

ETUDE EXPERIMENTALE DU RAPPORT DES HAUTEURS CONJUGUEES DU RESSAUT HYDRAULIQUE CONTROLE PAR SEUIL MINCE EVOLUANT DANS UN CANAL TRAPEZOÏDAL BRUSQUEMENT ELARGI EN RECTANGULAIRE

EXPERIMENTAL STUDY OF THE SEQUENT DEPTH RATIOS OF HYDRAULIC JUMP CONTROLLED BY A THIN SILL EVOLVING IN A TRAPEZOIDAL CHANNEL WITH A SUDDEN ENLARGEMENT IN RECTANGULAR ONE

R. SIAD, M. DEBABECHE

Laboratoire de Recherche en Génie civil, Hydraulique, Développement durable et Environnement - LARGHYDE –
Université de Biskra, B.P. 145, RP, 07000 Biskra – Algérie
rafiksiad8@gmail.com; m.debabeche@univ-biskra.dz.

RESUME

L'objectif de ce travail est d'étudier par voie expérimentale le ressaut hydraulique contrôlé par seuil mince évoluant dans un canal trapézoïdal brusquement élargi en rectangulaire, les essais ont comme but de montrer l'effet de l'élargissement du canal sur le rapport des hauteurs conjuguées ($Y = h_2/h_1$) du ressaut. Deux configurations de ressauts ont été distinguées selon le rapport d'occupation X_i . Ce dernier représente la position du pied du ressaut par rapport à l'élargissement.

En analysant l'évolution du rapport des hauteurs conjuguées Y en fonction du nombre de Froude de l'écoulement incident F_1 , les résultats ont montré que l'augmentation de F_1 engendre l'augmentation de Y , de même, l'augmentation du rapport d'occupation X_i engendre l'augmentation de Y pour les deux configurations de ressaut.

MOTS CLES : Ressaut hydraulique, canal trapézoïdal, canal rectangulaire, canal brusquement élargi, hauteurs conjuguées, nombre de Froude incident.

ABSTRACT

The aim of this paper is to study by experimental way the hydraulic jump controlled by a thin sill evolving in a trapezoidal channel with a sudden enlargement in rectangular one, the experiments presented the effect of the extension of the channel on the sequent depth ratio ($Y = h_2/h_1$) of hydraulic jump. Two jump configurations were distinguishing according to the occupation ratio X_i . This latter represents the toe position with regard to the extension section.

By analyzing the evolution of the sequent depth ratio Y according to the inflow Froude number F_1 , the results showed that the increase of F_1 yields the increase of Y , the increase of the occupation ratio X_i yields as well the increase of Y for both configurations of the jump.

KEYWORDS: Hydraulic jump, trapezoidal channel, rectangular channel, abrupt expansion channel, sequent depth, inflow Froude number.

1 INTRODUCTION

Le ressaut hydraulique évoluant dans les canaux à élargissement se génère parfois à l'aval des évacuateurs de crue quand le jet torrentiel rencontre une masse d'eau à grande largeur. Dans les bassins de dissipation, l'élargissement est quelques fois imposé quand le niveau aval est faible et les conditions du site n'offrent pas une solution pour la formation du ressaut classique (Herbrand 1973).

Les travaux les plus significatifs du ressaut hydraulique dans les canaux prismatiques trapézoïdaux sont ceux de Hager et Wanoschek (1987-1989). Quant aux canaux non prismatiques Kateb et al (2013) ont conduit une étude comparative entre les caractéristiques du ressaut contrôlé et le ressaut forcé type A par marche positive dans un canal trapézoïdal. L'effet de la pente du canal trapézoïdal sur le rapport des hauteurs conjuguées a été étudié par Kateb et al (2015), et par Cherhabil et Debabeche (2016).

Durant les années soixante, le ressaut hydraulique développé dans les canaux à élargissement a attiré l'attention de plusieurs chercheurs. Bremen (1990) a synthétisé les travaux les plus intéressants de Unny (1960), Nosedá (1963), Rajaratnam et Subramaniya (1968). Herbrand (1973) a présenté une étude théorique et expérimentale de l'effet de l'élargissement sur les hauteurs conjuguées du ressaut spatial, Hager et Bremen (1993) ont conduit une étude sur le ressaut dit de transition dont laquelle ils ont examiné l'effet de la position du pied de ressaut sur les hauteurs conjuguées.

Ces travaux ont abouti à définir trois types du ressaut évoluant dans les canaux avec élargissement brusque : le ressaut repoussé dont le pied est à l'aval de la section élargie, le ressaut spatial qui est formé dans la zone de l'élargissement, et le ressaut de transition où une partie du phénomène s'établit dans le canal d'aménagé.

Plus récemment, Achour (2000) a examiné le ressaut hydraulique évoluant dans une galerie circulaire brusquement élargie du point de vue théorique et expérimentale.

Ohtsu et al (1999), Zare et Baddour (2007-2009) ont étudié

le ressaut spatial noyé, une attention particulière est portée sur le problème de l'écoulement asymétrique, Zare et Doering (2011) ont examiné le ressaut hydraulique forcé par seuil sous un élargissement brusque pour des conditions géométriques symétrique et asymétrique.

En 2015, Scorzini et al, ont présenté une étude expérimentale d'un système des poutres en travers installés à l'aval de l'élargissement dans un canal brusquement élargi.

Dans ce document nous proposons d'examiner expérimentalement le développement des hauteurs conjuguées du ressaut hydraulique évoluant dans un canal trapézoïdal brusquement élargi en rectangulaire.

2 PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

2.1 Description du model expérimental

Le model expérimental présenté dans la Figure 1 est constitué d'un bassin d'alimentation et d'un canal de mesure de section trapézoïdal brusquement élargie en rectangulaire de pente nulle. La première partie trapézoïdale symétrique, dont les parois en plexiglas inclinées de $\alpha = 73^\circ$, est d'une longueur $L_{tp}=4\text{m}$ et de largeur de base $b_1=0,2\text{m}$. La deuxième partie rectangulaire en verre d'une longueur $L_{rec}=7\text{m}$ et de largeur $b_2=0,6\text{m}$. L'alimentation de ce canal est assurée à partir du bassin d'alimentation, en utilisant une pompe débitant jusqu'à 40l/s. Cette dernière refoule dans une conduite circulaire en PVC de diamètre $D = 115\text{mm}$, reliée à une boîte en charge dans laquelle est insérée une ouverture en tôle de forme convergente débouchant dans le canal de mesure. Une vanne de régulation de débit est installée juste devant la pompe.

La partie rectangulaire est menée d'un dispositif permettant l'installation des seuils à parois mince d'épaisseur de 2 mm et de largeur égale à celle du canal en aval soit $b_2 = 0,6\text{m}$, ce dispositif est installé 3m après le point de l'élargissement. L'extrémité aval de la même partie du canal est équipée d'un déversoir rectangulaire sans hauteur de pelle avec contraction latérale, permettant la mesure de la hauteur d'eau déversante (h_{dev})

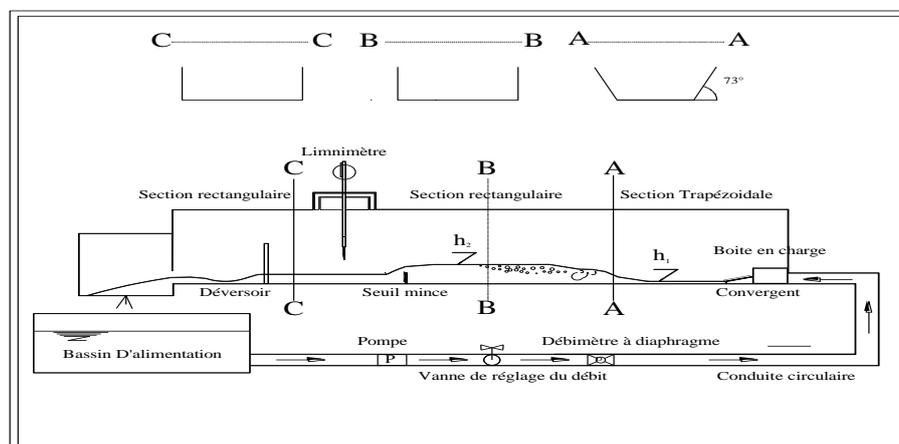


Figure 1 : Schéma simplifié du canal de mesure de section trapézoïdal brusquement élargi en rectangulaire, ayant servi à l'expérimentation

Les hauteurs conjuguées amont (h_1), aval (h_2), les hauteurs des zones de décollement droite (h_d) et gauche (h_g), ainsi que la hauteur de la lame d'eau déversante (h_{dev}) sont mesurées en utilisant un limnimètre à vernier à double précision de 1 à 1,5cm. La position du pied du ressaut par rapport à l'élargissement (X_1) et les longueurs caractéristiques du ressaut (L_j , L_r) ont été mesurées par un ruban gradué.

2.2 Description des essais

Les essais entretenus au laboratoire font l'objet d'une étude de ressaut contrôlé par seuil mince dans un canal trapézoïdal brusquement élargi en rectangulaire, les essais expérimentaux ont été réalisés sous cinq ouvertures, par conséquence une large gamme du nombre de Froude de l'écoulement incident F_1 a été obtenue entre 2,1 et 10,5.

Afin de contrôler l'évolution des paramètres du ressaut hydraulique dès son apparition complète dans le canal trapézoïdal jusqu'à sa disparition de celui-ci, et compte tenu des conditions extrêmes (le plus grand seuil et l'ouverture maximal de la vanne), la première position du pied de ressaut X_1 est prise à 190cm avant le point d'élargissement sachant que ce dernier est considéré comme référence longitudinal. Le pas de X_1 est de 10cm, de ce fait 19 positions du pied de ressaut ont été obtenues, en considération du couple (Q , S).

Quatorze (14) seuils de hauteur varient entre 5cm et 19cm ont été conçus et testés, avec des valeurs de débit volume variant entre 14 et 29l/s.

Une fois le seuil est fixé, la vanne sera ouverte de telle façon que le pied du ressaut est placé à la première position, soit ($X_1= 190$ cm), les différentes hauteurs (h_1 , h_2 , h_g , h_d , h_{dev}) sont mesurées, les longueurs caractéristiques du ressaut (L_j et L_r) sont observées. Par la suite, l'ouverture de

la vanne sera augmentée afin de pousser le ressaut à la deuxième position dans le sens de l'écoulement, les grandeurs signalés précédemment seront mesurées, cette manœuvre sera répétée jusqu'à la dernière position. L'opération est répétée pour les autres seuils.

Les grandeurs mesurées auparavant servent à composer les paramètres adimensionnels suivants : $Y = (h_2/h_1)$, F_1 , $S = s/h_1$, L_j/h_1 , L_r/h_1 , $Y_g = h_g/h_1$, $Y_d = h_d/h_1$, $X_i = X_1/L_{j,ref}$.

La longueur de référence $L_{j,ref}$, est obtenue pour chaque seuil sous les cinq ouvertures, c'est la longueur avec laquelle le rapport d'occupation X_i est égal à l'unité.

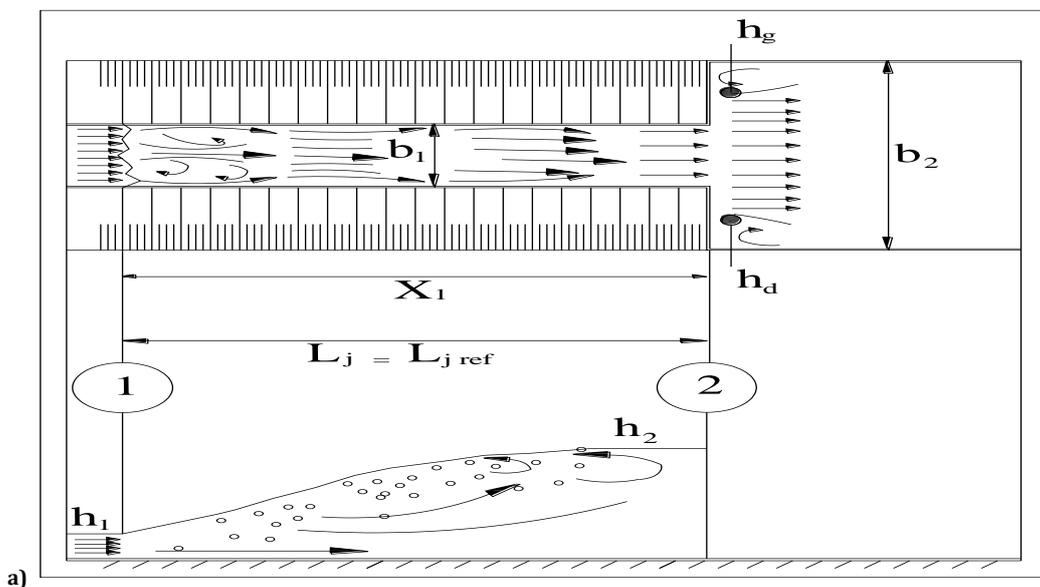
2.3 Description de l'écoulement

La position du pied du ressaut est définie par rapport à la section élargie, la figure.2.a représente les principales caractéristiques du ressaut hydraulique, formé complètement dans le canal trapézoïdal, la forme du pied du ressaut est perpendiculaire au sens de l'écoulement. Dans ce cas le ressaut est stable et symétrique.

Le déplacement du pied du ressaut vers l'aval provoque une modification insignifiante dans les hauteurs des deux zones de décollement, la forme du pied du ressaut est perturbée par les courants d'eau dans les deux côtés des parois du canal et elle prend parfois l'allure de la lettre V.

Le ressaut est encore stable avec une légère tendance à l'écoulement asymétrique (Fig.2.b).

L'augmentation du nombre de Froude F_1 provoque le déplacement du pied de ressaut vers l'aval, le pied du ressaut prend une forme oblique et l'écoulement devient asymétrique, et il se décompose en deux parties, l'une au sens de l'écoulement et l'autre au sens inverse, la zone de décollement droite est vide tandis que celle de gauche se remplit par l'eau en retour (Fig.2.c).



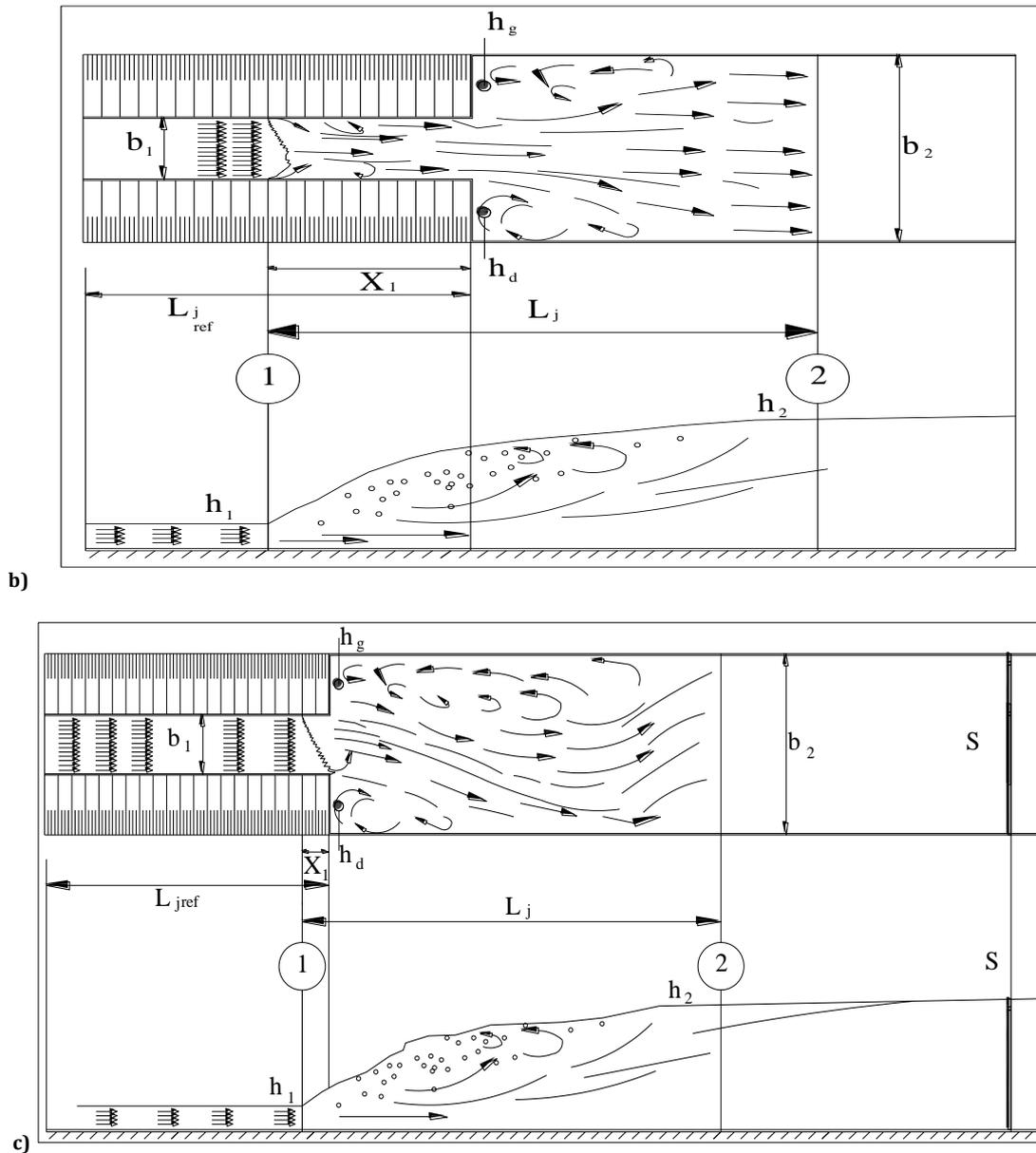


Figure 2 : a) Ressaut évoluant complètement dans le canal trapézoïdal. b) Ressaut formé partiellement dans le canal trapézoïdal. c) Ressaut formé complètement dans le canal rectangulaire

3 RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

3.1 Variation du rapport des hauteurs conjuguées Y du ressaut en fonction du nombre de Froude F_1 et du rapport d'occupation X_i

La figure 3 représente la variation du rapport des hauteurs conjuguées Y en fonction du nombre de Froude de l'écoulement incident F_1 pour des intervalles du rapport d'occupation X_i allant de 1 jusqu'à 0, le pas de ces intervalles est de 0,20. La répartition des courbes (Fig. 3) nous indique qu'il existe deux configurations différentes : dans la première configuration le ressaut est évolué dans le canal trapézoïdal, jusqu'à $X_i = 0,4$, l'évolution des caractéristiques du ressaut sont similaires (stabilité et symétrie de l'écoulement). Les limites de cette configuration sont définies en fonction du rapport

d'occupation (X_i) entre 0,4 et 1,0.

La seconde configuration apparait en outre en deca de $X_i = 0,4$. Une modification insignifiante dans l'écoulement est constatée. Au fur et à mesure que le pied du ressaut se déplace vers l'aval, la hauteur d'eau dans les deux zones de décollement gauche et droite devient inégale, cette différence devient remarquable et le caractère asymétrique est généré. Quand $X_i=0$ le pied du ressaut prend une forme oblique et l'écoulement se décompose en deux parties, l'une au sens de l'écoulement et l'autre au sens contraire. La zone de décollement droite se vide et celle de gauche se remplit par l'eau en retour qui forme une zone de stagnation dont laquelle l'eau ne participe pas à l'écoulement principal (Fig.2.c).

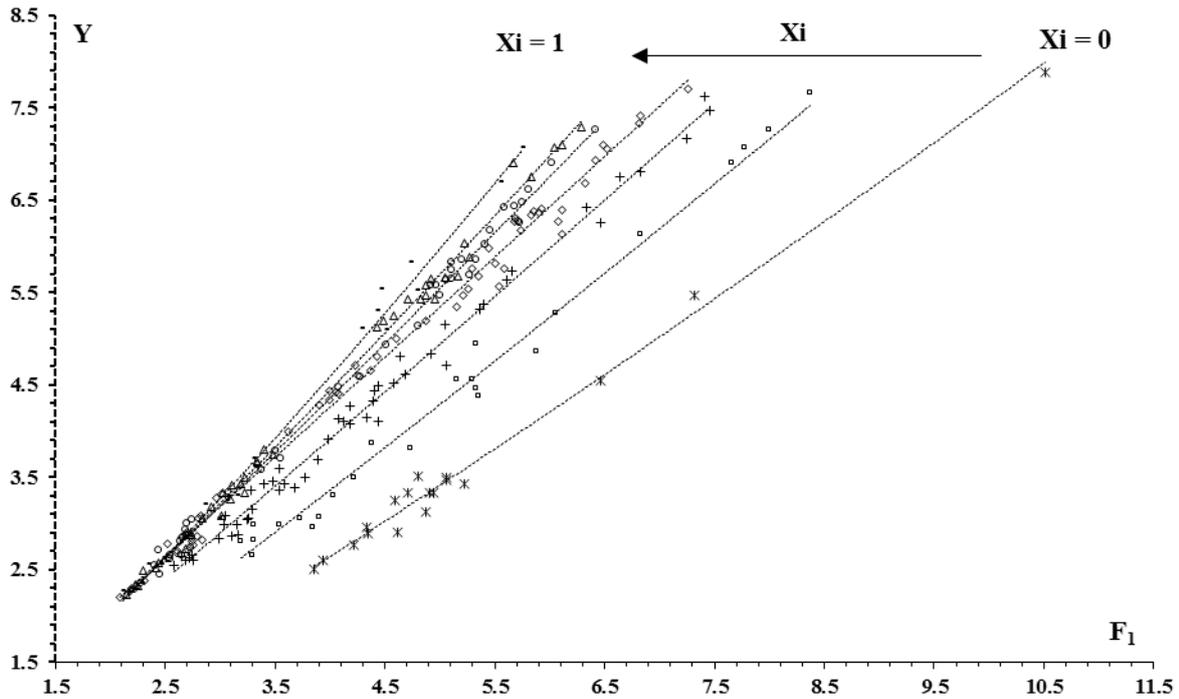


Figure 3 : Variation du rapport des hauteurs conjuguées Y en fonction du nombre du Froude F_1 , pour des intervalles du rapport d'occupation X_i ; (*) $X_i=0$; (□) $0,0 \leq X_i \leq 0,2$; (+) $0,2 \leq X_i \leq 0,4$; (◊) $0,4 \leq X_i \leq 0,6$; (○) $0,6 \leq X_i \leq 0,8$; (△) $0,8 \leq X_i \leq 1,0$; (-) $X_i=1$, (---) courbe d'ajustement

3.2 Equation générale régissant le contrôle du ressaut

Pour $0,4 \leq X_i \leq 1,0$:

L'augmentation de F_1 engendre l'augmentation de Y , de même, l'augmentation du rapport d'occupation X_i provoque l'augmentation de Y . Nous remarquons aussi que pour des valeurs de F_1 entre 2 et 3, la position du pied du ressaut n'a pratiquement aucune influence. Au-delà de $F_1=3$, les courbes commencent à s'éloigner les unes des autres (Fig. 3). Pour cet intervalle les courbes ont la même allure et l'ajustement des points expérimentaux a montré que la variation suit une loi puissance de forme :

$$Y = aF_1^b \quad (1)$$

Les valeurs des facteurs a et b , ainsi que les coefficients de corrélation R^2 sont regroupés dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Valeurs des facteurs a et b de l'équation (1) pour des intervalles du rapport d'occupation $0,4 \leq X_i \leq 1,0$

Intervalle de X_i	Centre de l'intervalle de X_i	R^2	a	b
1	1	0,99	0,89	1,17
1-0,80	0,90	0,99	0,94	1,11
0,80-0,60	0,70	0,99	0,97	1,08
0,60-0,40	0,50	0,99	1,04	1,01

La variation des facteurs a et b en fonction des centres des intervalles du rapport d'occupation X_i est présentée dans la figure 4.

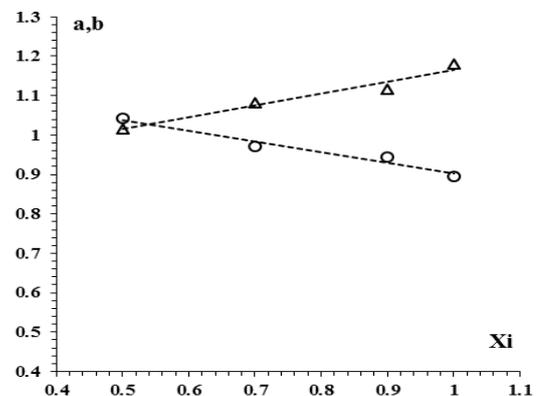


Figure 4 : Variation des facteurs a et b en fonction du rapport d'occupation X_i ; (○) a ; (△) b , (---) courbe d'ajustement pour l'intervalle $0,4 \leq X_i \leq 1,0$

L'ajustement des points par la méthode des moindres carrés nous a permis d'écrire :

$$a = -0,27X_i + 1,17 \quad (2)$$

$$b = 0,30X_i + 0,86 \quad (3)$$

La substitution des relations (2) et (3) dans la relation (1) donne :

$$Y = (-0,27X_i + 1,17) * F_1^{(0,30X_i + 0,86)} \quad (4)$$

Les valeurs expérimentales du rapport des hauteurs conjuguées Y_{exp} sont confrontées à celles de la fonction $\Psi(F_1, X_i)$ exprimée par la relation (4). Les résultats consignés dans la figure 5 prouvent que cette dernière est valable pour la détermination de Y , connaissant le nombre du Froude F_1 de l'écoulement incident et le rapport d'occupation X_i .

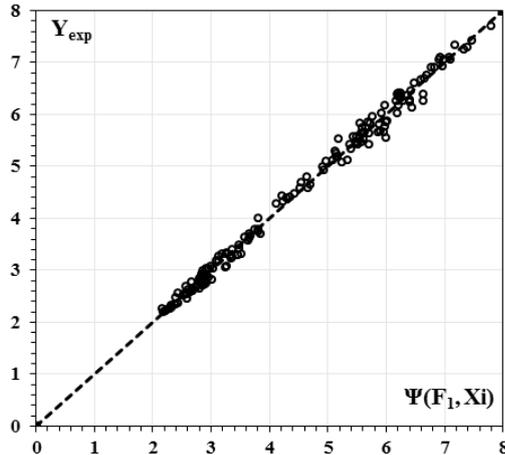


Figure 5 : Variation du rapport des hauteurs conjuguées expérimentales Y_{exp} en fonction de $\Psi(F_1, X_i)$ exprimé par la relation (4) pour $0,4 \leq X_i \leq 1,0$; (o) Y_{exp} du ressaut, (---) première bissectrice

Pour $0,0 \leq X_i \leq 0,4$:

En déca de $X_i = 0,4$, l'accroissement du nombre du Froude F_1 donne naissance à l'accroissement de Y . Par ailleurs, pour la même valeur du nombre de Froude F_1 , l'augmentation de X_i provoque l'augmentation de Y .

L'ajustement des points expérimentaux par la méthode des moindres carrés à montrer que la meilleure représentation suit une loi puissance de forme :

$$Y = a' F_1^{b'} \quad (5)$$

Le tableau 2 regroupe les centres des intervalles de X_i et les facteurs a' et b' correspondants :

Tableau 2 : Valeurs des facteurs a' et b' de l'équation (5) pour des intervalles du rapport d'occupation $0,0 \leq X_i \leq 0,4$

Intervalle du X_i	Centre de l'intervalle de X_i	R^2	a'	b'
0,40-0,20	0,30	0,99	0,91	1,04
0,20-0,00	0,10	0,98	0,73	1,09
0,00	0,00	0,98	0,53	1,14

La figure 6 indique la variation des facteurs a' et b' en fonction des centres des intervalles du rapport d'occupation X_i .

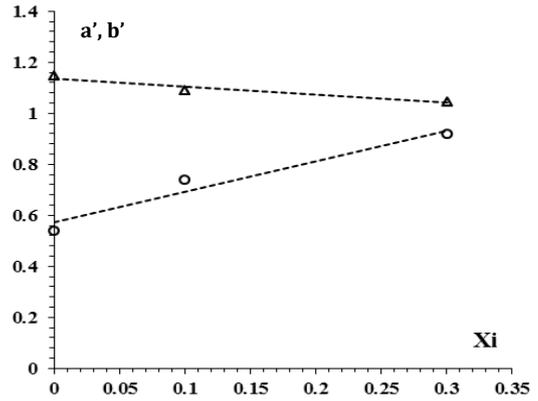


Figure 6 : Variation des facteurs a' et b' en fonction du rapport d'occupation X_i , (o) a' ; (Δ) b' , (---) courbe d'ajustement pour l'intervalle $0,0 \leq X_i \leq 0,4$

L'ajustement des points de mesures nous a permis d'écrire

$$a' = 1,20X_i + 0,57 \quad (6)$$

$$b' = 0,31X_i + 1,13 \quad (7)$$

Le remplacement des relations (6) et (7) dans la relation (5) donne :

$$Y = (1,20X_i + 0,57) * F_1^{(0,31X_i + 1,13)} \quad (8)$$

La figure 7 présente la variation de la fonction $f(F_1, X_i)$ exprimée par la relation (8) en fonction des valeurs expérimentales du rapport des hauteurs conjuguées Y_{exp} .

La répartition des points autour de la première bissectrice montre la validité de la relation (8) dans la détermination du rapport Y , tout en connaissant le nombre du Froude incident F_1 et le rapport d'occupation X_i .

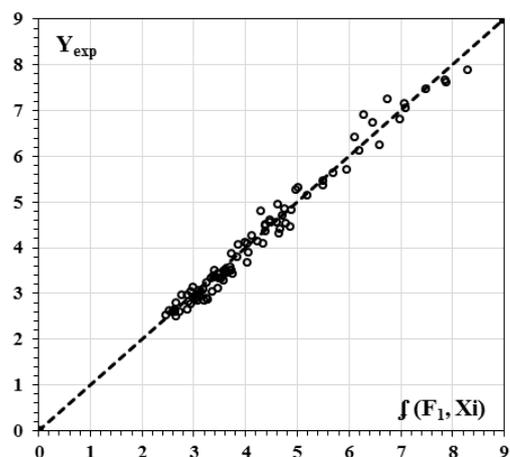


Figure 7 : Variation du rapport des hauteurs conjuguées expérimentales Y_{exp} en fonction de $f(F_1, X_i)$ exprimé par la relation (8) pour $0,0 \leq X_i \leq 0,4$; (o) Y_{exp} du ressaut ;(---) première bissectrice

4 CONCLUSION

L'étude a eu comme objectif d'étudier expérimentalement la variation du rapport des hauteurs conjuguées du ressaut hydraulique contrôlé par seuil mince évoluant dans un canal trapézoïdal brusquement élargi. L'analyse expérimentale a permis de distinguer deux configurations du ressaut selon la position du pied de celui-ci par rapport à l'élargissement. Cette position est définie par le rapport d'occupation X_i , en analysant l'évolution du rapport des hauteurs conjuguées Y en fonction du nombre de Froude de l'écoulement incident F_1 . Nous avons constaté que l'augmentation de F_1 engendre l'augmentation du Y , de même, pour une valeur du nombre de Froude F_1 donnée, l'augmentation du rapport d'occupation X_i donne naissance à l'augmentation de Y pour les deux configurations étudiées. Nous avons constaté aussi que le rapport des hauteurs conjuguées Y est beaucoup plus réduit pour l'intervalle $0,0 \leq X_i \leq 0,4$ que pour l'intervalle $0,4 \leq X_i \leq 1,0$.

NOTATIONS

h_1 Hauteur conjuguée de l'écoulement incident (torrentiel) [m]

h_2 Hauteur conjuguée de l'écoulement aval (fluviale) [m]

$Y = h_2/h_1$ Rapport des hauteurs conjuguées [-]

H_g Hauteur d'eau dans la zone de décollement gauche [m]

H_d Hauteur d'eau dans la zone de décollement droite [m]

b_1 Largeur du fond du canal trapézoïdal [m]

b_2 Largeur du canal rectangulaire [m]

Q Débit volume [m^3/s]

F_1 Nombre de Froude de l'écoulement incident [-]

L_j Longueur du ressaut hydraulique [m]

$L_{j,ref}$ Longueur de référence du ressaut [m]

L_r Longueur du rouleau [m]

X_1 Position variable du pied du ressaut par rapport à l'élargissement [m]

$X_i = X_1/L_{j,ref}$ Rapport d'occupation [-]

REFERENCES

- [1] ACHOUR. B. (2000). Ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie. Journal of hydraulic Research Vol. 38, No. 4.
- [2] BREMEN. R. (1990). Expanding stilling basin. Communication 3, Laboratoire de Construction Hydraulique. Département de Génie Civil. Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne.
- [3] BREMEN. R, HAGER. W. H. (1993). T-jump in abruptly expanding channel. Journal of hydraulic Research Vol. 31, No. 1. 61-78.
- [4] CHERHABIL.S. DEBABECHE.M. (2016).

Experimental study of Sequent Depths Ratio of hydraulic Jump in Sloped Trapezoidal Channel. In B.Crookston & B. Tullis (Eds), Hydraulic structures and Water System Management. 6th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, Portland, OR, 27-30 June (pp.353-358).

- [5] HAGER. W.H. (1985). Hydraulic jump in non-prismatic rectangular channels. Journal of hydraulic Research Vol. 23, No. 1. 21-35.
- [6] HERBRAND. K. (1973). The spatial hydraulic jump. Journal of hydraulic Research 11, no. 3.205 - 218
- [7] KATEB. S, DEBABACHE. M, BENMALEK .A. (2013). Étude expérimentale de l'effet de la marche positive sur le ressaut hydraulique évoluant dans un canal trapézoïdal. Canadian Journal of Civil Engineering, Volume 40, Number 10, 01 2013, pp. 1014-1018(5).
- [8] KATEB. S, DEBABACHE. M, RIGUET .F. (2015). Hydraulic jump in a sloped trapezoidal channel. International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES15. Energy Procedia 74. 251-257.
- [9] OTHSU. I, YASUDA. Y, ISHIKAWA. M. (1999). Submerged Hydraulic jumps below abrupt expansions. Journal of hydraulic Engineering, Vol. 125, No. 5. 492-499.
- [10] RAJARATNAM. N, SUBRAMANYA. K. (1967). Diffusion of rectangular wall jets in wider channels. Journal of hydraulic Research Vol. 5, no. 4. 281-294.
- [11] SORZINI. A. R, DI BACCO. M, LEOPARDI. M. (2015). Experimental Investigation on a System of Crossbeams As Energy Dissipator in Abruptly Expanding Channels. Technical note. Journal of Hydraulic Engineering 06015018-1.
- [12] ZARE. H.K, BADDOUR.R.E. (2007). Three-dimensional study of spatial submerged hydraulic jump, Can. J. Civ. Eng. 34: 1140-1148.
- [13] ZARE. H.K, BADDOUR.R.E. (2009). Degree of Symmetry of Spatial Submerged Hydraulic Jumps Using Fuzzy Algorithm, Canadian Water Resources Journal Vol. 34 (1). 7-16.
- [14] ZARE. H.K, DOERING. J. C. (2011). Forced hydraulic jumps below abrupt expansions. Journal of hydraulic Engineering, Vol. 137, No. 8, 825-835.