

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

UNIVERSITE ECHAHID HAMMALAKHDAR

Faculté de technologie
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:

Contribution à l'étude comparative du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée avec lit mineur et majeur rugueux

ALI Présenté par:

Ababsa meriem
Habita Khaled
Hadjer Boukhalfa

Promoteur :

President	Mr. RIGUET Ferhat	El-Oued University
Examiner	Mr. KHATER Ibtissam	El-Oued University
Supervisor	Mr. GHOMRI Ali	El-Oued University

Promotion: Juin 2023

إهداء

وماتوفيقي إلا بالله "الحمد لله أولاً وآخراً

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار “

إلى من علمني العطاء بدون انتظار

إلى من أحمل إسمه بكل افتخار

والدي العزيز

وإلى ملاكي في الحياة

إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان أمي الغالية

و ثم اشكر زملائي برفقتهم عملنا و شاركنا في اتمام مشرع التخرج: مريم

عبابسة و خالد هبيته وإلى القريبين من القلب والداعمين والمساندين في

السراء والضراء شكرا لكم.

والشكر الخاص للاستاد المحترم علي غمري حفظه الله ورعاه

عبابسة مريم - هاجر بوخالفة

دفعة جوان 2023

∞ Dédicaces ∞

Quoi de plus de pouvoir partager la joie de la réussite avec les êtres qu'on aime. Arrivés au terme de nos études, nous avons le grand plaisir de dédier ce modeste travail aussi à : Nos chers parents, qui nous donnent toujours l'espoir de vivre et qui n'ont jamais cessé durant toutes leurs vies, de prier pour nous.

Enfin, nous dédions ce modeste travail à tous les membres de nos familles, nos amis, tous les professeurs qui nous ont enseigné par le passé et à tous ceux qui nous sont chers !

Habita Khaled

Promo: juin 2023

∞ Remerciement ∞

*Nous tenons à remercier, en premier lieu, **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donné la volonté et la patience pour mener à bien ce modeste travail.*

Nous adressons nos vifs remerciements à Mr. Ghomri Ali, notre professeur consultant qui nous a orienté et dirigé avec ses conseils et commentaires très précieux, durant l'élaboration de ce de notre mémoire.

Nous remercions également, tous nos enseignants pour nous avoir guidés et conseiller tout au long de notre cursus universitaire.

Nous témoignons aussi, notre profonde gratitude aux cadres administratifs de la faculté des sciences et de la technologie de l'université d'El. Oued, qui nous a tous facilités avec leurs accueils et disponibilités.

Enfin, merci à tous ce qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet et que les personnes qui n'ont pas été citées, puissent nous en excuser et trouver dans cette note l'expression de toute notre gratitude.

Ababsameriem , Boukhalfahadjer et Habita Khaled

Sommaire

Dédicaces	
Remerciement	
Sommaire	I
LISTE DE FIGURES	 III
PRINCIPALES NOTATIONS	 V
ملخص	 VI
Résumé	 VI
Introduction générale:	 2

PREMIERE PARTIE :BIBLIOGRAPHIE

ChapitreI:APPROCHE DE KHATTAOUI ET ACHOUR

I.1. INTRODUCTION:	 5
I.2. APPROCHE DE KHATTAOUI ET ACHOUR 2012:	 5
I.2.1. les différentes caractéristiques hydrauliques du ressaut hydrauliques:	 5
I.3.Conclusion	 8

ChapitreII: APPROCHE DE RIGUET et ALL

II.1. la problématique:	 10
II.2. analyse des essais expérimentaux:	 10
$F_{12} = Q^2 b^2 h^{13} g^{(2.1)}$	 11
$Q = 0,37942 g \beta^1 + 0,16496 \beta^2, 07163 / 2 H^{dev3/2} (2.2)$	 11
.....	 12
II.3.3. résultats expérimentaux:	 12
II.3.3.1. rapport des hauteurs conjuguées:	 12
II.4. CONCLUSION:	 13

DEUXIEME PARTIE : PARTIE EXPERIMENTALE

ChapitreI: Protocole expérimentale

I.1. INTRODUCTION :	 16
Nous allons étudier dans ce premier chapitre , les dispositifs de mesure ainsi que le protocole expérimental.	 16
I.2. procédure d'expérimentation:	 16

I.3. APPAREILLAGES DE MESURE :	18
I.3.1. procédure de mesure des débits :	18
I.3.2. l'appareil Limnimétrique:	19
I.4. APERÇU DES ESSAIS EXPERIMENTAUX:	20
I.4.1. protocole expérimental des essais:	20
I.4.2. mode de préparation de la rugosité équivalente:	23
I.5. CONCLUSION :	25

Chapitre II: Résultats et discussions

II.1. INTRODUCTION:	27
II.2. ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX	27
III.2.3. Variation du rapport des hauteurs conjuguées h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude F_1 dans le lit majeur rugueux.....	29
2.3 ETUDE COMPARATIVE DU RAPPORT DES PROFONDEURS DU RESSAUT HYDRAULIQUE EVOLUANT EN CANAL RECTANGULAIRE COMPOSE AVEC LIT MINEUR ET MAJEUR RUGUEUX.....	30
2.3.1 COMPARAISON ENTRE LE RAPPORT DES HAUTEURS Y VARIANT EN FONCTION DU NOMBRE DE FROUDE Fr	30
2.3.2 COMPARAISON ENTRE LE RAPPORT DES HAUTEURS Y VARIANT EN FONCTION DU NOMBRE DE FROUDE Fr pour le lit majeur lisse et celui rugueux	31
.....	1
CONCLUSION GENERALE	34
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	38
Annexes	38

LISTE DE FIGURES

PREMIERE PARTIE :BIBLIOGRAPHIE

Figure I. 1: configuration du ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de section composée.....	5
Figure I. 2: le rapport de Y, calculé par (1.4), varie en fonction de F_1 . (— — —) : $\beta = 1$	7
Figure I. 3:le rapport de Y varie en fonction de F_1 . (o) : expression (1.6), (+) : expression(1.4).	8
Figure II. 1: configuration du ressaut contrôlé par seuil mince en canal rectangulaire de forme composée.	10
Figure II. 2:Photographie du canal ayant servi à l'expérimentation (laboratoire larhyss de Biskra)	12
Figure II. 3:le rapport des hauteurs conjuguées Y varie en fonction de Froude F_1 pour le canal composée. (o)les mesures expérimentales pour le lit majeur ; (Δ) les mesures expérimentales pour le lit mineur . (—) Courbes d'ajustements.....	13

DEUXIEME PARTIE : PARTIE EXPERIMENTALE

Figure I.1: photographie du canal d'expérimentation(Laboratoire Université Ouargla).	16
Figure I.2 : Photographie de la pompe axiale(Laboratoire Université Ouargla).....	17
Figure I.3: Photographie de La vanne de régulation du débit(Laboratoire Université Ouargla).	17
Figure I.4: Photographie du déversoir rectangulaire avec contraction latérale pour mesurer les débits pompés(Laboratoire Université Ouargla).	18
Figure I.5: Schéma de définition de la deuxième partie du canal avec déversoir, Hachemi, 2007.....	19
Figure I.6:La profondeur d'eau mesuré par pointe limnimétrique(Laboratoire Université Ouargla).....	20
Figure I.7: Photographie des ouvertures (h_1 (cm) = 02 ; 02.5 ; 03 ; 03.5 et 04)(Laboratoire Université Ouargla).	21
Figure I.8: Photographie des parois de contrôle du ressaut(Laboratoire Université Ouargla).	22
Figure I.9: Photographe du ressaut hydraulique . a) Vue à l'amont du ressaut lisse. b) Vue à l'aval du ressaut lisse(Laboratoire Université Ouargla).	23

Figure I.10: Photographie des tapis rugueux imposés au lit majeur du canal composé . a) canal avec fond lisse. et avec lit majeur rugueux(Laboratoire Université Ouargla).	24
Figure I.11: Photographie des tapis rugueux imposés au lit mineur du canal composé . a) canal avec fond lisse. b) canal avec lit mineur rugueux.	24
Figure I.12: Les tapis rugueux divers (a) la méthode de conception des tapis rugueux ; (b) les divers tapis rugueux(Laboratoire Université Ouargla).....	25
Figure II.1: Variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude, pour cinq valeurs différentes de " ε " : ($\diamond$) 12 mm ;($\square$) 10 mm ; (Δ) 08 mm ; (O) 06 mm et ($*$) 0 mm. (—) Courbes d'ajustements.	28
Figure II.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	28
Figure II.3.Variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude dans le lit majeur rugueux , pour cinq rugosités différentes testées" ε ($\diamond$) 12 mm ;($\blacksquare$) 10 mm ; ($\blacktriangle$) 08 mm ; (x) 06 mm et ($*$) 0mm.(—) Courbes d'ajustements.	29
Figure II.4 comparaison du rapport Y en fonction du nombre de Froude Fr pour le lit mineur lisse et rugueux.....	30
Figure II.5 : variation du rapport Y en fonction de Fr pour le lit majeur rugueux et celui lisse	31

PRINCIPALES NOTATIONS

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

ملخص

تهدف هذه المذكرة الحالية إلى المساهمة في الدراسة والمقارنة لنسبة الارتفاعات للقفزة الهيدروليكية التي تتطور داخل قناة مستطيلة الشكل مركب مع قاع رئيسي وثنائي خشن. أتاحت الدراسة الى إظهار نوع القفزة الهيدروليكية التي تتطور داخل القناة المستطيلة الأكثر مردودية وربحية فيما يتعلق بتبديد الطاقة. الكلمات الرئيسية: القفز الهيدروليكية، القناة المستطيلة المركبة، خشونة القاع الأعلى والأسفل ، حوض التبديد.

Résumé

Ce présent mémoire est destiné à la Contribution de l'étude comparative du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée avec lit majeur et mineur rugueux. L'étude a permis de montrer le type du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire composé rugueux le plus efficace et rentable vis-à-vis la dissipation d'énergie.

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

Abstract

This present dissertation is intended for the contribution of the comparative study of the ratio of the combined heights of the hydraulic jump evolving into a rectangular channel of compound shape with a rough major and minor bed. The study made it possible to show the type of hydraulic jump evolving into the most efficient and profitable compound rough rectangular channel with regard to energy dissipation.

Keywords: Hydraulic jump, compound rectangular channel, minor and major bed roughness, dissipation basin.

Introduction générale

Introduction générale:

les barrages évacuent un débit important notamment en période de crue qui traverse l'évacuateur des crues vers l'aval de l'ouvrage pour être dirigé vers l'oued, et pour éviter des érosions néfastes qui peuvent être créées, nous créons ce que l'on appelle des bassins de dissipation d'énergie. Pour cela les chercheurs traitent ce phénomène par le moyen le moins onéreux qui s'appelait le ressaut hydraulique dans le but, d'évaluer les caractéristiques géométriques de celui-ci, telles que : les profondeurs initiale 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.

Le phénomène du ressaut hydraulique peut se produire à l'aval immédiat d'une vanne du fond, ou au piedmont d'un barrage déversoir. 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.

Ce présent mémoire a pour but d'**étudier et faire comparative du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée avec lit majeur et mineur rugueux**. Des approches fonctionnelles, en terme adimensionnel, liant les différentes caractéristiques du ressaut, apparaissant l'influence de la rugosité des lits du canal sur les caractéristiques du ressaut, seront exposées. Il est très important de noter que ce type de ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de section composée avec lits rugueux n'a pas été entamé antérieurement, et pour combler cette lacune que notre thème de recherche a été présentée.

Notre mémoire est scindée en deux parties principales:

La première partie concernera une étude bibliographique à travers laquelle nous passerons en revue les travaux entrepris dans le domaine du ressaut hydraulique, en canal rectangulaire composé,

- La seconde partie concernera notre propre contribution intitulée : **Contribution à l'étude comparative du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée avec lit majeur et mineur rugueux**, d'un point de vue expérimentale.

Première partie

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION DE LA PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE:

La première partie de notre mémoire est consacrée aux travaux précédemment faits qui ont une relation avec notre mémoire. Ces chercheurs sont parvenus à des résultats fiables grâce à leurs plusieurs expériences réalisées en laboratoire, d'une part pour obtenir une structure acceptable du bassin d'amortissement, d'autre part, pour solutionner les phénomènes de dégradation du lit de la vallée et l'aval des Barrages.

A cet effet, nous avons partagé **cette partie première en deux chapitres principaux.**

On s'intéressera aux

On s'intéressera aux activités relatives au ressaut hydraulique évoluant dans un canal rectangulaire dont on portera sur :

- **Pour le premier chapitre c'est** le ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de section composée droit, nous allons présenter l'approche théorique de Khattaoui et Achour en 2012 concernant le ressaut hydraulique évaluant canal rectangulaire de section composée.
- **Pour le deuxième chapitre 2** sera consacrée 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.

ChapitreI

APPROCHE DE

KHATTAOUI ET ACHOUR

I.1. INTRODUCTION:

Nous aborderons dans ce premier chapitre, l'approche théorique présentée par Khattoui et Achour en 2012 concernant le ressaut hydraulique en lit composé,

I.2. APPROCHE DE KHATTAOUI ET ACHOUR 2012:**I.2.1. les différentes caractéristiques hydrauliques du ressaut hydrauliques:**

La figure ci-dessous. (1.1) indique les caractéristiques hydrauliques et géométriques du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée.

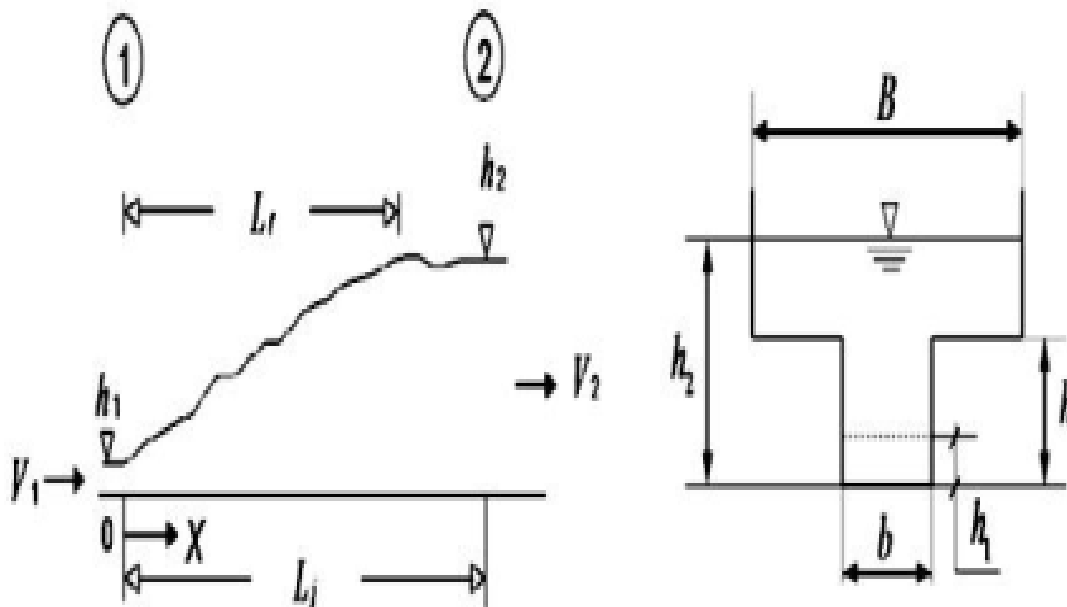


Figure I. 1: configuration du ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire de section composée

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 :

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

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

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.

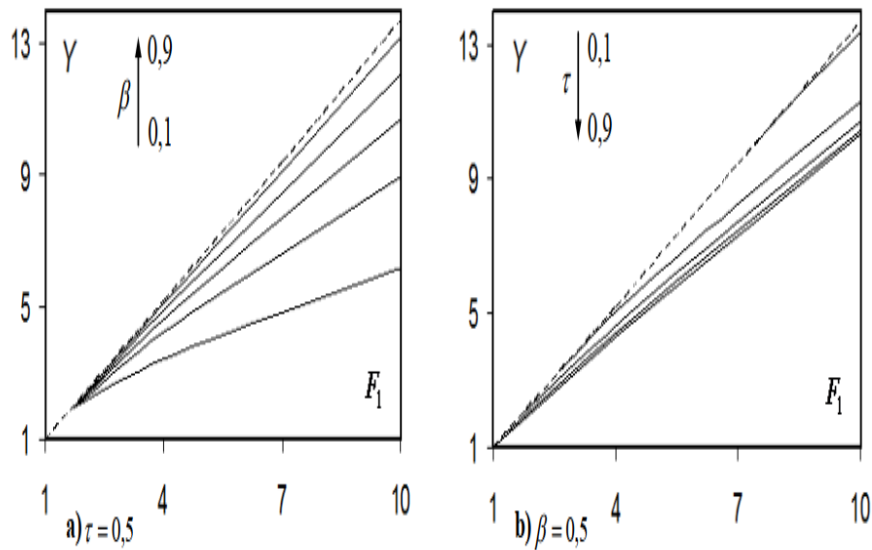


Figure I. 2: le rapport de Y , calculé par (1.4), varie en fonction de F_1 . (— — —) : $\beta = 1$.

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

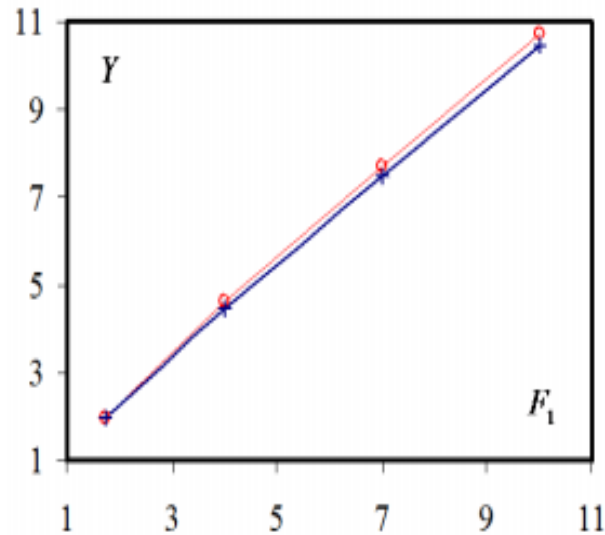


Figure I. 3: le rapport de Y varie en fonction de F_1 . (o) : expression (1.6), (+) : expression (1.4).

I.3.Conclusion

A travers ce premier chapitre, nous avons cité, les travaux de Khattoui et Achour en 2012, liée avec le ressaut hydraulique formé en canal rectangulaire de forme composée. Cette relation fonctionnelle est de forme $\phi (Fr_1, Y, \beta, \tau) = 0$ sans tenir compte des forces de frottements. Une relation deuxième a été exposée y compris les forces de frottements. L'approche globale est déduite par le développement théorique mené par Achour (2000) sur le ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie.

Chapitre II

APPROCHE DE RIGUET et ALL

II.1. la problématique:

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

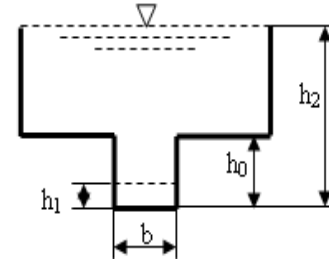
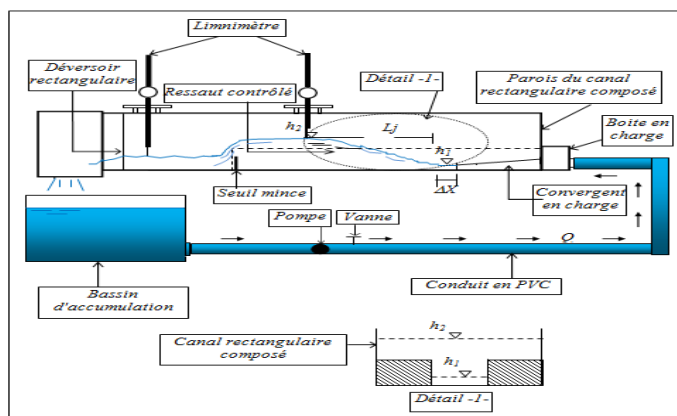


Figure II. 1: configuration du ressaut contrôlé par seuil mince en canal rectangulaire de forme composée.

II.2. analyse des essais expérimentaux:

Une série de mesures expérimentales ont été obtenues lors de l'expérimentation faite au laboratoire, pour chacune des mesures obtenue intervient au phénomène du ressaut hydraulique formé, a permis aussi, d'aboutir à des résultats fiables. Ces caractéristiques

obtenues sont : la hauteur amont h_1 , le débit d'écoulement Q , la hauteur du seuil mince s , la hauteur aval h_2 . Ces mesures permettent de composer les produits adimensionnels tel que : le rapport des profondeurs $Y = h_2/h_1$ et le nombre de Froude F_1 :

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

Une fois le profil du ressaut se forme, nous réalisons, pour une hauteur amont h_1 et une position x de seuil données, les étapes suivantes 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 (HachemiRachediL.2006) :

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

OU :

Q : le débit volumique en (m^3/s).

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

b : l'échancrure du canal (m).

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

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

H_{dev} : La lame déversant en (m).

3. le nombre de Froude se Calcule, par application de l'expression (1.5).
4. la lecture de la hauteur aval h_2 du ressaut hydraulique.



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

II.3.3. résultats expérimentaux:

II.3.3.1. rapport des hauteurs conjuguées:

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

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

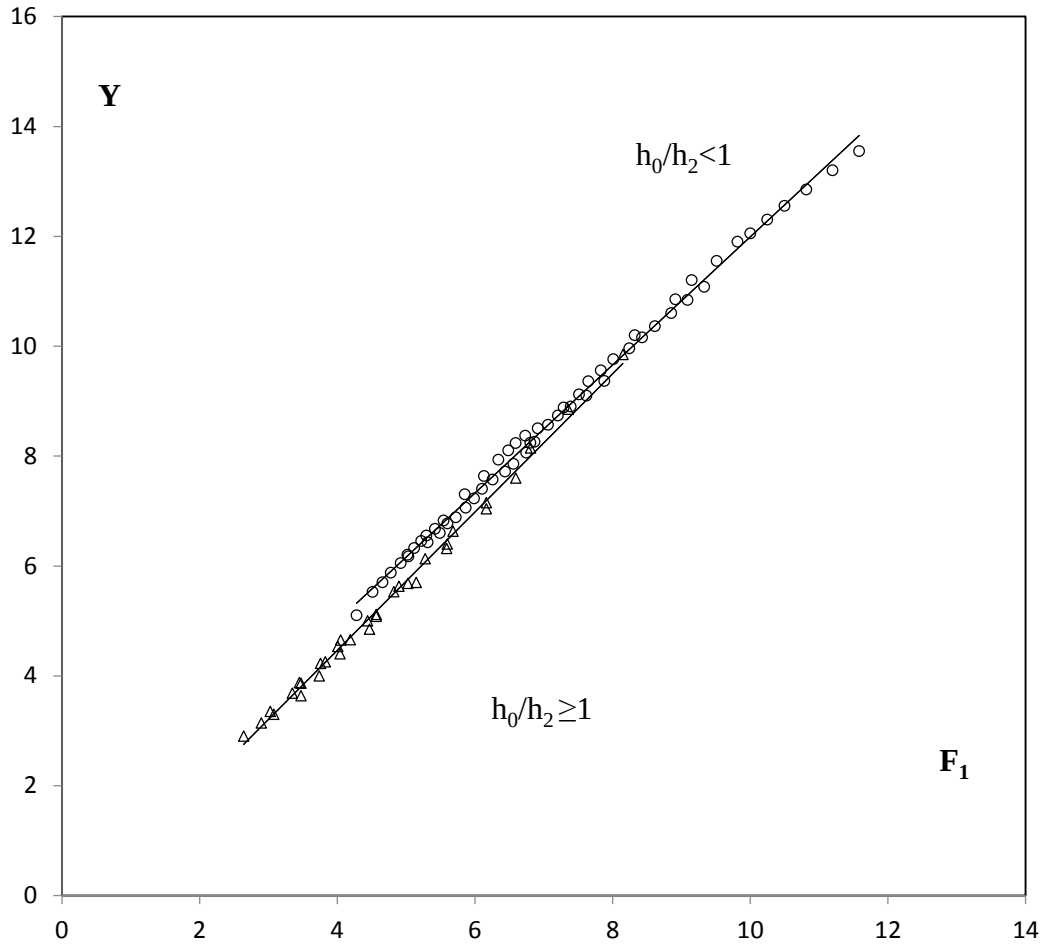


Figure II. 3: le rapport des hauteurs conjuguées Y varie en fonction de Froude F_1 pour le canal composée. (o) les mesures expérimentales pour le lit majeur ; (Δ) les mesures expérimentales pour le lit mineur . (—) Courbes d'ajustements.

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

$$\text{Pour } h_0/h_2 \geq 1 \text{ et } 2.64 < F_1 < 8.14 \quad Y = 1,258 F_1 - 0,573 \quad (2.3)$$

$$\text{Pour } h_0/h_2 < 1 \text{ et } 4.27 < F_1 < 11.58 \quad Y = 1,165 F_1 + 0,328 \quad (2.4)$$

II.4. CONCLUSION:

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 rapport des hauteurs $Y = h_2/h_1$ au lit mineur que celui au lit majeur.

DEUXIEME PARTIE :

PARTIE EXPERIMENTALE

ChapitreI

Protocole expérimentale

I.1. INTRODUCTION :

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

I.2. procédure d'expérimentation:

Les essais ont été effectués dans un banc expérimental montré à la figure (1.1) 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 I.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 effectuée par une pompe axiale assurant un débit arrivant à 55,55 l/s. Les essais ont été réalisés dans un canal conçu au 'Laboratoire d'exploitation et valorisation des ressources naturelles en zones aride' de l'Université de Ouargla.



Figure I.2 : Photographie de la pompe axiale (Laboratoire Université Ouargla).



Figure I.3: Photographie de La vanne de régulation du débit (Laboratoire Université Ouargla).

I.3. APPAREILLAGES DE MESURE :**I.3.1. procédure de mesure des débits :**

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



Figure I.4: Photographie du déversoir rectangulaire avec contraction latérale pour mesurer les débits pompés (Laboratoire Université Ouargla).

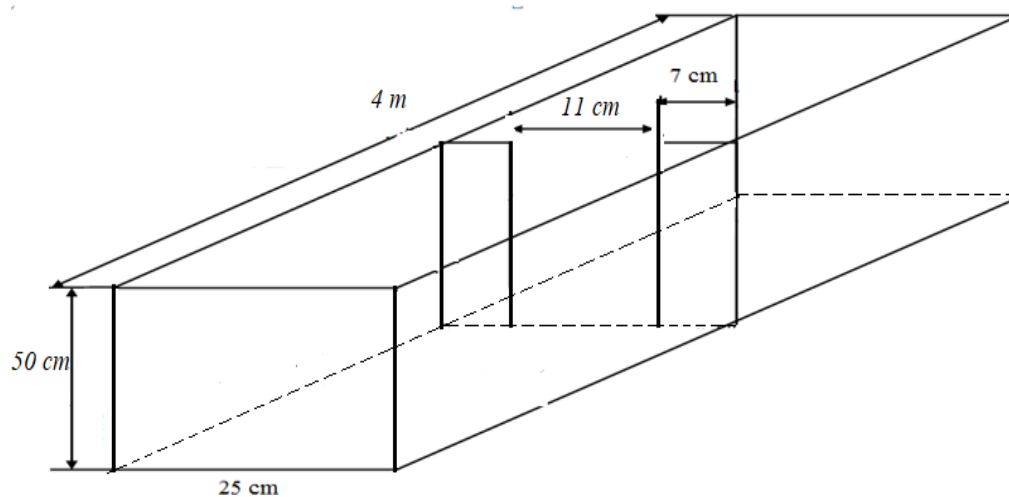


Figure I.5: Schéma de définition de la deuxième partie du canal avec déversoir, Hachemi, 2007.

En effet, lors du passage du débit Q à travers les deux parois du débitmètre, la hauteur h_{dev} de la lame d'eau qui traverse ce débitmètre est lue sur l'appareil limnométrique placé au-dessus du déversoir. par conséquent, le débit spécifique est obtenu en entrant la hauteur h dans l'équation (1.1) du déversoir.

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

ou :

Q : Le débit spécifique en (m^3/s).

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

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

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

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

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

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

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

I.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 1.6).

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

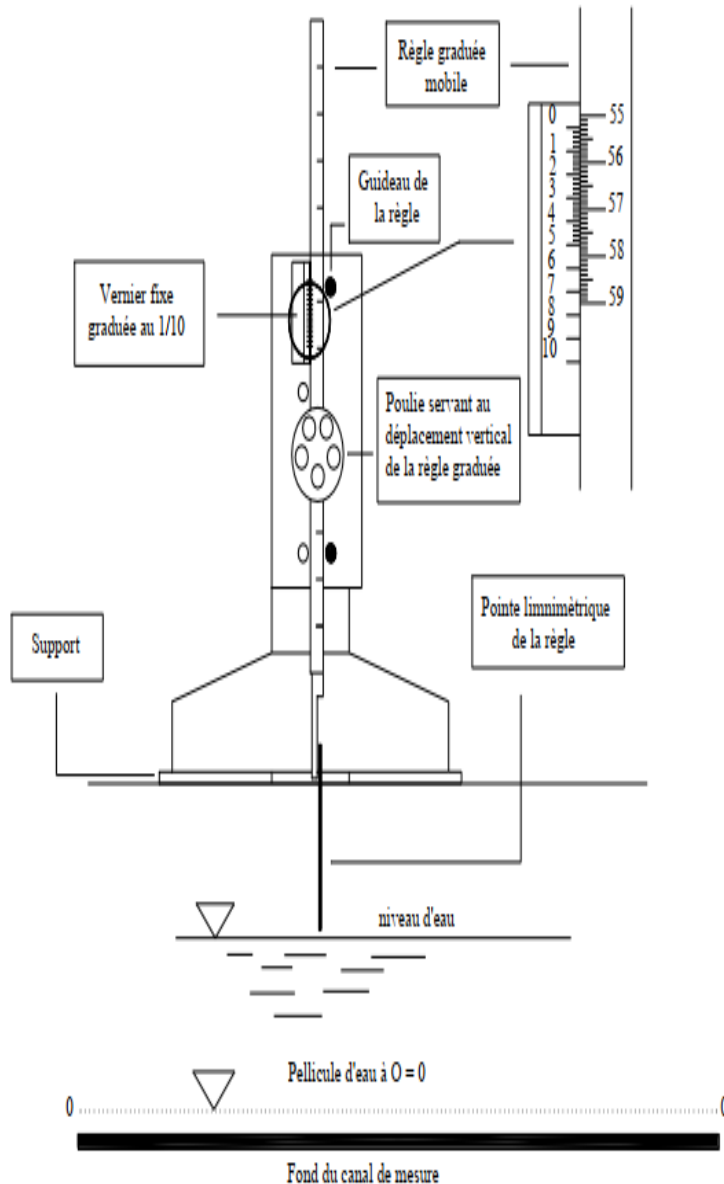


Figure I.6: La profondeur d'eau mesurée par pointe limnimétrique (Laboratoire Université Ouargla).

I.4. APERÇU DES ESSAIS EXPERIMENTAUX:

I.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 ($2 < F_1 < 20$).

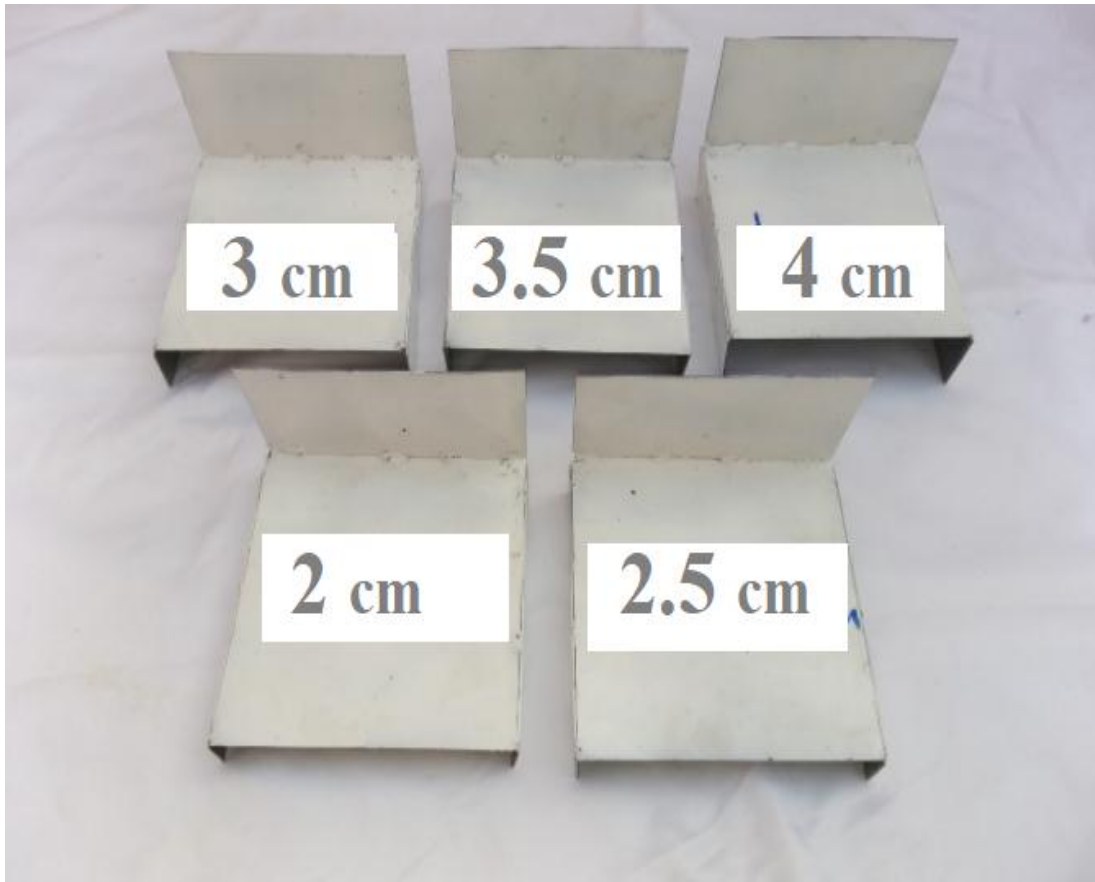


Figure I.7: Photographie des ouvertures (h_1 (cm) = 02 ; 02.5 ; 03 ; 03.5 et 04) (Laboratoire Université Ouargla).

Les parois de différentes hauteurs 'S'ont été examinées (Figure1.8), 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.

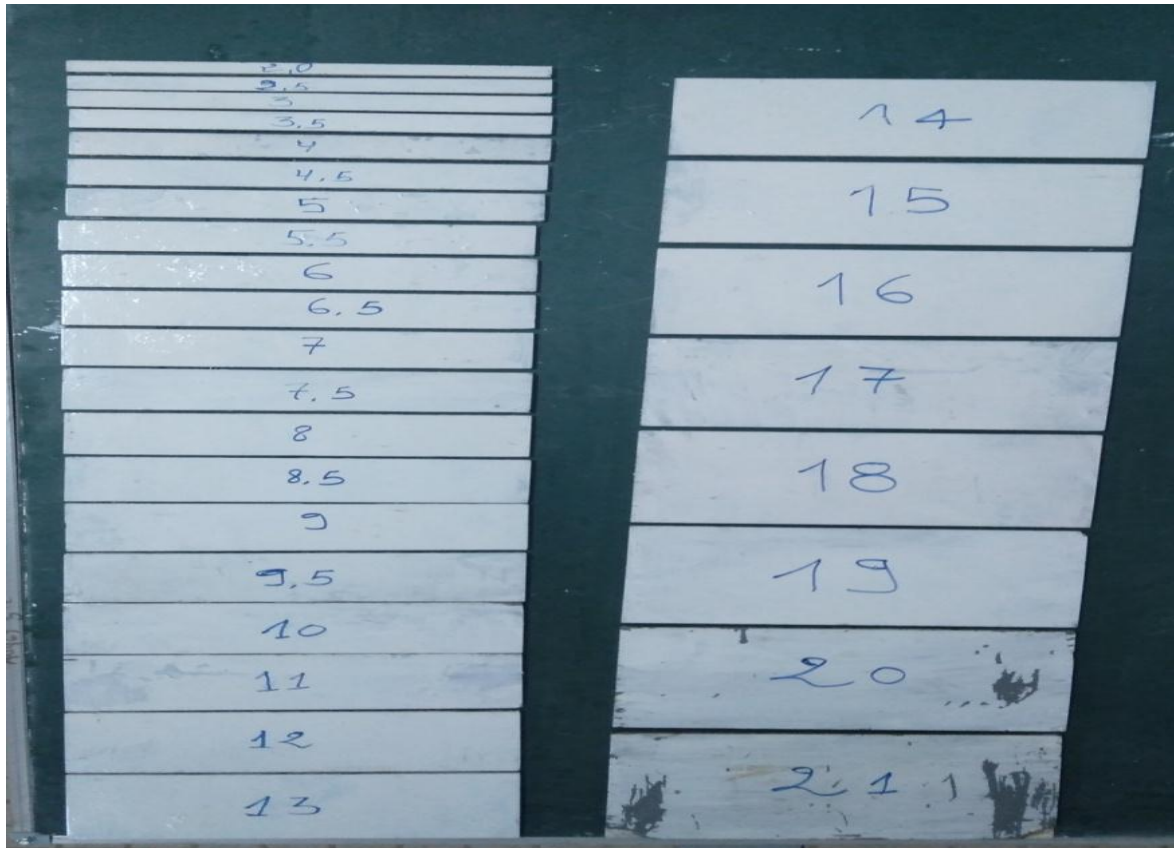


Figure I.8: Photographie des parois de contrôle du ressaut (Laboratoire Université Ouargla).

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

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

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

- hauteur amont h_1 ; [m]
- hauteur aval h_2 ; [m]

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

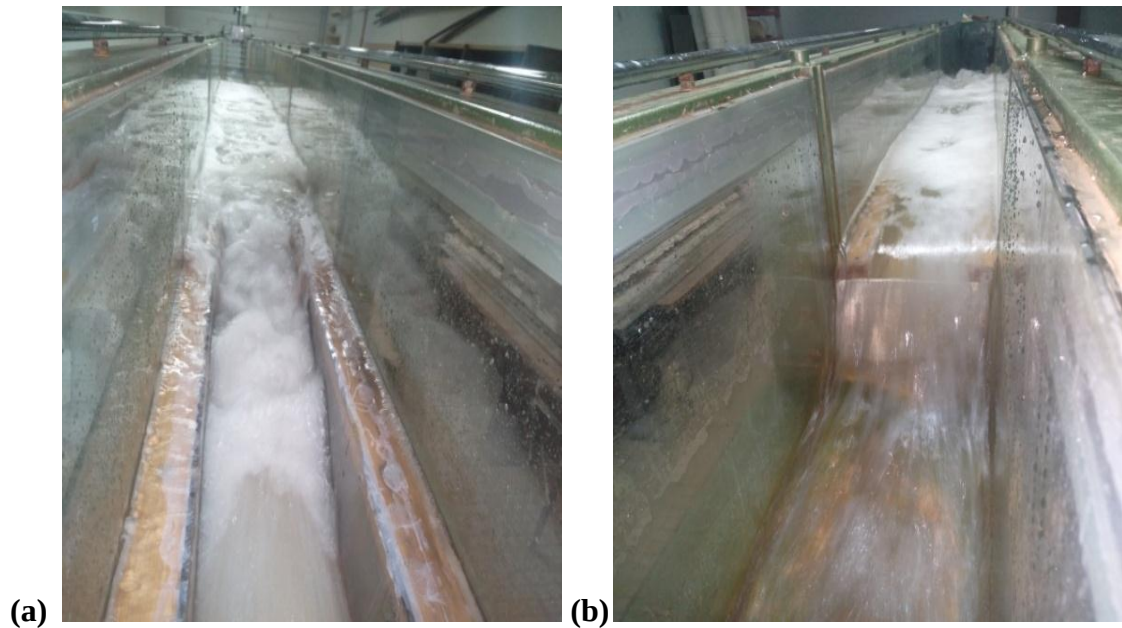


Figure I.9: Photographie du ressaut hydraulique. a) Vue à l'amont du ressaut lisse. b) Vue à l'aval du ressaut lisse (Laboratoire Université Ouargla).

I.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 (1.11) et Figure (1.12). Ces tapis rugueux sont uniformes grâce aux diamètres homogènes des pellets imposés. Les rugosités équivalentes conçues sont : $\varepsilon = 06 \text{ mm}$ $\varepsilon = 08 \text{ mm}$ $\varepsilon = 10 \text{ mm}$ et $\varepsilon = 12 \text{ mm}$.



Figure I.10: Photographie des tapis rugueux imposés au lit majeur du canal composé .a) canal avec fond lisse. et avec lit majeur rugueux (Laboratoire Université Ouargla).

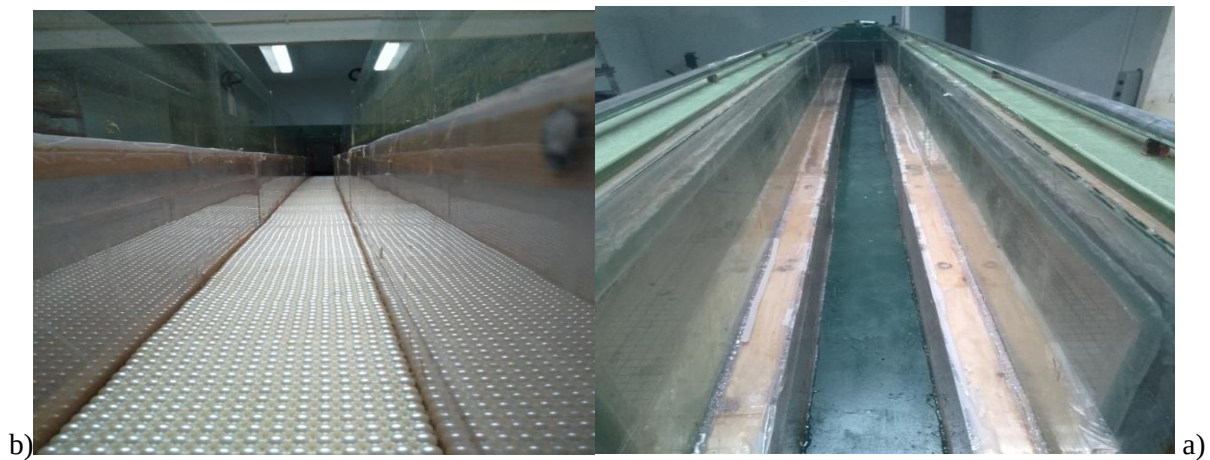


Figure I.11: Photographie des tapis rugueux imposés au lit mineur du canal composé .a) canal avec fond lisse. b) canal avec lit mineur rugueux.

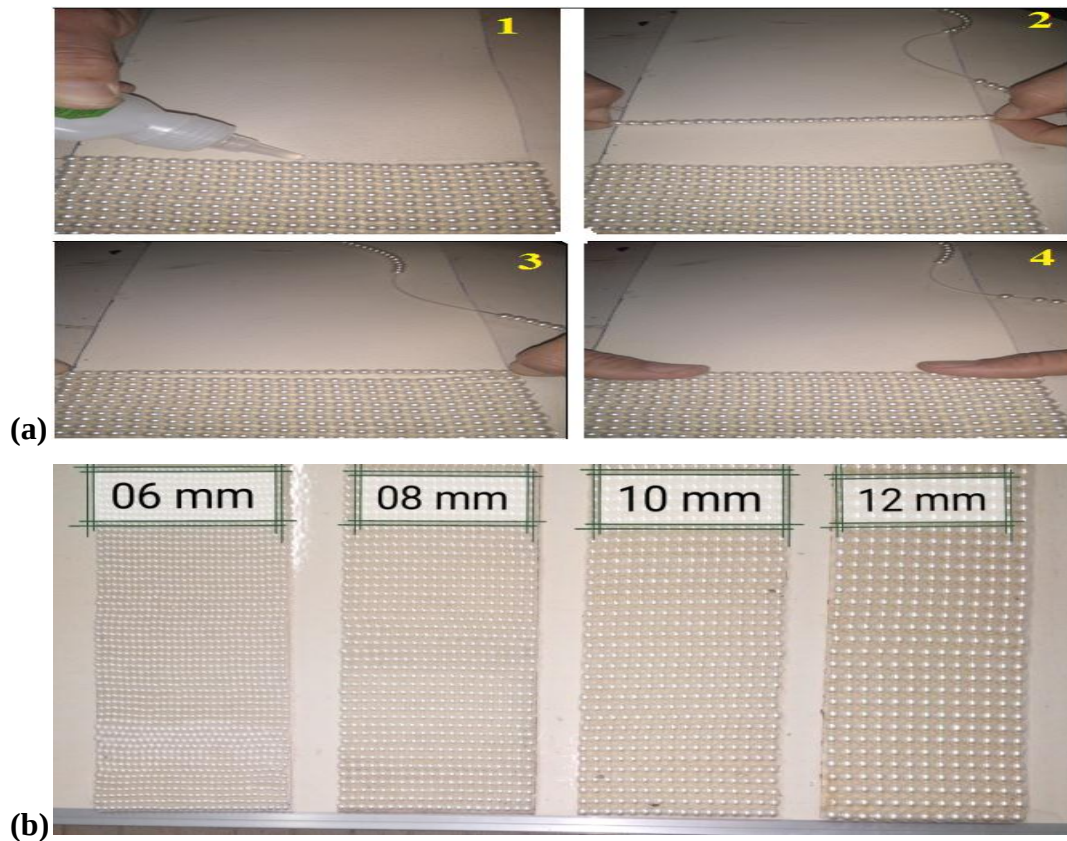


Figure I.12: Les tapis rugueux divers (a) la méthode de conception des tapis rugueux ; (b) les divers tapis rugueux (Laboratoire Université Ouargla).

I.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 *HachemiRachedi L. (2006)*.

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

Chapitre II

Résultats et discussions

II.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 Khataoui et Achour (2012) et riguet et all(2019), 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 **Jamaawalid** (2020), qui a expérimenté le ressaut hydraulique en canal rectangulaire composé à fond rugueux et celle de **Sena**(2023), relative au ressaut hydraulique en canal rectangulaire composé avec lit majeur rugueux. A notre connaissance, **l'étude comparative du rapport des profondeurs du ressaut évoluant en canal rectangulaire de la section composée avec lit mineur et 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 contribuer à l'étude comparative du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée avec lit majeur et mineur rugueux.

II.2. ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

II.2.2.1. Rapport des hauteurs conjuguées du ressaut Y en fonction du nombre de Froude F_1 dans le lit mineur rugueux ($0 < h_2 < 20$) cm.

La figure (2.1) montre la représentation graphique de la variation de Y en fonction du nombre de Froude F_1 incident pour cinq valeurs de rugosités absolues : $\varepsilon = 0$ mm ; $\varepsilon = 06$ mm ; $\varepsilon = 08$; $\varepsilon = 10$ mm, et $\varepsilon = 12$ mm.

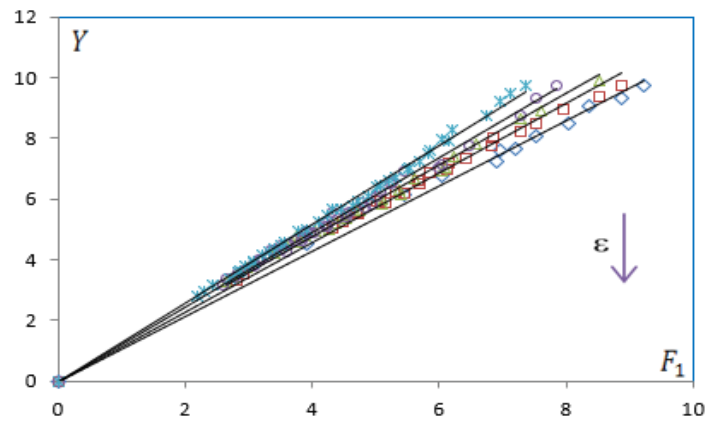


Figure II.1: Variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude, pour cinq valeurs différentes de " ε ": ($\diamond$) 12 mm ; ($\square$) 10 mm ; ($\triangle$) 08 mm ; ($\circ$) 06 mm et ($*$) 0 mm. (—) Courbes d'ajustements.

On remarque cinq nuages de points distincts, correspondant chacun à une rugosité fixée. Par ailleurs, l'analyse des points de mesures expérimentales du ressaut à fond rugueux, montre qu'à chaque rugosité " ε ", correspond une courbe de type linéaire de la forme

L'analyse de ces résultats montre que le rapport des hauteurs conjuguées h_2/h_1 augmente au fur et à mesure que le nombre de Froude F_1 augmente aussi et ceci pour toutes les rugosités. En outre, l'augmentation relative de la rugosité ε/b provoque la diminution du rapport des hauteurs conjuguées.

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 lisse ($20 < h_2 < 50$) 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 ε/b pour le lit majeur ($20 < h_2 < 50$) cm.

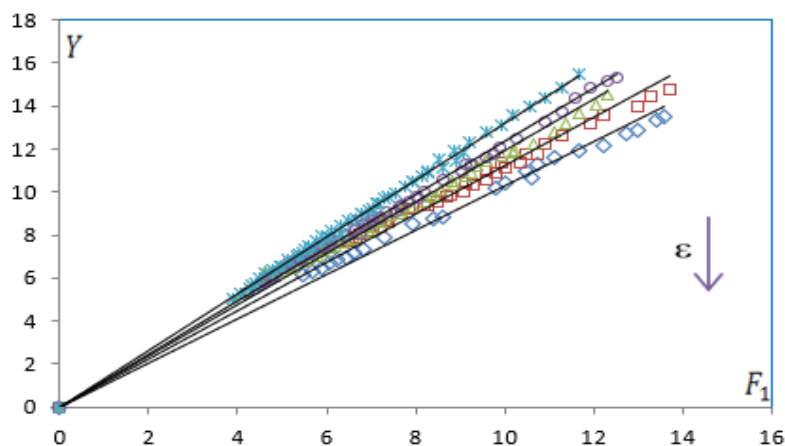


Figure II.2: Variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude dans le lit majeur, pour cinq rugosités différentes testées

" ε ". ($\diamond$) 12 mm ; ($\square$) 10 mm ; ($\triangle$) 08 mm ; ($\circ$) 06 mm et ($*$) 0 mm.

(—) Courbes d'ajustements.

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 $h_2/h_1 = b_3 (F_1)$.

III.2.3. Variation du rapport des hauteurs conjuguées h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude F_1 dans le lit majeur rugueux

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.

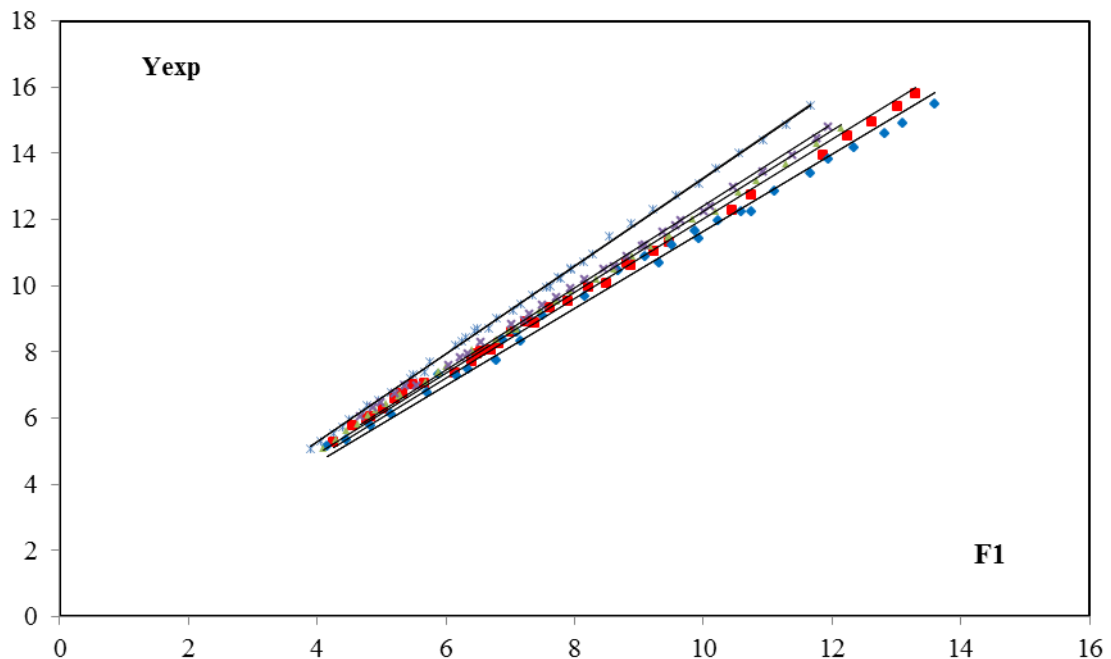


Figure II.3. Variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut h_2/h_1 en fonction du nombre de Froude dans le lit majeur rugueux, pour cinq rugosités différentes testées " ε " (◆) 12 mm ; (■) 10 mm ; (▲) 08 mm ; (×) 06 mm et (*) 0 mm. (—) Courbes d'ajustements.

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 $h_2/h_1 = b_1 (F_1)$.

2.3 ETUDE COMPARATIVE DU RAPPORT DES PROFONDEURS DU RESSAUT HYDRAULIQUE EVOLUANT EN CANAL RECTANGULAIRE COMPOSE AVEC LIT MINEUR ET MAJEUR RUGUEUX.

2.3.1 COMPARAISON ENTRE LE RAPPORT DES HAUTEURS Y VARIANT EN FONCTION DU NOMBRE DE FROUDE Fr

Cette figure montre clairement la variation du rapport Y en fonction du nombre de Froude Fr pour le lit mineur rugueux avec son homologue lisse.

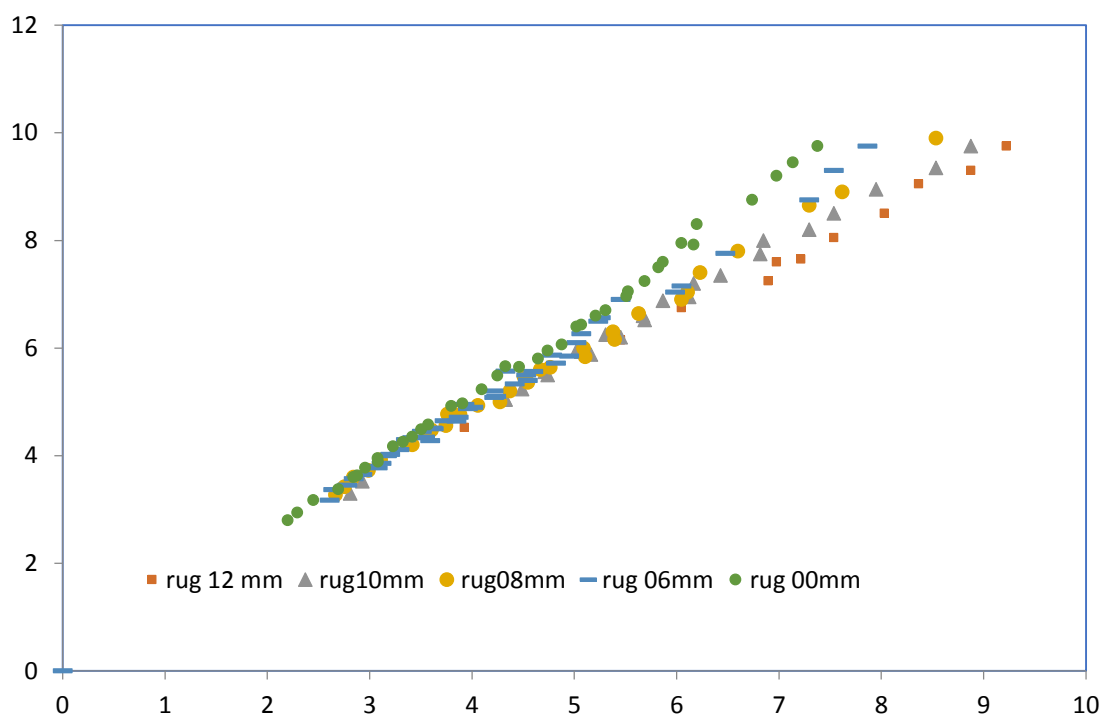


Figure II.4 comparaison du rapport Y en fonction du nombre de Froude Fr pour le lit mineur lisse et rugueux.

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

On déduit que le rapport Y sera moindre avec l'importance de la rugosité testée expérimentalement au lit mineur rugueux que son homologue lisse.

2.3.2 COMPARAISON ENTRE LE RAPPORT DES HAUTEURS Y VARIANT EN FONCTION DU NOMBRE DE FROUDE Fr pour le lit majeur lisse et celui rugueux

Cette figure montre clairement la variation du rapport Y en fonction du nombre de Froude Fr pour le lit majeur rugueux avec son homologue lisse.

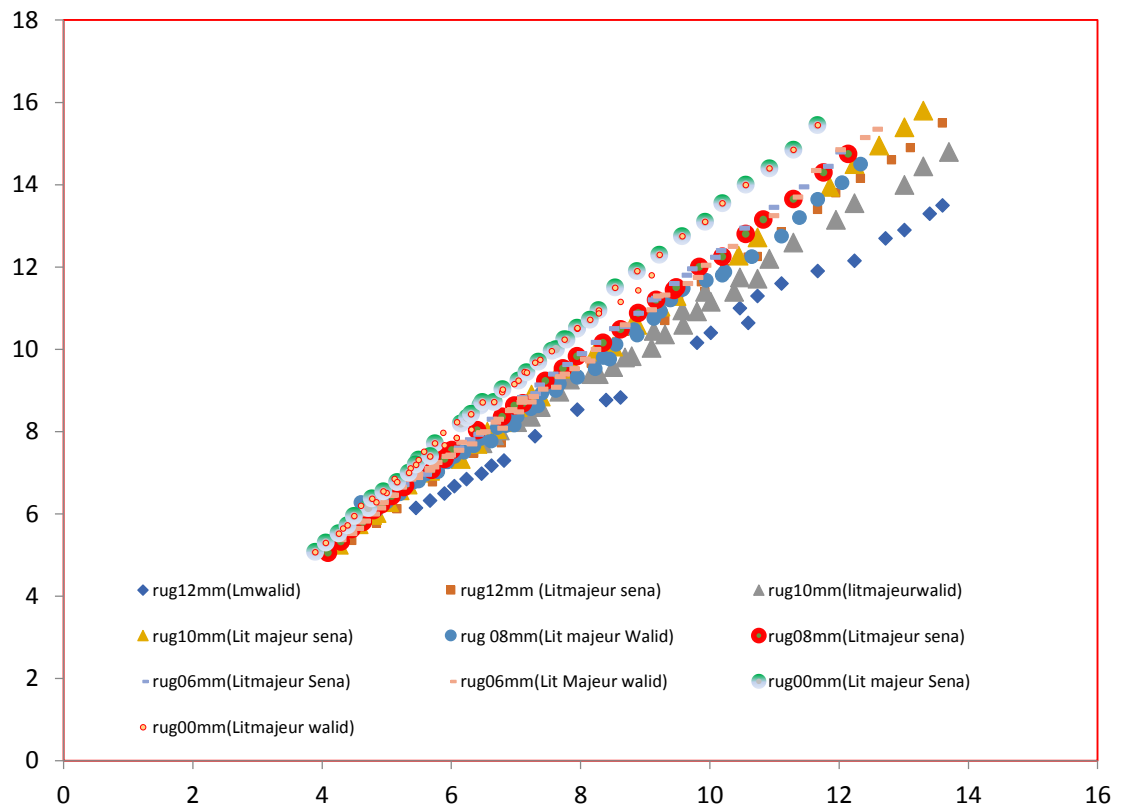


Figure II.5 : variation du rapport Y en fonction de Fr pour le lit majeur rugueux et celui lisse

Cette figure montre la variation du rapport Y en fonction du nombre de Froude incident Fr et ceci pour les différentes rugosités imposées au lit mineur rugueux et son homologue lisse.

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

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

On constate pour le même nombre de Froude Fr , que les caractéristiques du ressaut sont moindres avec l'augmentation de la rugosité imposée au lit majeur.

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

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

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Notre étude concerne à une Contribution de l'étude comparative du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée avec lit majeur et mineur rugueux.

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

Pour la partie bibliographique elle se résume comme suit :

- le premier chapitre expose ce que suit:
- **les travaux de Khattoui et Achour en 2012** liés au ressaut hydraulique formé dans un canal rectangulaire de forme composée. une relation fonctionnelle est de forme $\phi(Fr_1, Y, \beta, \tau) = 0$ sans tenir compte des forces de frottements. Une relation deuxième a été exposée y compris les forces de frottements. L'approche globale est déduite par le développement théorique mené par Achour (2000) sur le ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie.
- **le deuxième chapitre se résume comme suit:**
- 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 la partie deuxième expérimentale, elle se résume comme suit :

- **Pour le premier chapitre de la partie deuxième**, nous avons exposé le banc expérimental utilisé en expérimentation sous forme 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)*.

Enfin, nous avons expliqué clairement la méthode de préparation des divers tapis rugueux qui se sont imposées au lit majeur du canal.

- **Pour le deuxième chapitre de la partie expérimentale**, On a exploité toutes les mesures expérimentales obtenues au niveau du laboratoire qui sont liées à la variation des rapports des hauteurs conjuguées (Y) du ressaut hydrauliques variant en fonction

du nombre de Froude incident et avec des diverses rugosités testées au lit majeur et mineur du canal d'expérimentation.

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

- ✓ On constate que le rapport Y augmente proportionnellement avec le nombre de Froude Fr pour les deux types d'aspect de ressaut hydraulique évolué en canal rectangulaire composé **avec lit mineur rugueux et celui le lit mineur lisse**. Par ailleurs pour le même nombre de Froude Fr , le rapport Y des profondeurs conjuguées s'accroît avec l'abaissement de la rugosité imposée au lit mineur du canal.

On déduit que le rapport Y sera moindre avec l'importance de la rugosité testée expérimentalement au lit mineur rugueux que son homologue lisse.

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

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

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

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

Avec recommandation aux étudiants futurs de continuer les travaux théoriques et expérimentaux pour ce type de canal 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 profile 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, Revues des sciences fondamentales et appliquées, centre universitaire d'Oued Souf, N° 01, pp.40-57, 2009.

Ghomri, A., Riguet, F., Contribution to the Experimental Study on the Hydraulic Jump Evolving in a U-Shaped Channel with Rough Bed, Journal of Fundamental and Applied Sciences, Université El Oued, N° 02, pp.254-271,2010.

H

HachemiRachedi, 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.

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.

R

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

Annexes(mesures expérimentales)

Tableaux 01 :mesures expérimentales du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire de forme composée avec lit majeur rugueux (senaLacheheb2022)

$\varepsilon(\text{mm})$	$Y=h_2/h_1$	Fr_{exp}
12 mm	5,125	4,15833795
12 mm	5,35	4,4621224
12 mm	5,775	4,8429824
12 mm	6,125	5,16223771
12 mm	6,775	5,70920112
12 mm	7,275	6,15980243
12 mm	7,475	6,35089443
12 mm	7,725	6,77808512
12 mm	8,34285714	6,88491394
12 mm	8,57142857	7,11162878
12 mm	7,3	5,89556425
12 mm	9,1	7,51035524
12 mm	9,66666667	8,16957565
12 mm	8,32	7,16640369
12 mm	10,44	8,68735157
12 mm	10,88	9,09990138
12 mm	11,24	9,51878249
12 mm	11,64	9,87261835
12 mm	11,96	10,230733
12 mm	12,24	10,593076
12 mm	10,7	9,30855651
12 mm	11,4	9,92606403
12 mm	12,25	10,7391861
12 mm	12,85	11,107367
12 mm	13,4	11,6673381
12 mm	13,8	11,9507475
12 mm	14,15	12,3321367
12 mm	14,6	12,8144553
12 mm	14,9	13,1067933
12 mm	15,5	13,5988817
$\varepsilon(\text{mm})$	Y	Fr_{exp}
10mm	5,25	4,25880518
10mm	5,75	4,56496011
10mm	5,975	4,77296406
10mm	6,025	4,8429824
10mm	6,75	5,30629504
10mm	7,05	5,67216853
10mm	6,28571429	5,03981633
10mm	6,57142857	5,203262
10mm	6,71428571	5,32698233

10mm	7	5,49344312
10mm	7,94285714	6,48304915
10mm	8,05714286	6,70531323
10mm	8,85714286	7,3868989
10mm	7,33333333	6,14713229
10mm	7,7	6,4021801
10mm	8	6,55685951
10mm	8,23333333	6,81737831
10mm	8,6	7,02821586
10mm	8,9	7,24118318
10mm	9,33333333	7,61893765
10mm	9,53333333	7,89265586
10mm	9,93333333	8,22534055
10mm	10,0666667	8,50605401
10mm	10,68	8,82415869
10mm	11,04	9,23882968
10mm	12,28	10,4476346
10mm	12,72	10,7391861
10mm	10,6	8,87564479
10mm	11,3	9,48363624
10mm	13,95	11,8560259
10mm	14,5	12,2364153
10mm	14,95	12,620788
10mm	15,4	13,0091032
10mm	15,8	13,3029029
$\varepsilon(\text{mm})$	Y	Frexp
08mm	5,05	4,09180534
08mm	5,325	4,29247153
08mm	5,625	4,4621224
08mm	5,8	4,63395123
08mm	6,65	5,2701569
08mm	7,4	5,89556425
08mm	7,55	6,00833617
08mm	6,08571429	4,79793158
08mm	6,22857143	4,91837827
08mm	6,42857143	5,08051459
08mm	6,68571429	5,28563459
08mm	8,68571429	7,11162878
08mm	7,06666667	5,696848
08mm	7,33333333	5,89556425
08mm	8,03333333	6,4021801
08mm	8,63333333	6,97530597
08mm	9,23333333	7,45625917
08mm	9,53333333	7,72803835
08mm	9,83333333	7,94778488
08mm	8,36	6,7859377

08mm	10,16	8,34846753
08mm	10,48	8,61921567
08mm	10,88	8,892829
08mm	11,2	9,16927782
08mm	11,44	9,44853335
08mm	11,5	9,48363624
08mm	12	9,83704137
08mm	12,25	10,1947305
08mm	12,8	10,5566528
08mm	13,15	10,8308431
08mm	13,65	11,2930031
08mm	14,3	11,7615559
08mm	14,75	12,1409429
$\varepsilon(\text{mm})$	Y	Frexp
06mm	6,02857143	4,67848447
06mm	6,31428571	4,87811882
06mm	6,45714286	4,99922732
06mm	6,71428571	5,203262
06mm	6,97142857	5,36843733
06mm	7,8	6,21965009
06mm	6,96666667	5,54930838
06mm	7,6	6,04608481
06mm	7,93333333	6,35089443
06mm	8,3	6,55685951
06mm	8,83333333	7,02821586
06mm	9,13333333	7,2947553
06mm	9,4	7,51035524
06mm	9,63333333	7,72803835
06mm	9,9	7,94778488
06mm	10,1666667	8,16957565
06mm	10,5	8,4496604
06mm	8,92	7,23048456
06mm	10,56	8,61921567
06mm	10,88	8,82415869
06mm	11,24	9,09990138
06mm	11,6	9,37845788
06mm	11,96	9,65980007
06mm	12,24	10,0153536
06mm	11,2	9,04798443
06mm	11,8	9,57158306
06mm	12,4	10,1049094
06mm	12,95	10,4657781
06mm	13,45	10,9227594
06mm	13,95	11,386205
06mm	14,45	11,7615559
06mm	14,8	11,9507475

$\varepsilon(\text{mm})$	Y	Frexp
00mm	10,5	7,94778488
00mm	10,95	8,28123176
00mm	11,5	8,53429767
00mm	11,9	8,87564479
00mm	12,3	9,2214253
00mm	12,75	9,57158306
00mm	13,1	9,92606403
00mm	13,55	10,1947305
00mm	14	10,5566528
00mm	14,4	10,9227594
00mm	14,85	11,2930031
00mm	15,45	11,6673381
00mm	8,72	6,66066084
00mm	9,24	7,03881382
00mm	9,44	7,16640369
00mm	9,96	7,55372585
00mm	10,24	7,74992047
00mm	10,52	7,94778488
00mm	10,72	8,14730512
00mm	8,2	6,14713229
00mm	8,33333333	6,2487365
00mm	8,63333333	6,45360308
00mm	9,7	7,34845889
00mm	10	7,61893765
00mm	10,2333333	7,7827823
00mm	6,14285714	4,71818859
00mm	7,31428571	5,49344312
00mm	7,71428571	5,74631395
00mm	8,42857143	6,30704485
00mm	8,71428571	6,48304915
00mm	9,02857143	6,79491579
00mm	5,075	3,89436738
00mm	5,3	4,05867342
00mm	5,525	4,25880518
00mm	5,725	4,39399914
00mm	5,95	4,49631482
00mm	6,375	4,77296406
00mm	6,55	4,94864516
00mm	6,775	5,16223771
00mm	7	5,3425154
00mm	7,2	5,451668
00mm	7,4	5,67216853

Tableaux 02(suit...) : mesures expérimentales du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire avec lit mineur rugueux (Walid Jamaa 2021)

$\varepsilon=12\text{mm}$	Y(Lit min)	Fr
$\varepsilon=12\text{mm}$	4,525	3,92704728
$\varepsilon=12\text{mm}$	7,6	6,97530597
$\varepsilon=12\text{mm}$	6,15	5,451668
$\varepsilon=12\text{mm}$	6,75	6,04608481
$\varepsilon=12\text{mm}$	7,25	6,89619144
$\varepsilon=12\text{mm}$	7,65	7,21444652
$\varepsilon=12\text{mm}$	8,05	7,53745212
$\varepsilon=12\text{mm}$	8,5	8,03071788
$\varepsilon=12\text{mm}$	9,05	8,36530478
$\varepsilon=12\text{mm}$	9,3	8,87564479
$\varepsilon=12\text{mm}$	9,75	9,2214253
$\varepsilon=10\text{mm}$	Y(Lit min)	Frexp
$\varepsilon=10\text{mm}$	3,3	2,80996629
$\varepsilon=10\text{mm}$	3,525	2,92785757
$\varepsilon=10\text{mm}$	5,93333333	5,06693638
$\varepsilon=10\text{mm}$	5,04	4,32622612
$\varepsilon=10\text{mm}$	5,24	4,48946938
$\varepsilon=10\text{mm}$	5,56	4,71023882
$\varepsilon=10\text{mm}$	5,88	5,16223771
$\varepsilon=10\text{mm}$	6,2	5,451668
$\varepsilon=10\text{mm}$	6,52	5,68697193
$\varepsilon=10\text{mm}$	6,88	5,86561222
$\varepsilon=10\text{mm}$	7,2	6,16740869
$\varepsilon=10\text{mm}$	8	6,84886732
$\varepsilon=10\text{mm}$	5,05	4,32622612
$\varepsilon=10\text{mm}$	5,5	4,73808255
$\varepsilon=10\text{mm}$	5,95	5,01950815
$\varepsilon=10\text{mm}$	6,25	5,30629504
$\varepsilon=10\text{mm}$	6,6	5,67216853
$\varepsilon=10\text{mm}$	6,95	6,1218181
$\varepsilon=10\text{mm}$	7,35	6,42787445
$\varepsilon=10\text{mm}$	7,75	6,81737831
$\varepsilon=10\text{mm}$	8,2	7,2947553
$\varepsilon=10\text{mm}$	8,5	7,53745212
$\varepsilon=10\text{mm}$	8,95	7,94778488
$\varepsilon=10\text{mm}$	9,35	8,53429767
$\varepsilon=10\text{mm}$	9,75	8,87564479
$\varepsilon=08\text{mm}$	Y(Lit min)	Frexp
$\varepsilon=08\text{mm}$	3,275	2,66489175
$\varepsilon=08\text{mm}$	3,425	2,75162907
$\varepsilon=08\text{mm}$	3,6	2,83928753
$\varepsilon=08\text{mm}$	3,725	2,98740608

$\varepsilon=08\text{mm}$	3,925	3,10769546
$\varepsilon=08\text{mm}$	4,475	3,60438152
$\varepsilon=08\text{mm}$	4,77142857	3,7599532
$\varepsilon=08\text{mm}$	4,2	3,41525507
$\varepsilon=08\text{mm}$	4,46666667	3,58320008
$\varepsilon=08\text{mm}$	4,76666667	3,88349432
$\varepsilon=08\text{mm}$	4,93333333	4,05867342
$\varepsilon=08\text{mm}$	5,2	4,37136913
$\varepsilon=08\text{mm}$	5,46666667	4,50773161
$\varepsilon=08\text{mm}$	4,56	3,74521792
$\varepsilon=08\text{mm}$	5	4,27226112
$\varepsilon=08\text{mm}$	5,36	4,54433013
$\varepsilon=08\text{mm}$	5,64	4,76598094
$\varepsilon=08\text{mm}$	5,84	5,10498586
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,16	5,3933617
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,64	5,6278356
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,04	6,10664631
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,4	6,22837127
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,8	6,59831482
$\varepsilon=08\text{mm}$	5,6	4,66857593
$\varepsilon=08\text{mm}$	6	5,09070619
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,3	5,37881781
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,9	6,04608481
$\varepsilon=08\text{mm}$	8,65	7,2947553
$\varepsilon=08\text{mm}$	8,9	7,61893765
$\varepsilon=08\text{mm}$	9,9	8,53429767
$\varepsilon=06\text{mm}$	Y(Lit min)	Frexp
$\varepsilon=06\text{mm}$	3,175	2,60758349
$\varepsilon=06\text{mm}$	3,45	2,78074669
$\varepsilon=06\text{mm}$	3,65	2,92785757
$\varepsilon=06\text{mm}$	3,775	3,07747489
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,025	3,19894557
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,3	3,35297175
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,45	3,50939359
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,65	3,73234039
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,875	3,95981808
$\varepsilon=06\text{mm}$	3,37142857	2,64437686
$\varepsilon=06\text{mm}$	3,57142857	2,84348456
$\varepsilon=06\text{mm}$	3,85714286	3,11634797
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,11428571	3,29107172
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,34285714	3,54096223
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,51428571	3,61347201
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,71428571	3,87108039
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,2	4,21086394
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,57142857	4,32622612

$\varepsilon=06\text{mm}$	3,8	3,04735292
$\varepsilon=06\text{mm}$	4	3,16843112
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,33333333	3,41525507
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,5	3,62560454
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,9	4,01463742
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,1	4,23641009
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,33333333	4,41666806
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,56666667	4,59941255
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,86666667	4,78461016
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,26666667	5,06693638
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,56666667	5,25812915
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,28	3,59166766
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,64	3,84876872
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,08	4,21852238
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,4	4,54433013
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,72	4,82194122
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,04	5,98572484
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,76	6,47421064
$\varepsilon=06\text{mm}$	4,95	3,92704728
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,5	4,53059413
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,85	4,94864516
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,1	5,01950815
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,5	5,23410117
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,9	5,451668
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,15	6,04608481
$\varepsilon=06\text{mm}$	8,75	7,2947553
$\varepsilon=06\text{mm}$	9,3	7,53745212
$\varepsilon=06\text{mm}$	9,75	7,86513936
$\varepsilon=00\text{mm}$	Y(Lit min)	Frexp
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,65	3,16843112
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,95	4,4621224
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,4	4,73808255
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,7	5,01950815
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,05	5,30629504
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,5	5,52484414
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,95	5,82077964
$\varepsilon=00\text{mm}$	8,3	6,04608481
$\varepsilon=00\text{mm}$	8,75	6,19786499
$\varepsilon=00\text{mm}$	9,2	6,73886772
$\varepsilon=00\text{mm}$	9,45	6,97530597
$\varepsilon=00\text{mm}$	9,75	7,13443464
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,96	7,37535988
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,24	5,51018291
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,6	5,68697193
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,92	5,86561222
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,8	6,16740869

$\varepsilon=00\text{mm}$	6,06666667	4,64548325
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,43333333	4,87811882
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,6	5,06693638
$\varepsilon=00\text{mm}$	2,8	5,2101099
$\varepsilon=00\text{mm}$	2,94285714	2,19897838
$\varepsilon=00\text{mm}$	3,17142857	2,29210401
$\varepsilon=00\text{mm}$	3,62857143	2,4501465
$\varepsilon=00\text{mm}$	3,88571429	2,87713505
$\varepsilon=00\text{mm}$	4,25714286	3,08178609
$\varepsilon=00\text{mm}$	4,48571429	3,32639609
$\varepsilon=00\text{mm}$	4,97142857	3,50489149
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,22857143	3,9083619
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,48571429	4,0965458
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,65714286	4,24920247
$\varepsilon=00\text{mm}$	3,375	4,32622612
$\varepsilon=00\text{mm}$	3,6	2,69370124
$\varepsilon=00\text{mm}$	3,775	2,83928753
$\varepsilon=00\text{mm}$	3,95	2,95758187
$\varepsilon=00\text{mm}$	4,175	3,07747489
$\varepsilon=00\text{mm}$	4,35	3,22955736
$\varepsilon=00\text{mm}$	4,575	3,41525507
$\varepsilon=00\text{mm}$	4,925	3,57262497

Tableaux 02(suit et fin) : mesures expérimentales du ressaut hydraulique évoluant en canal rectangulaire avec lit mineur rugueux (Walid Jamaa 2021)

$\varepsilon(\text{mm})$	Y(Litmaj)	Fr(lit maj)
$\varepsilon=12\text{mm}$	0	5,30629504
$\varepsilon=12\text{mm}$	6,15	5,451668
$\varepsilon=12\text{mm}$	6,325	5,67216853
$\varepsilon=12\text{mm}$	6,5	5,89556425
$\varepsilon=12\text{mm}$	6,675	6,04608481
$\varepsilon=12\text{mm}$	6,85	6,23600563
$\varepsilon=12\text{mm}$	6,975	6,46648024
$\varepsilon=12\text{mm}$	7,175	6,62167167
$\varepsilon=12\text{mm}$	7,3	6,81737831
$\varepsilon=12\text{mm}$	7,88571429	7,2947553
$\varepsilon=12\text{mm}$	8,53333333	7,94778488
$\varepsilon=12\text{mm}$	8,76666667	8,39339196
$\varepsilon=12\text{mm}$	8,83333333	8,61921567
$\varepsilon=12\text{mm}$	10,16	9,80150723
$\varepsilon=12\text{mm}$	10,4	10,0153536
$\varepsilon=12\text{mm}$	10,64	10,593076
$\varepsilon=12\text{mm}$	11	10,4657781
$\varepsilon=12\text{mm}$	11,3	10,7391861
$\varepsilon=12\text{mm}$	11,6	11,107367

$\varepsilon=12\text{mm}$	11,9	11,6673381
$\varepsilon=12\text{mm}$	12,15	12,2364153
$\varepsilon=12\text{mm}$	12,7	12,7174988
$\varepsilon=12\text{mm}$	12,9	13,0091032
$\varepsilon=12\text{mm}$	13,3	13,4013212
$\varepsilon=12\text{mm}$	13,5	13,5988817
$\varepsilon=10\text{mm}$	Y(Litmaj)	Fr(lit maj)
$\varepsilon=10\text{mm}$	7,71428571	6,48304915
$\varepsilon=10\text{mm}$	7,91428571	6,66066084
$\varepsilon=10\text{mm}$	8,02857143	6,75006495
$\varepsilon=10\text{mm}$	8,22857143	7,02064915
$\varepsilon=10\text{mm}$	8,37142857	7,20299805
$\varepsilon=10\text{mm}$	8,6	7,3868989
$\varepsilon=10\text{mm}$	8,43333333	7,02821586
$\varepsilon=10\text{mm}$	8,66666667	7,34845889
$\varepsilon=10\text{mm}$	8,96666667	7,67342337
$\varepsilon=10\text{mm}$	9,26666667	7,8376549
$\varepsilon=10\text{mm}$	9,4	8,16957565
$\varepsilon=10\text{mm}$	9,56666667	8,50605401
$\varepsilon=10\text{mm}$	9,83333333	8,78989014
$\varepsilon=10\text{mm}$	8,36	7,23048456
$\varepsilon=10\text{mm}$	9,4	8,28123176
$\varepsilon=10\text{mm}$	9,8	8,68735157
$\varepsilon=10\text{mm}$	10,04	9,09990138
$\varepsilon=10\text{mm}$	10,36	9,30855651
$\varepsilon=10\text{mm}$	10,6	9,58920487
$\varepsilon=10\text{mm}$	10,92	9,80150723
$\varepsilon=10\text{mm}$	11,16	10,0153536
$\varepsilon=10\text{mm}$	11,4	10,3751656
$\varepsilon=10\text{mm}$	11,72	10,7391861
$\varepsilon=10\text{mm}$	10,45	9,13456764
$\varepsilon=10\text{mm}$	10,95	9,57158306
$\varepsilon=10\text{mm}$	11,4	9,92606403
$\varepsilon=10\text{mm}$	11,75	10,4657781
$\varepsilon=10\text{mm}$	12,2	10,9227594
$\varepsilon=10\text{mm}$	12,6	11,2930031
$\varepsilon=10\text{mm}$	13,15	11,9507475
$\varepsilon=10\text{mm}$	13,55	12,2364153
$\varepsilon=10\text{mm}$	14	13,0091032
$\varepsilon=10\text{mm}$	14,45	13,3029029
$\varepsilon=10\text{mm}$	14,8	13,6980228
$\varepsilon=(\text{mm})$	Y(Litmaj)	FR(Litmaj)
$\varepsilon=08\text{mm}$	0	
$\varepsilon=08\text{mm}$	5,25	4,09180534
$\varepsilon=08\text{mm}$	5,45	4,22522731

$\varepsilon=08\text{mm}$	5,7	4,4621224
$\varepsilon=08\text{mm}$	5,9	4,59941255
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,1	4,8429824
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,275	4,59941255
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,55	5,16223771
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,75	5,2701569
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,925	5,451668
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,125	5,67216853
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,25	5,78350684
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,35	5,89556425
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,55	6,08391218
$\varepsilon=08\text{mm}$	5,88571429	4,52079119
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,14285714	4,67848447
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,28571429	4,99922732
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,48571429	5,203262
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,8	5,49344312
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,02857143	5,78882664
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,25714286	5,87416476
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,4	6,04608481
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,65714286	6,35089443
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,77142857	6,61610802
$\varepsilon=08\text{mm}$	8,14285714	6,83986552
$\varepsilon=08\text{mm}$	8,37142857	7,02064915
$\varepsilon=08\text{mm}$	8,62857143	7,34077891
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,76666667	5,4030649
$\varepsilon=08\text{mm}$	6,96666667	5,5983448
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,26666667	5,94559716
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,5	6,19786499
$\varepsilon=08\text{mm}$	7,83333333	6,45360308
$\varepsilon=08\text{mm}$	8,1	6,71276495
$\varepsilon=08\text{mm}$	8,4	6,92252952
$\varepsilon=08\text{mm}$	8,66666667	7,13443464
$\varepsilon=08\text{mm}$	8,93333333	7,40229362
$\varepsilon=08\text{mm}$	9,16666667	7,67342337
$\varepsilon=08\text{mm}$	9,33333333	7,94778488
$\varepsilon=08\text{mm}$	9,53333333	8,22534055
$\varepsilon=08\text{mm}$	9,76666667	8,4496604
$\varepsilon=08\text{mm}$	8,16	6,97530597
$\varepsilon=08\text{mm}$	8,56	7,23048456
$\varepsilon=08\text{mm}$	9	7,61893765
$\varepsilon=08\text{mm}$	9,32	7,94778488
$\varepsilon=08\text{mm}$	9,8	8,34846753
$\varepsilon=08\text{mm}$	10,12	8,55125884
$\varepsilon=08\text{mm}$	10,48	8,82415869
$\varepsilon=08\text{mm}$	10,92	9,23882968
$\varepsilon=08\text{mm}$	11,2	9,37845788

$\varepsilon=08\text{mm}$	11,48	9,58920487
$\varepsilon=08\text{mm}$	11,68	9,94390062
$\varepsilon=08\text{mm}$	11,88	10,230733
$\varepsilon=08\text{mm}$	10,35	8,87564479
$\varepsilon=08\text{mm}$	10,75	9,13456764
$\varepsilon=08\text{mm}$	11,2	9,39596045
$\varepsilon=08\text{mm}$	11,45	9,57158306
$\varepsilon=08\text{mm}$	11,8	10,1947305
$\varepsilon=08\text{mm}$	12,25	10,6477891
$\varepsilon=08\text{mm}$	12,75	11,107367
$\varepsilon=08\text{mm}$	13,2	11,386205
$\varepsilon=08\text{mm}$	13,65	11,6673381
$\varepsilon=08\text{mm}$	14,05	12,0457201
$\varepsilon=08\text{mm}$	14,5	12,3321367
$\varepsilon=(\text{mm})$	Y(Litmaj)	Fr(Litmaj)
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,375	4,22522731
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,525	4,39399914
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,65	4,49631482
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,825	4,59941255
$\varepsilon=06\text{mm}$	6	4,73808255
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,275	4,87811882
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,45	5,01950815
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,65	5,16223771
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,85	5,30629504
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,975	5,41520207
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,1	5,5983448
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,25	5,70920112
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,4	5,85813217
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,55	6,04608481
$\varepsilon=06\text{mm}$	5,8	4,52079119
$\varepsilon=06\text{mm}$	6	4,59941255
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,14285714	4,83796982
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,45714286	5,03981633
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,71428571	5,12132181
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,88571429	5,40999931
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,14285714	5,66160256
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,42857143	5,91698967
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,74285714	6,0893225
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,97142857	6,39484516
$\varepsilon=06\text{mm}$	8,22857143	6,61610802
$\varepsilon=06\text{mm}$	8,51428571	6,83986552
$\varepsilon=06\text{mm}$	8,71428571	7,02064915
$\varepsilon=06\text{mm}$	8,85714286	7,20299805
$\varepsilon=06\text{mm}$	6,9	5,4030649
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,06666667	5,5983448

$\varepsilon=06\text{mm}$	7,4	5,89556425
$\varepsilon=06\text{mm}$	7,7	6,2487365
$\varepsilon=06\text{mm}$	8	6,45360308
$\varepsilon=06\text{mm}$	8,3	6,66066084
$\varepsilon=06\text{mm}$	8,53333333	6,86988685
$\varepsilon=06\text{mm}$	8,8	7,02821586
$\varepsilon=06\text{mm}$	9,03333333	7,34845889
$\varepsilon=06\text{mm}$	9,33333333	7,61893765
$\varepsilon=06\text{mm}$	9,53333333	7,8376549
$\varepsilon=06\text{mm}$	9,76666667	8,00304167
$\varepsilon=06\text{mm}$	10	8,16957565
$\varepsilon=06\text{mm}$	8,08	6,72320201
$\varepsilon=06\text{mm}$	8,48	6,97530597
$\varepsilon=06\text{mm}$	8,72	7,16640369
$\varepsilon=06\text{mm}$	9,08	7,55372585
$\varepsilon=06\text{mm}$	9,4	7,68433603
$\varepsilon=06\text{mm}$	9,72	8,08061524
$\varepsilon=06\text{mm}$	10,96	9,03070079
$\varepsilon=06\text{mm}$	11,32	9,23882968
$\varepsilon=06\text{mm}$	11,6	9,58920487
$\varepsilon=06\text{mm}$	12,04	9,87261835
$\varepsilon=06\text{mm}$	10,6	8,61921567
$\varepsilon=06\text{mm}$	11,3	9,13456764
$\varepsilon=06\text{mm}$	11,75	9,74828645
$\varepsilon=06\text{mm}$	12,5	10,2848161
$\varepsilon=06\text{mm}$	13,25	10,9227594
$\varepsilon=06\text{mm}$	13,7	11,2930031
$\varepsilon=06\text{mm}$	14,35	11,5733732
$\varepsilon=06\text{mm}$	14,85	11,9507475
$\varepsilon=06\text{mm}$	15,15	12,3321367
$\varepsilon=06\text{mm}$	15,35	12,5243237

$\varepsilon=(\text{mm})$	Y(Litmaj)	Fr(Litmaj)
$\varepsilon=00\text{mm}$	9,45	7,13443464
$\varepsilon=00\text{mm}$	9,75	7,37535988
$\varepsilon=00\text{mm}$	10,5	7,94778488
$\varepsilon=00\text{mm}$	10,95	8,28123176
$\varepsilon=00\text{mm}$	11,5	8,53429767
$\varepsilon=00\text{mm}$	11,9	8,87564479
$\varepsilon=00\text{mm}$	12,3	9,2214253
$\varepsilon=00\text{mm}$	12,75	9,57158306
$\varepsilon=00\text{mm}$	13,1	9,92606403
$\varepsilon=00\text{mm}$	13,55	10,1947305
$\varepsilon=00\text{mm}$	14	10,5566528
$\varepsilon=00\text{mm}$	14,4	10,9227594
$\varepsilon=00\text{mm}$	14,85	11,2930031

$\varepsilon=00\text{mm}$	15,45	11,6673381
$\varepsilon=00\text{mm}$	8,72	6,66066084
$\varepsilon=00\text{mm}$	8,96	6,7859377
$\varepsilon=00\text{mm}$	9,16	6,97530597
$\varepsilon=00\text{mm}$	9,24	7,03881382
$\varepsilon=00\text{mm}$	9,44	7,16640369
$\varepsilon=00\text{mm}$	9,68	7,2947553
$\varepsilon=00\text{mm}$	9,96	7,55372585
$\varepsilon=00\text{mm}$	10,24	7,74992047
$\varepsilon=00\text{mm}$	10,52	7,94778488
$\varepsilon=00\text{mm}$	10,72	8,14730512
$\varepsilon=00\text{mm}$	10,88	8,28123176
$\varepsilon=00\text{mm}$	11,16	8,61921567
$\varepsilon=00\text{mm}$	11,44	8,892829
$\varepsilon=00\text{mm}$	11,8	9,09990138
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,28571429	4,83796982
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,51428571	4,99922732
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,85714286	5,12132181
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,11428571	5,36843733
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,31428571	5,49344312
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,51428571	5,57731158
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,71428571	5,74631395
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,97142857	5,87416476
$\varepsilon=00\text{mm}$	8,22857143	6,0893225
$\varepsilon=00\text{mm}$	8,42857143	6,30704485
$\varepsilon=00\text{mm}$	8,71428571	6,48304915
$\varepsilon=00\text{mm}$	9,02857143	6,79491579
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,075	3,89436738
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,3	4,05867342
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,525	4,25880518
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,65	4,32622612
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,725	4,39399914
$\varepsilon=00\text{mm}$	5,95	4,49631482
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,2	4,59941255
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,375	4,77296406
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,55	4,94864516
$\varepsilon=00\text{mm}$	6,775	5,16223771
$\varepsilon=00\text{mm}$	7	5,3425154
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,2	5,451668
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,4	5,67216853
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,675	5,89556425
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,85	6,08391218
$\varepsilon=00\text{mm}$	8,05	6,31252051
$\varepsilon=00\text{mm}$	7,85	6,08391218
$\varepsilon=00\text{mm}$	8,05	6,31252051