



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued

Faculté de la Technologie

Département d'Hydraulique et génie civil

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

**Spécialité : conception et diagnostic des systèmes d'AEP et
D'assainissement**

Présenté par :

BEN HAMAD IMAED

MOUMEN BEK|KOCHE ABDALLAH

Intitulé :

**Effet de la rugosité sur le ressaut hydraulique contrôlé évoluant en
canal rectangulaire composé avec lit mineur et majeur rugueux et
avec pente nulle**

Soutenue le : 27/05 /2025

Devant le jury composé de :

Dr : RIGUET FERHAT

Président

Dr : ZAYED ZAYED

Examineur

Dr : GHOMRI ALI

Encadreur

Doctorant : KECHIBA HAROUN

Co-encadreur

ملخص

هذا البحث العلمي يهدف إلى دراسة تأثير الخشونة على القفزة المائية التي تحدث داخل القناة ذات شكل مستطيل مركب و ذات سرير خشن علوي وسفلي دون ميل ، هذا البحث يدرس مدى تأثير الخشونة على خصائص القفزة المائية .

الكلمات الرئيسية: القفزة المائية الخشونة المطلقة شكل المستطيل مركب سرير خشن سفلي وعلوي .

Résumé

Cette recherche scientifique vise à étudier l'effet de la rugosité sur le ressaut hydraulique qui se produit à l'intérieur d'un canal de forme rectangulaire composé avec lits rugueux et sans pente. Cette recherche vise à étudier l'effet de la rugosité sur les caractéristiques du ressaut hydraulique.

Mots clés : Ressaut hydraulique, canal rectangulaire composé, rugosité du lit mineur et majeur du canal,

Abstract

This scientific research aims to study the effect of roughness on the hydraulic jump that occurs inside a rectangular channel composed of rough beds and without slope. This research aims to study the effect of roughness on the characteristics of the hydraulic jump.

Keywords: Hydraulic jump, compound rectangular channel, roughness of the minor and major channel bed.

Remerciements

remercie profondément Dieu pour Son aide, Son soutien et Son encouragement qui m'ont permis de réaliser ce mémoire dans le domaine de la recherche scientifique.

Je tiens également à exprimer ma sincère gratitude à :

- *Mon encadreur, le Professeur **Ali GHOMRI**, de l'Université d'El Oued, pour ses efforts, son encadrement continu et son soutien sérieux qui ont grandement contribué à la bonne réalisation de ce mémoire.*
- *Mon co-encadreur, le doctorant **Haroun KHECHIBA**, de l'Université d'El Oued, pour sa contribution efficace et sa collaboration précieuse tout au long de ce travail.*

Je n'oublie pas de remercier chaleureusement toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide, de près ou de loin, durant l'élaboration de ce mémoire.

Dédicaces

*Je dédie ce travail modeste en signe de fidélité et de reconnaissance,
À tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de mon parcours universitaire,
Et à tous ceux qui m'ont encouragé à réaliser mon rêve d'atteindre ce
niveau de recherche scientifique.*

À ce que j'ai de plus précieux au monde :

*À ma mère, que j'aime d'un amour indescriptible, en priant Dieu de la
protéger et de veiller sur elle.*

À mes frères et sœurs bien-aimés,

À mes amis et frères en Dieu,

À mon encadreur,

À mon co-encadreur,

.

Imaed _ Abdallah

SOMMAIRE

RESUME.....	
REMERCIEMENTS.....	
DEDICACES	
LISTE DES TABLEAUX.....	
LISTE DES FIGURES.....	
NOTATIONS PRINCIPALES	

Aperçu General-----	1
---------------------	---

Premier volet : synthèse de la bibliographique

INTRODUCTION AU PREMIER VOLET -----	5
-------------------------------------	---

Chapitre I : Ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire avec lit mineur rugueux

I.1. INTRODUCTION	7
I.2. ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX	7
I.2.2. Le rapport Y variant avec F_1	7
I.2.2.1. le rapport Y variant avec F_1 pour $(0 < h_2 < 20)$ cm	7
I.2.2.1. le rapport Y variant avec F_1 pour $(20 < h_2 < 50)$ cm	13
I.4. CONCLUSION	20

Chapitre II : Ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire avec lit majeur rugueux

II.1.Introduction	22
II.2.Etude de variation des caracteristiques de lecoulement.....	22
II.2.1. letude du rapport Y avec F_1	22
II.3 Conclusion	26
Conclusion du premier volet bibliographique	27

Deuxième volet : Etude expérimentale

INTRODUCTION AU DEUXIEME VOLET	28
--------------------------------------	----

Chapitre I : Description du canal expérimental

I.1. INTRODUCTION	31
I.2. déroulement des essais au laboratoire	31
I.3. instrumentations utilisés	33
I.3.1. les mesures des débits volumiques	33
I.3.2. instrument de mesure des profondeurs	34
I.4. VU Global de l'expérimentation	35
I.4.1. le banc d'essai.....	35
I.4.2. la méthode de préparer les tapis rugueux.....	36
I.5. Conclusion	37

Chapitre II : Etude expérimentale

II.1. INTRODUCTION	39
II.2.1 ÉTUDE EXPÉRIMENTALE	39
II.2.2 Rapport De Profondeur conjuguée $Y_{h2/h1}$ variant avec $F1$	39
II.3. CONCLUSION.....	46

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTE DES FIGURES

Première partie

Chapitre I

Figure 1.1: rapport $Y = h_2/h_1$ variant Fr , pour rugosités diverses de " ϵ " : ($\diamond$) 12 mm ;($\square$) 10 mm ; (Δ) 08 mm ; ($\bullet$) 06 mm et ($\ast$) 0 mm. (—) Courbes d'ajustements.....	7
Figure 1.2: variation " a_3 " avec ϵ/b pour le lit mineur.....	8
Figure 1.3: rapport $Y = h_1$ variant avec $f(\epsilon/b, F_1)$	9
Figure 1.4: rapport $Y = h_2/h_1$ variant avec Fr pour le lit majeur, pour diverses rugosités.....	13
Figure 1.5: " b_3 " varie avec (ϵ/b) pour le lit majeur.....	14
Figure 1.6: Y_{exp} variant avec $f(\epsilon/b, F_1)$. ($\square$) Les motifs d'essai . (—) Première bissectrice.	14
Figure 1.7: le rapport $Y = h_2/h_1$ exp varie avec $f(\epsilon/b, F_1)$ pour la section composée	20

Chapitre II

Figure 2.1.vu global des motifs expérimentaux entre Y et F_1 , pour diverses rugosités	22
Figure 2.2:ajustement du coefficient a_3 avec ($a_3, \epsilon/B-b$).....	23
Figure 2.3: variation du Y avec $f(\epsilon/B-b, F_1)$	23

Deuxième volet

Chapitre II

Figure 2.1. Profondeur du ressaut hydraulique sur le lit mineur ($0 < h_2 < 15,5$ cm)	40
Figure 2.2: Profondeur de ressaut hydraulique sur le lit majeur ($15,5 < h_2 < 28$ cm)	40
Figure 2.3: 'a1'variation du Y avec (ε / b) pour le lit mineur	42
Figure 2.4: 'a2'variation du Y avec (ε / B) pour le lit majeur	42
Figure 2.5: Représentation graphique de la relation entre les valeurs expérimentales Y_{exp} et Eq 1	43
Figure 2.6: Représentation graphique de la relation entre les valeurs expérimentales Y_{exp} et Eq 2	43
Figure 2.7 Graphique montrant la relation entre Y_{exp} et les équations des lits majeurs et mineurs	44

LISTE DES PHOTO

Deuxième volet

Chapitre I

Photo 1.1: canal d'essai	31
Photo 1.2: déroulement des essais	32
Photo 1.3 : pompe axiale.	32
Photo 1.4: vanne de variation des débits volumiques	32
Photo 1.5: appareil de mesure des débits volumiques	33
Photo 1.6: aperçu sur le déversoir, <i>Hachemi, 2007</i>).	33
Photo 1.7: mesure des profondeurs d'eau par l'instrument	34
Photo 1.8: variation des profondeurs (h_1 (cm) = 02.5 ; 03 ; 03.5 et 04)..	35
Photo 1.9: vu des parois latérales du ressaut	35
Photo 1.10: vu de l'écoulement brusquement varié a) l'amont du ressaut. b) l'aval du ressaut	35
Photo 1.11: la pose des tapis préparés : a) canal lisse. b) canal rugueux.	36
Photo 1.12: tapis rugueux, (a) préparation des tapis rugueux ; (b) les tapis rugueux.....	37

RECAPITULATION DES TABLEAUX

PREMIER VOLET

Chapitre I

Tableau 1.1: a_3 des courbes.....	8
Tableau 1.2: variation relatives des rapports pour le lit mineur.....	10
Tableau 1.3: b_3 des courbes.....	13
Tableau 1.4: variation relatives des rapports pour le lit mineu pour le lit majeur.....	15

Chapitre II

Tableau 2.1 ..paramètre a_3	22
Tableau (2.2) variation relatives des rapports d'ajustement	24

Deuxième volet

Chapitre I

Tableau 1 : Rugosité relative et coefficients de régression pour les lits mineurs et majeurs.....	41
---	----

Notations Principales

A_2	la section amont	[m]
A_2	la section aval	[m]
B et b	Les lits du canal composé	[m]
Cr	Paramètre de la résistance	[-]
F_1	Le nombre du régime d'écoulement	[-]
$f_1 ; f_2$	Les forces amont et aval	[N]
F_1	Force amont	[N]
F_2	Force aval	[N]
G	L'accélération de gravité	[m/s ²]
h_1	Profondeur amont	[m]
h_2	Profondeur aval	[m]
H_{dev}	La lame d'eau déversée	[m]
Lj	Longueur du ressaut	[m]
Lr	Longueur du rouleau	[m]
Q	Débit volume	[m ³ /s]
Q	Débit unitaire	[m ² /s]
Re	Reynolds	[-]
R_h	Rayon hydraulique	[m]
V	Volume d'eau	[m ³]
V_1 et V_2	Vitesses amont et aval	[m/s]
ϖ	Poids volumique	[N/m ³]
X	Coordonnée longitudinale	[m]
β	l'élargissement	[-]
η	La rentabilité d'énergie	[-]
ε	Rugosité absolue	[mm]
ρ	Masse volumique	[Kg/m ³]

Aperçu General

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 mémoire a étudié le ressaut hydraulique d'un point de vue expérimental, lorsqu'il est contrôlé et se forme dans un canal de section composé, à lits principal et secondaire rugueux, avec une pente nulle. Notre mémoire est divisée essentiellement en deux volets essentielles :

- ✚ **Le volet premier** traite des aspects théoriques liés au phénomène du ressaut hydraulique, en passant en revue les différents modèles mathématiques et équations physiques décrivant le comportement de l'écoulement, avec un accent particulier sur les concepts fondamentaux tels que le nombre de Froude, les hauteurs conjuguées et la longueur du ressaut. Les principales recherches antérieures portant sur les canaux composés et la rugosité hydraulique seront également présentées.

- ✚ **La deuxième partie** est consacrée à l'étude expérimentale, à travers la conception d'un modèle physique de canal rectangulaire composé à lits rugueux, réalisé dans un laboratoire d'hydraulique. Plusieurs expériences ont été menées afin de mesurer les

caractéristiques du ressaut telles que la profondeur initiale et finale, la longueur, la distribution des vitesses et des pressions, dans le but d'établir des relations adimensionnelles reliant ces paramètres à des facteurs comme la rugosité et le nombre de Froude. L'étude se termine par une comparaison entre les résultats expérimentaux et les modèles théoriques, afin de vérifier leur concordance et proposer des recommandations d'ordre pratique.

Premier volet :
synthèse de la bibliographique

INTRODUCTION DU PREMIER VOLET

Le premier volet de notre travail résume les travaux antérieurement réalisés qui sont liés avec notre sujet de recherche . Ce phénomène des écoulements brusquement variés que nous travaillons a l'intérêt pour de nombreux ingénieurs en hydraulique. Ces chercheurs ont obtenu des résultats fiables grâce à leurs nombreuses expériences menées en laboratoire, d'une part pour concevoir une structure idéale pour le bassin d'amortissement, et d'autre part pour résoudre les problèmes de dégradation du lit de la vallée et de l'aval des barrages. Afin de bien structurer notre travail, nous avons divisé cette partie en quatre chapitres principaux.

Dans le premier chapitre, nous nous intéresserons aux activités relatives au écoulement brusquement varié évoluant dans un canal rectangulaire de forme composée rugueux.

- ✚ Le ressaut hydraulique développé en un canal rectangulaire composé rugueux . Cette étude permettra d'avoir des approches expérimentales à caractère adimensionnel qui régissent les caractéristiques des écoulements brusquement variés, où nous évoquerons les résultats obtenus de Djamaa Walid (2021), qui concernent le ressaut hydraulique développé en canal rectangulaire composé rugueux
- ✚ .Pour le deuxième chapitre on va présenter les écoulements brusquement variés qui se forment en canal rectangulaire composé avec lit majeur rugueux. Cette étude va permettre d'obtenir des relations expérimentales à caractère général adimensionnels régissant les caractéristiques des écoulements brusquement variés , où nous parlerons des recherches obtenues par le chercheur Sena Lacheheb (2023), régissant le ressaut hydraulique en canal rectangulaire composé rugueux .

Chapitre I

Ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire
avec lit mineur rugueux

I.1. INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré à l'étude la plus nouvelle de Djamaa W., Ghomri A. en 2021 concernant l'étude empirique du ressaut hydraulique contrôlé par seuil mince développant en canal rectangulaire composé rugueux pour le lit mineur.

I.2. ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

I.2.1. Le rapport variant Y avec F_1

I.2.1.1. le rapport Y variant avec F_1 pour $(0 < h_2 < 20)$ cm.

La figure (1.1) illustre la représentation de la variation de Y en fonction du F_1 incident pour cinq valeurs de rugosités absolues : $\varepsilon = 0$ mm ; $\varepsilon = 06$ mm ; $\varepsilon = 08$; $\varepsilon = 10$ mm, et $\varepsilon = 12$ mm.

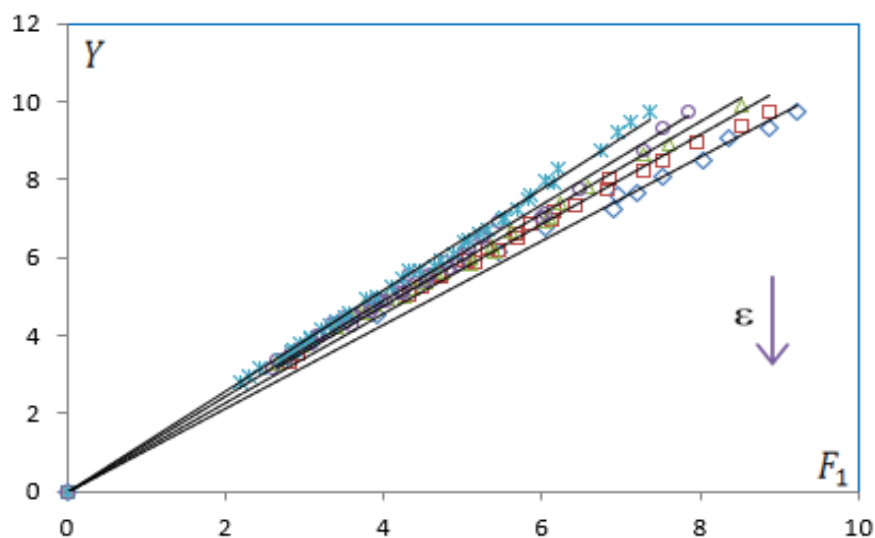


Figure 1.1: rapport $Y = h_2/h_1$ variant Fr , pour rugosités diverses de " ε " : ($\diamond$) 12 mm ; ($\square$) 10 mm ; (Δ) 08 mm ; (O) 06 mm et ($*$) 0 mm. (—) Courbes d'ajustements.

On récapitule cinq allures de points différents, chacun lui correspond à une rugosité absolue. De plus, l'ajustement des mesures expérimentales, montre que chaque rugosité absolue « ε » correspond à une relation à caractère linéaire comme suit $Y = a_3 (F_1)$.

La discussion de ces mesures obtenues indique que le rapport Y augmente en fonction du F_1 , et ceci pour chaque rugosité. Par ailleurs, une amélioration de la rugosité ε/b implique un abaissement du rapport

Tableau 1.1: a_3 des courbes.

ε/b	Coefficient a_3	R^2
0,08	3.817	0,995
0,06666667	4.501	0,985
0,05333333	4.809	0,976
0,04	5.528	0,983
0	6.986	0,933

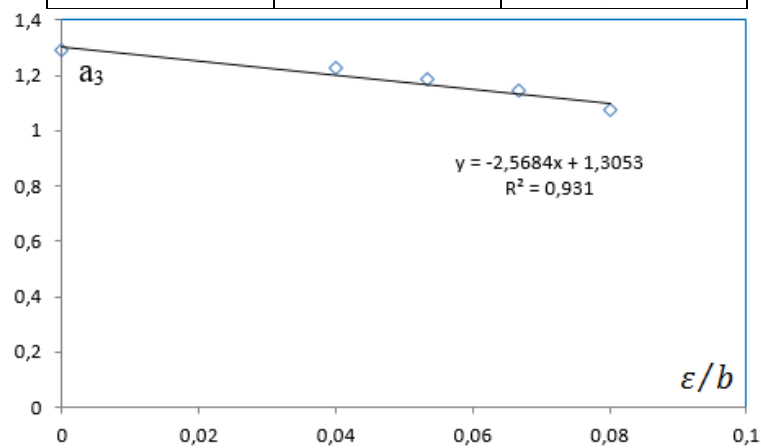


Figure 1.2: variation " a_3 " avec ε/b pour le lit mineur:

$a_3 = -2.5684 \cdot \varepsilon/b + 1.3053$, avec $R^2 = 0,931$. Cette relation est illustrée par la figure (1.2).

l'approche liant Y avec F_1 et ε/b s'illustre comme suit :

$$Y = (-2.5684\varepsilon/b + 1.3053) F_1 \quad (1.1)$$

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

La figure (1.3) illustre que l'approche $Y = f(\varepsilon/b, F_1)$ adapte avec un bon ajustement pour le lit mineur, en totalité des mesures obtenues qui suivent absolument la première bissectrice

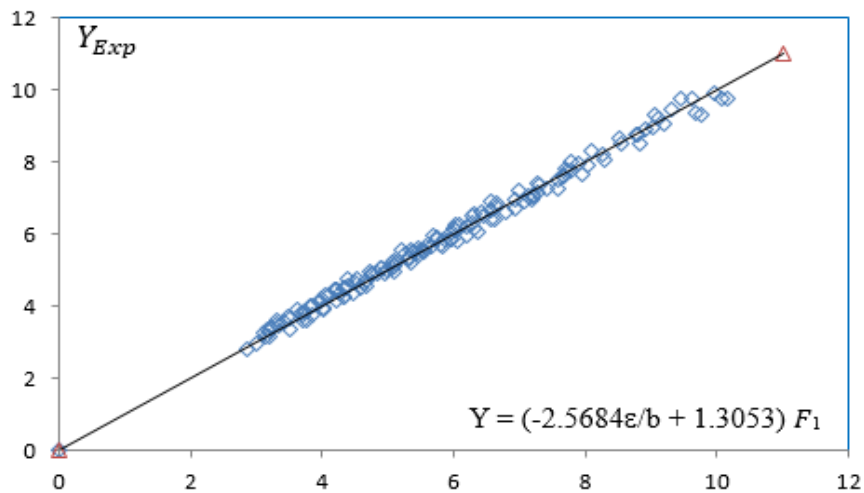


Figure 1.3: rapport $Y = h_1$ variant avec $f(\epsilon/b, F_1)$. ($\square$) Les mesures expérimentales (—) Première bissectrice

De plus, les écarts relatifs entre les mesures Y_{exp} avec celles obtenues par l'équation générale d'ajustement (1.1) pour le lit mineur sont évaluées et illustrées au tableau (1.2). Le tableau (1.2), indique que les écarts relatifs ne dépassent en majorité les 5%, ce qui fiabilise des mesures expérimentales.

Tableau 1.2: variation relatives des rapports pour le lit mineur.

Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)	Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)
4,321	4,525	-4,732	3,420	3,571	-4,441
7,674	7,600	0,967	3,748	3,857	-2,920
5,998	6,150	-2,535	3,958	4,114	-3,953
6,652	6,750	-1,475	4,258	4,343	-1,984
7,587	7,250	4,444	4,346	4,514	-3,883
7,937	7,650	3,620	4,655	4,714	-1,266
8,293	8,050	2,927	5,064	5,200	-2,686
8,835	8,500	3,796	5,203	5,571	-7,087
9,204	9,050	1,668	3,665	3,800	-3,691
9,765	9,300	4,762	3,810	4,000	-4,977
10,145	9,750	3,897	4,107	4,333	-5,506
3,187	3,300	-3,531	4,360	4,500	-3,207
3,321	3,525	-6,137	4,828	4,900	-1,491
5,748	5,933	-3,232	5,095	5,100	-0,104
4,907	5,040	-2,702	5,311	5,333	-0,411
5,093	5,240	-2,895	5,531	5,567	-0,640
5,343	5,560	-4,062	5,754	5,867	-1,959
5,856	5,880	-0,415	6,093	6,267	-2,842
6,184	6,200	-0,259	6,323	6,567	-3,847
6,451	6,520	-1,071	4,319	4,280	0,911
6,654	6,880	-3,403	4,629	4,640	-0,248
6,996	7,200	-2,917	5,073	5,080	-0,134
7,769	8,000	-2,975	5,465	5,400	1,190

Tableau 1.2 (suite) : variation relatives des rapports pour le lit mineur.

Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)	Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)
4,907	5,050	-2,906	5,799	5,720	1,360
5,375	5,500	-2,334	7,198	7,040	2,201
5,694	5,950	-4,500	7,786	7,760	0,332
6,019	6,250	-3,836	4,723	4,950	-4,814
6,434	6,600	-2,578	5,448	5,500	-0,945
6,944	6,950	-0,084	5,951	5,850	1,701
7,291	7,350	-0,804	6,036	6,100	-1,053
7,733	7,750	-0,218	6,295	6,500	-3,264
8,275	8,200	0,903	6,556	6,900	-5,244
8,550	8,500	0,585	7,271	7,150	1,664
9,015	8,950	0,726	8,773	8,750	0,258
9,681	9,350	3,416	9,065	9,300	-2,598
10,068	9,750	3,158	9,459	9,750	-3,081
3,114	3,275	-5,176	5,823	5,650	2,972
3,215	3,425	-6,526	6,183	5,950	3,771
3,318	3,600	-8,512	6,550	6,400	2,297
3,491	3,725	-6,713	6,925	6,700	3,245
3,631	3,925	-8,090	7,210	7,050	2,218
4,212	4,475	-6,254	7,596	7,500	1,265
4,393	4,771	-8,605	7,890	7,950	-0,759
3,991	4,200	-5,247	8,088	8,300	-2,618
4,187	4,467	-6,683	8,794	8,750	0,503
4,538	4,767	-5,045	9,103	9,200	-1,068
4,742	4,933	-4,026	9,310	9,450	-1,499
5,108	5,200	-1,805	9,625	9,750	-1,300
5,267	5,467	-3,788	7,191	6,960	3,210
4,376	4,560	-4,201	7,421	7,240	2,446
4,992	5,000	-0,160	7,655	7,600	0,714

Tableau 1.2 (suite et fin) : variation relatives des rapports pour le lit mineur.

Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)	Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)
5,310	5,360	-0,944	8,048	7,920	1,596
5,569	5,640	-1,277	6,062	5,800	4,328
5,965	5,840	2,096	6,366	6,067	4,701
6,302	6,160	2,253	6,612	6,433	2,707
6,576	6,640	-0,974	6,799	6,600	2,930
7,135	7,040	1,337	2,870	2,800	2,428
7,278	7,400	-1,681	2,991	2,943	1,616
7,710	7,800	-1,168	3,197	3,171	0,814
5,455	5,600	-2,657	3,755	3,629	3,358
5,948	6,000	-0,869	4,022	3,886	3,382
6,285	6,300	-0,239	4,341	4,257	1,931
7,065	6,900	2,331	4,574	4,486	1,928
8,524	8,650	-1,482	5,100	4,971	2,529
8,902	8,900	0,028	5,346	5,229	2,196
9,972	9,900	0,722	5,545	5,486	1,073
3,136	3,175	-1,247	5,646	5,657	-0,202
3,344	3,450	-3,166	3,515	3,375	3,991
3,521	3,650	-3,663	3,705	3,600	2,841
3,701	3,775	-2,000	3,860	3,775	2,193
3,847	4,025	-4,626	4,016	3,950	1,646
4,032	4,300	-6,639	4,215	4,175	0,939
4,220	4,450	-5,440	4,457	4,350	2,399
4,489	4,650	-3,598	4,662	4,575	1,872
4,762	4,875	-2,371	4,955	4,925	0,604
3,180	3,371	-6,016			

I.2.1.2. le rapport Y variant avec F_1 pour ($20 < h_2 < 50$) cm.

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

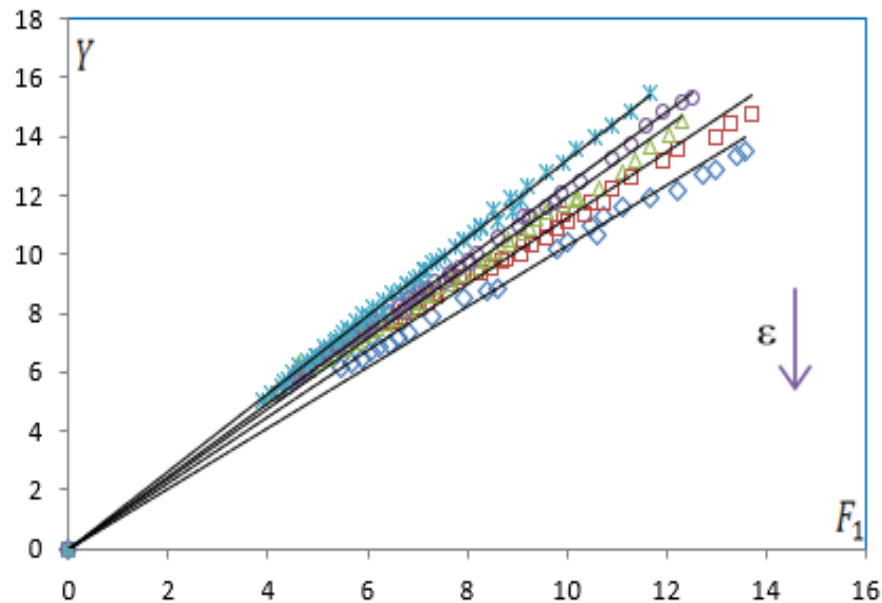


Figure 1.4: rapport $Y = h_2/h_1$ variant avec Fr pour le lit majeur, pour diverses rugosités.

On remarque cinq allures de points distincts dont chacun dépend d'une rugosité bien déterminée. Par ailleurs, l'analyse des points de mesures expérimentales du ressaut à fond rugueux pour le lit majeur, montre aussi qu'à chaque valeur de rugosité " ε " correspond une courbe de type linéaire de la forme $h_2/h_1 = b_3 (F_1)$.

Le tableau (1.3) regroupe les valeurs du coefficient b_3 .

Tableau 1.3: b_3 des courbes.

ε / b	Coefficient b_3	R^2
0,08	1.029	0,987
0,067	1.122	0,986
0,053	1.192	0,987
0,04	1.235	0,996
0	1.319	0,998

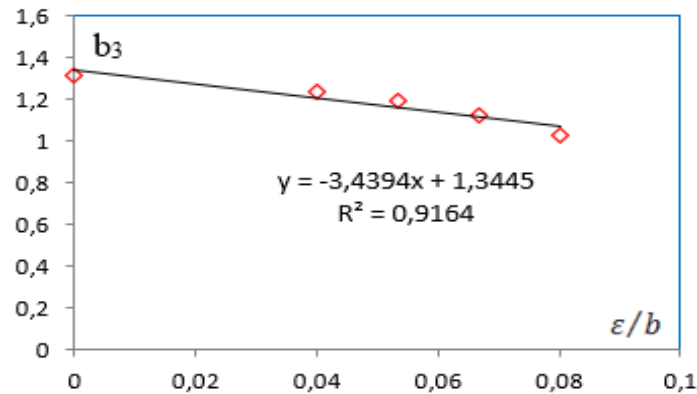


Figure 1.5: " b_3 " varie avec (ε/b) pour le lit majeur

$b_3 = -3.4394 \cdot \varepsilon/b + 1.3445$, avec $R^2 = 0,9164$. Cette relation est mentionnée par la figure (1.5). l'approche qui lie Y ; F_1 et ε/b relative s'écrit comme suit :

$$Y = (-3.4394 \cdot \varepsilon/b + 1.3445) F_1 \quad (1.2)$$

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

La figure (1.6) illustre également que l'approche $Y = f(\varepsilon/b, F_1)$ s'adapte avec un bon ajustement pour le lit majeur ($20 < h_2 < 50$) cm. en totalité des motifs expérimentaux et ces derniers suivent pratiquement la première bissectrice

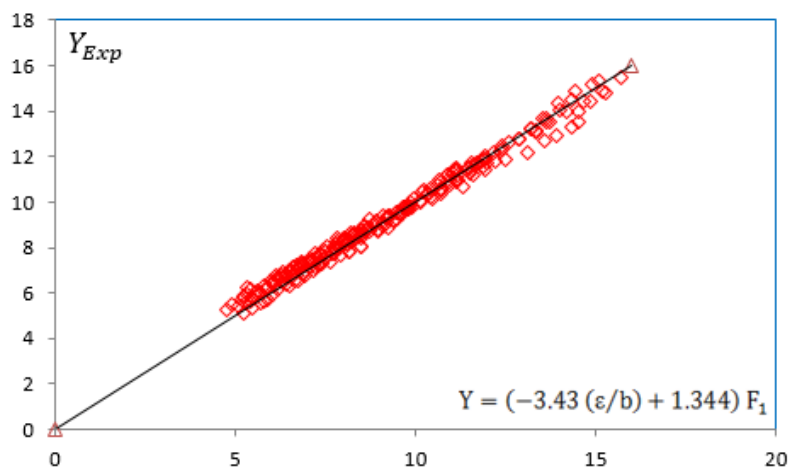


Figure 1.6: Y_{exp} variant avec $f(\varepsilon/b, F_1)$. ($\square$) Les motifs d'essai. (—) Première bissectrice.

De plus, les erreurs relatives entre Y_{exp} avec $Y_{relation}$ sont évaluées et mentionnées au tableau (1.4).

Le tableau (1.12), indique que les erreurs relatifs pour la majorité en dessous des 5%, justifiant la fiabilité de cette approche globale obtenue .

Tableau 1.4: variation relatives des rapports pour le lit mineur pour le lit majeur.

Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)	Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)
5,831	6,150	-5,469	14,318	14,500	-1,268
6,067	6,325	-4,253	5,099	5,375	-5,413
6,306	6,500	-3,078	5,303	5,525	-4,193
6,467	6,675	-3,218	5,426	5,650	-4,125
6,670	6,850	-2,698	5,551	5,825	-4,944
6,917	6,975	-0,845	5,718	6,000	-4,933
7,083	7,175	-1,305	5,887	6,275	-6,592
7,292	7,300	-0,112	6,058	6,450	-6,479
7,802	7,886	-1,067	6,230	6,650	-6,745
8,501	8,533	-0,381	6,404	6,850	-6,970
8,978	8,767	2,349	6,535	6,975	-6,732
9,219	8,833	4,185	6,756	7,100	-5,090
10,484	10,160	3,088	6,890	7,250	-5,227
10,712	10,400	2,916	7,070	7,400	-4,674
11,330	10,640	6,093	7,296	7,550	-3,475
11,194	11,000	1,735	5,456	5,800	-6,311
11,487	11,300	1,625	5,551	6,000	-8,097
11,880	11,600	2,361	5,838	6,143	-5,214
12,479	11,900	4,643	6,082	6,457	-6,167
13,088	12,150	7,167	6,180	6,714	-8,638
13,603	12,700	6,636	6,529	6,886	-5,467
13,915	12,900	7,291	6,832	7,143	-4,544

Tableau 1.4 (suite) : variation relatives des rapports pour le lit mineur pour le lit majeur.

Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)	Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)
14,334	13,300	7,214	7,141	7,429	-4,033
14,545	13,500	7,187	7,349	7,743	-5,365
7,231	7,714	-6,687	7,717	7,971	-3,293
7,429	7,914	-6,534	7,984	8,229	-3,059
7,529	8,029	-6,641	8,254	8,514	-3,149
7,830	8,229	-5,085	8,473	8,714	-2,854
8,034	8,371	-4,203	8,693	8,857	-1,893
8,239	8,600	-4,383	6,520	6,900	-5,821
7,839	8,433	-7,584	6,756	7,067	-4,597
8,196	8,667	-5,743	7,115	7,400	-4,009
8,558	8,967	-4,770	7,541	7,700	-2,109
8,742	9,267	-6,007	7,788	8,000	-2,719
9,112	9,400	-3,163	8,038	8,300	-3,258
9,487	9,567	-0,839	8,291	8,533	-2,928
9,804	9,833	-0,303	8,482	8,800	-3,753
8,064	8,360	-3,665	8,868	9,033	-1,863
9,236	9,400	-1,772	9,195	9,333	-1,510
9,689	9,800	-1,143	9,458	9,533	-0,791
10,149	10,040	1,078	9,658	9,767	-1,124
10,382	10,360	0,213	9,859	10,000	-1,430
10,695	10,600	0,890	8,114	8,080	0,414
10,932	10,920	0,109	8,418	8,480	-0,739
11,170	11,160	0,094	8,648	8,720	-0,828
11,572	11,400	1,484	9,116	9,080	0,393
11,978	11,720	2,152	9,273	9,400	-1,365
10,188	10,450	-2,571	9,752	9,720	0,325
10,676	10,950	-2,571	10,898	10,960	-0,567

Tableau 1.4 (suite) : variation relatives des rapports pour le lit mineur pour le lit majeur.

Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)	Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)
11,071	11,400	-2,973	11,149	11,320	-1,530
11,673	11,750	-0,661	11,572	11,600	-0,240
12,183	12,200	-0,144	11,914	12,040	-1,055
12,595	12,600	-0,036	10,402	10,600	-1,907
13,329	13,150	1,343	11,024	11,300	-2,507
13,648	13,550	0,716	11,764	11,750	0,121
14,509	14,000	3,511	12,412	12,500	-0,711
14,837	14,450	2,609	13,182	13,250	-0,519
15,278	14,800	3,128	13,628	13,700	-0,525
4,751	5,250	-10,506	13,967	14,350	-2,744
4,906	5,450	-11,094	14,422	14,850	-2,967
5,181	5,700	-10,021	14,882	15,150	-1,798
5,340	5,900	-10,482	15,114	15,350	-1,559
5,623	6,100	-8,483	9,589	9,450	1,446
5,340	6,275	-17,504	9,912	9,750	1,639
5,994	6,550	-9,281	10,682	10,500	1,702
6,119	6,750	-10,312	11,130	10,950	1,617
6,330	6,925	-9,404	11,470	11,500	-0,261
6,586	7,125	-8,188	11,929	11,900	0,242
6,715	7,250	-7,967	12,394	12,300	0,755
6,845	7,350	-7,375	12,864	12,750	0,888
7,064	7,550	-6,883	13,341	13,100	1,804
5,249	5,886	-12,131	13,702	13,550	1,107
5,432	6,143	-13,086	14,188	14,000	1,326
5,804	6,286	-8,292	14,680	14,400	1,909
6,041	6,486	-7,356	15,178	14,850	2,160

Tableau 1.4 (suite) : variation relatives des rapports pour le lit mineur pour le lit majeur.

Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)	Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)
6,378	6,800	-6,612	15,681	15,450	1,473
6,721	7,029	-4,573	8,952	8,720	2,591
6,820	7,257	-6,405	9,120	8,960	1,758
7,020	7,400	-5,414	9,375	9,160	2,291
7,374	7,657	-3,842	9,460	9,240	2,327
7,682	7,771	-1,168	9,632	9,440	1,990
7,942	8,143	-2,535	9,804	9,680	1,266
8,151	8,371	-2,699	10,152	9,960	1,893
8,523	8,629	-1,237	10,416	10,240	1,689
6,273	6,767	-7,864	10,682	10,520	1,515
6,500	6,967	-7,179	10,950	10,720	2,100
6,903	7,267	-5,265	11,130	10,880	2,246
7,196	7,500	-4,223	11,584	11,160	3,662
7,493	7,833	-4,541	11,952	11,440	4,283
7,794	8,100	-3,927	12,230	11,800	3,518
8,038	8,400	-4,510	6,502	6,286	3,330
8,284	8,667	-4,625	6,719	6,514	3,046
8,595	8,933	-3,942	6,883	6,857	0,376
8,909	9,167	-2,888	7,215	7,114	1,398
9,228	9,333	-1,142	7,383	7,314	0,933
9,550	9,533	0,176	7,496	7,514	-0,245
9,811	9,767	0,448	7,723	7,714	0,113
8,099	8,160	-0,756	7,895	7,971	-0,970
8,395	8,560	-1,965	8,184	8,229	-0,544
8,846	9,000	-1,740	8,477	8,429	0,567
9,228	9,320	-0,998	8,713	8,714	-0,012
9,693	9,800	-1,103	9,132	9,029	1,137

Tableau 1.4 (suite et fin) : variation relatives des rapports pour le lit mineur pour le lit majeur.

Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)	Y relation	Yexp.	$\Delta Y/Y$ (%)
9,929	10,120	-1,928	5,234	5,075	3,038
10,245	10,480	-2,289	5,455	5,300	2,839
10,727	10,920	-1,800	5,724	5,525	3,474
10,889	11,200	-2,856	5,814	5,650	2,828
11,134	11,480	-3,110	5,906	5,725	3,057
11,546	11,680	-1,165	6,043	5,950	1,540
11,879	11,880	-0,012	6,182	6,200	-0,297
10,305	10,350	-0,435	6,415	6,375	0,621
10,606	10,750	-1,359	6,651	6,550	1,518
10,909	11,200	-2,664	6,938	6,775	2,350
11,113	11,450	-3,030	7,180	7,000	2,512
11,837	11,800	0,311	7,327	7,200	1,734
12,363	12,250	0,912	7,623	7,400	2,930
12,896	12,750	1,135	7,924	7,675	3,138
13,220	13,200	0,152	8,177	7,850	3,996
13,547	13,650	-0,764	8,484	8,050	5,116
13,986	14,050	-0,458	8,177	7,850	3,996
			8,484	8,050	5,116

La figure (1.7) indique que Y expérimentale varie en fonction l'approche globale $f(\varepsilon/b, F_1)$

Cette figure mentionne la comparaison entre Y_{exp} avec celle obtenues de l'approche globale

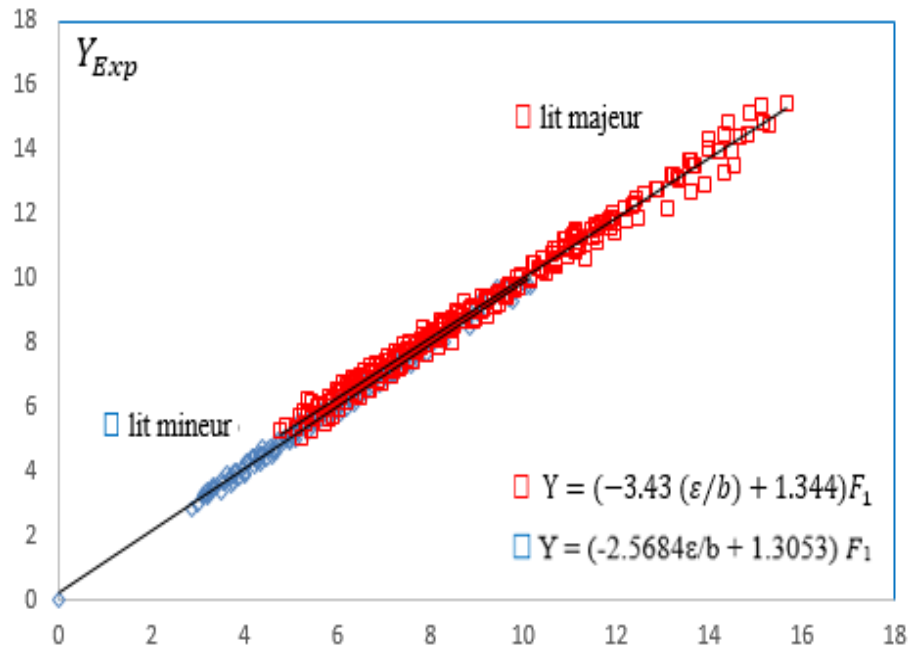


Figure 1.7: le rapport $Y = h_2/h_1$ exp varie avec $f(\varepsilon/b, F_1)$ pour la section composée

On déduit qu'à partir de cette figure que Y pour la section composée à fond rugueux est moindre au lit majeur que ce lui au lit mineur, ainsi cette section a un effet positif dans le lit majeur que celui au lit mineur à cause de l'augmentation de la largeur du notre canal qui nous a servi à l'expérimentation quand le ressaut hydraulique sera formé au lit majeur (Dépasse 20 cm).

III.4. CONCLUSION

On conclue dans ce présent chapitre que l'ensemble des résultats liées à cette étude des écoulements brusquement varié développé en canal rectangulaire composée en lit mineur rugueux (Walid et Ghomri).

Dans cette étape, nous avons présenté la variation du $Y = h_2/h_1$ du ressaut variant avec F_1 incident pour diverses rugosité pour les deux lits de la section composée ce qui a permet des approches adimensionnelles à caractère global

Chapitre II

Ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire
avec lit majeur rugueux

II.1.INTRODUCTION

Ce chapitre présent est consacré à l'étude expérimentale récente A. Ghomri en 2021 et L. Senna, A. Qui reflète l'étude expérimentale du ressaut hydraulique développé en canal rectangulaire composé e avec lit majeur rugueux.

II.2. Etude de variation des caractéristiques de l'écoulement

II.2.1.étude du rapport Yen fonction du F_1

Cette figure 2.1 indique que l'ajustement entre Y et le paramètre F_1 , avec diverses rugosité testée . ce ressaut se développe au lit majeur rugueux avec les profondeurs qui dépassent 20 cm arrivant au 50cm.

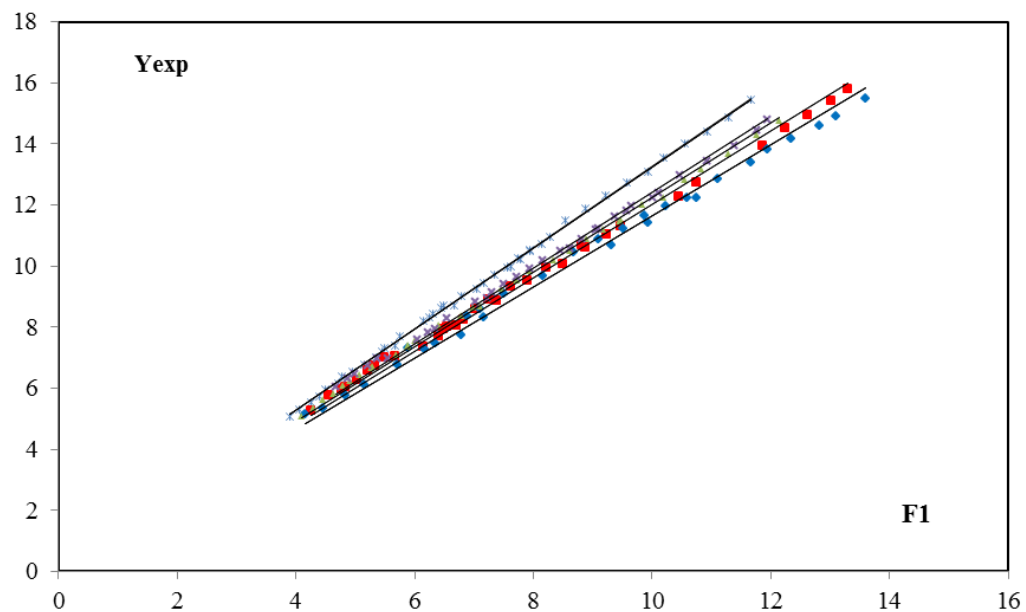


Figure 2.1 vu global des motifs expérimentaux entre Y et F_1 , pour diverses rugosités

Cette figure montre quatre allures différents qui correspond pour chacun une rugosité fixée. l'ajustement de ces motifs produit des relations de type $Y = b_1(F_1)$

On déduit de cette figure des résultats qui sont indiqués tableau (2.1)

Tableau 2.1..paramètre a_3

$\varepsilon/(B-b)$	Coefficient a_3	R^2
0,12	1,16	0,99
0,10	1,20	0,99
0,08	1,23	0,99
0,06	1,24	0,99
0,00	1,32	0,99

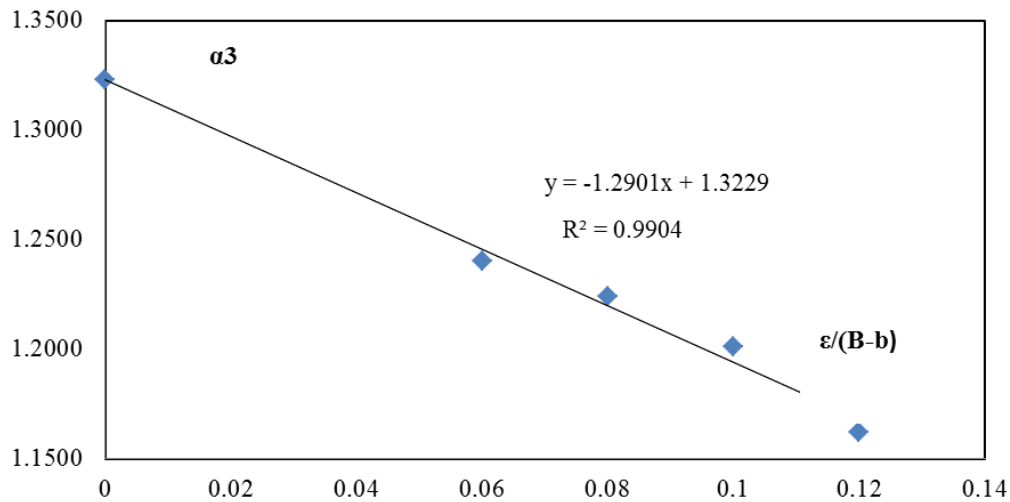


Figure 2.2: ajustement du coefficient a_3 avec $(a_3, \varepsilon/B-b)$

L'ajustement des motifs expérimentaux d'ajustement a alloué une relation globale de type linéaire entre a_3 et $\varepsilon/(B-b)$: suivante : $a_3 = -1,290 (\varepsilon/(B-b)) + 1,322$,

Ainsi, la relation générale liant Y ; F_1 et le paramètre relatif $(\varepsilon/(B-b))$ a donné une formule comme suit : $Y = (-1,290(\varepsilon/B-b) + 1,322) F_1$ (2.4)

Avec $0,00 \leq \varepsilon/B-b \leq 0,12$

La corrélation entre Y globale obtenue et Y_{exp} est mentionnée par la figure ci-dessous. On remarque que ce résultat remarquable fiabilise absolument les mesures expérimentales obtenues. Et que la majorité de ces motifs suivent la première bissectrice.

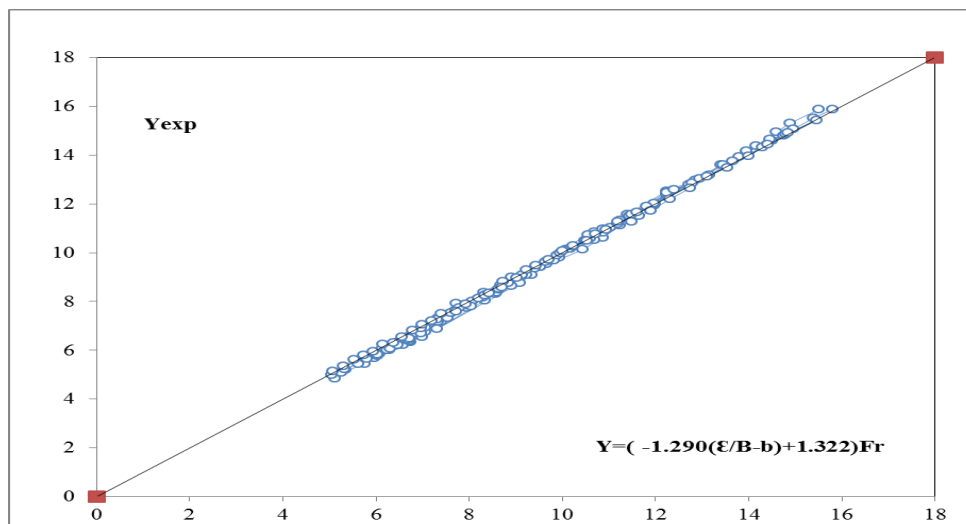


Figure 2.3: variation du Y avec $f(\varepsilon/B-b, F_1)$.

En fonction de ces résultats obtenus, on note que l'écart relatifs entre Y_{exp} et $Y_{approche}$.

calculées en majorités ne dépassent pas 5% .

Tableau (2.2) variation relatives des rapports d'ajustement

Yexp.	Y appr.	Erreurs relatives(%)	Yexp.	Y appr.	Erreurs relatives(%)
8.571	8.301	-3.262	5.75	5.446	-5.582
7.3	6.881	-6.085	5.975	5.694	-4.932
9.1	8.766	-3.809	6.025	5.778	-4.281
9.667	9.536	-1.375	6.75	6.33	-6.628
8.32	8.365	0.534	7.05	6.767	-4.184
10.44	10.14	-2.96	6.286	6.013	-4.544
10.88	10.621	-2.435	6.571	6.207	-5.863
11.24	11.11	-1.167	6.714	6.355	-5.652
11.64	11.523	-1.013	7	6.554	-6.81
11.96	11.941	-0.157	7.943	7.734	-2.697
12.24	12.364	1.005	8.057	7.999	-0.721
10.7	10.865	1.518	8.857	8.813	-0.506
11.4	11.586	1.603	7.333	7.334	0.003
7.7	7.638	-0.814	5.625	5.438	-3.43
8	7.822	-2.271	5.8	5.648	-2.694
8.233	8.133	-1.232	6.65	6.423	-3.53
8.6	8.385	-2.568	7.4	7.186	-2.985
8.9	8.639	-3.024	7.55	7.323	-3.1
9.333	9.089	-2.684	6.086	5.848	-4.07
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
10.68	10.527	-1.451	8.686	8.668	-0.208
11.04	11.022	-0.164	7.067	6.943	-1.777
12.28	12.464	1.476	7.333	7.186	-2.057
12.72	12.812	0.717	8.033	7.803	-2.952
10.6	10.589	-0.107	8.633	8.502	-1.551
11.3	11.314	0.124	9.233	9.088	-1.603

Tableau (2.2) variation relatives des rapports d'ajustement.

Yexp.	Y appr.	Erreurs relatives(%)	Yexp.	Y appr	Erreurs relatives(%)
13.95	14.144	1.373	9.533	9.419	-1.215
14.5	14.598	0.672	9.833	9.687	-1.513
14.95	15.057	0.708	8.36	8.271	-1.08
15.4	15.52	0.772	10.16	10.175	0.149
15.8	15.87	0.443	10.48	10.505	0.239
5.05	4.987	-1.261	10.88	10.839	-0.382
5.325	5.232	-1.784	11.2	11.176	-0.219
11.44	11.516	0.659	9.633	9.618	-0.156
11.5	11.559	0.507	9.9	9.892	-0.083
12	11.989	-0.089	10.167	10.168	0.012
12.25	12.425	1.411	10.5	10.516	0.156
12.8	12.866	0.516	8.92	8.999	0.879
13.15	13.201	0.384	10.56	10.727	1.561
13.65	13.764	0.828	10.88	10.983	0.934
14.3	14.335	0.244	11.24	11.326	0.757
14.75	14.797	0.32	11.6	11.672	0.621
6.029	5.823	-3.533	11.96	12.023	0.521
6.314	6.071	-4.002	12.24	12.465	1.806
6.457	6.222	-3.779	11.2	11.261	0.543
6.714	6.476	-3.68	11.8	11.913	0.947
6.971	6.682	-4.338	12.4	12.577	1.404
7.8	7.741	-0.762	12.95	13.026	0.581
6.967	6.907	-0.869	13.45	13.594	1.063
7.6	7.525	-0.997	13.95	14.171	1.561
7.933	7.904	-0.367	14.45	14.638	1.287
8.3	8.161	-1.707	14.8	14.874	0.497
8.833	8.747	-0.983	10.5	10.507	0.066
9.133	9.079	-0.598	10.95	10.948	-0.02
9.4	9.347	-0.563	11.5	11.282	-1.929
11.9	11.734	-1.418	10	10.072	0.717
12.3	12.191	-0.896	10.233	10.289	0.539
12.75	12.654	-0.762	6.143	6.237	1.516
13.1	13.122	0.17	7.314	7.262	-0.715
13.55	13.477	-0.538	7.714	7.597	-1.549
14	13.956	-0.316	8.429	8.338	-1.087
14.4	14.44	0.276	8.714	8.571	-1.677

Tableau (2.2) variation relatives des rapports d'ajustement

Yexp.	Y appr.	Erreurs relatives(%)	Yexp.	Y appr	Erreurs relatives(%)
14.85	14.929	0.532	9.029	8.983	-0.509
15.45	15.424	-0.167	5.075	5.148	1.425
8.72	8.805	0.97	5.3	5.366	1.222
9.24	9.305	0.702	5.525	5.63	1.867
9.44	9.474	0.359	5.725	5.809	1.444
9.96	9.986	0.261	5.95	5.944	-0.099
10.24	10.245	0.053	6.375	6.31	-1.032
10.52	10.507	-0.124	6.55	6.542	-0.121
10.72	10.771	0.471	6.775	6.824	0.725
8.2	8.127	-0.904	7	7.063	0.889
8.333	8.261	-0.878	7.2	7.207	0.099
8.633	8.532	-1.192	7.4	7.499	1.315

III.4. CONCLUSION

En fonction de ces résultats obtenus pour ce chapitre présent lors des études des écoulements développés dans le canal composé rugueux , l'auteur est arrivé à développer des relations adimensionnelles fonctionnelles se résument comme suit :

01/ les ajustements des motifs acquis ont donné une équation importante liant Y ; le paramètre $(\varepsilon/B-b)$ et facteur du régime d'écoulement F_1 . ce paramètre de la rugosité a provoqué un effet de réduction significative aux caractéristiques des écoulements étudiés

CONCLUSION DE PREMIER VOLET

Notre étude du mémoire a été scindée en deux chapitres principaux .

Pour le premier chapitre on note que l'ensemble des résultats liées à cette étude des écoulements brusquement varié développé en canal rectangulaire composée en lit mineur rugueux (Walid et Ghomri). .

Dans cette étape, nous avons présenté la variation du $Y = h_2/h_1$ du ressaut variant avec F_1 incident pour diverses rugosité pour les deux lits de la section composée ce qui a permet des approches adimensionnelles à caractère global

Pour le deuxième du chapitre : par lequel des résultats obtenus concernant les écoulements développés dans le canal composé rugueux , l'auteur est arrivé à développer des relations adimensionnels fonctionnelles qui se résument comme suit :

01/ les ajustements des motifs acquis ont donné une équation importante liant Y ; le paramètre $(\varepsilon/B-b)$ et facteur du régime d'écoulement F_1 . ce paramètre de la rugosité a provoqué un effet de réduction significative aux caractéristiques des écoulements étudiés

Deuxième volet :
analyse expérimentale

INTRODUCTION DU DEUXIEME VOLET

Dans ce volet , nous allons tester l'effet de la rugosité imposée au lits du canal rectangulaire composé sur les caractéristiques hydrauliques du ressaut contrôlé. Ce volet est subdivisé en deux chapitres.

- Pour le premier chapitre, on a présenté le modèle d'expérimentation utilisé pour réaliser notre sujet de recherche au laboratoire
- A travers le deuxième chapitre, nous allons analyser expérimentalement le ressaut hydraulique formé dans le canal rectangulaire de section composée avec lits rugueux . Cette étude va permettre d'obtenir des approches empiriques adimensionnelles régissant les caractéristiques du ressaut hydraulique.

Chapitre I

Description du canal expérimental

I.1. INTRODUCTION

Pour ce présent chapitre on va illustrer les différents appareillages qui permettent de réaliser l'expérimentation

I.2. procédure de l'expérimentation

L'expérimentation au niveau du laboratoire de Ouargla a été réalisé d'une manière régulière voir figure (1.1) les caractéristiques du banc d'essai sont : L : 10 m et de profondeur : 0,5 m équipé par des latéralement par des parois en plexiglas. Le banc d'essai est de forme rectangulaire composée, de dimension L= 4 m, de profondeur h=15.5 cm, avec le lit mineur de dimension 14.5cm et du lit majeur de dimension B= 25cm



Photo 1.1 canal d'essai.

Le banc d'essai est horizontal . La canalisation est ronde de diamètre 150 mm t reliée au bassin d'accumulation d'eau par le moyen d'un canal. Cette canalisation est liée à la boîte sous pression fermée, dans laquelle est incorporée une ouverture avec paroi en tôle débouchant dans le banc d'essai . L'ouverture de cette paroi est de générer un écoulement torrentiel cette ouverture est variable h_1 de l'écoulement Les débits volumiques se réalise par la vanne de réglage . L'alimentation en eau dans le canal sera effectuée 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.

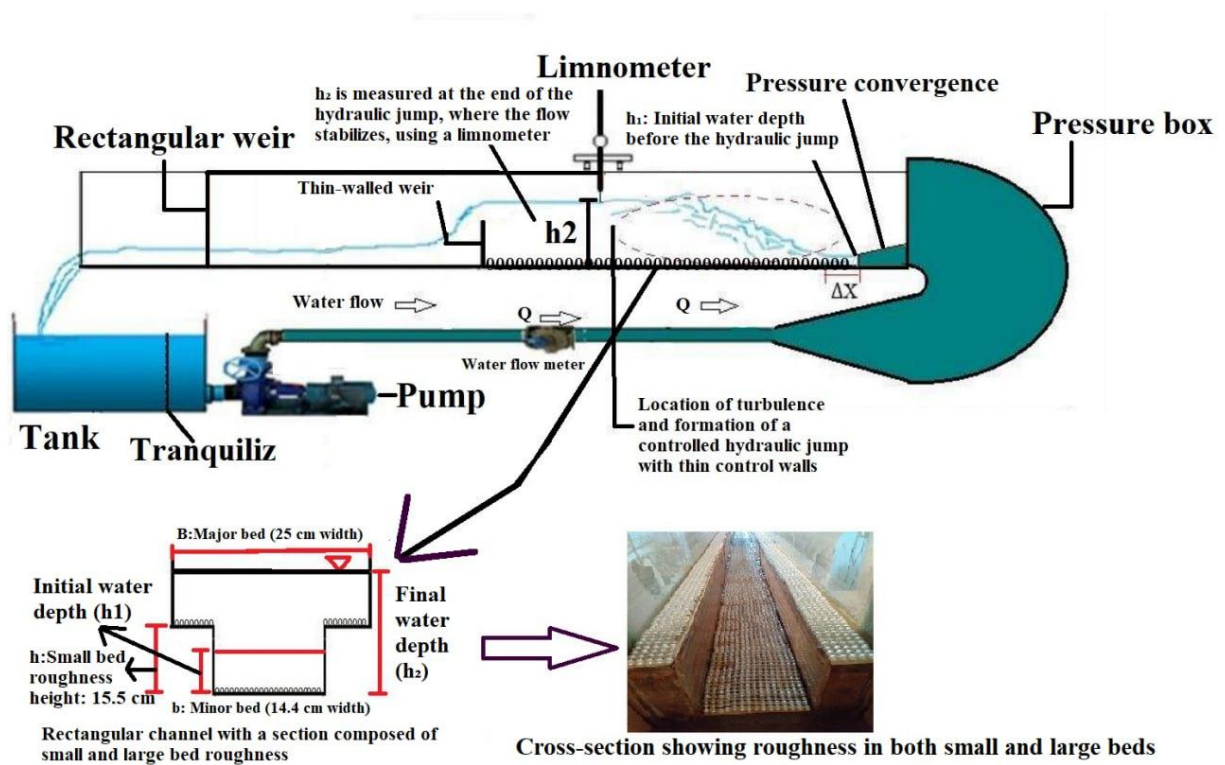


Figure 1.2: déroulement des essais.



Photo 1.3 : pompe axiale.



Photo 1.4: vanne de variation des débits volumiques.

I.3. Instrumentations utilisés

I.3.1. Les mesures des débits volumiques

Le Protocol expérimental est de section rectangulaire composée rugueux avec la linéarité $L=4\text{ m}$, est lié en aval par un moyen de canalisation de section rectangulaire par laquelle est incorporée un débitmètre de forme rectangulaire avec profondeur bien fixée avec échancrure plane. ce débitmètre est réalisé l'auteur *Rachdi Hachemi (2007)*, qui permet de mesurer les débits volumiques



Photo 1.5: appareil de mesure des débits volumiques

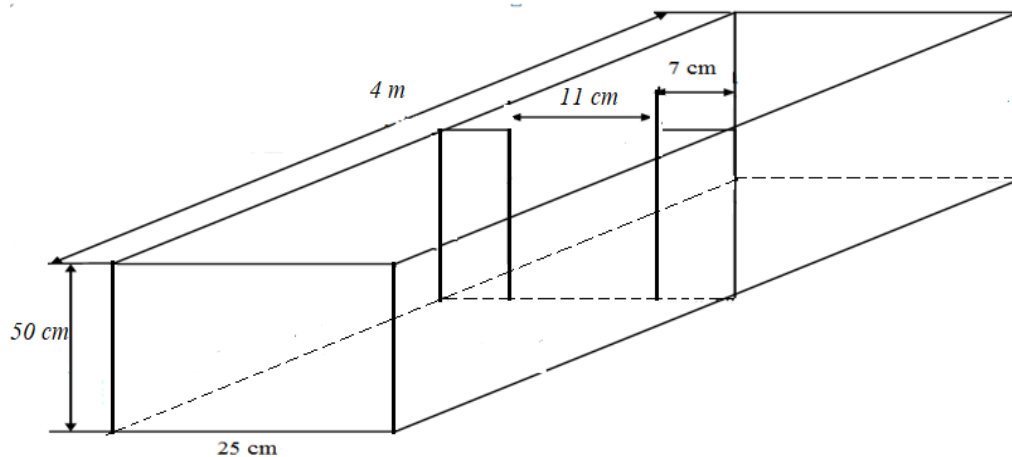


Photo 1.6: aperçu sur le déversoir, *Hachemi, 2007*).

Une fois le débit Q sera mesuré par le débitmètre, la lame h_{dev} traversant l'appareil débitmétrique est directement lu par l'instrument limnimétrie. ainsi, le débit volumique est calculé en fonction de la lame évalué par l'instrument de mesure injectée dans l'équation (1.1) du déversoir.

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

Avec :

Q : débit en (m³/s).

$\beta = b/B$: avec $\beta = b/B=0.44$

b : l'échancrure de Largeur (m) b=11 cm.

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

g : (m/s²).

h_{dev} : la lame d'eau en (m).

l'application est vérifié avec : $\beta < 0.45$

I.3.2. Instrument de mesure des profondeurs

Le calcul des profondeurs d'écoulement est réalisé par un appareil Limnométrique (Figure 1.7).

Les différentes lectures des profondeurs sont : la lecture de la graduation sur la règle, qui est située directement au-dessus du zéro du vernier, puis la lecture du nombre cinquante devant la division qui coïncide avec celle de la règle.

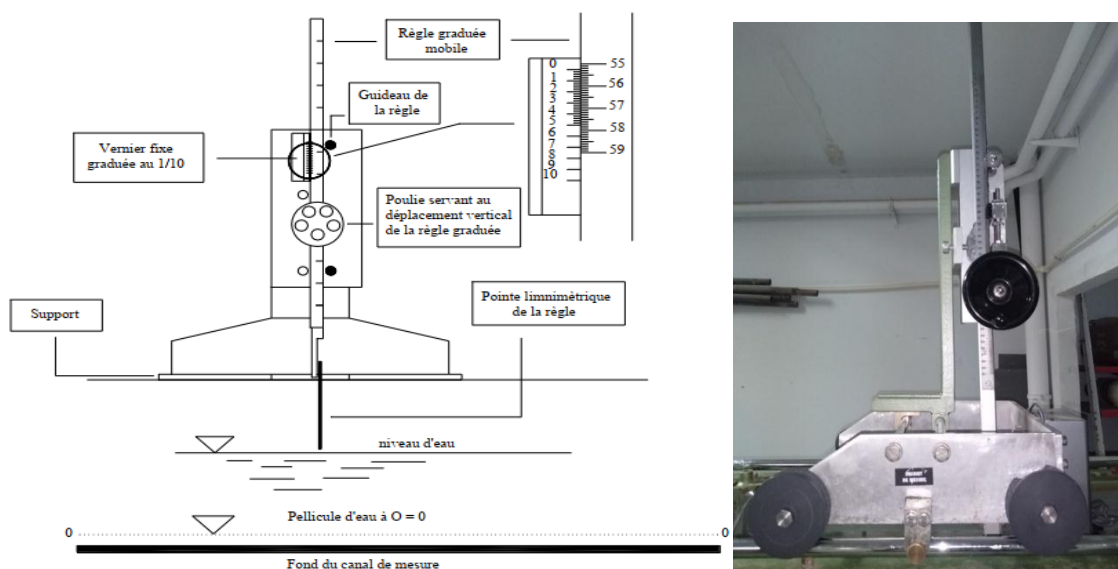


Photo 1.7: mesure des profondeurs d'eau par l'instrument.

I.4. VU Global de l'expérimentation

I.4.1. le banc d'essai

Les différentes ouvertures d'expérimentations sont (h_1 (cm) = 2.5 ; 03 ; 3.5 et 04).

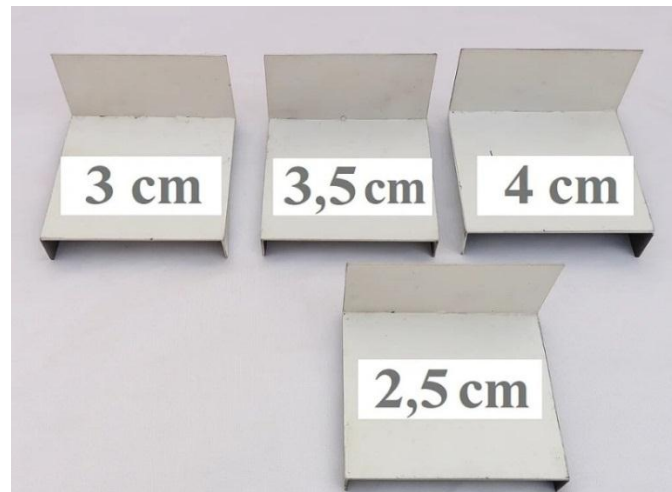


Photo 1.8: variation des profondeurs (h_1 (cm) = 02.5 ; 03 ; 03.5 et 04)..

Les différentes sections de contrôle du développement du ressaut sont de nombre 28 seuils ont été réalisés au laboratoires situés entre dans l'intervalle 2 cm et 21 cm.

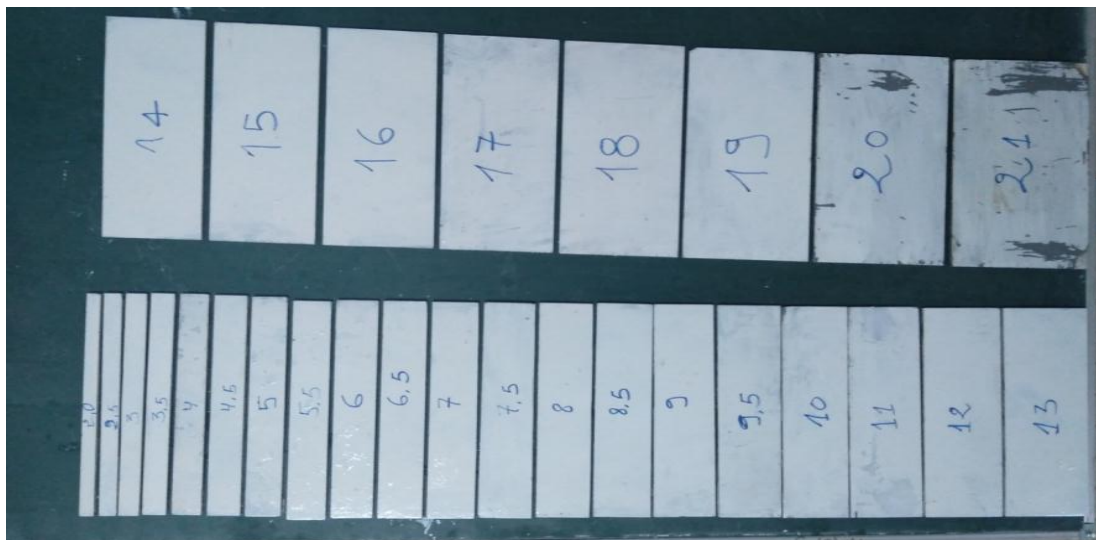


Photo 1.9: vu des parois latérales du ressaut

I.4.2. la méthode de préparer les tapis rugueux

Étapes de conception des tapis rugueux dans un canal rectangulaire à section composée :

Pour la mise en place des tapis rugueux dans le canal rectangulaire de forme composée, cinq valeurs distinctes de rugosité ont été retenues : $\varepsilon = 6 \text{ mm}$, 8 mm , 10 mm et 12 mm . Ces tapis ont été réalisés à partir de matériaux plastiques, soigneusement répartis de manière homogène sur la surface du canal afin de garantir une distribution uniforme de la rugosité.

Ce dispositif expérimental a été conçu pour analyser en profondeur le comportement des ressauts hydrauliques en fonction de la rugosité, des conditions d'écoulement et de la présence de seuils, permettant ainsi une meilleure compréhension des phénomènes hydrodynamiques dans différentes configurations.



Photo 1.10: la pose des tapis préparés : a) canal rugueux.

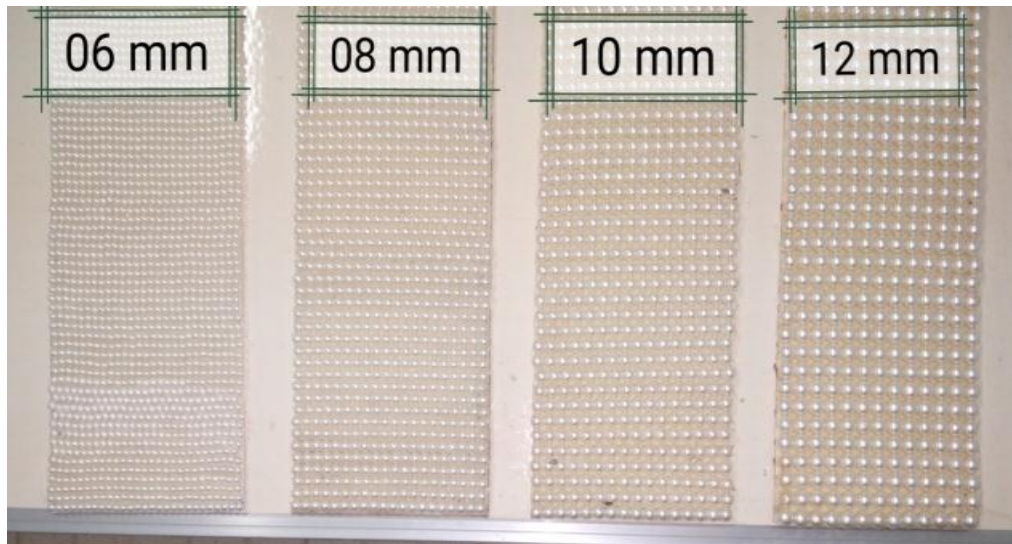


Photo 1.11: tapis rugueux, (a) préparation des tapis rugueux ; (b) les tapis rugueux.

I.5. CONCLUSION

Pour ce présent chapitre de la deuxième partie expérimentale , nous avons illustré le protocole d'essai voit diverses photographies avec explication claire de l'utilisation des différents instruments et appareillage à la réalisation de l'expérimentation .

Les débits volumétriques divers sont évalués par l'appareil débit mètre de Rachedi . (2006).

En fin nous nous sommes arrivé à expliquer clairement les différentes étapes de réalisations des tapis rugueux

Chapitre II

Etude expérimentale

I. INTRODUCTION

S'appuyant sur un vaste héritage d'études antérieures et s'appuyant sur des résultats analytiques et expérimentaux, cette recherche comble une lacune majeure dans l'étude des ressauts hydrauliques dans les canaux composés rectangulaires. Contrairement aux études précédentes qui ont exploré diverses formes de surfaces rugueuses, telles que celles menées par (Ghomri & Riguet, 2012) et (Debabeche et al., 2006), cette recherche utilise des éléments plastiques uniformément répartis pour garantir des conditions de rugosité constantes. Des expériences ont été menées avec cinq valeurs de rugosité différentes ($\varepsilon = 6$ mm, 8 mm, 10 mm et 12 mm) dans le but de développer des équations empiriques précises et adimensionnelles basées sur un vaste ensemble de données expérimentales. Des équations mathématiques ont été dérivées pour décrire la relation entre le rapport de profondeur des ressauts hydrauliques ultérieurs et les paramètres de rugosité, offrant ainsi un moyen réaliste de prédire les conceptions hydrauliques sur les lits rugueux, entre autres applications. De plus, la recherche vise à démontrer les avantages des lits rugueux pour la dissipation de l'énergie excédentaire des ressauts hydrauliques, suggérant leur application potentielle dans les bassins de dissipation d'énergie pour réduire l'érosion et les dommages en aval.

II. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

II.1 LE RAPPORT DE LA PROFONDEUR CONJUGUÉE Y (h_2/h_1) EN FONCTION DU NOMBRE DE FROUDE F_1

L'objectif des essais expérimentaux est d'établir une relation adimensionnelle définissant la profondeur du ressaut hydraulique (Y), influencée par plusieurs facteurs tels que la rugosité de surface (ε), la hauteur de marche (h_s) et le débit (Q). Les essais expérimentaux ont été réalisés et les résultats sont présentés dans la figure suivante.

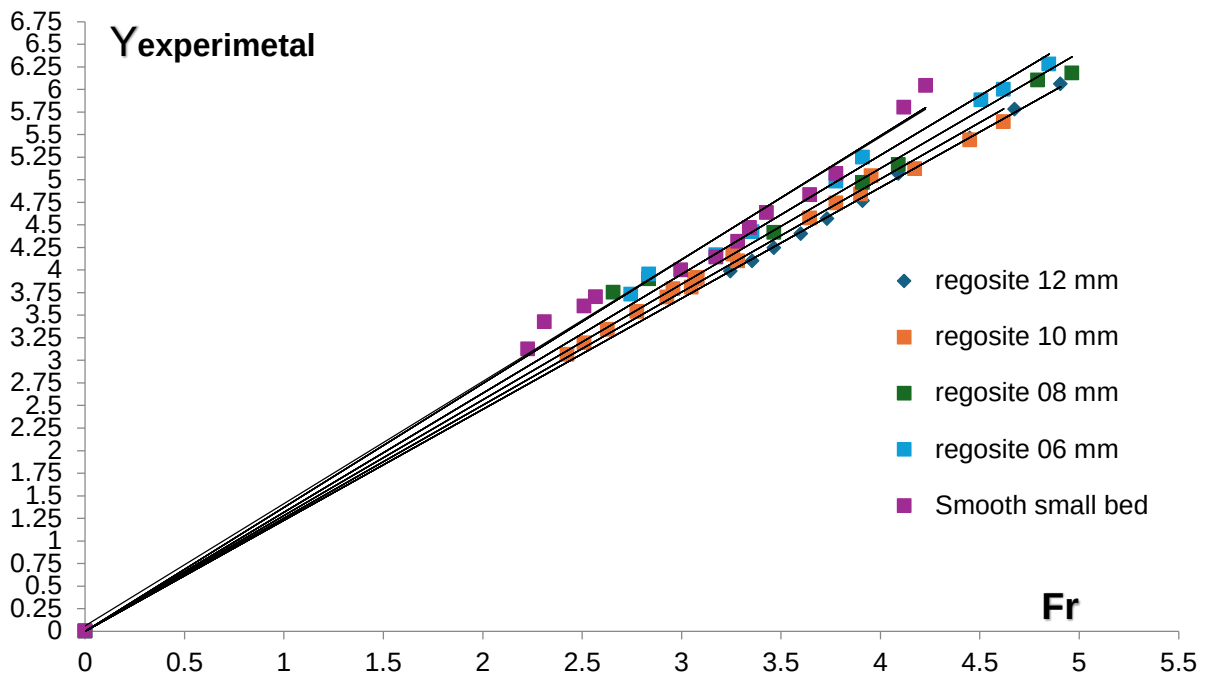


Figure 1. Profondeur du ressaut hydraulique sur le lit mineur ($0 < h_2 < 15,5$ cm) en fonction des nombres de Froude et de diverses rugosités.

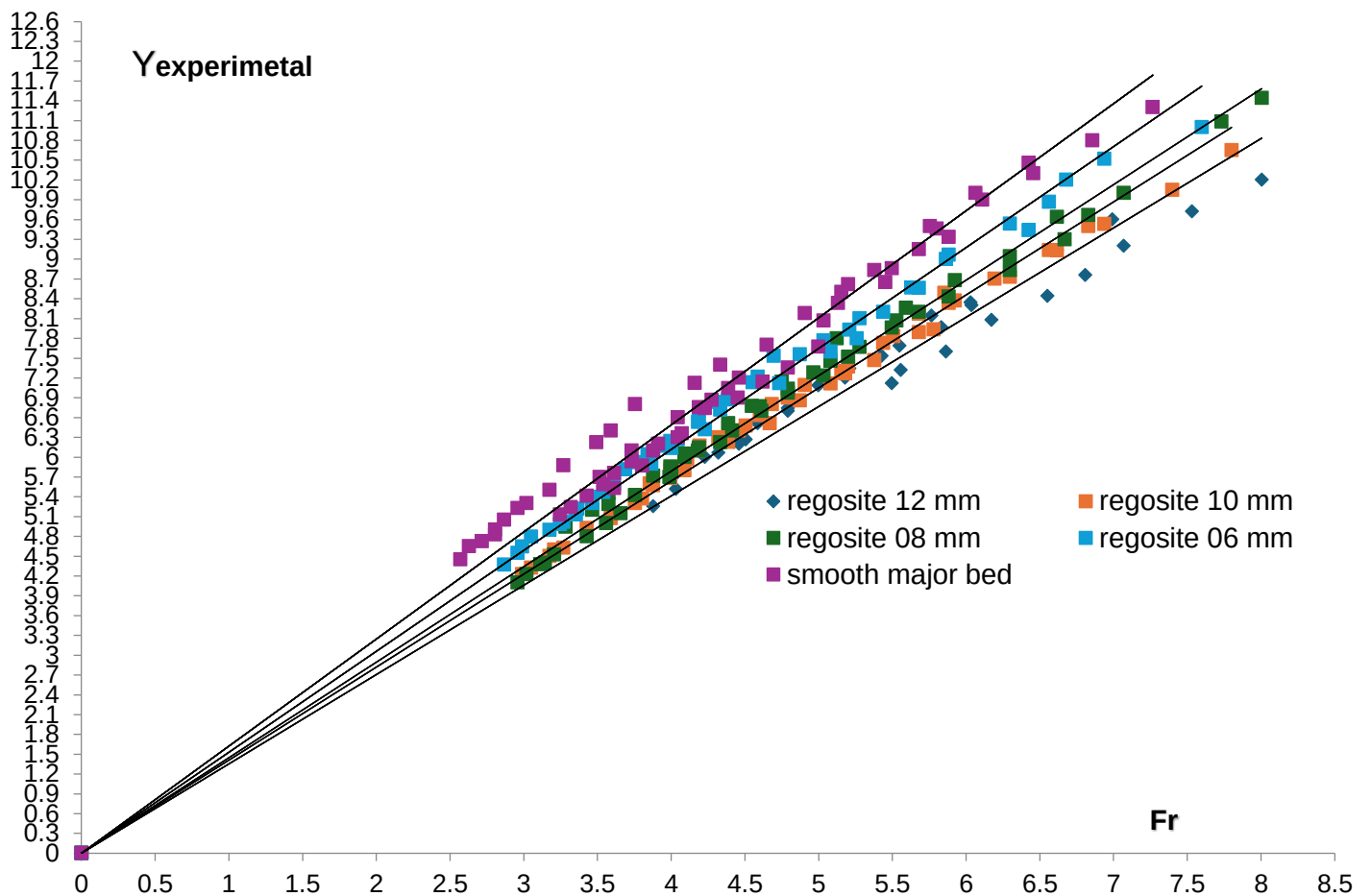


Figure 2. Profondeur de ressaut hydraulique sur le lit majeur ($15,5 < h_2 < 28$ cm) avec rugosité variable en termes de nombre de Froude.

Les figures 1 et 2 illustrent la relation entre le rapport de profondeur conjugué (Y) et le nombre de Froude (Fr) pour cinq valeurs de rugosité différentes ($\varepsilon = 0, 6, 8, 10$ et 12) dans le lit mineur ($0 < h_2 < 15,5$ cm) et le lit majeur ($15,5 < h_2 < 28$ cm). Il est évident qu'à mesure que la rugosité augmente, le rapport de profondeur conjugué (Y) diminue pour un nombre de Froude constant, ce qui indique qu'une rugosité plus élevée entraîne une profondeur de ressaut hydraulique plus faible.

Ce comportement peut être expliqué par des études antérieures. Carollo et al. (2007) ont constaté que des lits plus rugueux augmentent la turbulence, ce qui affecte directement le ressaut hydraulique et entraîne une réduction de la profondeur du ressaut. Afzal et al. (2011b) ont également souligné que la rugosité augmente la dissipation d'énergie, diminuant encore la profondeur du ressaut. De plus, Turker et Valyrakis (2020) ont souligné l'importance de la rugosité du lit dans la modification de la dynamique de l'écoulement, contribuant ainsi à une diminution du ressaut. Profondeur.

la corrélation des toutes des mesures expérimentales a été réalisé par , l'utilisation du logiciel Excel , entre le rapport Y du ressaut hydraulique et le nombre de Froude initial (F_1). Les résultats ont montré une corrélation logarithmique entre le rapport de profondeur (Y) et le nombre de Froude initial (F_1), et cette relation peut être exprimée par l'équation suivante :

$$Y = h_2/h_1 = a (F_1) \quad (1)$$

Les coefficients (a_1) et (a_2) ont été déterminés, où (a_1) correspond au lit mineur et (a_2) au lit majeur. L'équation linéaire de chaque rugosité a été dérivée pour les deux cas.

Les valeurs de ces coefficients sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Rugosité relative et coefficients de régression pour les lits mineurs et majeurs.

Rugosité (mm)	Rugosité relative (ε/b) dans le lit mineur	Rugosité relative ($\varepsilon/B-b$) dans le lit majeur	a_1	R^2	a_2	R^2
0	0	0	1.3993	0.9868	1.6224	0.9794
6	0.041666667	0.0571	1.373	0.9969	1.575	0.9932
8	0.055555556	0.0761	1.3489	0.9914	1.5228	0.9955
10	0.069444444	0.0952	1.307	0.9966	1.5025	0.9952
12	0.083333333	0.1142	1.2888	0.9977	1.4823	0.9839

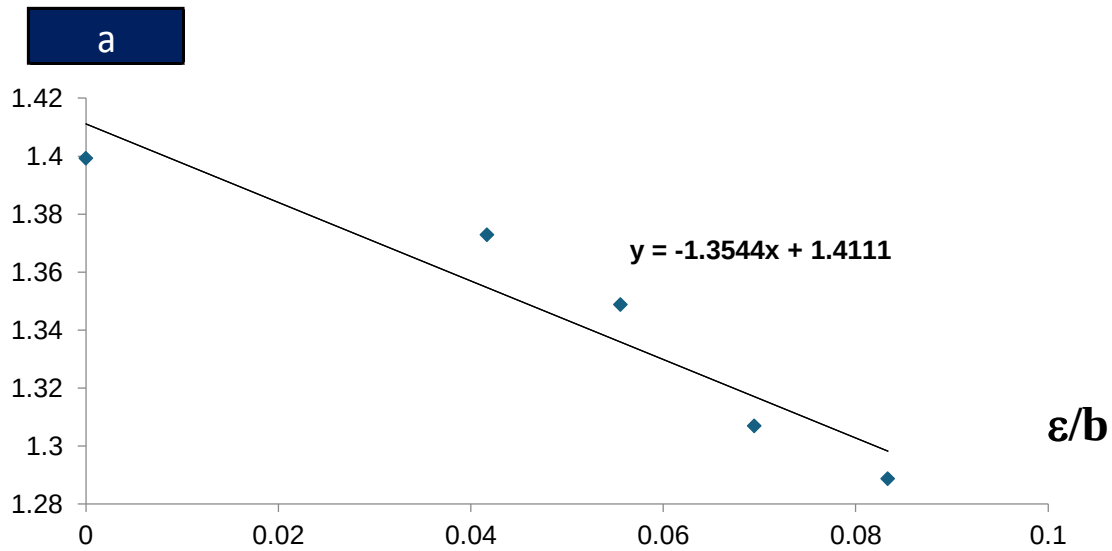


Figure 3. Variation du coefficient ' a_1 ' avec la rugosité relative (ε/b) dans le lit mineur.

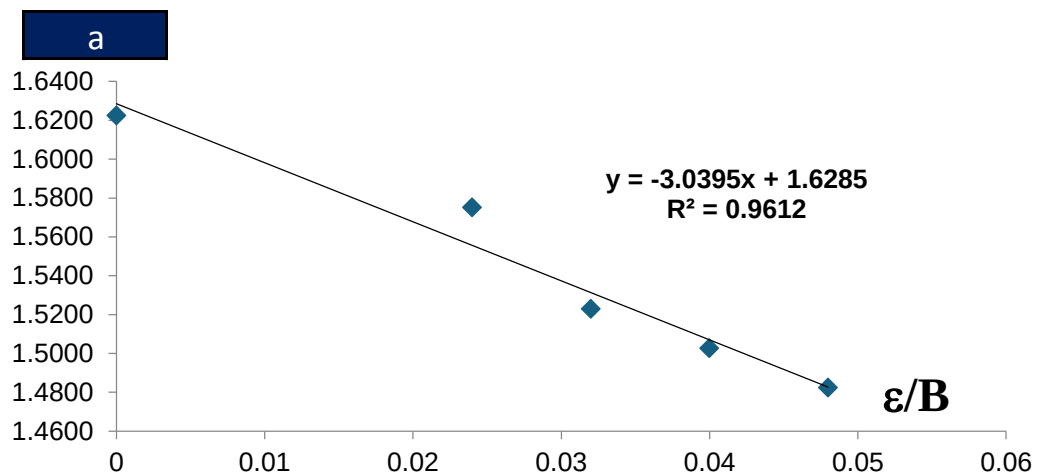


Figure 4. Variation du coefficient ' a_2 ' avec la rugosité relative (ε/B) dans le lit majeur.

D'après les figures 3 et 4, nous observons une forte corrélation entre le couple (a_1 ; ε/b) pour le lit mineur et le couple (a_2 ; ε/B) pour le lit principal, ce qui donne les équations suivantes :

Pour le lit mineur :

$$Y = h_2/h_1 = (-1.3544(\varepsilon/b) + 1.4111) (F_1) \quad (2)$$

Pour le lit principal :

$$Y = h_2/h_1 = (-3.0395 (\varepsilon/B) + 1.6285) (F1) \quad (3)$$

Les figures 5 et 6 démontrent une forte corrélation pour la relation $Y1 = f((\varepsilon/b), F1)$ et $Y2 = f((\varepsilon/B), F1)$ à la fois dans le lit mineur ($0 < (h_2) < 15,5$ cm) et dans le lit majeur ($15,5 < (h_2) < 28$ cm).

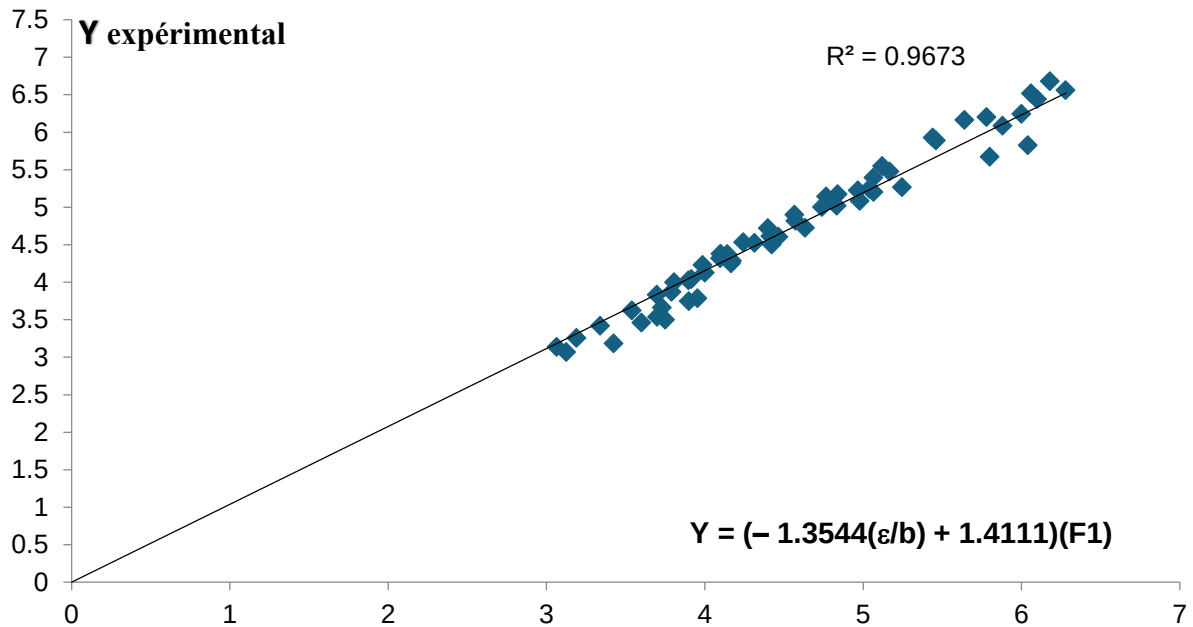


Figure 5. Représentation graphique de la relation entre les valeurs expérimentales Y_{exp} et Eq 1.

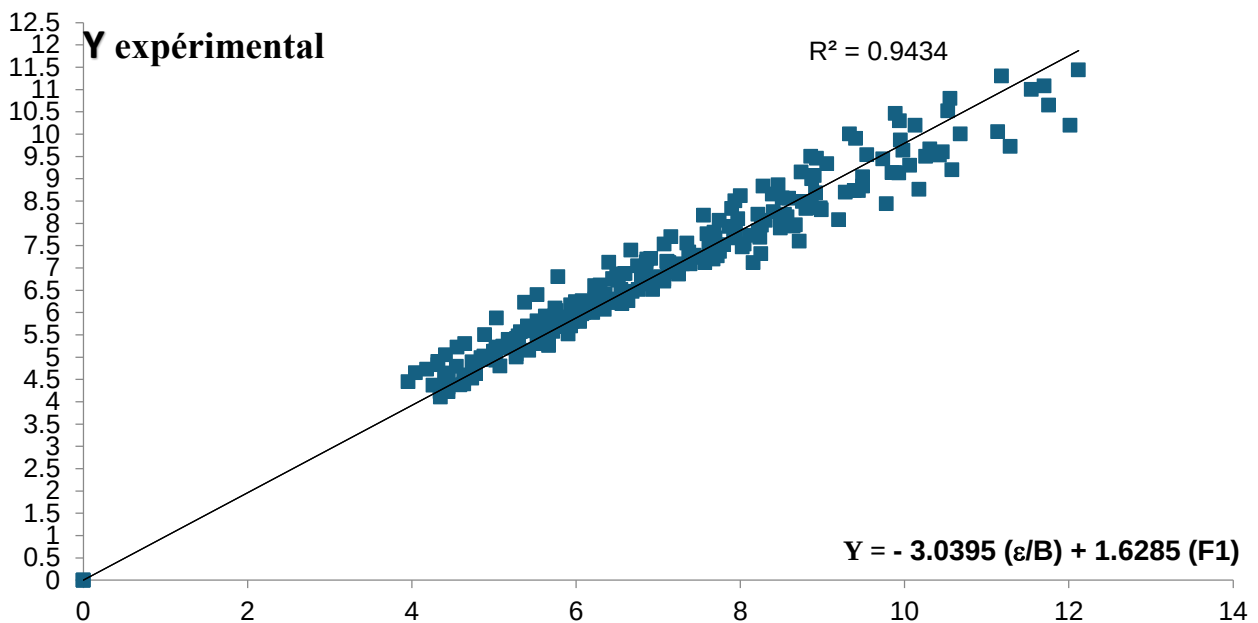


Figure 6. Représentation graphique de la relation entre les valeurs expérimentales Y_{exp} et l'équation

2. Dans les deux cas, la majorité des points de données expérimentales s'alignent étroitement sur la première bissectrice, confirmant la validité et la fiabilité des mesures expérimentales.

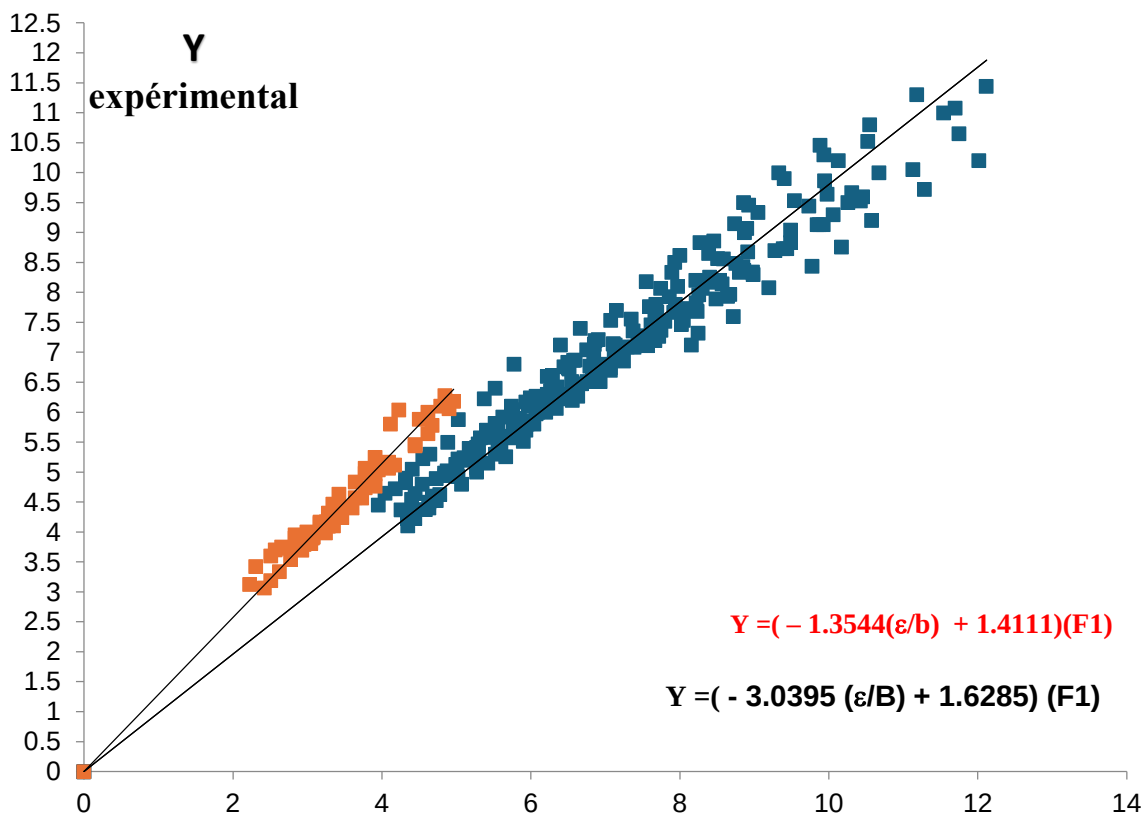


Figure 7. Graphique montrant la relation entre Y_{exp} et les équations des lits majeurs et mineurs.

D'après la figure 7, on observe que le rapport de profondeur conjugué $Y = h_2 / h_1$ est significativement plus faible dans le lit mineur (section plus étroite et moins profonde $0 < h_2 < 15,5$ cm) par rapport au lit majeur ($15,5 < h_2 < 28$ cm). Cette différence est attribuée à l'influence plus importante de la rugosité relative (ε/b) dans le lit mineur, où une rugosité plus élevée entraîne une dissipation d'énergie accrue pendant le ressaut hydraulique, réduisant ainsi la profondeur finale h_2 .

En revanche, dans le lit majeur, la rugosité relative a un impact moindre en raison de la section transversale plus grande et du volume d'écoulement plus élevé, ce qui permet de conserver plus d'énergie après le ressaut et d'obtenir un rapport de profondeur Y plus élevé. La figure 6 confirme que la section composée a un effet réducteur dans le lit mineur que celui du lit majeur.

CONCLUSION

Cette étude a examiné expérimentalement l'influence de la rugosité imposée dans la section composée sur le ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire composé, en se concentrant sur le rapport de profondeur relative. Les résultats ont démontré de manière concluante qu'une rugosité accrue du lit réduit significativement le rapport de profondeur relative par rapport à son homologue lisse . Cette réduction est attribuée à un transfert de quantité de mouvement accru, entraînant une dissipation d'énergie plus importante et une longueur de rouleau plus courte, limitant ainsi l'augmentation de la profondeur d'eau en aval. L'influence de la rugosité relative s'est avérée plus prononcée dans le lit mineur que dans le lit majeur. De plus, des équations empiriques ont été développées, reliant le rapport de profondeur relative au nombre de Froude et à la rugosité relative, permettent de dimensionner les ouvrages hydrauliques notamment les bassins d'amortisseur des barrages

En conclue que la rugosité testée et imposée aux lits de la section rectangulaire composée a l'effet de réduction vis-à-vis les caractéristiques hydrauliques beaucoup plus au lit mineur que celui au lit majeur justifiant la rentabilité de dissipation d'énergie au fond du canal rectangulaire composée.

CONCLUSION DU SECOND VOLET

Ce présent recherche scientifique a été scindé deux chapitres principaux.

Pour le premier chapitre, nous nous sommes essayé de montrer le Protocol d'expérimentation servant à l'expérimentation voir diverses photos , on a essayé de montrer la procédure de calcul des débits volumétriques par l'utilisation de l'approche théorique développée par Hachemi Rachedi(2006)

Aussi on a bien montré les diversss tapis rugueux conçus au niveau du laboratoire

Cette étude a examiné l'influence de la rugosité absolue et imposée aux lits de la section rectangulaire composée . Les résultats ont prouvé la rugosité testée imposée au lit mineur et celui le lit majeur réduit significativement le rapport de profondeur relative par rapport à son homologue lisse . Cette réduction entraîne une dissipation d'énergie plus importante et une longueur de rouleau plus courte, limitant ainsi l'augmentation de la profondeur d'eau en aval. L'influence de la rugosité relative s'est avérée plus prononcée dans le lit mineur que dans le lit majeur. De plus, des équations empiriques ont été développées, reliant le rapport de profondeur relative au nombre de Froude et à la rugosité relative, permettent de dimensionner les ouvrages hydrauliques notamment les bassins d'amortisseur des barrages

En conclue que la rugosité testée et imposée aux lits de la section rectangulaire composée a l'effet de réduction vis-à-vis les caractéristiques hydrauliques beaucoup plus au lit mineur que celui au lit majeur justifiant la rentabilité de dissipation d'énergie au fond du canal rectangulaire composée.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce travail de mémoire de fin d'études a été étudié, de point de vue expérimental en but de développer quelques approches empiriques adimensionnelles permettant de dimensionner les ouvrages hydrauliques notamment les bassins d'amortisseur. Ainsi notre tâche primordiale concerne l'expérimentation du ressaut hydraulique développé en canal rectangulaire de forme composé rugueuse

Ce mémoire a été scindé en deux axes principaux :

Pour le premier chapitre on note que l'ensemble des résultats liées à cette étude des écoulements brusquement varié développé en canal rectangulaire composée en lit mineur rugueux (Walid et Ghomri). Dans cette étape, nous avons présenté la variation du $Y = h_2/h_1$ du ressaut variant avec F_1 incident pour diverses rugosité pour les deux lits de la section composée ce qui a permis des approches adimensionnelles à caractère global

Pour le deuxième chapitre : par lequel on a exposé des résultats obtenus concernant les écoulements développés dans le canal composé rugueux, l'auteur est arrivé à développer des relations adimensionnelles fonctionnelles qui se résument comme suit :

01/ les ajustements des motifs acquis ont donné une équation importante liant Y ; le paramètre $(\varepsilon/B-b)$ et facteur du régime d'écoulement F_1 . ce paramètre de la rugosité a provoqué un effet de réduction significative aux caractéristiques des écoulements étudiés

Cette présente recherche scientifique a été scindée en deux chapitres principaux.

Pour le premier chapitre, nous nous sommes essayé de montrer le Protocole d'expérimentation servant à l'expérimentation voir diverses photos, on a essayé de montrer la procédure de calcul des débits volumétriques par l'utilisation de l'approche théorique développée par Hachemi Rachedi(2006)

Aussi on a bien montré les divers tapis rugueux conçus au niveau du laboratoire

Cette étude a examiné l'influence de la rugosité absolue et imposée aux lits de la section rectangulaire composée. Les résultats ont prouvé la rugosité testée imposée au lit mineur et celui du lit majeur réduit significativement le rapport de profondeur relative par rapport à son homologue lisse. Cette réduction entraîne une dissipation d'énergie plus importante et une longueur de rouleur plus courte, limitant ainsi l'augmentation de la profondeur d'eau en aval. L'influence de la rugosité relative s'est avérée plus prononcée dans le lit mineur que dans le lit majeur. De plus, des équations empiriques ont été développées, reliant le rapport de profondeur relative au

nombre de Froude et à la rugosité relative, permettent de dimensionner les ouvrages hydrauliques notamment les bassins d'amortisseur des barrages

On conclue que la rugosité testée et imposée aux lits de la section rectangulaire composée a l'effet de réduction vis-à-vis les caractéristiques hydrauliques beaucoup plus au lit mineur que celui au lit majeur justifiant la rentabilité de dissipation d'énergie au fon

Finalement, On recommanderait aux étudiants futurs de continuer ces recherches expérimentales dans ce type de canal en but de développer d'autres approches globales adimensionnelles caractérisant ce type du ressaut hydraulique et de dimensionner les ouvrages hydrauliques notamment les bassins de dissipation d du canal rectangulaire composée .

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.

B

Bousmar, D., Wilkin, N., Jacquemart., J H, Zech Y., Overbank flow in symmetrically narrowing flood plains. JH Eng 2004; 130(4): 305-312.

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.

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 intitulé : 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., (24. November 2021)., Séminaire national sur l'eau, géotechnique et environnement tenu au centre universitaire de Mila. Communication orale intitulé « étude de l'approche expérimentale de la longueur relative du ressaut hydraulique contrôlé par un seuil à paroi mince évoluant dans un canal rectangulaire de section composée avec lit mineur rugueux

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.

K

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.

R

Riguet, F., Debabeche, M., Ghomri, A., (2019). Expérimental study of the sequent depth ratio of the hydraulic jump in a straight compound rectangular channel; Journal of Fundamental and Applied Sciences ISSN 1112-9867.

