

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Contribution à la localisation du ressaut hydraulique (cas d'un canal triangulaire).

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0023-18

APA Citation (توثيق APA):

Boutemedjet, Manel (2019). Contribution à la localisation du ressaut hydraulique (cas d'un canal triangulaire)[Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics.

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتمكين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR
HYDRAULICS

"The MujahidAbdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري

"المجاهد عبد الله عرباوي"

ⵎⴰⵔⵉⵜ ⵏ ⵉⵎⵓⵏⵏ ⵏ ⵉⵎⵓⵏⵏ ⵏ ⵉⵎⵓⵏⵏ ⵏ ⵉⵎⵓⵏⵏ ⵏ ⵉⵎⵓⵏⵏ

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: ASSAINISSEMENT

THEME :

**CONTRIBUTION A LA LOCALISATION DU RESSAUT
HYDRAULIQUE (Cas D'UN CANAL TRIANGULAIRE)**

Présenté par :

Manel BOUTEMEDJET

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
SALAH Boualem	Professeur	Président
HCHEMI Abdelkader	MCB	Examineur
MOKRANE Wahiba	MAA	Examineur
TAFAT Leila	MAA	Examineur
KAHLERRAS Djilali	MCB	Promoteur

Session SEPTEMBRE 2019

Liste des figures

Chapitre I : La théorie du ressaut

Figure I.1 : Ecoulement à surface libre.....	2
Figure I.2 : Ressaut hydraulique (Photo prise par Baptiste MONSION).....	2
Figure I.3 : description du ressaut.....	3
Figure I.4 : Ressaut ondulé.....	4
Figure I.5 : Le Pré-ressaut.....	4
Figure I.6 : Le ressaut de transition.....	5
Figure I.7 : Le ressaut stable.....	5
Figure I.8 : Ressaut agité.....	6
Figure I.9 : Schéma d'un ressaut classique.....	6
Figure I.10 : Schéma d'un ressaut hydraulique.....	7
Figure I.11 : Courbe expérimentale de l'USBR obtenue par PETERKA, 1964 pour la détermination du rapport L/y_2 en fonction de F_1	10
Figure I.12 : Courbe expérimentale pour la détermination de la longueur du ressaut tirée de LENCASTRE.....	11
Figure I.13 : Dissipation d'énergie.....	11
Figure I.14 : Rendement du ressaut en fonction du nombre de Froude amont par HAGER...	13
Figure I.15 : Courbe expérimentale obtenue par l'USBR pour la détermination du rapport E_2/E_1 en fonction du nombre de Froude amont.....	14
Figure I.16 : Détermination rapide des caractéristiques du ressaut.....	15

Chapitre II : Ressaut et dissipation d'énergie

Figure II.1 : Seuil denté de REHBOCK.....	18
Figure II.2 : Fosse de stabilisation.....	19
Figure II.3 : Partiteur à ressaut.....	19
Figure II.4 : Bassin de dissipation par impact.....	21
Figure II.5 : Bassin de dissipation par Roller : a) Bucket simples : b) Bucket avec déflecteurs...	22
Figure II.6 : Bassin de dissipation par macrorugosité.....	22
Figure II.7 : Bassin avec blocs de chute et seuil dentelé (Bassin de type II USBR).....	24
Figure II.8 : Bassin avec bloc de chute, blocs d'amortissement et seuil terminal continue (Bassin de type III USBR).....	24
Figure II.9 : Bassin avec déflecteurs et seuil terminal continue (Bassin de type IV USBR).....	25
Figure II.10 : Récapitulation des bassins de types USBR.....	26
Figure II.11 : détermination de la position du ressaut.....	27
Figure II.12 : Localisation du ressaut.....	28

Chapitre III : Méthodes et matériels

Figure III.1 : Photo du canal d'essai.....	31
Figure III.2 : Dispositif d'inclinaison automatique	32
Figure III.3 : Réservoirs du canal de type Hm160.....	33
Figure III.4 : Pompe d'essai du dispositif	33
Figure III.5 : Débitmètre électromagnétique.....	34
Figure III.6 : Schéma du dispositif expérimental.....	34
Figure III.7 : Coffret de commande du dispositif.....	35
Figure III.8 : Vanne plane	37
Figure III.9 : Appareil de jaugeage	38
Figure III.10 : Jeu de seuils.....	39
Figure III.11 : Seuil denté n°1	39
Figure III.12 : Seuil denté n°2.....	39
Figure III.13 : Déversoir à crête arrondie.....	40
Figure III.14 Configurations à débit croissant du ressaut contrôlé par un seuil à paroi mince.....	42
Figure III.15 Schéma du dispositif expérimentale.....	42

Chapitre IV : Résultats et discussions

Figure IV.1 : Graphe de la longueur du canal en fonction du débit (canal triangulaire / rectangulaire).....	48
Figure IV.2 : Graphe des hauteurs conjugué en fonction du débit (canal triangulaire/rectangulaire).....	48
Figure IV.3 : Graphe de nombre de froude en fonction du débit (canal triangulaire/ rectangulaire).....	49

Liste des Tableaux

Chapitre III : Méthodes et matériels

Tableau III.1 : Caractéristique du dispositif d'inclinaison.....	32
Tableau III.2 : Caractéristiques de la pompe du banc d'essai.....	33
Tableau III.3 : Accessoires disponibles avec le canal.....	35

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau IV.1 : Résultats des essais pour le cas du canal rectangulaire	46
Tableau IV.2 : Résultats des calculs pour les cas d'un canal triangulaire.....	50

Sommaire

Introduction générale.....	I
Chapitre I : La théorie du ressaut	
Introduction.....	1
I.1. Ecoulement à surface libre.....	1
I.2. Ressaut hydraulique.....	2
Conclusion.....	16
Chapitre II : Ressaut et dissipation d'énergie	
Introduction.....	18
II.1. Utilisation du ressaut	18
II.2. Dissipation d'énergie	20
II.3. Localisation et Position du ressaut.....	26
Conclusion.....	29
Chapitre III : Méthodes et matériels	
III.1. Description du dispositif	31
III.2. Position du problème	35
III.3. Protocole expérimental	36
Conclusion	43
Chapitre IV : Résultats et discussions	
IV.1. Analyse des résultats.....	45
Conclusion	51
Conclusion générale.....	53
Références bibliographiques.....	55
Annexe	

ان تحديد موقع القفزة الهيدروليكية له أهمية لا تقدر ولا تحصى، بل ومعرفة هذا الأخير سيضمن حماية القاع والضفتين المتواجدين خلف السد مباشرة. في هذا السياق تندرج هذه الدراسة و التي تم تقسيمها إلى قسمين كبيرين، الجزء النظري الذي يتضمن تحديد الظاهرة والاستشهاد ببعض الأعمال السابقة حول هذا الموضوع، و الجزء التجريبي و المقارنة الذي يتضمن دراسة موقع القفزة الهيدروليكية بالنسبة وقد أظهرت النتائج بعض التفاوتات بين الشكل المستطيل و المثلث أو في النهاية تم تحديد مميزات و نقائص كل نموذج

كلمات مفتاحية: قفزة هيدروليكية، الضفتين، القاع

Résumé :

La détermination de la position du ressaut revêt d'une importance incommensurable, en effet la connaissance de cette dernière permettra d'assurer la longueur de protection nécessaire pour les berges et les sols justes en aval d'un barrage. C'est dans cette optique que s'inscrit cette étude qui a été divisée en deux grandes sections. Une partie théorique qui consiste à définir le phénomène et cité quelques travaux antérieurs sur le sujet. Une deuxième partie expérimentale dans laquelle on a comparé entre les deux canaux rectangulaire et triangulaire et à la fin on a conclue quelques avantages et inconvénients de chaque canal

Mots clés : ressaut , berges , sols .

Abstract :

The Determination of the position of the hydraulic jump is very important; indeed it enables us to ensure the length of the protection required for the bottom and the downstream banks of a dam. It's in this context that fits this study which was divided into two large sections, a theoretical part which defined the phenomenon and cited some previous work on the subject, and a second experimental and comparative part in wich we compared between rectangular and triangulaire forme and concluded some positives and negatives of each forme .

Key words : hydraulic jump, bottom , downstream.

Introduction générale

Introduction générale

Le ressaut hydraulique est un phénomène complexe qui est caractérisée par plusieurs paramètres dont la longueur mais sa détermination reste très complexe et non exacte.

Dans ce travail, nous allons présenter une nouvelle approche pour contribuer à la détermination de longueur du ressaut dans un canal triangulaire et la comparer avec celle du rectangulaire. Nous allons essayer à établir une relation entre les paramètres adimensionnels hydrauliques et géométriques en amont et aval de l'écoulement et le nombre de Froude.

Afin d'atteindre ces objectifs, l'étude s'est basé sur 4 parties qui sont les chapitres :

- La théorie du ressaut (définitions et descriptions).
- Le ressaut et la dissipation d'énergie .
- Les méthodes et matériels utilisées pour atteindre les résultats.
- Résultats et discussion (comparaison entre les deux sections rectangulaire et triangulaire)

Chapitre I :

La théorie du ressaut

Introduction :

Pour les écoulements brusquement variés il est indispensable de déterminer leurs caractéristiques externe , voire vitesse longueur et dissipation d'énergie

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à un cas particulier de l'écoulement brusquement varié qui est le ressaut hydraulique en point de vue définitions et descriptions.

I.1. Ecoulement à surface libre

C'est les écoulements dans lesquels le fluide qui s'écoule est en contact direct avec l'atmosphère. On voit le cas généralement dans les canaux , les oueds ou les grandes étendues d'eau, la difficulté de ce type d'écoulements et de déterminer ses caractéristiques .

Les écoulements à surface libre sont classés en différents types : Ecoulement uniforme et non-uniforme

- L'écoulement est uniforme si pour une longueur donnée du canal, la vitesse, la profondeur, la pente et la section du canal sont constantes :

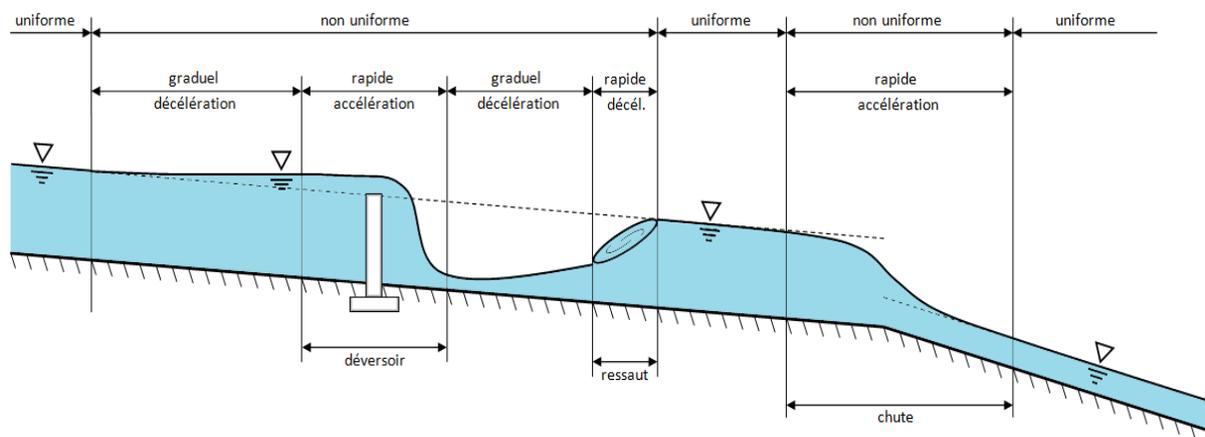
$$\frac{\partial V}{\partial X} = 0 \quad , \quad \frac{\partial Y}{\partial X} = 0$$

Dans ce cas la ligne de charge, la surface et le radier sont parallèles. Dans le cas contraire l'écoulement est dit non uniforme.

- Ecoulement permanent et non-permanent : Si les caractéristiques de l'écoulement : Vitesse, profondeur, débit, restent constantes dans une section du canal, et ne changent pas par rapport au temps, l'écoulement est dit permanent :

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad , \quad \frac{\partial Y}{\partial t} = 0$$

Si les dimensions et les formes, la rugosité, la pente du canal varient de façon progressive alors l'écoulement est dit graduellement varié, si ils varient brusquement, il est appelé brusquement varié.



I.2. Ressaut hydraulique

I.2.1. Définition

Le ressaut hydraulique est une brusque élévation de la surface libre d'un courant permanent occupant une position fixe dans un lit uniforme, phénomène couramment observé lors d'écoulements hydrauliques à ciel ouvert (écoulement rapidement varié) .



Figure I.2 : Photo d'un ressaut hydraulique naturel

L'étude du ressaut était le sujet de plusieurs études sur les canaux de plusieurs formes (rectangulaire, trapèze ou triangulaire).

Dans notre travail on a introduit la forme triangulaire pour connaître son efficacité et la comparer avec la rectangulaire.

I.2.2. Description du phénomène

D'après Frédéric Murzyn et Hubert Chanson (2009), « lorsque le fluide subit une perte importante de vitesse, la surface de l'écoulement s'élève brusquement. L'énergie cinétique est transformée en énergie potentielle et en turbulence, qui se traduit par des pertes irréversibles de charge. Le flot, qui était rapide, ralentit et s'empile sur lui-même à la manière d'une onde de choc supersonique.

Ce phénomène dépend de la vitesse initiale du fluide. Si cette vitesse est inférieure à la vitesse critique, aucun ressaut n'est possible. Lorsque la vitesse du liquide n'est pas nettement supérieure à la vitesse critique, la transition apparaît comme un système d'ondes. Si la vitesse du flot devient plus grande, la transition est de plus en plus abrupte, jusqu'à ce que la zone de transition se brise et s'enroule sur elle-même. Lorsque ce phénomène se produit, le ressaut apparaît, en conjonction avec une violente turbulence, la formation de rouleaux et de vagues.

Nous passerons donc d'une profondeur $h_1 < h_c$ à une profondeur $h_2 > h_c$ où h_c est la hauteur critique au niveau du ressaut comme le démontre la figure I.3 ».

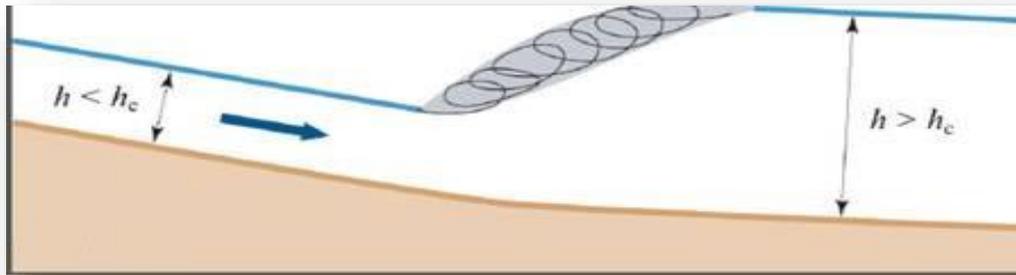


Figure I.3 : Description du ressaut

I.2.4. Classification des ressauts

La classification du ressaut est basée se fait suivant le nombre de Froude F_1 caractérisant l'écoulement à l'amont du ressaut.

Pour les valeurs de $F_1 = 1$, le régime est critique, et il n'y a pas de ressaut.

D'après ANDERSEN (1978), Pour des valeurs du nombre de Froude compris entre 1 et 1.7, et le ressaut est caractérisé par de légères rides à la surface libre, ce type de ressaut est dit ondulé.

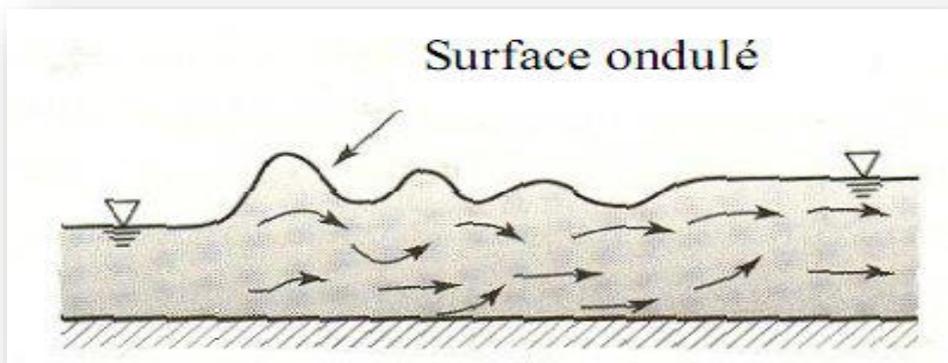


Figure I.4 : Ressaut ondulé

Selon Armando LENCASTRE, le ressaut hydraulique peut prendre plusieurs formes et approuve la classification de BRADLY et PETERKA(1957) qui préconisent quatre formes du ressaut hydraulique selon le même principe d'ANDERSEN (1978) :

I.2.4.1. Le Pré-ressaut ou le ressaut faible

Apparaît pour des valeurs de froude : $1,7 < F_1 < 2,5$. caractérisé par l'apparition de petits rouleaux comme montré dans la figure 1.5.

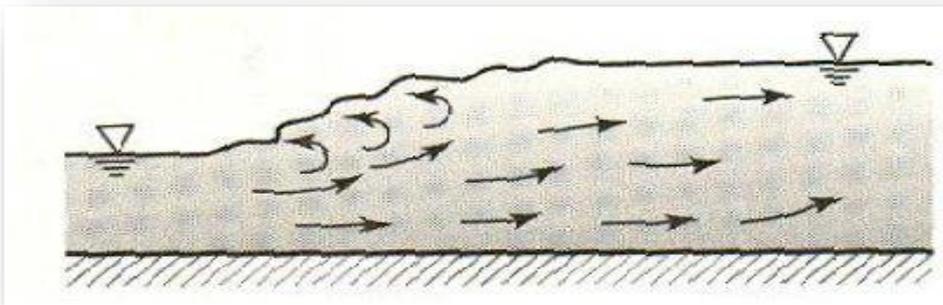


Figure I.5 : Le Pré-ressaut

I.2.4.2. Le ressaut de transition ou oscillatoire

Il est remarqué pour un nombre de froude $2,5 < F1 < 4,5$, pour ce type on observe l'apparition de larges vagues irrégulières.

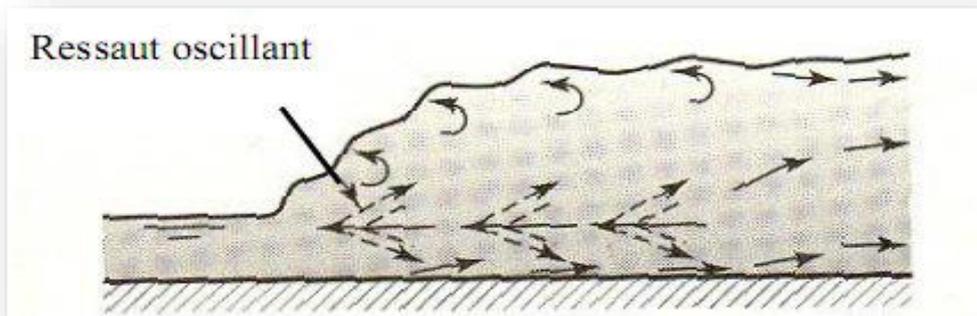


Figure I.6: Le ressaut de transition

I.2.4.3. Le ressaut stable ou établie

Observé pour un froude $4,5 < F1 < 9$, Ce type de est souvent utilisé dans les bassins de dissipation.

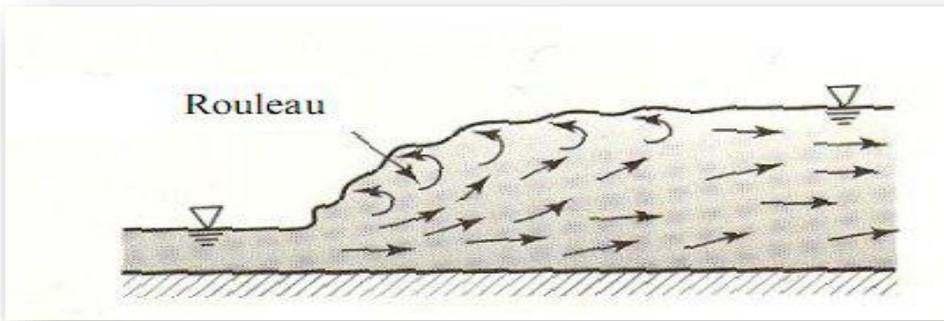


Figure I.7 : Le ressaut stable

I.2.4.4. Le ressaut agité (Fort)

Observé pour un froude $F_1 > 9$, pour ce cas on a une faible hauteur en amont et une surface d'écoulement irrégulière.

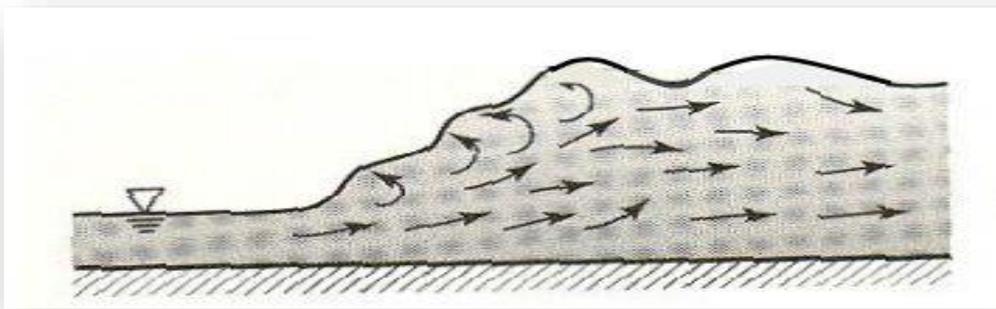


Figure I.8 : Ressaut agité

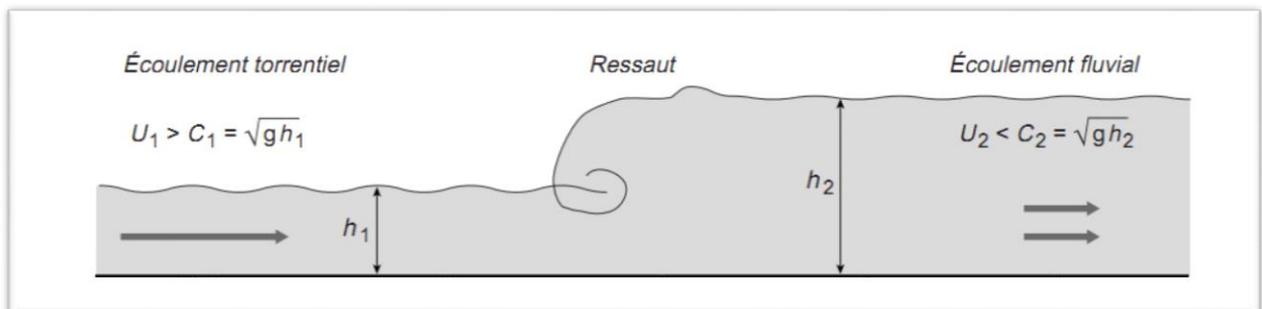


Figure I.9 : Schéma d'un ressaut classique

I.2.5. Caractéristiques du ressaut hydraulique

Le ressaut hydraulique est caractérisé par trois (03) paramètres :

- Hauteurs conjuguées.
- Longueur.
- Capacité de dissipation d'énergie.

I.2.5.1. Hauteurs conjuguées

Les hauteurs conjuguées d'un ressaut sont les hauteurs de la surface d'eau en amont et en aval de l'écoulement avec la condition que première hauteur conjuguée soit inférieure à la deuxième hauteur conjuguée.

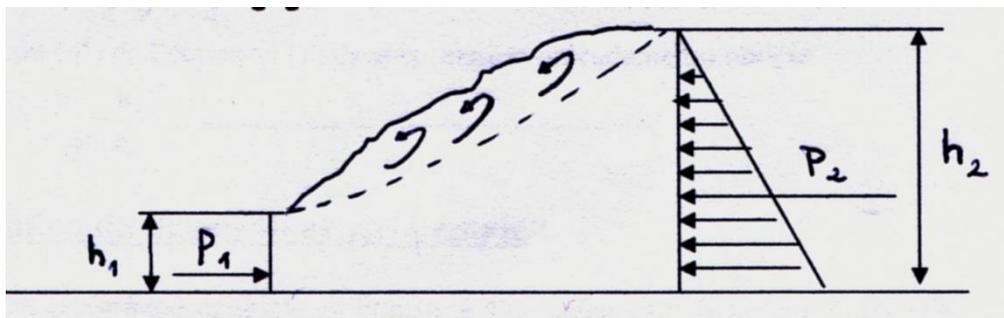


Figure I.10 : Schéma d'un ressaut hydraulique

L'équation de continuité s'écrit :

$$y_1 V_1 = y_2 V_2 \dots\dots\dots(\mathbf{I.1})$$

L'équation d'impulsion-quantité de mouvement s'écrit :

$$\beta \rho Q V_1 + \rho g y_1 S_1 = \beta \rho Q V_2 + \rho g y_2 S_2 \dots\dots\dots(\mathbf{I.2})$$

Avec :

- y_1, y_2 : Sont les profondeurs des centres de gravité des sections 1 et 2
- V_1, V_2 : Vitesses moyennes respectivement à l'amont et à l'aval du ressaut
- S_1, S_2 : Section respectivement en amont et en aval du ressaut
- g : Accélération de la pesanteur : 9.81 (m/s²)
- Q : Débit circulant (m³/s)
- β : Coefficient de quantité de mouvement.

D'après BELANGER (1928) et HAGER (1980), le théorème d'EULER a des hypothèses qui sont les suivantes :

1. La répartition des pressions dans les sections initiale et finale est hydrostatique;
2. La distribution des vitesses est uniforme c'est à dire que la vitesse des filets liquides en amont et en aval du ressaut soit parallèle et égale à la vitesse moyenne dans chacune des sections considérées
3. Les pertes dues au frottement sont négligeables par rapport à la perte de charge créée par la turbulence due au ressaut.

4. La résistance de l'air est négligeable.
5. La pente du canal doit être nulle ou très faible (canal horizontal) de sorte que la projection du poids sur un axe parallèle au fond soit nulle ou négligeable

Ainsi, les forces extérieures appliquées à la masse liquide en mouvement se résument aux forces de pressions hydrostatiques P_1 et P_2 s'exerçant sur les sections 1 et 2.

Puisque la distribution des vitesses est uniforme, le coefficient de quantité de mouvement β sera pris égal à l'unité c'est à dire, $\beta = 1$.

Nous aurons donc :

$$\rho Q V_1 + \rho g y_1 S_1 = \rho Q V_2 + \rho g y_2 S_2 \dots \dots \dots (I.3)$$

Sachant que le débit représente le produit de la vitesse par la section ($Q = V.S$) Nous obtenons

$$\rho \frac{Q^2}{S_1} + \rho g y_1 S_1 = \rho \frac{Q^2}{S_2} + \rho g y_2 S_2 \dots \dots \dots (I.4)$$

En réajustant les paramètres entre eux nous aurons :

$$y_1 S_1 - y_2 S_2 = \frac{Q^2}{g} \left(\frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} \right) \dots \dots \dots (I.5)$$

La profondeur du centre de gravité peut être écrite en fonction de la hauteur de la section considérée.

Ce qui donne $y_1 = \theta_1 \cdot h_1$ et $y_2 = \theta_2 \cdot h_2$.

En remplaçant dans l'équation I.5, et en introduisant le nombre de Froude en amont nous aurons :

$$\theta_2 \frac{S_2}{S_1} \cdot \frac{h_2}{h_1} - \theta_1 = Fr^2 \left(1 - \frac{S_1}{S_2} \right) \dots \dots \dots (I.6)$$

L'équation (I.6) a été résolue en 1928 par BELANGER, donnant ainsi le rapport des hauteurs conjuguées pour un canal rectangulaire :

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left[-1 + \sqrt{1 + 8Fr^2} \right] \dots \dots \dots (I.7)$$

C'est l'équation dite de BELANGER pour la détermination des hauteurs conjuguées d'un ressaut hydraulique classique sans obstacle en aval

Cette approche a été reprise par HAGER (1988) donnant le rapport des hauteurs conjuguées valable pour $Fr_1 > 3$:

$$\frac{h_2}{h_1} = \left[-\frac{1}{2} + \sqrt{2Fr_1^2} \right] \dots \dots \dots (I.8)$$

I.2.5.2. Longueur du ressaut

La longueur du ressaut dite L est la distance entre les deux hauteurs conjuguées H_1 et H_2 .

HAGER (1990) a conseillé de laisser la position de la fin du ressaut là où l'ébullition de surface disparaît.

La détermination de cette caractéristique est complexe et pas de formule exacte jusqu'à présent pour sa détermination mais il existe quelques formules empiriques pour la détermination d'une façon justifiable on cite

- Formule MIAMI DISTRICT : $L = 5.(H_2 - H_1)$
- Formule de SAFRANEZ : $L = 0,45 . H_2$
- Formule de SMETANA : $L = 6.(H_2 - H_1)$
- $L = 9.H_1.(\frac{V_1}{\sqrt{g.h_1}} - 1.57)$ avec V_1 en m/s

HAGER et al. (1990) ont déterminé une relation qui d'évalue la longueur du ressaut en fonction de la hauteur conjuguée en amont et qui peut s'écrire :

$$\frac{L}{h_1} = 220. \operatorname{Tgh}\left[\frac{Fr - 1}{22}\right]$$

La longueur du ressaut peut aussi être déterminée via des courbes expérimentales indiquant la variation du rapport L/y_1 , L/y_2 ou $L/(y_2 - y_1)$ en fonction de Fr .

Les courbes obtenues par l'U.S. Bureau of Reclamation donnent le rapport L/y_1 ou L/y_2 en fonction de Fr .

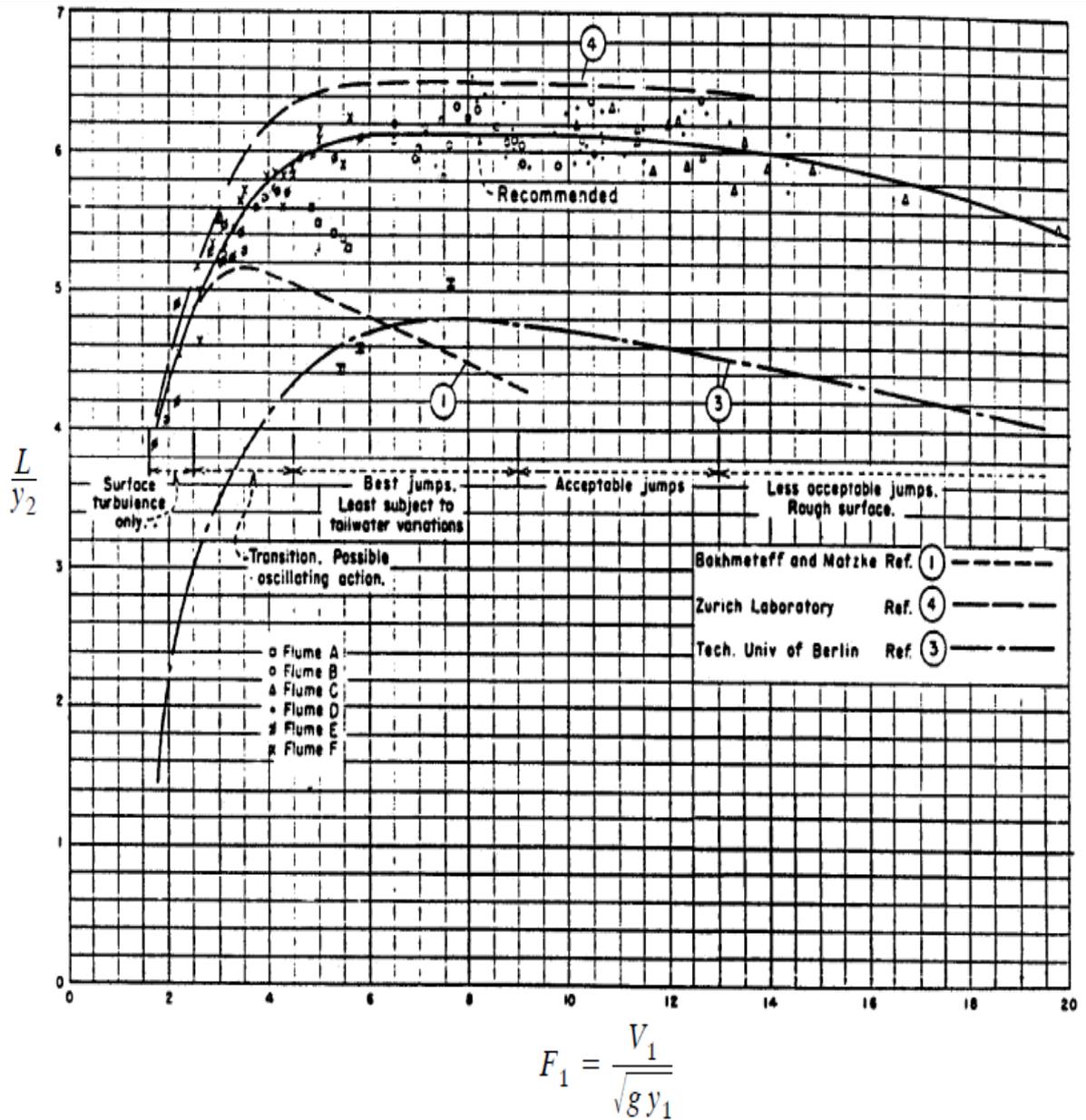


Figure I.11: Courbe expérimentale de l'USBR obtenue par PETERKA, 1964 pour la détermination du rapport L/y_2 en fonction de Fr

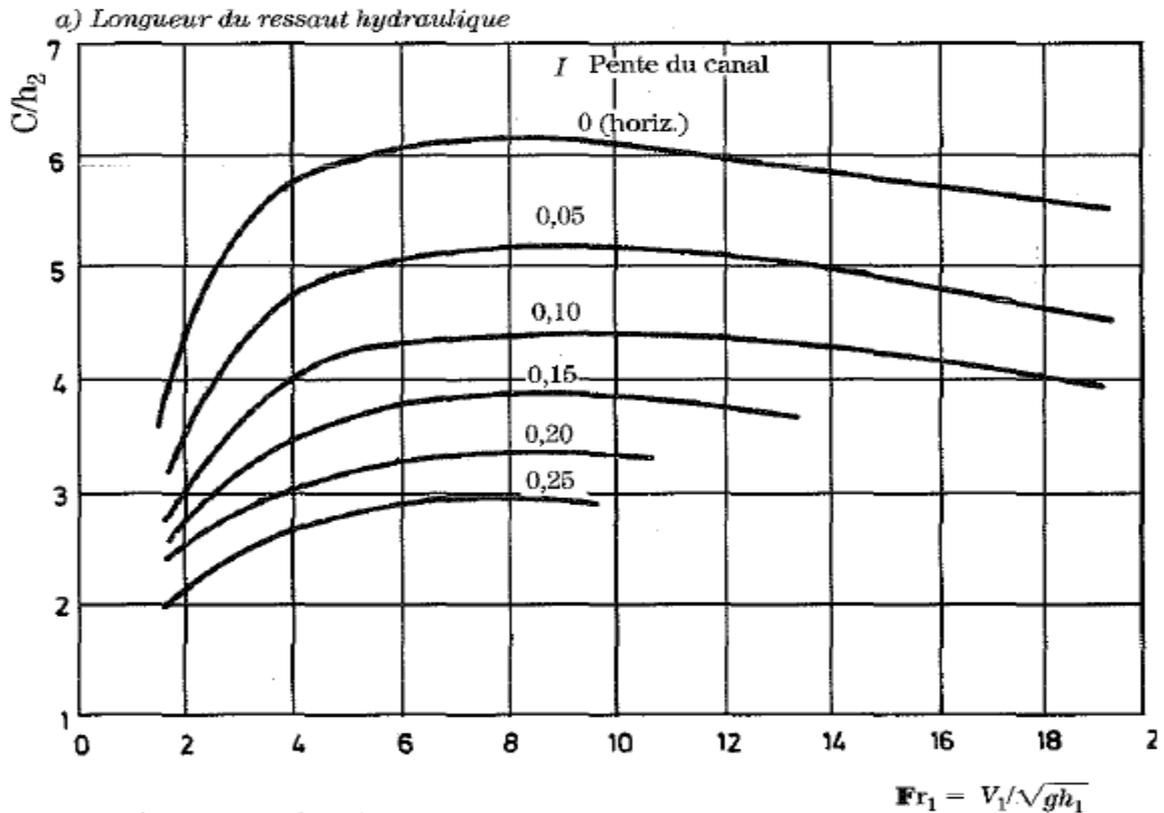


Figure I.12 : Courbe expérimentale pour la détermination de la longueur du ressaut tirée de LENCASTRE.

I.2.5.3. Dissipation d'énergie

L'une des caractéristiques du ressaut est sa capacité de dissipation d'énergie. Sa se constate lors de la transformation du régime du torrentiel au fluvial.

La perte d'énergie due au ressaut est la différence entre les énergies spécifiques à l'amont et à l'aval du ressaut soit $\Delta H = H_1 - H_2$.

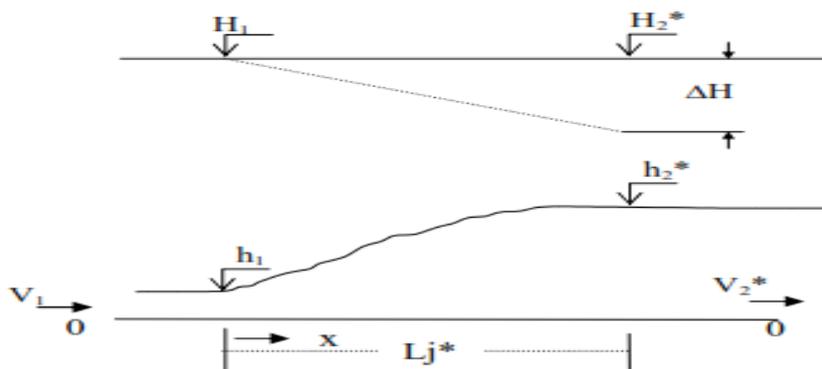


Figure I. 13 :Dissipation d'énergie

Avec :

$$H_1 = h_1 + \alpha_1 \frac{u_1^2}{2g} \text{ et } H_2 = h_2 + \alpha_2 \frac{u_2^2}{2g}$$

- α_1 et α_2 étant les paramètres de Coriolis.
- H : Charge critique (m)
- h_1 : Hauteur initiale du ressaut [m]
- h_2 : Hauteur finale du ressaut [m]

Nous aurons donc : $\Delta H = \left(h_1 + \alpha_1 \frac{u_1^2}{2g} \right) - \left(h_2 + \alpha_2 \frac{u_2^2}{2g} \right)$

En raison du caractère permanent de l'écoulement

$$Q = Q_1 = Q_2 \Leftrightarrow S_1 v_1 = S_2 v_2$$

$$S_1 = b \cdot h_1 \text{ et } S_2 = b \cdot h_2$$

$$\Delta H = (h_1 - h_2) + \left(\frac{Q^2}{b^2 h_1^2 2g} - \frac{Q^2}{b^2 h_2^2 2g} \right)$$

$$\Delta H = (h_1 - h_2) \frac{Q^2}{b^2 2g} \left(\frac{1}{h_1^2} - \frac{1}{h_2^2} \right)$$

$$\Delta H = (h_1 - h_2) \frac{Q^2}{b^2 2g} \left(\frac{h_2^2 - h_1^2}{h_1^2 h_2^2} \right)$$

D'après l'équation de quantité de mouvement, pour un canal rectangulaire en remplaçant dans l'équation I.5 :

$$h_1 = 2 \cdot y_1, h_2 = 2 \cdot y_2, S_1 = b \cdot h_1, S_2 = b \cdot h_2$$

Nous aurons :

$$h_2^2 h_1 + h_2 h_1^2 = \frac{2Q^2}{b^2 g}$$

Cela permet d'écrire :

$$\Delta H = (h_1 - h_2) + \frac{1}{4h_1 h_2} (h_1 - h_2) (h_2^2 - h_1^2)$$

$$\Delta H = \frac{(h_1 + h_2)(h_2 - h_1)(h_1 + h_2) - 4h_1 h_2 (h_2 - h_1)}{4h_1 h_2}$$

$$\Delta H = \frac{(h_2 - h_1)[(h_1 + h_2)^2 - 4h_1 h_2]}{4h_1 h_2}$$

Nous aurons au final :

$$\Delta H = \frac{[(h_2 + h_1)^3]}{4h_1 h_2} \dots \dots \dots (I.9)$$

Nous exprimons souvent la capacité de dissipation du ressaut par le rapport $\eta = \Delta H/H_1$ qui représente son rendement, L'efficacité de dissipation η est alors égale à :

$$\eta = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = 1 - \frac{H_2}{H_1}$$

Cette efficacité peut être évaluée de façon analytique et ne dépend que de Fr . En effet, dans le cas d'un canal rectangulaire, le rapport E_2/E_1 peut s'exprimer ainsi :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2(2 + F_1^2)}$$

Toutefois, HAGER et SINNIGER ont proposé une expression approchée du rendement de dissipation applicable pour $Fr > 2$, cette expression s'écrit :

$$\eta = [1 - \sqrt{2}/Fr]^2$$

Cette même formule a donné naissance à une abaque permettant de déterminer le rendement pour des nombres de Froude amont au-delà de 2.

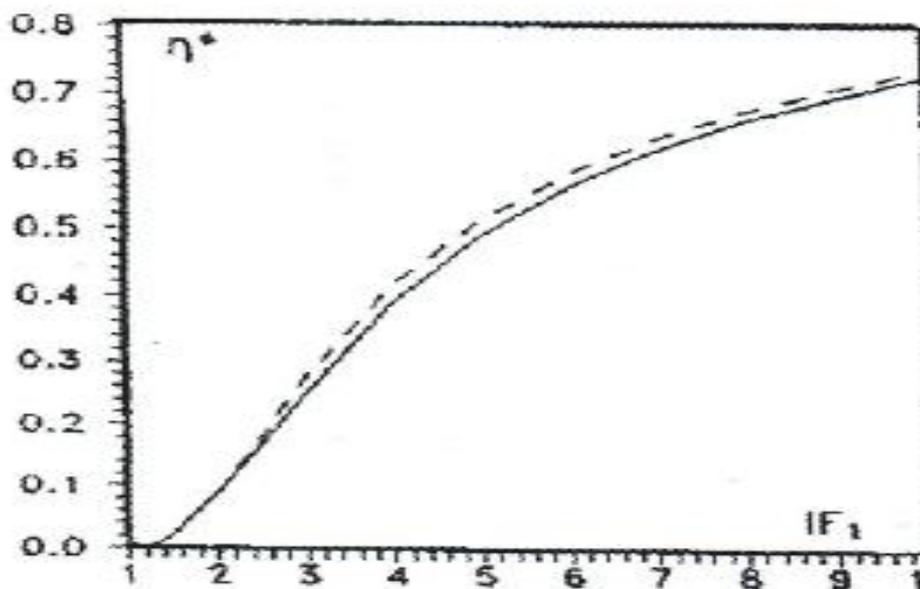


Figure I.14 : Rendement du ressaut en fonction du nombre de Froude amont par HAGER

Le rapport E_2/E_1 , peut aussi être évalué de façon graphique par projection du nombre de Froude amont sur la courbe expérimentale obtenue par l'USBR pour la détermination rapide de l'efficacité de dissipation d'énergie.

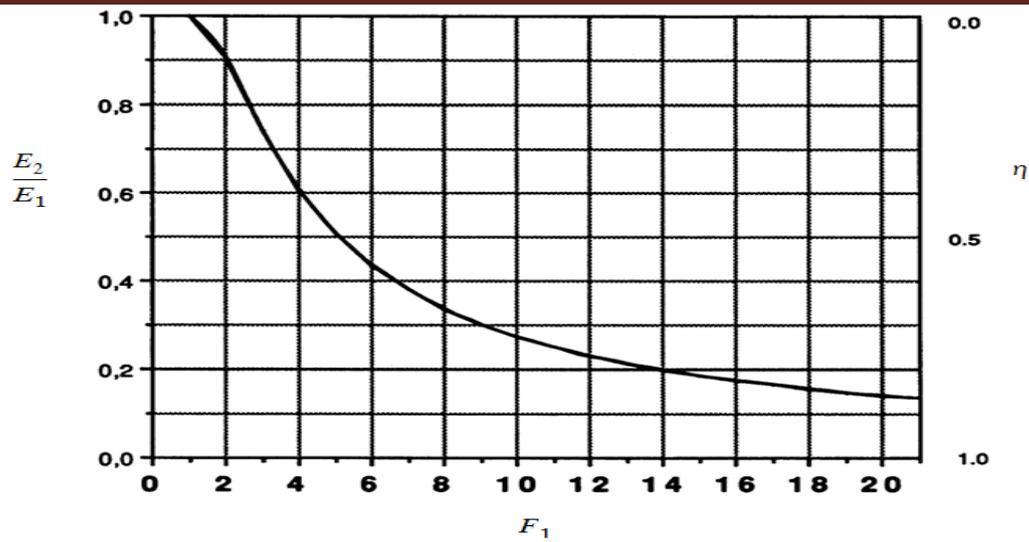


Figure I.15 : Courbe expérimentale obtenue par l'USBR pour la détermination du rapport E_2/E_1 en fonction du nombre de Froude amont

Remarque

Il existent plusieurs abaques pour la déterminer des caractéristiques d'un ressaut rapidement par projection simple du nombre de Froude de l'écoulement torrentiel.

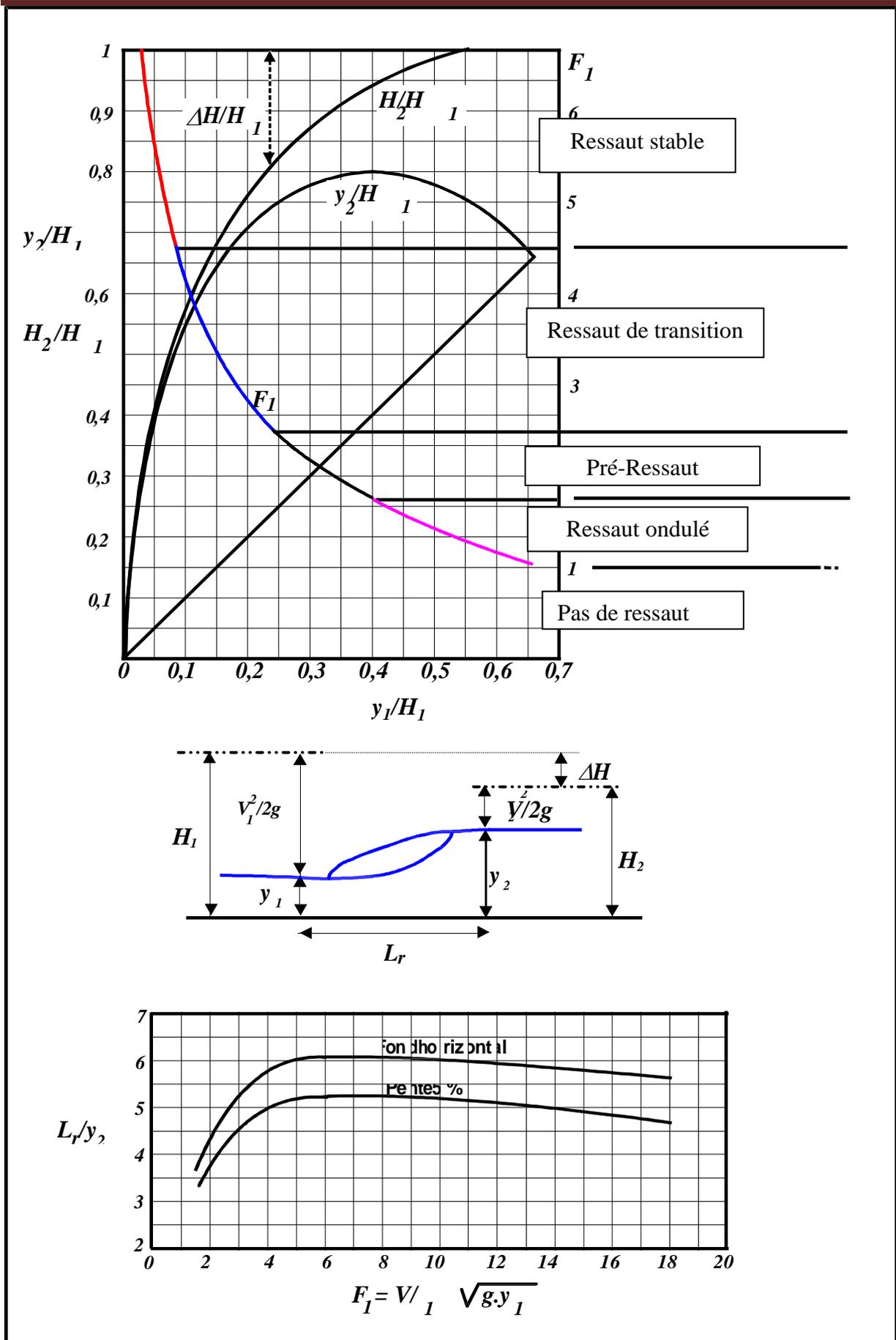


Figure I.16 : Détermination rapide des caractéristiques du ressaut

Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons pu définir le ressaut en tant que phénomène hydraulique (définitions et descriptions).

Nous avons cité les principales caractéristiques du ressaut qui sont ses hauteurs conjuguées, sa longueur et sa capacité de dissipation d'énergie.

Le ressaut considéré dans cette étude est un ressaut classique avec un débit et rugosité constants.

Chapitre II :

Ressaut et dissipation d'énergie

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons voir l'utilité du ressaut hydraulique dans plusieurs domaines dont les bassins de dissipation d'énergie .

II.1. Utilisation du ressaut

Le ressaut entraîne une perte d'énergie importante, aussi les vitesses en régime fluvial sont très inférieures aux vitesses en régime torrentiel.

Pour cela le ressaut est utilisé comme dissipateur d'énergie cinétique ou totale, par exemple pour réduire la vitesse de la lame d'eau en aval du coursier d'un évacuateur de crue ou d'une vanne de fond.

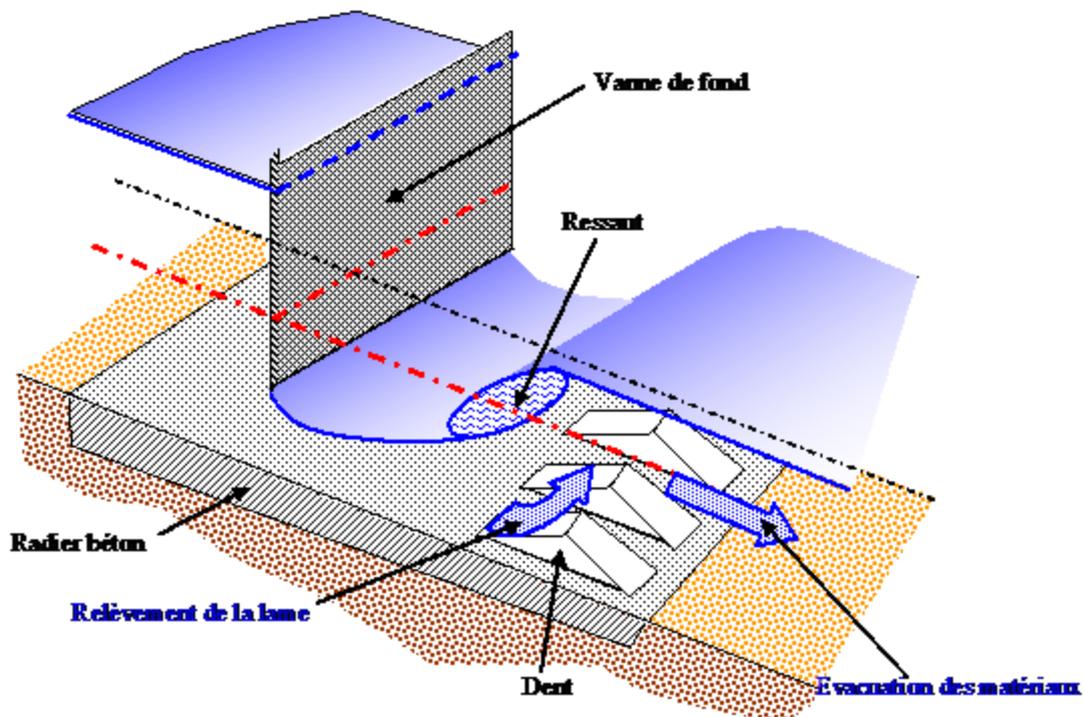


Figure II.1 : Seuil denté de REHBOCK

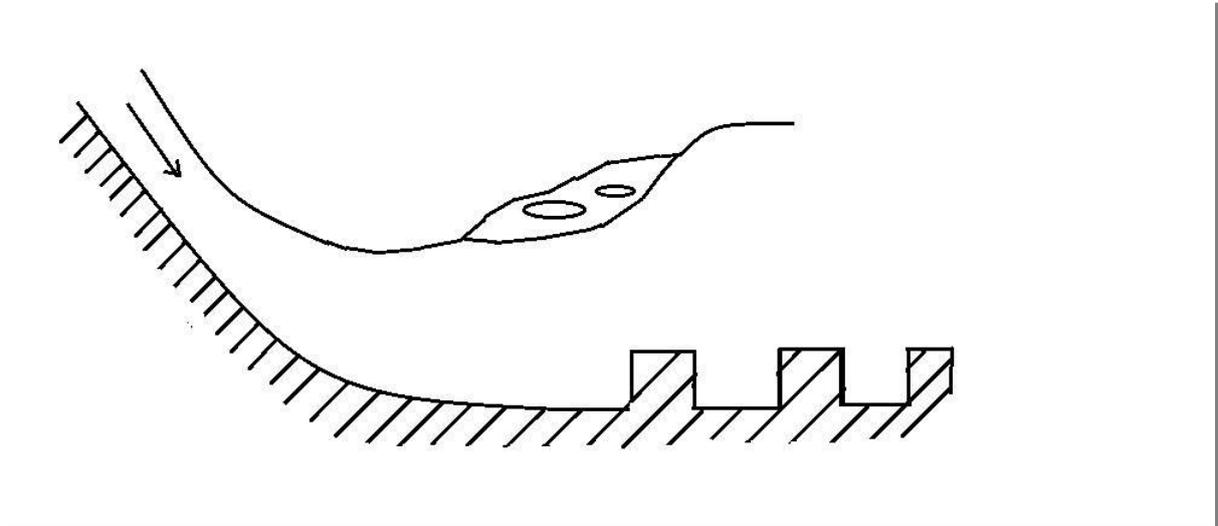


Figure II.2 : Fosse de stabilisation

Par ailleurs, le ressaut obligeant la surface libre à traverser brusquement le niveau critique, réalise de ce fait une sorte de coupure hydraulique entre les deux biefs, en particulier pour un débit et une section de forme donnée, la profondeur critique est imposée. Si la profondeur h_1 est fixée, la profondeur conjuguée h_2 sera unique et donnée par l'équation (I.8).

Cette propriété a été mise à profit dans un partiteur pour canaux d'irrigation réalisé par une société française de fabrication d'équipements hydraulique nommée " NEYRPRIC ".

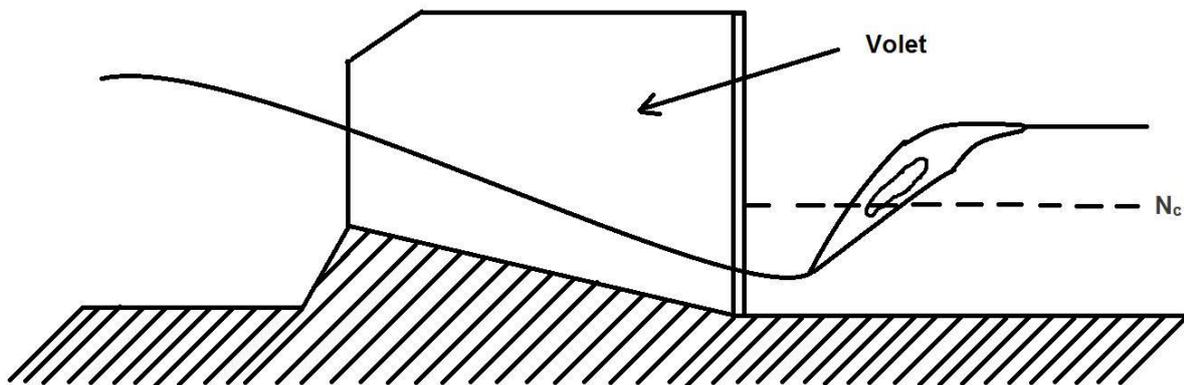


Figure II.3 : Partiteur à ressaut

Le ressaut est aussi utilisé comme mélangeur du fait de son action violente dans les rouleaux qui brassent l'eau avec l'air ou avec un autre fluide contenant des produits chimiques ajoutés par exemple.

II.2. Dissipation d'énergie

II.2.1. Définition

Selon l'institut des sciences physiques de LONDRE (2014), La dissipation désigne est la perte d'énergie en cours du temps , elle est due aux frottements et aux turbulences, et l'énergie correspondante se transforme en chaleur(c'est l'énergie qui ne pourra pas être retransformée en énergie mécanique.

II.2.2. Généralités sur le phénomène

D'après LENCASTRE, Afin de minimiser les effets des perturbations introduites dans les régimes naturels par l'exécution d'un aménagement hydraulique il faut que la restitution des débits s'effectue dans des conditions qui se rapprochent le plus possible des conditions naturelles, ainsi il est nécessaire que l'excédant d'énergie créée par l'exécution de l'aménagement se dissipe, sans que se produisent dans le lit du fleuve en aval des ouvrages des érosions significatives qui pourraient affecter la stabilité de l'ouvrage en question, cette dissipation d'énergie est la transformation d'une partie de l'énergie mécanique de l'eau en énergie de turbulences et à la fin en chaleur, sous l'effet du frottement intense de l'écoulement et du frottement de celui-ci sur les parois.

Les types de structures les plus souvent adoptés pour atteindre cet objectif sont les suivants :

- a) Bassins de dissipation par impact
- b) Bassins de dissipation par roller
- c) Bassins de dissipation par Macrorugosité
- d) Bassins de dissipation par ressaut hydraulique

Remarque

Dans ce document, nous allons citer les différents bassins de dissipation mais, nous allons seulement nous intéresser à ceux dits par ressaut hydraulique

II.2.3. Types de bassins de dissipation

Les types de bassins de dissipation utilisant le ressaut hydraulique on va les resumé dans le schémas suivant

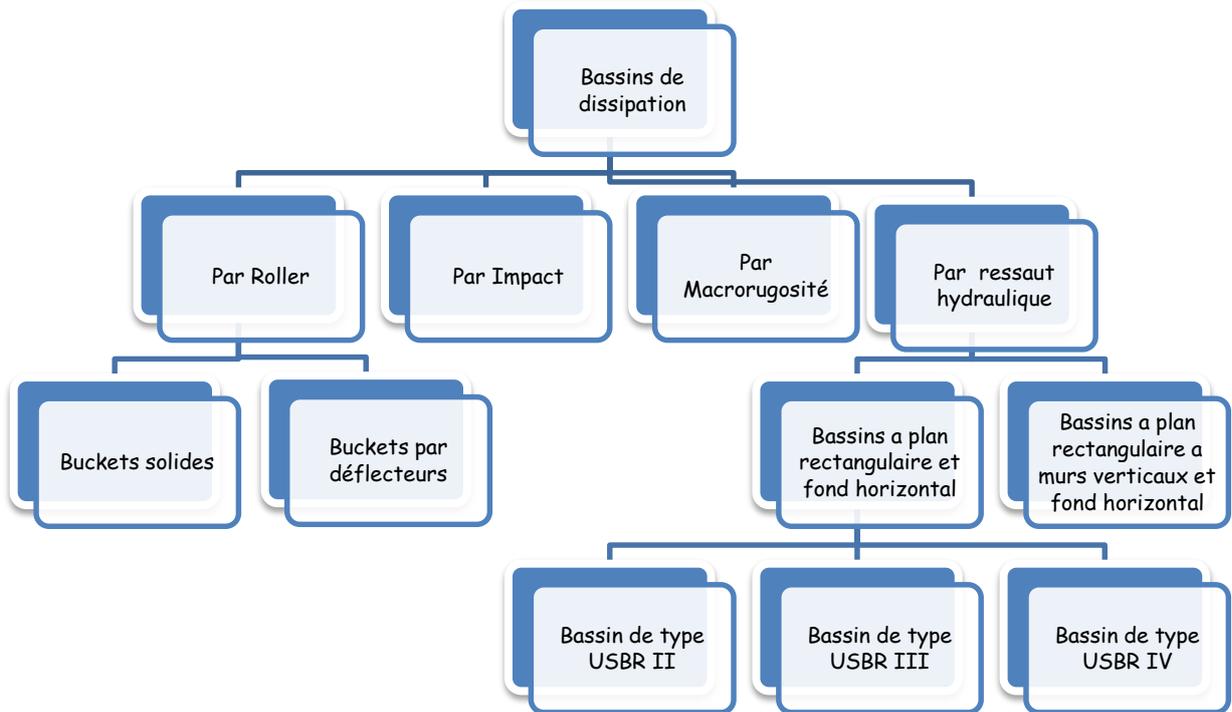


Schéma des différent type de bassins de dissipation d'énergies

Les différents bassins seront montrés aussi dans les figures qui suivent :

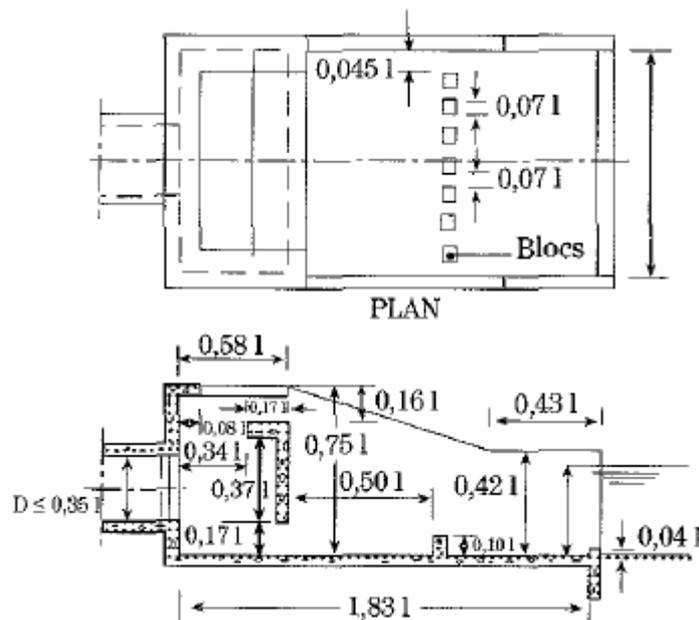


Figure II.4 : Bassin de dissipation par impact

II.2.3.2. Bassins de dissipation par roller ou par buckets

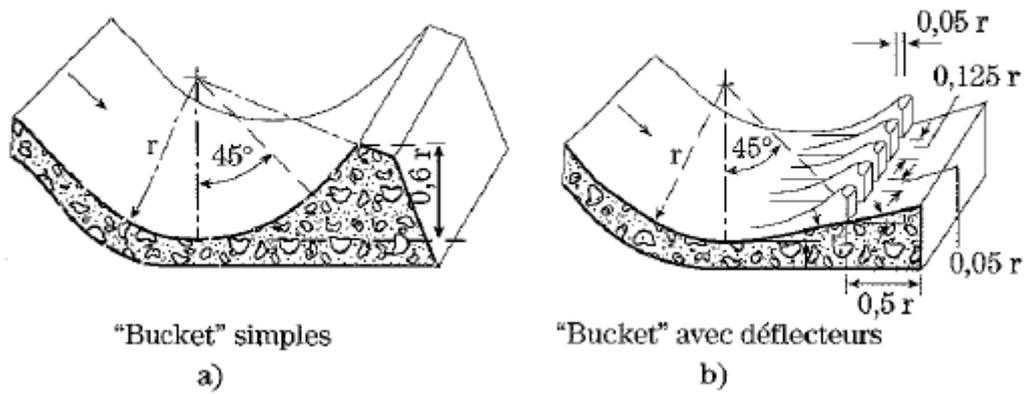


Figure II.5 : Bassin de dissipation par Roller
 a) Bucket simples
 b) Bucket avec déflecteurs

II.2.3.3. Bassins de dissipation par macrorugosité

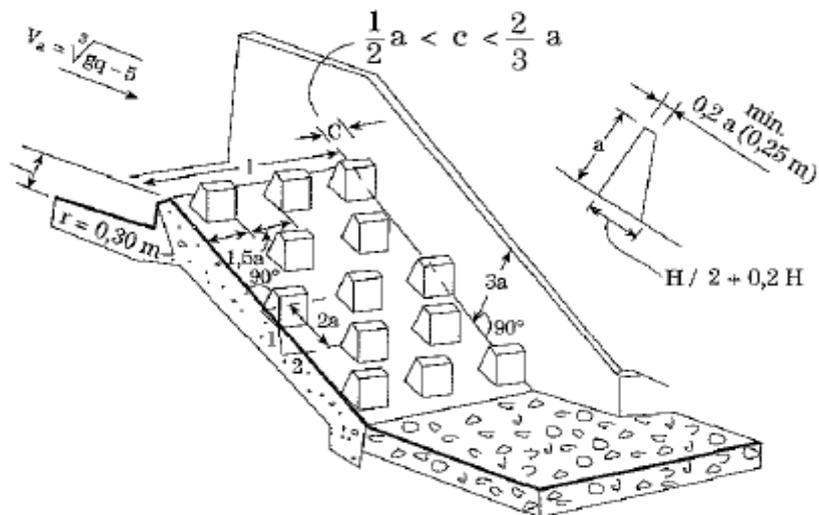
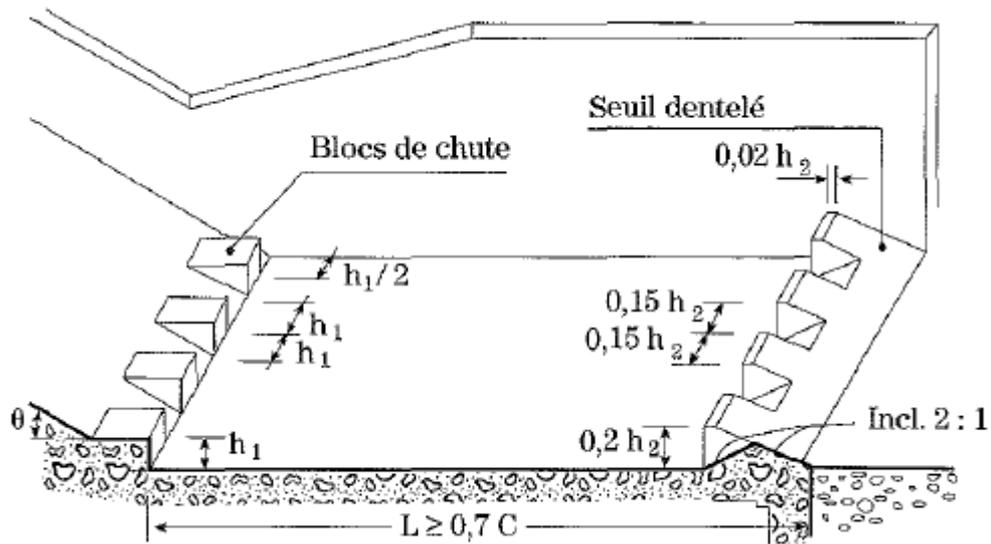


Figure II.6 : Bassin de dissipation par macrorugosité

II.2.3.4. Bassins de dissipation par ressaut hydraulique**II.2.3.4.1. Bassins à plan rectangulaire et fond horizontal****a) Bassins avec blocs de chute et seuil dentelé (Bassins de type II USBR)****Figure II.7 :** Bassin avec blocs de chute et seuil dentelé (Bassin de type II USBR)

b) Bassins avec bloc de chute, blocs d'amortissement et seuil terminal continue (Bassins de type III USBR)

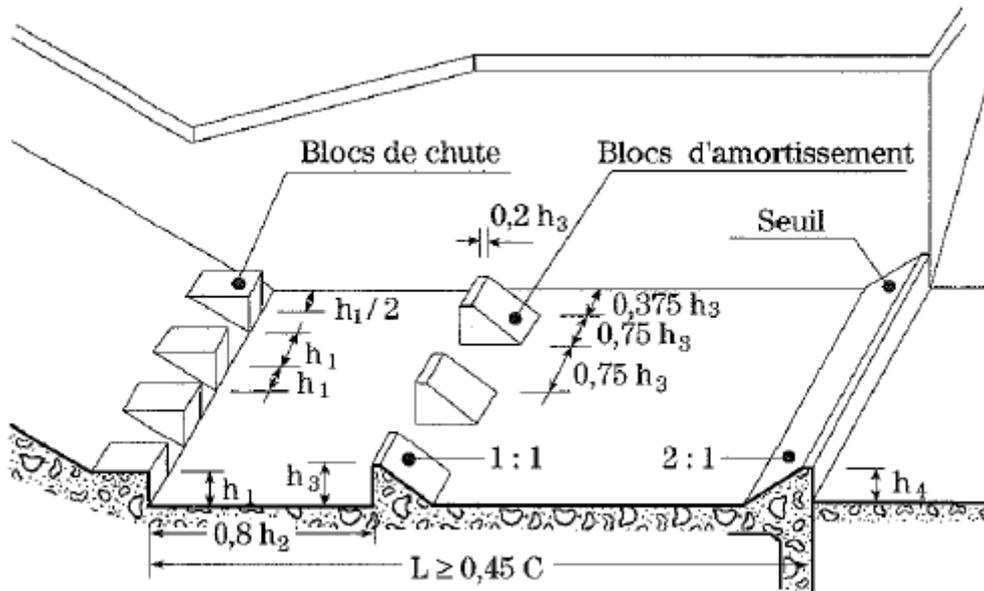


Figure II.8 : Bassin avec bloc de chute, blocs d'amortissement et seuil terminal continue (Bassin de type III USBR)

c) Bassins avec déflecteurs et seuil terminal continue (Bassins de type IV USBR)

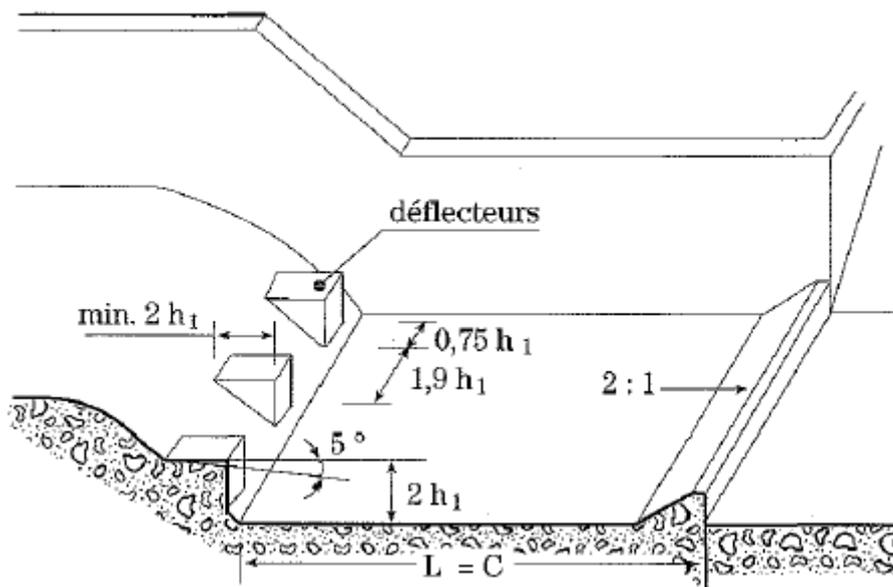


Figure II.9 : Bassin avec déflecteurs et seuil terminal continue (Bassin de type IV USBR)

II.3. Localisation et Position du ressaut

D'après M.CARLIER (1978), Le ressaut apparaît lorsqu'un écoulement doit passer du torrentiel au fluvial. La recherche de la position d'un ressaut était le sujet de plusieurs recherches mais jusqu'à présent y'a pas une formule exacte pour la détermination de cette dernière. mais il existe des méthodes graphiques pour savoir d'une façon justifiable la position de notre ressaut.

La détermination pratique de cette position peut se faire de deux façons :

a) Cas où il n'y a pas de régime uniforme :

la méthode graphique consiste à tracer les deux courbes de remous amont et aval (en canal à faible pente M_3 et M_2). Au dessus de la courbe M_3 , nous tracerons la courbe M'_3 des hauteurs conjuguées de M_3 . Le ressaut se situera entre les points A et B de façon à ce que la longueur A'B soit égale à celle du ressaut (M.CARLIER 1978).

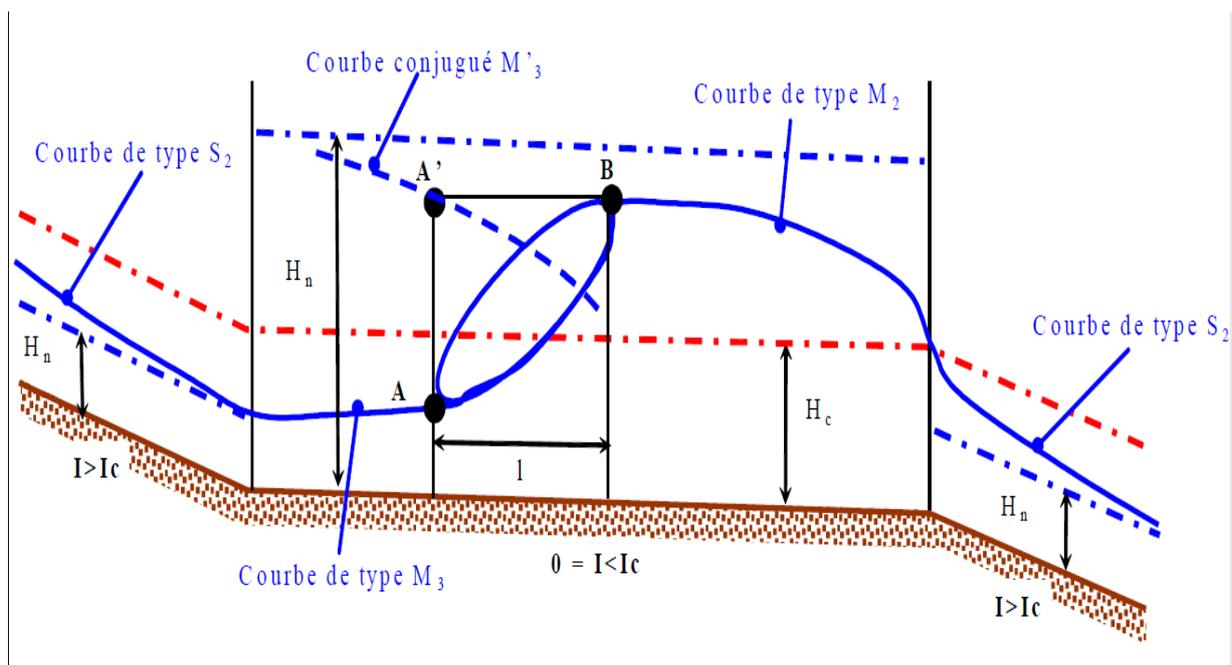
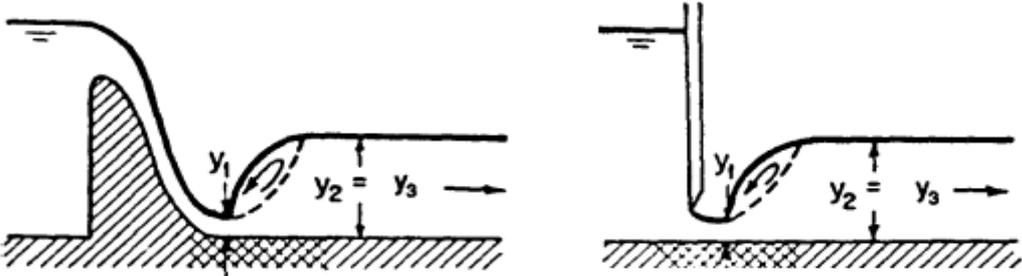


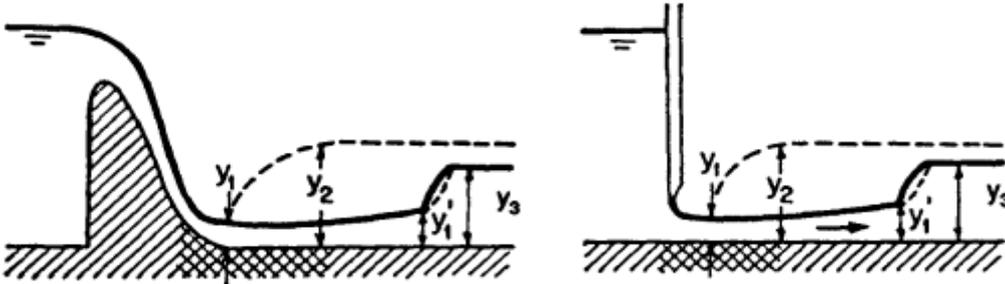
Figure II.11 : Détermination de la position du ressaut prise de M.CARLIER (1978)

b) Cas où le régime aval est uniforme :

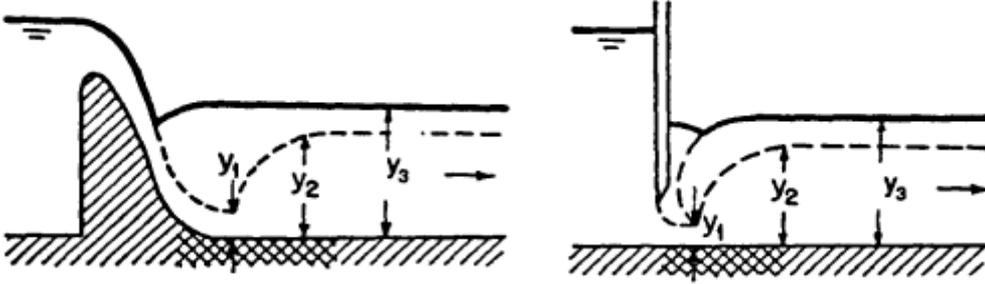
Pour ce cas, Nous connaissons la hauteur d'eau aval, il suffit alors de calculer la hauteur conjuguée, puis de déterminer d'après la courbe de remous amont, l'abscisse où nous rencontrons cette hauteur.



Cas 1 : $y_3 = y_2$



Cas 2 : $y_3 < y_2$



Cas 3 : $y_3 > y_2$

Figure II.12 : Localisation du ressaut

Conclusion

Dans ce chapitre, on a défini plusieurs utilisations du ressaut hydraulique, nous avons aussi vu sa capacité de dissipation d'énergie ainsi et les différents ouvrages utilisés pour la dissipation

Aussi on a opté à mentionner quelques méthodes pour la détermination de la longueur du ressaut.

Chapitre III :

Méthodes et matériels

Introduction :

Dans ce chapitre on va mentionner le matériel utilisé pour localiser le ressaut soit pour le cas rectangulaire ou p pour le cas triangulaire, pour le cas on va mentionner les différents dispositifs utilisés mais on va prendre juste une partie avec la quelle on va comparer les résultats du rectangle avec ceux du triangle

III.1. Description du dispositif pour le cas rectangulaire :

Un canal d'essai :

De 12.5m de longueur avec une section rectangulaire de 450x309 mm et un circuit d'eau fermé.

Alimenté en amont par quatre réservoirs en matière plastique renforcée de fibres de verre contenant chacun 1100 L

Possédant un système d'ajustage électronique de l'inclinaison qui peut varier de [-0,5 à +2,5%]

Equipé d'une pompe de type Aquafirst débitant 132 m³/h au maximum



Figure III.1 : Photo du canal d'essai

Pour le cas triangulaire on a le même dispositif et on a rajouter un canal triangulaire en plexiglas comme le montre la figure suivante :



Les figures qui suivent montre les différents dispositifs utilisés pour le cas rectangulaire pour les différents cas d'étude établie pour la localisation du ressaut pour ce cas Pour notre cas d'études qui est le triangulaire on va prendre juste les débits de la dernière partie du cas rectangulaires, on va les introduire dans le canal triangulaire pour voir les résultats obtenu et les comparer avec ceux du rectangles Les résultats et leur discussion seront résumé dans le dernier chapitre

Tableau III.1 : Caractéristique du dispositif d'inclinaison

Désignation	Valeur
Puissance du moteur	1.1 KW
Vitesse de rotation	935 min ⁻¹
Rapport de transmission	i = 24:1
Course	0.25 mm/tour / 233 mm/min
Poids	20 Kg



Figure III.2 : Dispositif d'inclinaison automatique

- Le canal est alimenté en amont par quatre (04) réservoirs en matière plastique renforcée de fibres de verre contenant chacun 1100 L un bac de décharge aussi appelé élément d'entrée.



Figure III.3 : Réservoirs du canal de type Hm160

- une pompe de type Aquafirst (Figure III.4) donnant un débit maximal de $132 \text{ m}^3/\text{h}$

Tableau III.2 : Caractéristiques de la pompe du banc d'essai

Désignation	Valeur
Types	Aquafirst à 8 ailettes
Débit maximal	132 m ³ /h
Hauteur de refoulement maximal	16 m
Puissance absorbée	4 KW
Vitesse de rotation	1450 min ⁻¹

**Figure III.4** : Pompe d'essai du dispositif

Le débit circulant dans le dispositif peut être mesuré à l'aide d'un débitmètre électromagnétique donnant la valeur réelle du débit.

**Figure III.5** : Débitmètre électromagnétique

Le dispositif à un poids total d'environ 1950 kg et nécessite pour son fonctionnement une tension de 380 V pour une fréquence de 50 Hz sur un système à 3 phases.

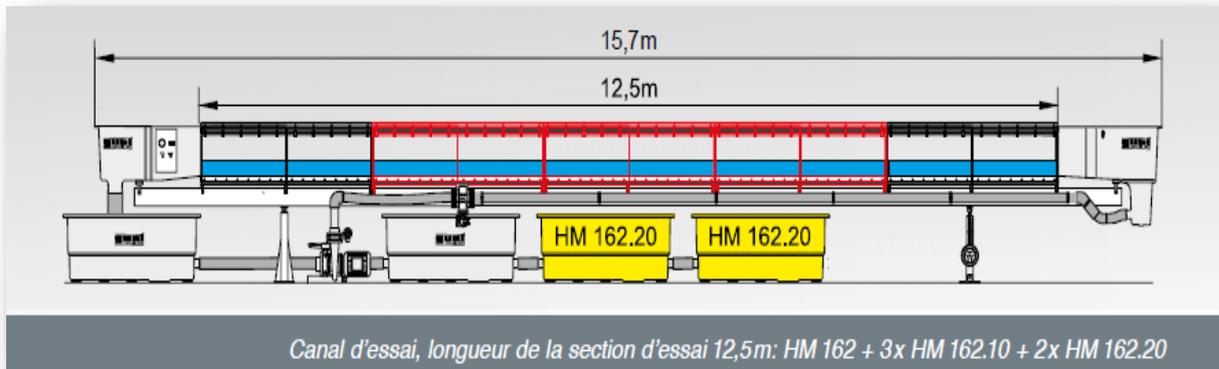


Figure III.6 : Schéma du dispositif expérimental



Figure III.7 : Coffret de commande du dispositif

Les accessoires dont nous disposons sont consignés dans le tableau ci-après :

Tableau III.3 : Accessoires disponibles avec le canal

Accessoires	Accessoires	Accessoires
Une vanne plane	Une vanne radiale	Un générateur de vagues
Un déversoir à crête arrondie avec mesure de pression	Un déversoir à crête arrondie avec 2 évacuateurs	Un circuit de sédiments fermé ou Piège à sédiments
Un jeu de déversoirs à paroi	Un support pour instruments	Un alimentateur en sédiments

mince (4 types)		
Un déversoir à seuil épais	Un pilotes vibrants	Un jeu de plages
Un déversoir cunéiforme	Un seuil	Un canal trapézoïdal
Un déversoir à siphon	Un passage	Un canal Parshall
Un jeu de dégrilleurs	Un jeu de piles (7 profils)	Un canal Venturi
Une jauge à eau numérique	Un appareil de mesure de vitesse	Un tube de Prandtl
Un manomètre à 10 tubes	-	Une mesure électronique de la pression

Les accessoires sus-cités se vissent au fond de la section d'essai pour plus de stabilité

III.3. Protocole expérimental (cas d'un canal rectangulaire) :

« La partie expérimentale de cette étude s'est déroulée en trois (03) parties :

- Etude du ressaut en aval d'une vanne plane sans obstacle en aval.
- Etude du ressaut en aval d'une vanne plane avec utilisation de seuils dentés
- Etude du ressaut en aval d'un déversoir. »
(mémoire master Yaiche Lotfi juin 2016)

Remarque :

Dans notre cas d'étude on a rajouter dedans un canal triangulaire en plexiglas

III.3.1. Etude du ressaut en aval d'une vanne plane sans obstacle en aval



Figure III.8 : Vanne plane

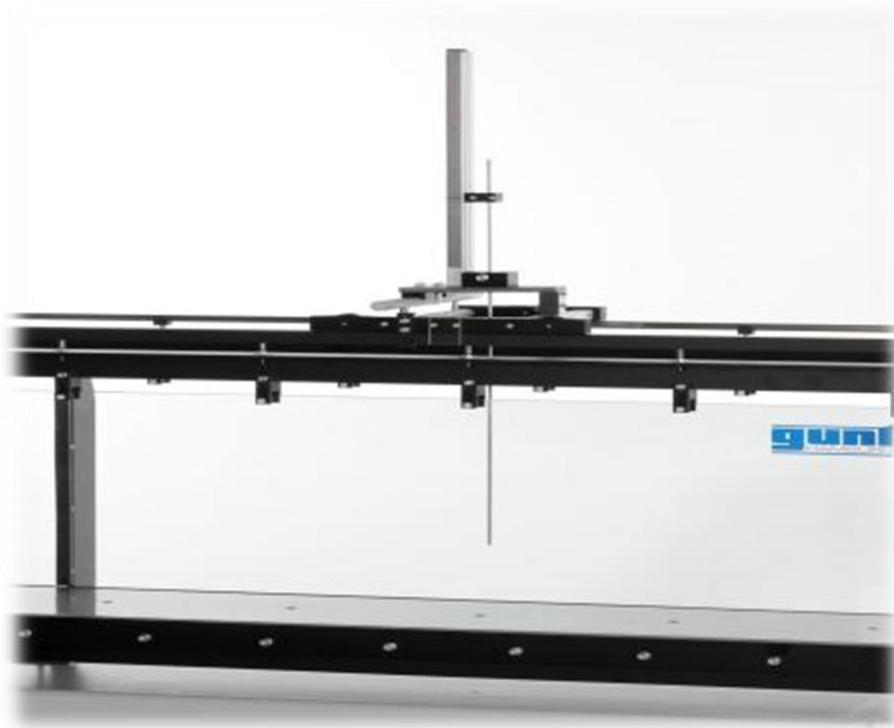


Figure III.9 : Appareil de jaugeage

III.3.2. Etude du ressaut en aval d'une vanne plane avec utilisation de seuils dentés



Figure III.10 : Jeu de seuils

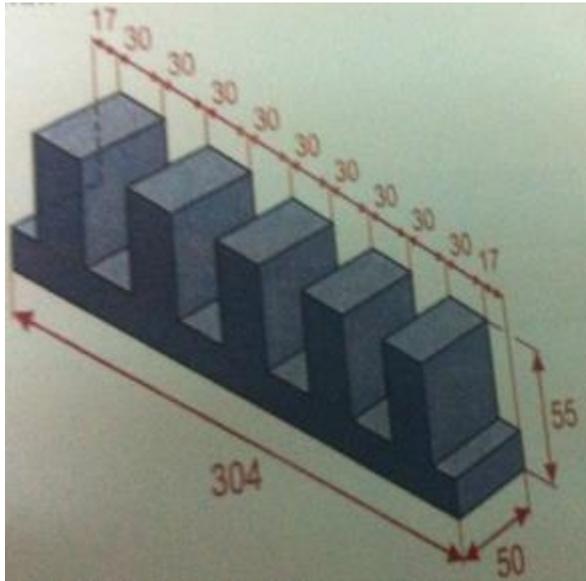


Figure III.11 : Seuil denté n°1

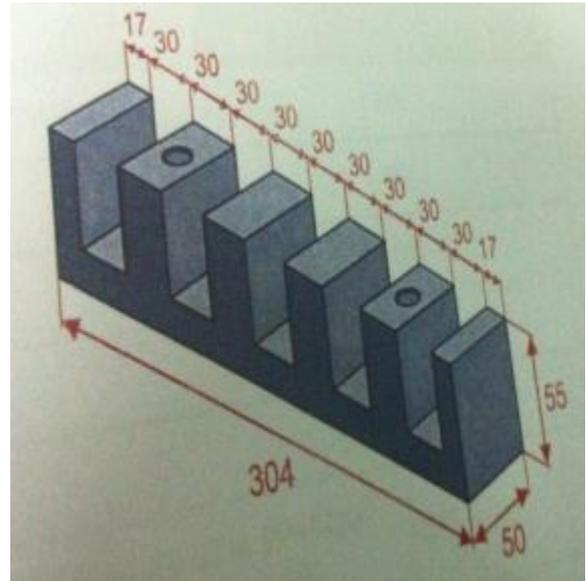


Figure III.12 : Seuil denté n°2

III.3.3. Etude du ressaut en aval d'un déversoir à crête arrondie sans obstacles en aval

C'est le cas qu'on a pris les débits utilisés qui varient de (8_ 40 m³/h) sans la crête arrondie on introduit le canal triangulaire et on compare les résultats



Figure III.13 : Déversoir à crête arrondie

Position du problème (cas du canal triangulaire)

La mise en place d'un seuil continu à paroi mince de hauteur s (Figure 14) dans un canal triangulaire horizontal, à une distance x du pied du ressaut, provoque l'apparition de celui-ci. Le ressaut est généré par un convergent C inséré au pied d'un réservoir R . Pour une valeur donnée du débit Q_1 et pour une hauteur choisie s_1 du seuil, le ressaut peut s'étendre sur une longueur L_{j1} nettement inférieure à x (Figure 1a). L'accroissement du débit à $Q_2 > Q_1$ entraîne à la fois le déplacement du ressaut vers l'aval ainsi que l'augmentation de sa longueur à L_{j2} (Figure 1b). En dépit de l'augmentation du débit, la tranche d'écoulement en régime torrentiel de longueur Ox peut être réduite par la surélévation du seuil. L'accroissement de Q et de s implique une longueur relative L_j/x de plus en plus grande et à la limite égale à l'unité (Figure 1c). Plus la longueur x est grande et plus les valeurs de Q et de s doivent être élevées afin d'atteindre une longueur relative L_j/x égale à l'unité. Si la longueur Ox est suffisamment courte, la hauteur initiale h_1 du ressaut peut être raisonnablement assimilée à l'ouverture a_o du convergent générant l'écoulement incident. Si l'on considère un seuil à paroi mince dénoyé, la hauteur h_3 à l'aval du seuil n'a aucune influence sur le débit et même sur le comportement du ressaut. Les paramètres intervenant au phénomène sont alors $Q, h_1, s, x, L_j, g, \theta$, où g et θ représentent, respectivement, l'accélération gravitationnelle et l'angle d'inclinaison des parois du canal par rapport à l'horizontale. Ces paramètres permettent de composer les produits adimensionnels tels que le nombre de Froude de l'écoulement incident $F_1 = [2Q^2 / (gm^2h^5)]^{1/2}$ avec $m = \cot\theta$ où \cot est la cotangente et $h_1 \approx a_o$, la hauteur relative du seuil $S = s/h_1$, la position relative du seuil $X = x/h_1$ et enfin $\lambda_j = L_j/x$, qui sont liés par la relation fonctionnelle $f(F_1, S, X, \lambda_j) = 0$. L'un des objectifs de la présente étude est de définir f pour l'ensemble des configurations du ressaut, c'est à dire pour toute valeur de la longueur relative λ_j , et notamment pour $\lambda_j = 1$.

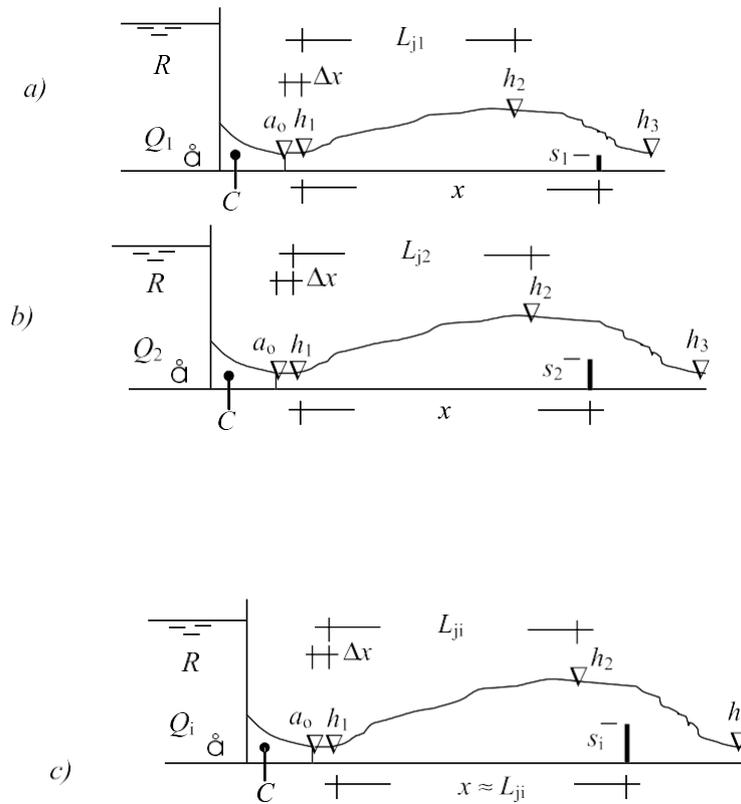


Figure III.14 Configurations à débit croissant du ressaut contrôlé par un seuil à paroi mince.

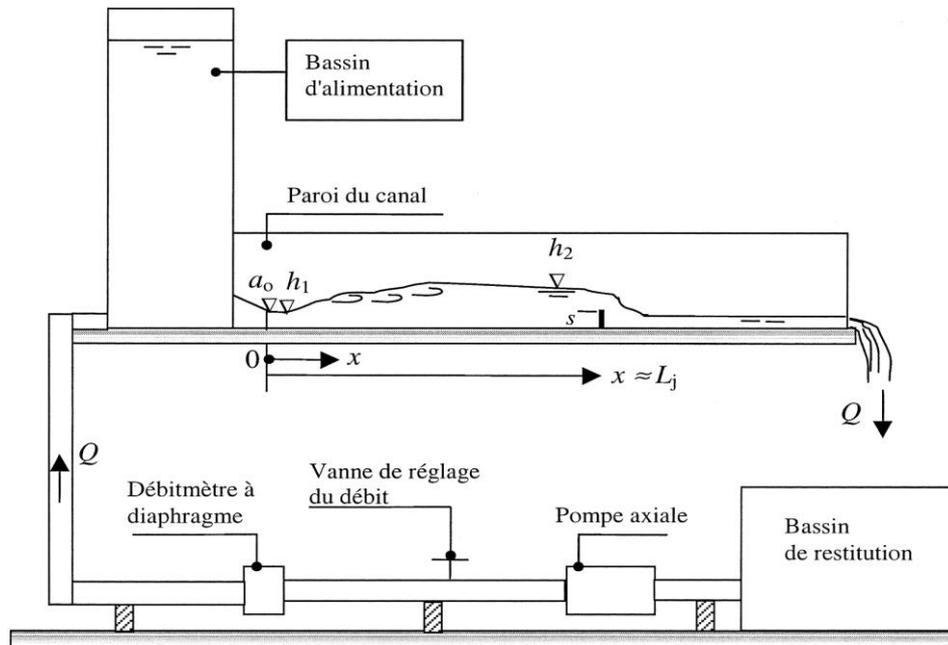


Figure III.15 Schéma du dispositif expérimentale (cas d'un canal triangulaire)

Conclusion

A travers ce chapitre matériels et méthodes, nous avons expliqué le dispositif utilisé dans l'étude expérimentale du ressaut hydraulique en détails ainsi que tous ces composants avec illustrations. Nous avons développé le protocole expérimental pour les trois expériences réalisées dans cette étude à savoir :

- L'étude du ressaut en aval d'une vanne plane sans obstacle en aval
- L'étude du ressaut en aval d'une vanne plane avec des seuils dentés en aval
- L'étude du ressaut en aval d'un déversoir à crête arrondie sans obstacle en aval

- De ces expériences on va prendre le cas de L'étude du ressaut en aval d'un déversoir à crête arrondie sans obstacle en aval mais sans introduire la crête on va la remplacer par l'introduction du canal triangulaire.

La comparaison des résultats des deux carneaux rectangulaire et triangulaire va faire l'objet du chapitre suivant

Chapitre IV :

Résultats et discussions

Introduction :

Ce chapitre sera divisé en 3 parties, la première partie concernera l'analyse des résultats obtenus pour le canal rectangulaire et leurs analyse ; la deuxième sera les résultats pour le canal triangulaire, la troisième sera la comparaison entre les deux canaux et la conclusion qui en tira le meilleur canal à adopter dans les ouvrages de protection.

IV.1. Analyse des résultats

Dans ce document, nous allons comparer les résultats obtenus par rapport à l'approche du ressaut hydraulique dans un canal rectangulaire issu des expérimentations établies dans le mémoire de master (contribution à la localisation du ressaut hydraulique (cas d'un canal rectangulaire) et ceux obtenus en utilisant un canal triangulaire .

En premier lieu, nous allons comparer le rapport des deux hauteurs conjuguées pour les deux cas (canal rectangulaire et triangulaire). Ensuite, nous allons comparer la longueur du ressaut trouvée expérimentalement pour un canal rectangulaire avec celle trouvée pour un canal triangulaire

En dernier lieu nous allons projeter nos résultats sur le débit d'évacuation dans le cas de notre étude du mémoire fin d'étude (diagnostic et réhabilitation du réseau d'assainissement de la ville de BORDJ BOU NAAMA W de TISSEMSSILET) pour comparer et trouver le canal le mieux placé pour l'évacuation en terme de longueur donc en terme de diminution du coût de la réalisation .

IV.1.1.1. Exposition des résultats

Les résultats des expérimentations du canal rectangulaire sont confinés dans le tableau ci-dessous

Tableau IV.1 : Résultats des essais pour le cas du canal rectangulaire

Pente (%)	Essais	Débit (m ³ /h)	H ₁ (Cm)	H ₂ (Cm)	H _{amont} (Cm)	L (Cm)	D (Cm)	FR ₁
0	1	8	0,4	4,6	33,8	32,3	67	9
0	2	10	0,7	4,3	34,4	27,7	110	4,90
0	3	12	0,9	4,6	34,6	28,4	150	4,03
0	4	14	1,1	4,7	35	27,7	200	3,48
0	5	16	1,4	4,7	35,4	25,4	240	2,77
0	6	18	1,7	4,6	35,7	22,3	275	2,33
0	7	20	1,7	5,2	35,9	26,9	310	2,59
0	8	22	2	5,2	36,2	24,6	365	2,23
0	9	24	2,1	5,3	36,4	24,6	390	2,26
0	10	26	2,4	5,2	36,6	21,5	443	2,01
0	11	28	2,6	5,4	37	21,5	500	1,92
0	12	30	2,6	5,9	37,3	25,4	540	2,05
0	13	32	2,9	6	37,4	23,8	590	1,86
0	14	34	3,2	6	37,7	21,5	643	1,70
0	15	36	3,2	6,4	37,9	24,6	670	1,81
0	16	38	3,4	6,5	38,1	23,8	700	1,74

En utilisant les équations, En se basant sur les débits utilisés dans les expériences du canal rectangulaire , on obtient les résultats résumés dans le tableau ci-dessous

Tableau IV.2 : Résultats des calculs pour les cas d'un canal triangulaire

H1	H2	H2/H1	FR1	YS	H2	H1	longueur relative	position du seuil	L'éloignement(D)	FR1
0,4	4,6	11,5	9	4,82204578	1,92881831	0,4	18,95734707	5,704189795	13,25315727	8,79835668
0,7	4,3	6,14285714	4,9	3,30645346	2,31451742	0,7	20,02001601	7,251942852	12,76807316	5,07851094
0,9	4,6	5,11111111	4,03	2,89498646	2,60548782	0,9	21,14804892	7,76958445	13,37846447	4,19638366
1,1	4,7	4,27272727	3,48	2,61117952	2,87229747	1,1	21,97648863	8,502627474	13,47386115	3,62323927
1,4	4,7	3,35714286	2,77	2,2122527	3,09715378	1,4	21,04470684	8,219309893	12,82539694	2,8694323
1,7	4,6	2,70588235	2,33	1,94344929	3,3038638	1,7	19,88791114	7,990679884	11,89723125	2,3977191
1,7	5,2	3,05882353	2,59	2,10446174	3,57758497	1,7	23,28205357	9,347216282	13,93483729	2,67665627
2	5,2	2,6	2,23	1,87975368	3,75950736	2	21,8178913	8,581105739	13,23678556	2,29042444
2,1	5,3	2,52380952	2,26	1,89896909	3,98783509	2,1	23,40915512	9,927606242	13,48154888	2,32260782
2,4	5,2	2,16666667	2,01	1,73594734	4,16627363	2,4	21,90179297	9,42343463	12,47835834	2,05471031
2,6	5,4	2,07692308	1,92	1,67559415	4,35654478	2,6	21,78115526	9,06574041	12,71541485	1,95853132
2,6	5,9	2,26923077	2,05	1,76248144	4,58245174	2,6	24,58240158	10,17849774	14,40390383	2,09751327
2,9	6	2,06896552	1,86	1,63484676	4,74105562	2,9	22,82908966	8,795538682	14,03355097	1,89453065
3,2	6	1,875	1,7	1,52411305	4,87716176	3,2	20,79680581	7,426622515	13,37018329	1,72446811
3,2	6,4	2	1,81	1,60057063	5,12182603	3,2	23,83064275	9,083436722	14,74720602	1,84128319
3,4	6,5	1,91176471	1,74	1,55208519	5,27708965	3,4	23,27591168	8,619498199	14,65641348	1,76688915
3,6	6,7	1,86111111	1,7	1,52411305	5,48680698	3,6	23,39640654	8,489707593	14,90669894	1,72446811

Du Tableau IV.2 on obtient les graphes :

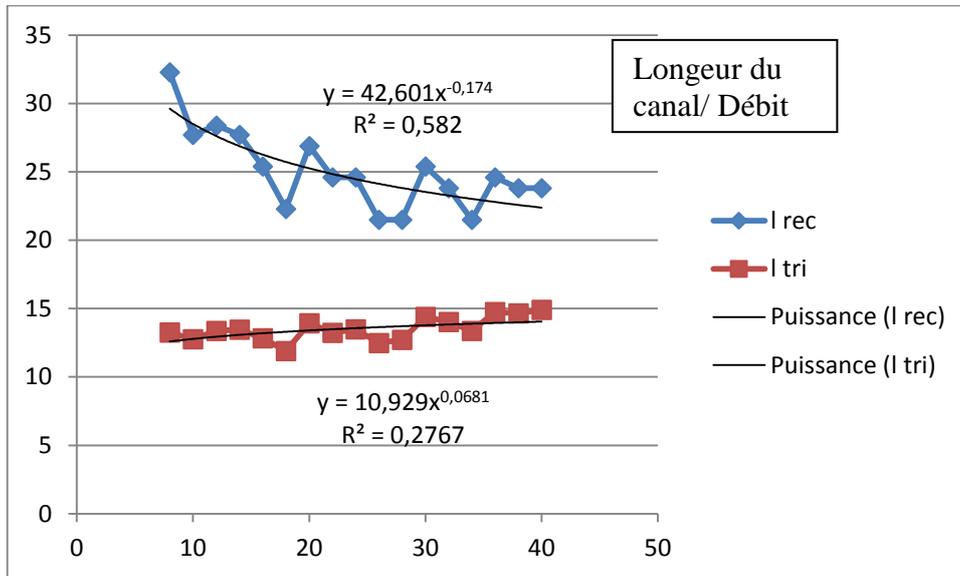


Figure IV.1 : Graphe de la longueur du canal en fonction du débit (canal triangulaire / rectangulaire)

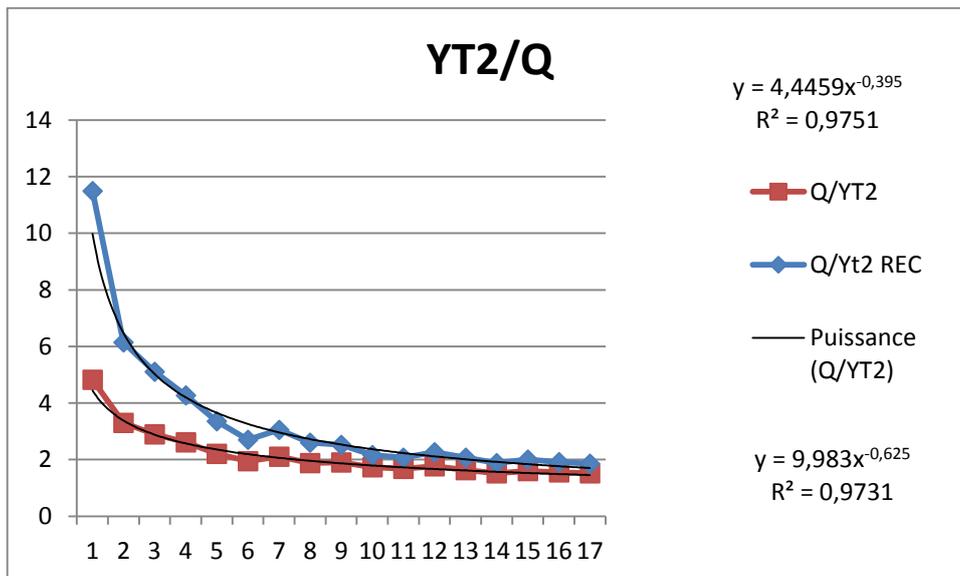


Figure IV.2 : Graphe des hauteurs conjugué en fonction du débit (canal trinagulaire/rectangulaire)

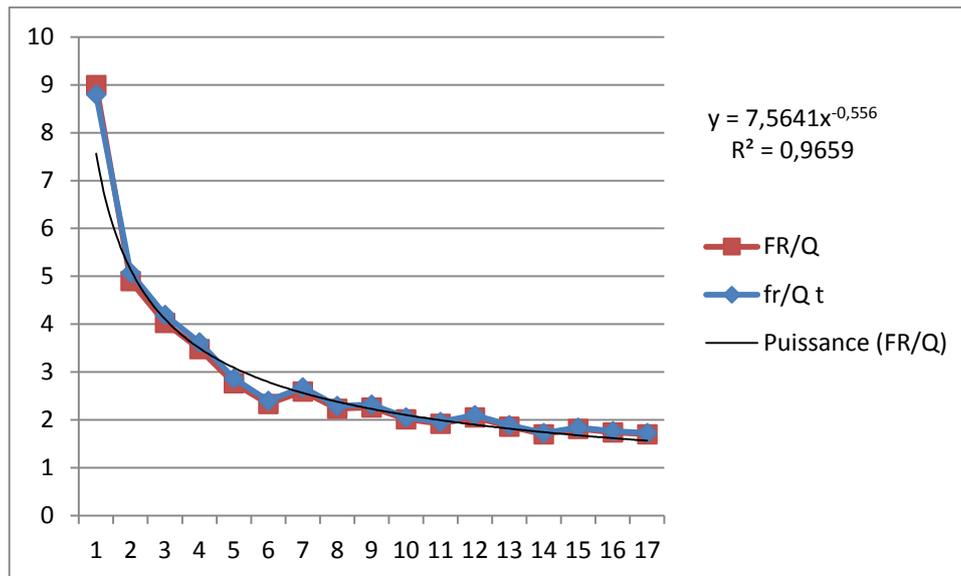


Figure IV.3 : Graphe de nombre de froude en fonction du débit (canal trinagulaire/rectangulaire)

D'après les graphes précédents on obtient le seuation suivantes (pour le canal triangulaire) :

$$L = 10,92Q^{0,068}$$

$$Yt2 = 4,445Q^{-0,39}$$

$$FR = 7,564Q^{-0,55}$$

Pour le canal rectangulaire on a les equations suivantes d'après les garphes :

$$L = 42,60Q^{-0,17}$$

$$Yt2 = 9,983Q^{-0,62}$$

$$FR = 7,564Q^{-0,55}$$

D'où on trouve la longer du canal d'évacuation de notre cas d'étude (le canal d'evacuatio de la Ville de BORDJ BOU NAAMA)

$$L \text{ (rec)} = 5585,14896 \text{ m}$$

$$L \text{ (tri)} = 1161,824578 \text{ m}$$

La comparaison entre le canal triangulaire et le canal rectangulaire(en ensérant le même débit d'evacuatio de BORDJ BOU NAAMA ($Q = 640,753 \text{ m}^3/\text{h}$)) est résumé dans le tableau suivant

Tableau IV.3 : Résultats des calculs pour les cas d'un canal triangulaire

	LONGEUR	RAPPORT DES HAUTERUS	AVNATAGES	INCONVINIENTS
Canal RECTANGULAIRE	5585,14896 m	0,18	Forme rectangulaire permanente Facilité d'auto curage → entretien facile	Plus long → cout de projet élevé
Canal TRIANGULAIRE	1161,824578 m	0,35	Moin Long → cout de projet diminue	Erosion → Déformation de la forme triangulaire Dépôts → Déformation de la forme → Forme Trapézoïdale Auto curage difficile Difficulté d'auto curage → difficulté d'entretien

Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons pu analyser les résultats expérimentaux obtenus pour le canal rectangulaire avec les résultats du phénomène du ressaut hydraulique dans le canal triangulaire. Ces résultats ont été comparés.

L'expérimentation a montré qu'en canal rectangulaire, la distance était plus longue que celle du canal triangulaire.

Ensuite, nous nous sommes intéressés aux rapports des hauteurs pour les deux canaux divers, A la fin, nous avons établi une comparaison entre les deux canaux en terme d'avantages et d'inconvénients pour chaque cas ; d'où on conclue qu'en terme de cout et difficulté d'entretien ; on opte pour le canal rectangulaire pour évacuation et protection des ouvrages.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a été dédiée à la contribution de la détermination de la position du ressaut hydraulique dans le cas d'un canal triangulaire, quatre chapitres répertoriés en deux grandes parties ont alors été nécessaires :

- Une partie bibliographique qui a mis en revue l'approche scientifique et théorique du phénomène ainsi que de la dissipation d'énergie. En effet nous avons défini le ressaut comme étant un phénomène hydraulique à part entière ainsi que ses différents paramètres, nous avons aussi vu les multiples utilisations du ressaut ainsi que les différents ouvrages de dissipation qui utilisent le ressaut comme procédé d'atténuation d'énergie.
- Une deuxième partie qui a traité du protocole expérimental qui a été adopté ainsi que de l'analyse et de la discussion et la comparaison des résultats.
Puis comparés entre les différents cas obtenus en analysant les résultats et en essayant d'établir des relations fonctionnelles entre les différents paramètres régissant le phénomène et il a été remarqué ce qui suit :
 - ❖ Les risques des dépôts et d'érosion sont plus importants pour le cas triangulaire que celui du rectangulaire
 - ❖ La distance de formation du ressaut pour le cas rectangulaire est plus importante que celle du triangulaire

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Andersen J.V. M., 1978. Undular hydraulic jump, Proc, ASCE, j, Hydraulics Division, Vol. 104.

Achour B., Debabèche M., Khattaoui M., Bedjaoui A., 2002. Ressaut hydraulique classique et contrôlé dans quelques profils de canaux. LARHYSS Journal 3^{ème} Edition du 2 Mai 2002. vol N°1, 37-72.

Achour B., Khattaoui M., 2007. Hystérésis du ressaut hydraulique contrôlé par seuil dans un canal rectangulaire, Courier du savoir, 22-31.

Achour B., Debabeche MControlofhydraulicjumpbysillintriangular channel , Journal of Hydraulic Research · February 2010

Achour B., 2007.Effect of sill in a triangular channel, J. Hydr.Research, 45(1), 135-139.

Belanger J. B., 1828. Essai sur la solution numérique de quelques problèmes relatifs au mouvementpermanent des eaux courantes, Carilian-Goeury, Paris.

Bradley J.N., 1957. The hydraulic design of stilling basins: Hydraulic jumps on a horizontal apron, paper 1401, Proc. ASCE, J. Hyd. Div., Vol. 83.

Bensidiahmed H., 2016. Modélisation de l'écoulement dans un canal rectangulaire. Mémoire de Master. ENSH/Blida.

Chow V.T., 1959. Open-channel Hydraulics. McGraw Hill, New York.

Carlier M., 1972. Livre d'Hydraulique générale et appliquée, édition Eyrolles. Paris.

Chanson H., 2009. Experimental investigation of bubbly flow and turbulence in hydraulic jumps.

Chanson H., 2009.Development of the Bélanger Equation and Backwater Equation by Jean-Baptiste Bélanger (1828).J. Hydraulic. Eng., ASCE.

Debabèche M., 2003.Ressaut hydraulique dans les canaux prismatiques. Thèse de doctorat d'état, Université deBiskra.

Debabèche M., Kateb S.,Ghomri A., 2006. Etude du Ressaut Hydraulique dans un canal triangulaire à parois rugueuses.Journal of hydraulic research., 05,187-196.

Forester J.W., Skrinde R.A., 1950.Control of the hydraulic jump by sills.ASCE Transactions, 115(2415) : 973--987.

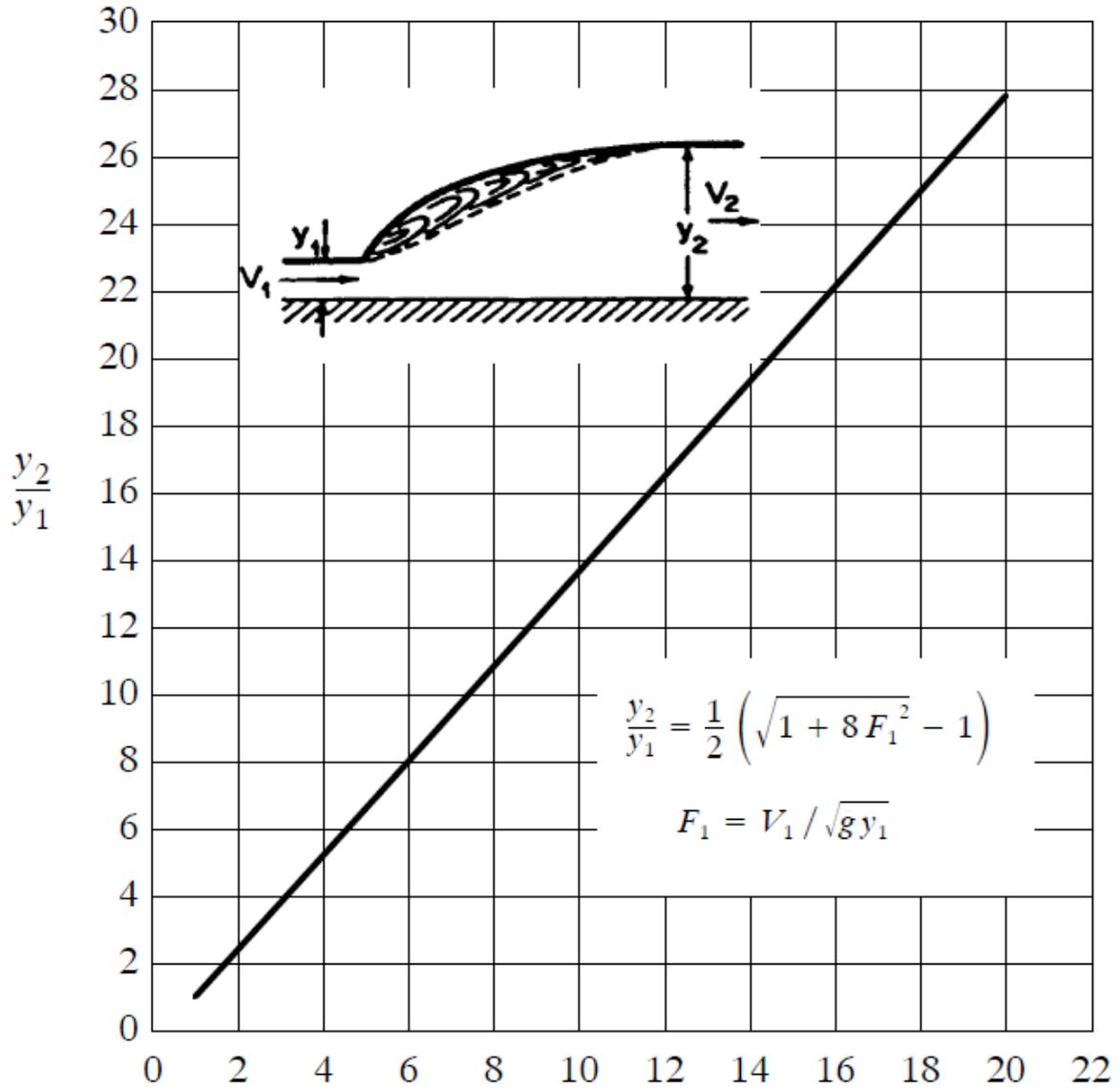
Goubaa A., 2014. Modélisation Numérique Des Courbes de Remous dans les Canaux Découverts de Profil Non Prismatique. Mémoire de Magistère. Université de Hadj Lakhder Batna.

Hager W. H., 1988.Hydraulic jump in U-shaped channel, Proc.ASCE, J. Hydraulic Engineering.

- Hager W.H., 1990.** Classical hydraulic jump: length of roller. J. Hydraulic. Res., Vol. 28, n°5.
- Kateb S., 2013.** Etude théorique et expérimental de quelques types de ressauts hydrauliques dans un canal trapézoïdal. These de doctorat. Université Mohamed Khider. Biskra.
- Leutheusser, Kartha, 1972.** Effects on inflow condition on hydraulic jump. J. Hydraulic. Div., Vol. 98, n°8.
- Lencastre A., 1983.** Livre d'Hydraulique générale, édition Eyrolles, Paris.
- Murzyn F., 2007.** Free-surface fluctuations in hydraulic jumps: experimental observations. Exp. Therm. Fluid Sci, Vol. 33.
- Posey C.J., Hsing P.S., 1938.** The hydraulic jump in trapezoidal channel. Engineering News Record 121, 797-798.
- Peterka A.J, 1964.** Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators. US Bureau of Reclamation, Engineering Monograph No.25.
- Resch ,Leutheusser, 1971.** Le Ressaut hydraulique : Mesures de turbulence dans la région diphasique. La Houille blanche., n°4.
- Resch et al., 1976.** Étude de la structure cinématique et dynamique du ressaut hydraulique. J. Hydraulic. Res., Vol. 14, n°4..
- Yaiche L** Contribution à la localisation du ressaut hydraulique (Cas d'un canal rectangulaire)(Mémoire Master) Juin 2016
- Zimmerman W.B., 2000.** Characterization of hydraulic jumps/falls with surface tension variations in thin film flows 349–364

Annexes

Annexe I : Détermination du rapport des hauteurs du ressaut en fonction du nombre de Froude en amont pour un canal rectangulaire horizontal



Annexe II : Dimensionnement des seuils de sortie pour les bassins de dissipation de type UBSR III

