.065	0.141	1.140	57.000	0.750	37.500	7.050
0.070	0.150	1.250	62.500	0.830	41.500	7.500
0.085	0.175	1.470	73.500	1.000	50.000	8.750
0.075	0.163	1.330	53.200	0.890	35.600	6.520
0.080	0.174	1.350	54.000	0.910	36.400	6.960
0.085	0.181	1.470	58.800	1.020	40.800	7.240
0.090	0.190	1.530	61.200	1.080	43.200	7.600
0.095	0.198	1.610	64.400	1.130	45.200	7.920
0.045	0.133	0.650	21.667	0.480	16.000	4.433
0.050	0.136	0.780	26.000	0.500	16.667	4.533
0.075	0.174	1.190	39.667	0.790	26.333	5.800
0.085	0.193	1.350	45.000	0.960	32.000	6.433
0.090	0.198	1.440	48.000	1.040	34.667	6.600
0.025	0.103	0.440	12.571	0.330	9.429	2.943
0.030	0.111	0.550	15.714	0.370	10.571	3.171
0.040	0.127	0.710	20.286	0.460	13.143	3.629
0.045	0.136	0.800	22.857	0.510	14.571	3.886
0.050	0.142	0.890	25.429	0.550	15.714	4.057
0.055	0.149	0.980	28.000	0.590	16.857	4.257
0.060	0.157	1.060	30.286	0.660	18.857	4.486
0.075	0.183	1.360	38.857	0.930	26.571	5.229
0.080	0.192	1.480	42.286	0.990	28.286	5.486
0.085	0.198	1.600	45.714	1.060	30.286	5.657
0.035	0.127	0.750	18.750	0.430	10.750	3.175
0.040	0.135	0.880	22.000	0.500	12.500	3.375
0.045	0.144	0.980	24.500	0.590	14.750	3.600
0.055	0.158	1.170	29.250	0.700	17.500	3.950
0.060	0.167	1.280	32.000	0.770	19.250	4.175
0.065	0.174	1.370	34.250	0.860	21.500	4.350
0.070	0.183	1.460	36.500	0.950	23.750	4.575
0.075	0.197	1.600	40.000	1.050	26.250	4.925

tableau 3.8: (suite et fin) les résultats expérimentaux obtenus au lit mineur (doctorant senna- Ouargla 2022).

Qd (m ³ /s)	Qc (m ³ /s)	Qd - Qc	FRexp ²	Frexp
0.006	0.006	0.000	19.911	4.462
0.006	0.006	0.000	22.449	4.738
0.007	0.007	0.000	25.195	5.020
0.007	0.007	0.000	28.157	5.306
0.007	0.007	0.000	30.524	5.525
0.008	0.008	0.000	33.881	5.821
0.009	0.009	0.000	45.412	6.739
0.010	0.010	0.000	26.649	5.162
0.010	0.010	0.000	30.362	5.510
0.011	0.011	0.000	32.342	5.687
0.011	0.011	0.000	34.405	5.866
0.011	0.012	0.000	38.037	6.167
0.009	0.009	0.000	12.538	3.541
0.009	0.009	0.001	13.145	3.626
0.011	0.009	-0.002	21.581	4.645
0.012	0.013	0.000	25.674	5.067
0.013	0.013	0.000	27.145	5.210
0.007	0.008	0.001	5.254	2.292
0.008	0.008	0.000	6.003	2.450
0.009	0.009	0.001	8.278	2.877
0.009	0.010	0.000	9.497	3.082
0.010	0.010	0.000	10.374	3.221
0.010	0.010	0.000	11.065	3.326
0.011	0.011	0.001	12.284	3.505
0.013	0.013	0.000	16.782	4.097
0.013	0.013	0.000	18.056	4.249
0.013	0.014	0.000	18.716	4.326
0.009	0.010	0.001	6.363	2.522
0.010	0.011	0.001	7.256	2.694
0.011	0.011	0.001	8.062	2.839
0.012	0.013	0.001	9.471	3.077
0.012	0.013	0.001	10.430	3.230
0.013	0.013	0.000	11.664	3.415
0.013	0.014	0.001	12.764	3.573
0.014	0.015	0.001	14.416	3.797

III.4. CONCLUSION

A partir de cette deuxième partie qui montre la récapitulation des résultats obtenus au niveau du laboratoire qui sont liées à l'étude du ressaut hydraulique contrôlé par seuil à paroi mince dans un canal rectangulaire de section composée avec lit majeur rugueux, on déduit ce qui suit:

✓ L'analyse des mesures expérimentales a permis d'obtenir des approches empiriques diverses tel que:

1. Une approche globale adimensionnelle à caractère générale qui lie le rapport des hauteurs conjuguées à la rugosité et le nombre de Froude , pour le lit majeur rugueux.

Equation : $Y = (-1.290(\varepsilon/B-b) + 1.322)Fr$

2. Deux approches globales adimensionnelles à caractère générale qui lie le rapport des hauteurs conjuguées au le nombre de Froude incident, pour les deux lits majeur et mineur lisse.
3. Une illustration de ces approches obtenues montrant l'effet de la rugosité imposée au lit majeur par rapport au lit mineur lisse.

- Ainsi , l'effet des différentes rugosités testées expérimentalement est très perceptible.

On conclue finalement, que ces approches empiriques générales obtenues permettront de dimensionner les ouvrages hydrauliques tels que les bassins d'amortissement.

On recommandera aux étudiants chercheurs futurs de continuer ce genre d'études dans ce canal d'expérimentation, dans le but d'avoir d'autres approches empiriques serviront aux utilisations techniques dans le domaine d'hydraulique.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

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

Cette étude est scindée en trois chapitres fondamentaux tel que:

le première chapitre résume comme suit:

a- 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.

b- 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.

Pour le deuxième chapitre, 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 *Hachemi Rachedi 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 troisième chapitre, On a exposé tout les mesures expérimentales obtenus au niveau du laboratoire qui sont liées à la variation des rapports des hauteur conjuguées (Y) du ressaut hydrauliques variant en fonction du nombre de Froude incident et avec des diverses rugosités testées au lit majeur du canal d'expérimentation.

Les approches adimensionnelles obtenues sont en fonction de la rugosité relative $\varepsilon/(B-b)$ et du nombre de Froude incident F .

D'après les résultats obtenus, on déduit que l'effet de la rugosité imposée au lit majeur de canal est perceptible ce qui justifie la réduction des profondeurs au lit majeur par rapport au lit mineur.

Enfinement, on peut conclure que ce type du ressaut hydraulique étudié présente un effet réducteur aux caractéristiques hydrauliques pour le lit majeur que celui au lit mineur.

Avec recommandation aux étudiants chercheurs futurs de continuer les travaux soient théoriques ou expérimentaux pour ce type de canal et d'autres canaux prismatiques ou non prismatiques, dans le but d'aboutir à des approches empiriques utilisables au dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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. JHR 2000 ; 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 ISSN 1112-9867.

Djamaa, W., Ghomri. A., Khechana. S., (2021)., Study of the experimental approach of the relative threshold of the hydraulic jump evolving in a rectangular channel of composed section with rough minor bed; 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.

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 rugueuses, 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, *Revue 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, N° 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 Research* 27(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.

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.RetBaouia 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 intitulée : « 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.

Rand, W., Flow over vertical sill in an open channel. proc. ASCE, J. Hydraulic Division 91, Hy4,97-121,1965.

Riguet, F., Debabeche, M., Ghomri, A., (2019). Expérimentalstudy oft he sequentdepthration Ofthe hydraulic jump in a straightcompondrectangularchannel; Journal of Fundamental and Applied Sciences ISSN 1112-9867.

S

Silvester, R., “Hydraulics jumps in all shapes of Horizontal Channels” Proc. ASCE. J. hydro. Divi., N° 90, 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.

