

# ETUDE EXPERIMENTAL DE LA COMPACTITE DU RESSAUT HYDRAULIQUE DANS UN CANAL TRAPEZOIDAL BRUSQUEMENT ELARGI

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE HYDRAULIC JUMP COMPACTNESS IN AN ABRUPT ENLARGED TRAPEZOIDAL CHANNEL

A. BENMALEK <sup>(1)</sup>, M. DEBABECHE <sup>(1)</sup>, A. ZERROUK <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>laboratoire de recherche en Génie Civil, Hydraulique, Développement durable et Environnement, Université de Biskra, BP 145 RP, 07000; Biskra, Algerie

<sup>(2)</sup>Département de Génie Civil et Hydraulique, Université de Biskra, Algerie  
ahmed.benmalek@yahoo.fr

### RESUME

L'analyse bibliographique a montré que lorsque le ressaut hydraulique contrôlé est entièrement formé sur le radier du bassin amortisseur le déplacement du seuil vers l'aval ne modifie en rien la configuration du ressaut, ce qui revient à dire que la longueur du ressaut est pratiquement assimilable à la position du seuil. Cependant, le déplacement du seuil vers l'amont provoque la compacité du ressaut et conduit à plusieurs configurations de celui-ci, jusqu'à sa disparition complète. L'objectif principal de cette étude est de déterminer expérimentalement l'effet du seuil sur la configuration du ressaut hydraulique évoluant dans un canal trapézoïdal brusquement élargi; et de trouver des relations empiriques adimensionnelles exprimant l'effet de la compacité sur les différents paramètres du ressaut.

**MOTS CLES:** Bassin de dissipation, compacité du ressaut, élargissement brusque, nombre de Froude, ressaut hydraulique.

### ABSTRACT

A bibliographical analysis showed that when the controlled hydraulic jump is entirely formed in the upstream side of the stilling basin, the sill has no effect on the configuration of the jump. However, when the jump length overcomes the sill position, it results to the jump compactness and leads to several configurations of this latter, until its complete disappearance. The main objective of this study is to determine the effect of the hydraulic jump compactness on the main jump features in an abrupt enlarged trapezoidal horizontal channel. Dimensionless empirical relationships depending on the jump compactness are obtained.

**KEYWORDS:** Stilling basin, jump compactness, abrupt enlargement, Froude number, hydraulic jump.

## 1 INTRODUCTION

L'étude du ressaut hydraulique classique dans les canaux trapézoïdaux a été abordé par Poisey et Hsing (1938) [1]; Silvester (1964) [2]; Ohtsu (1976) [3]; Wanoschek et Hager (1989) [4]; Afzal et Bushra (2002) [5] et celles de Kateb, Debabeche et Benmalek (2013) [6] qui ont analysés l'effet de la marche positive sur ce type de ressaut. L'étude de Cherhabil et Debabeche (2016) [7]; Kateb, Debabeche et Riguet (2015) [8] a montré les principales caractéristiques du ressaut hydraulique dans le canal trapézoïdal incliné.

L'étude des paramètres hydrauliques du ressaut dans les canaux non prismatiques a fait l'objet de recherche pour plusieurs hauteurs. Au premier lieu Herbrand (1973) [9], a présenté les résultats d'une étude fondamentale approfondie

relative au ressaut hydraulique dit spatial. Après une introduction portant sur les problèmes hydrauliques qui interviennent dans le calcul et dans la conception de bassins de dissipation comportant un élargissement soit brusque, soit progressif.

Plus tard, Hager (1985) [10], a analysé le phénomène du ressaut hydraulique sur fond horizontal en canal rectangulaire non-prismatique. Il a distingué entre les cas où l'écoulement est non-séparé et sépare des parois latérales. Les résultats contiennent des formules pour les hauteurs conjuguées en fonction du nombre de Froude incident et du rapport des largeurs correspondantes, la dissipation relative et les caractéristiques de la longueur du ressaut.

Pour le cas du ressaut hydraulique dans les canaux

trapézoïdaux élargi, Omid et al. (2007) [11] ont présenté une étude sur le ressaut hydraulique formé dans un bassin d'amortissement s'étendant graduellement avec une section transversale trapézoïdale. L'expansion du bassin est due à l'augmentation de la largeur du lit dans la direction du courant. Les angles étudiés pour cette expansion vont de  $3^\circ$  à  $9^\circ$ . Des expériences ont été également menées pour étudier ces ressauts hydrauliques avec trois pentes de talus différentes.

En effet, selon la revue de la littérature, la compacité du ressaut hydraulique n'a été étudiée qu'en canal rectangulaire par Debabeche (2003) [12].

Cet article vise à trouver des relations empiriques de la hauteur relative du seuil ainsi que du rapport des profondeurs conjuguées, en fonction du nombre de Froude incident et de la compacité du ressaut.

## 2 PROCEDURE EXPERIMENTALE

### 2.1 Description du modèle

Le canal expérimental (Fig. 1 et Fig. 2-a) est constitué d'un bassin d'alimentation, relié à un canal de mesure de section droite trapézoïdale symétrique d'angle d'inclinaison des talus de  $73^\circ$ , par une conduite de PVC circulaire de 115 mm de diamètre. L'ensemble fonctionne en circuit fermé dans lequel est insérée une pompe qui alimente un convergent en charge débouchant dans le canal de mesure.

Le canal de mesure de section trapézoïdale et de longueur 5 m est relié, dans sa partie d'aval, à un second canal de section droite rectangulaire, dans lequel est inséré un déversoir rectangulaire sans hauteur de pelle avec contraction latérale (Fig. 2-b), permettant la mesure directe du débit.



Figure 01 : Photographie du modèle expérimental

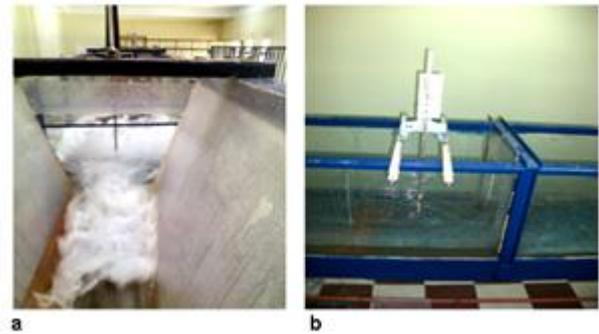


Figure 02 : Photographies ; (a) élargissement brusque, (b) déversoir rectangulaire

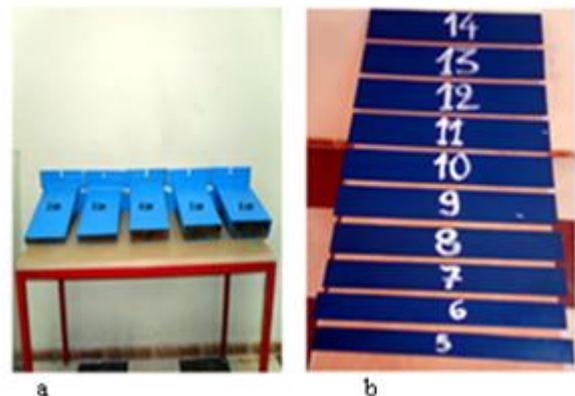


Figure 03 : Photographies; (a) série de convergent (2, 3, 4, 5, et 6 cm), (b) seuils minces testés

### 2.2 Position du problème

La bibliographie à montré que lorsque le ressaut contrôlé est entièrement formé sur le radier du bassin amortisseur correspondant à une hauteur géométrique  $s$  du seuil et une longueur  $x$  de bassin (Fig. 4), le déplacement du seuil vers l'aval ne modifie en rien la configuration du ressaut, ce qui revient à dire que la longueur  $L_j$  du ressaut est pratiquement assimilable à la position  $x$  du seuil.

Par contre le déplacement du seuil vers l'amont (Fig. 5), ( $L_j/x > 1$ ) provoque la compacité du ressaut et conduit à plusieurs configurations de celui-ci (Fig. 6).

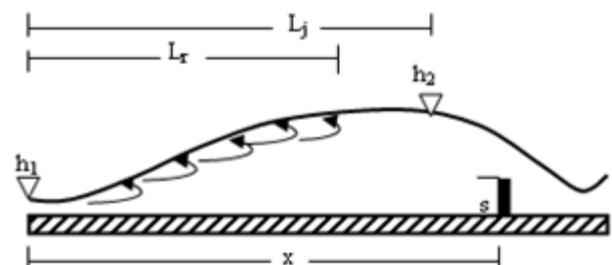


Figure 04 : Schéma de définition du ressaut contrôlé par seuil continu à paroi mince

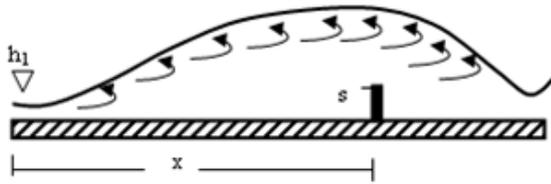


Figure 05 : Schéma de définition du ressaut forcé par seuil continu à paroi mince

L'un des objectifs visés par la présente partie de notre étude est de définir, par la voie de l'expérimentation au laboratoire, les relations adimensionnelles  $f1 (Fr_1, S, \gamma) = 0$  et  $f2 (Fr_1, Y, \gamma) = 0$ . Ceci permettra en outre d'évaluer le rapport  $\gamma$  de compacité du ressaut, connaissant l'un des deux couples de valeurs  $(Fr_1, S)$  ou  $(Fr_1, Y)$ .

Dans un écoulement brusquement varié tel que le ressaut hydraulique on exprime le débit volume  $Q$  et l'aire de la section mouillée  $A$ , par le paramètre adimensionnel  $Fr_1$  ou nombre de Froude de l'écoulement incident à l'amont du ressaut. Ce nombre est donné généralement par la relation universelle:

$$Fr_1^2 = (Q^2/gA_1^3) \cdot (\partial A_1/\partial h_1) \quad (1)$$

La relation (1) montre que le nombre de Froude  $Fr_1$  dépend de quatre paramètres tels que :

$Q$  est le débit volume écoulé à travers le canal trapézoïdal ;

$g$  est l'accélération de la pesanteur ;

$A_1$  est l'aire de la section mouillée au niveau de  $h_1$  ;

$\partial A_1/\partial h_1$  est la dérivée partielle de l'aire de la section mouillée initiale par rapport à la hauteur conjuguée  $h_1$ .

En réalité le rapport  $\partial A_1/\partial h_1 = B$ , est tout simplement la largeur superficielle de la lame d'eau écoulé. On aura donc :  $\partial A_1 = B \cdot \partial h_1$ .

Pour une section trapézoïdale tel que notre cas, la dérivée partielle de  $A_1$  par rapport à  $h_1$  nous donne :  $\partial A_1/\partial h_1 = \partial/\partial h_1 (bh_1 + mh_1^2) = b + 2mh_1$  ( $m$  est la cotangente de l'angle d'inclinaison du canal trapézoïdal), donc la relation (1) prend la forme :

$$Fr_1^2 = Q^2(b + 2mh_1)/(gA_1^3) \quad (2)$$

En fait, chaque série d'essais a été exécutée pour une ouverture donnée  $h_1$  et sous des débits volumes différents, tout en maintenant la longueur  $\Delta x$  environ égale à 5 cm. Ainsi, pour  $h_1$  et  $x$  fixés, différents profils du ressaut (Fig. 6) sont obtenus à débit croissant correspondant chacun à une valeur donnée de la hauteur  $s$  du seuil.

Ainsi lorsque nous obtenons une configuration du ressaut contrôlé (Fig. 4), nous effectuons, pour une hauteur initiale  $h_1$  et une position  $x$  de seuil fixées, les opérations suivantes :

Calcul du débit volume  $Q$

Calcul du nombre de Froude  $Fr_1$  de l'écoulement incident, par application de la relation:  $Fr_1^2 = [Q^2(b + 2mh_1)]/[g(bh_1 + mh_1^2)^3]$ .

Mesure de la longueur  $x$  de la position du seuil

La connaissance des valeurs de  $Lr^*$  et de  $x$  permettent la détermination du rapport  $\gamma$  de compacité du ressaut, celui-ci étant égal à  $Lr^*/x$

Mesure de la hauteur géométrique  $s$  du seuil

Mesure de la hauteur finale  $h_2$  du ressaut.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, le déplacement du seuil vers l'amont provoque la compacité du ressaut et conduit à plusieurs configurations de celui-ci (Fig. 6). Les différentes configurations du ressaut peuvent être également obtenues, à débit croissant, par la fixation de la hauteur  $s$  de seuil ce qui engendre une diminution progressive de la distance  $x$  entre le pied du ressaut et la position du seuil. Cette diminution est suivie d'une légère augmentation de la hauteur initiale  $h_1$ . Cette dernière n'est significative que pour des distances  $\Delta x$  relativement importantes.



$Fr_1 = 4,5 \quad s = 6 \text{ cm}, \quad h_2 = 12,4 \text{ cm}, \quad \gamma = 0,79$



$Fr_1 = 7,07 \quad s = 10 \text{ cm}, \quad h_2 = 15,1 \text{ cm}, \quad \gamma = 1,32$



$Fr_1 = 8,18 \quad s = 12 \text{ cm}, \quad h_2 = 17,5 \text{ cm}, \quad \gamma = 1,55$

Figure 06 : Trois configurations différentes du ressaut contrôlé par seuil mince dans un canal de section droite trapézoïdale brusquement élargie, obtenues à débits croissants pour une position  $x$  de seuil et une hauteur initiale  $h_1$  fixées

Cinq (05) intervalles de rapports  $\gamma$  de compacité, couvrant toute la gamme de points de mesures expérimentales, ont

été analysés, correspondant chacun à une configuration intermédiaire du ressaut contrôlé.

$\gamma \leq 0,9$  ;  $0,91 \leq \gamma \leq 1,11$  ;  $1,12 \leq \gamma \leq 1,32$  ;  $1,33 \leq \gamma \leq 1,53$  ;  $1,54 \leq \gamma \leq 1,74$  ;  $1,75 \leq \gamma \leq 1,95$ .

Chaque classe de mesures est représentée par son centre comme l'indique le tableau 1:

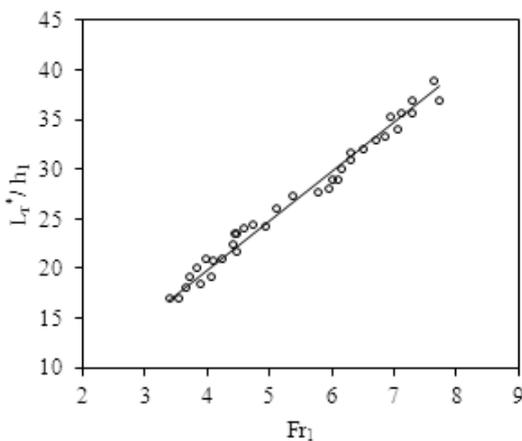
**Tableau 01 : Centres des classes de valeurs du rapport de compacité**

Classe	Centre
$\leq 0,9$	-
0,91 – 1,11	1,01
1,12 – 1,32	1,22
1,33 – 1,53	1,43
1,54 – 1,74	1,64
1,75 – 1,95	1,85

Les valeurs de  $\gamma$  inférieures ou égales à 0,9 correspondent en fait à la configuration du ressaut classique.

Pour un échantillon représentatif on détermine: le débit Q, la hauteur initiale  $h_1$ , la hauteur finale  $h_2$ , la hauteur du seuil s et la position x du seuil par rapport au pied du ressaut. Ceux-ci permettent de composer les produits adimensionnels suivants : le nombre de Froude  $Fr_1$  de l'écoulement incident, le rapport  $Y = h_2/h_1$  du seuil et le rapport de compacité  $\gamma = Lr^*/x$ ,  $Lr^*$  étant la longueur du rouleau du ressaut classique qu'est donné par la relation expérimentale de la longueur relative du rouleau classique  $Lr^*/h_1=f(Fr_1)$ . Avec  $M = mh_1/b$  (rapport de forme pour le canal trapézoïdal).

La représentation graphique des données expérimentales est donnée par la Fig. 7:



**Figure 07 : Variation expérimental de  $Lr^*/h_1 = f(Fr_1)$ . (—) Courbe d'ajustement**

L'ajustement des points de mesures expérimentales a donné la droite de l'équation (3) suivante :

$$Lr^*/h_1 = 4,96Fr_1 \quad (3)$$

### 3 RESULTAT ET DISCUTION

#### 3.1 Rapport des hauteurs conjuguées du ressaut pour $\gamma \leq 0,9$

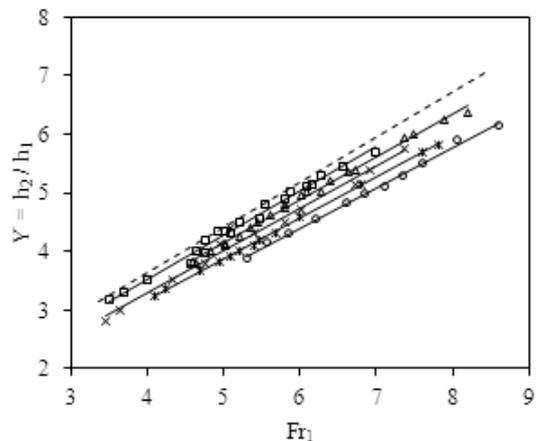
Comme nous l'avons montré au chapitre précédent, pour une large gamme des nombres de Froude allant de 3,45 à 8,60, la mise en place d'un seuil mince à l'aval du bassin, à une distance x du seuil supérieur à la longueur  $Lr$  du rouleau, correspondant à un rapport de compacité ( $\gamma \leq 0,9$ ), n'a pratiquement aucune influence sur le rapport  $Y^*$  des hauteurs conjuguées du ressaut classique.

Afin de mettre en évidence cette influence, on s'intéresse aux configurations du ressaut contrôlé relatives aux rapports de compacité ( $\gamma > 0,9$ ).

#### 3.2 Rapport des hauteurs conjuguées du ressaut pour $\gamma > 0,90$

La Fig. 08 représente les points de mesures expérimentales et leurs ajustements. Les points de mesures expérimentales s'éloignent de la courbe théorique du ressaut classique ( $\gamma \leq 0,9$ ), au fur et mesure que le rapport de compacité  $\gamma$  augmente. Cet éloignement commence à se faire remarquer à partir de ( $\gamma \geq 0,96$ ).

Par ailleurs, pour chaque rapport  $\gamma$  de compacité, relatif à une configuration donnée du ressaut, les points de mesures expérimentales s'ajustent au tour d'une courbe de type linéaire de la forme  $Y = aFr_1 + b$ .



**Figure 08 : (—) Variation de Y en fonction  $Fr_1$  pour différentes valeurs du rapport moyen de compacité :  $\gamma$  : (□) 0,96 ; (Δ) 1,07 ; (×) 1,18 ; (\*) 1,29 ; (o) 1,40. (---) Courbe du ressaut classique ( $\gamma \leq 0,90$ )**

Pour une valeur donnée du nombre de Froude  $Fr_1$  de l'écoulement incident, le rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut diminue lorsque le rapport de compacité  $\gamma$  augmente.

Le tableau 2 regroupe les différents coefficients des droites

d'ajustement de la relation expérimentale liant le rapport  $Y = h_2/h_1$  des hauteurs conjuguées au nombre de Froude  $Fr_1$  de l'écoulement incident, pour différents rapports de compacité :

**Tableau 02 : Coefficients des relations expérimentales issues de l'ajustement de la relation liant Y au nombre de Froude  $Fr_1$  pour différents rapport  $\gamma$  de compacité**

Intervalles des rapports de compacité	Équations des droites	Coefficients de corrélation $R^2$
$0,91 \leq \gamma \leq 1,11$	$Y = 0,76Fr_1 + 0,50$	0,998
$1,12 \leq \gamma \leq 1,32$	$Y = 0,74Fr_1 + 0,44$	0,995
$1,33 \leq \gamma \leq 1,53$	$Y = 0,72Fr_1 + 0,39$	0,982
$1,54 \leq \gamma \leq 1,74$	$Y = 0,70Fr_1 + 0,34$	0,999
$1,75 \leq \gamma \leq 1,95$	$Y = 0,69Fr_1 + 0,28$	0,996

Le tableau 3 montre que la pente « a » des droites diminue progressivement d'une configuration à l'autre avec un pas quasi-constant. Ces constatations montrent la possibilité de l'existence d'une relation unique de type linéaire de la forme  $Y = aFr_1 + b$ , rassemblant cinq (05) configurations intermédiaires de ressaut contrôlé, liant le rapport Y des hauteurs conjuguées au nombre de Froude  $Fr_1$  et au rapport  $\gamma$  de compacité du ressaut.

Les Fig. 9 et 10 montrent que les coefficients « a » et « b » suivent des fonctions d'ajustements qui varient en fonction du rapport de compacité  $\gamma$ , suivant des droites d'équations :

$$a = -0,09\gamma + 0,84, \quad R^2 = 0,987 \quad (2)$$

$$b = -0,26\gamma + 0,76, \quad R^2 = 0,998 \quad (3)$$

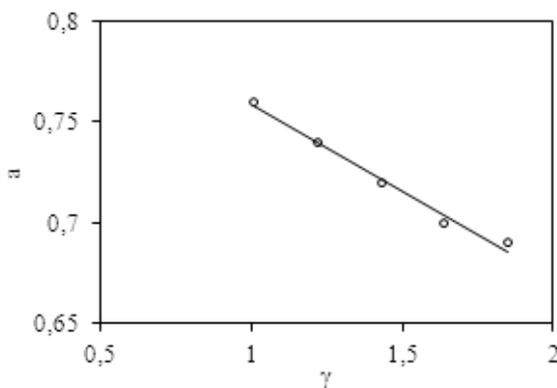


Figure 09 : (—) Variation du coefficient « a » en fonction de  $\gamma$

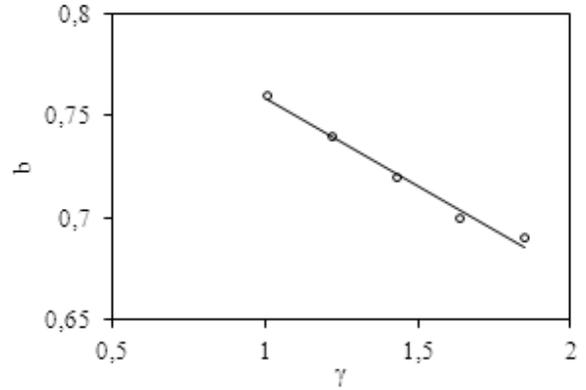


Figure 10: (—) Variation du coefficient « b » en fonction de  $\gamma$

Une relation unique de la forme  $Y = \phi (Fr_1, \gamma)$  est alors proposée, permettant de déterminer le rapport  $Y = h_2/h_1$  en fonction du nombre de Froude  $Fr_1$  de l'écoulement incident pour toutes les configurations du ressaut contrôlé par seuil mince dans un canal trapézoïdal brusquement élargi. Celle-ci s'écrit comme suit :

$$Y = (0,84 - 0,09\gamma)Fr_1 + (0,76 - 0,26\gamma) \quad (4)$$

Pour une gamme des nombres de Froude:  $3,45 \leq Fr_1 \leq 8,60$ , des valeurs du rapport de compacité :  $0,92 \leq \gamma \leq 1,95$  et du rapport de forme du canal trapézoïdal  $M = (mh_1)/b$  tel que  $0,03 \leq M \leq 0,06$ .

La représentation graphique des points de mesures et de l'équation expérimentale  $\phi$  est indiquée sur la Fig.11.

La Fig. 11 montre que la majorité des points expérimentaux s'accumule autour de la première bissectrice ce qui minimise l'erreur relative entre les résultats expérimentaux de Y et la fonction  $\phi = (0,84 - 0,09\gamma)Fr_1 + (0,76 - 0,26\gamma)$ .

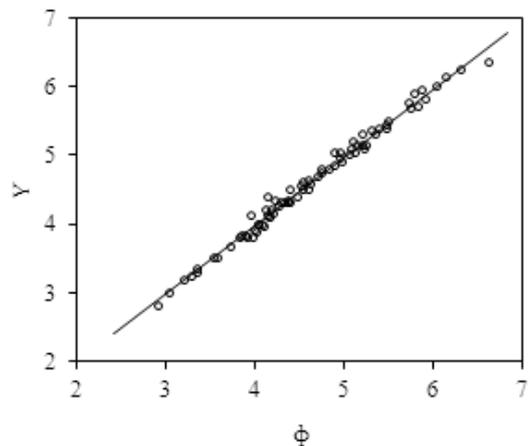


Figure 11: (—) Variation de Y en fonction de  $\phi = (0,84 - 0,09\gamma)Fr_1 + (0,76 - 0,26\gamma)$ . (o) points expérimentaux (—) Première bissectrice

### 3.3 Hauteur relative du seuil

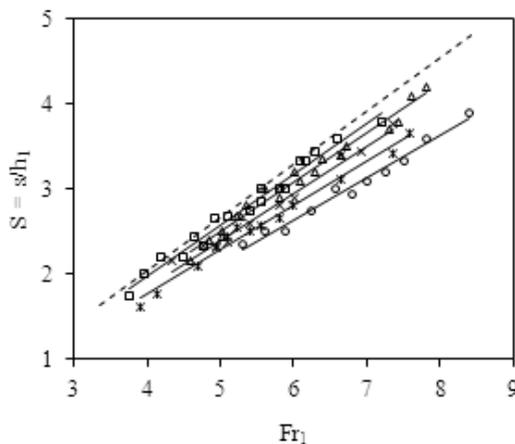
La Figure 11 montre la variation de la hauteur relative  $s/h_1$  du seuil en fonction du nombre de Froude  $Fr_1$  de l'écoulement incident. La représentation graphique des points de mesures expérimentales montre que la relation  $S = f(Fr_1)$  est linéaire pour chaque configuration du ressaut. Par ailleurs, pour une valeur donnée du nombre de Froude  $Fr_1$  de l'écoulement incident, la hauteur relative  $S$  du seuil diminue lorsque le rapport de compacité  $\gamma$  augmente.

Pour chaque rapport de compacité  $\gamma$ , les points de mesures expérimentales s'ajustent, par la méthode des moindres carrés, autour d'une droite d'équation  $S = aFr_1 - b$ .

Le tableau 5 regroupe les différents coefficients des courbes d'ajustement des relations expérimentales, liant la hauteur relative  $S = s/h_1$  du seuil au nombre de Froude  $Fr_1$  de l'écoulement incident, pour différents rapports  $\gamma$  de compacité :

**Tableau 05: Coefficients des relations expérimentales de type linéaire, issues de l'ajustement de la relation liant  $S$  au nombre de Froude  $Fr_1$ , pour différents rapport  $\gamma$  de compacité**

Intervalles des rapports de compacité	Équations des droites	Coefficients de corrélation $R^2$
$0,91 \leq \gamma \leq 1,11$	$Y = 0,60Fr_1 - 0,43$	0,976
$1,12 \leq \gamma \leq 1,32$	$Y = 0,58Fr_1 - 0,40$	0,980
$1,33 \leq \gamma \leq 1,53$	$Y = 0,55Fr_1 - 0,37$	0,983
$1,54 \leq \gamma \leq 1,74$	$Y = 0,54Fr_1 - 0,34$	0,984
$1,75 \leq \gamma \leq 1,95$	$Y = 0,49Fr_1 - 0,33$	0,982

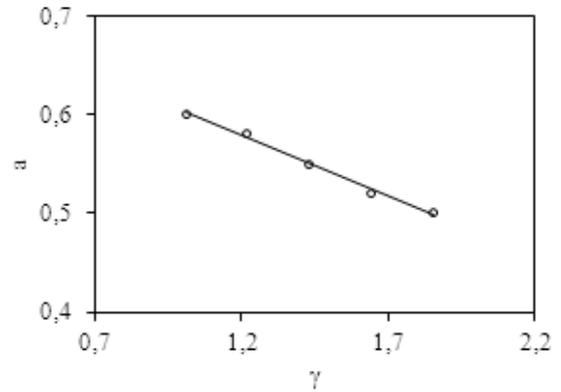


**Figure 12 : Variation de la hauteur relative du seuil  $S=s/h_1$  en fonction du nombre de Froude  $Fr_1$  et pour différentes valeurs du rapport moyen de compacité  $\gamma$  : ( $\square$ ) 0,96 ; ( $\Delta$ ) 1,07 ; ( $\times$ ) 1,18 ; ( $*$ ) 1,29 ; ( $\circ$ ) 1,40. (---) Courbe du ressaut classique ( $\gamma \leq 0,9$ ). (—) Courbes d'ajustement**

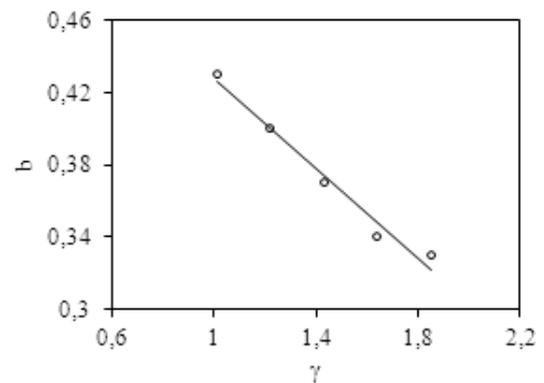
« b » des droites d'ajustements, varie en fonction du rapport de compacité  $\gamma$ , suivant des droites d'équations :

$$a = -0,12\gamma + 0,73, \quad R^2 = 0,994 \quad (5)$$

$$b = -0,12\gamma + 0,55, \quad R^2 = 0,976 \quad (6)$$



**Figure 13 : (—) Variation de coefficient « a » en fonction de  $\gamma$**



**Figure 14 : (—) Variation de coefficient « b » en fonction de  $\gamma$**

La relation linéaire  $\psi$  traduisant la variation de  $s/h_1$  en fonction de  $Fr_1$  et du rapport  $\gamma$  de compacité, est la suivante :

$$S = s/h_1 = (0,73 - 0,12\gamma)Fr_1 + (0,55 - 0,12\gamma) \quad (7)$$

Pour une gamme du nombre de Froude:  $3,75 \leq Fr_1 \leq 8,40$ , et des valeurs du rapport de compacité :  $0,92 \leq \gamma \leq 1,95$  et le rapport de forme du canal trapézoïdal  $M = (mh_1)/b$  tel que  $0,03 \leq M \leq 0,06$ .

La représentation graphique des points de mesures et de l'équation expérimentale est indiquée sur la figure 15.

Les figures 13 et 14 montrent que les coefficients « a » et

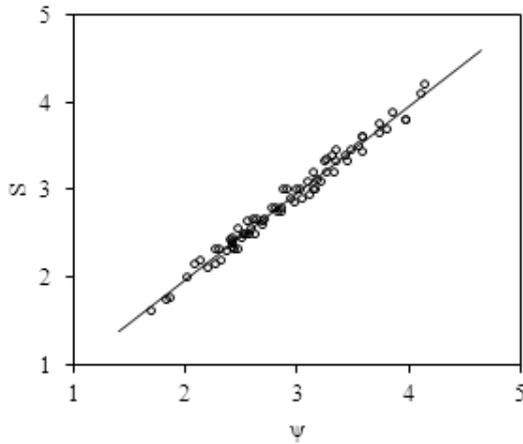


Figure 15: Variation  $S$  en fonction de  $\psi = (0,73 - 0,12\gamma)Fr_1 + (0,55 - 0,12\gamma)$ . (—) Première bissectrice. (o) Points expérimentaux

La Fig. 15 montre que la majorité des points expérimentaux s'accumule autour de la première bissectrice ce que minimise l'erreur relative entre les résultats expérimentaux de  $S$  et la fonction  $\psi = (0,73 - 0,12\gamma)Fr_1 + (0,55 - 0,12\gamma)$ .

#### 4 CONCLUSION

A travers cette étude nous avons examiné expérimentalement l'effet du seuil sur la configuration du ressaut hydraulique évoluant dans un canal trapézoïdal brusquement élargi; et il a été obtenu des relations empiriques adimensionnelles exprimant la variation de la hauteur relative du seuil  $S$  ainsi que celle du rapport des hauteurs conjuguées  $Y$ , en fonction du nombre de Froude  $Fr_1$  et du facteur de compacité  $\gamma$ .

Concernant la variation du rapport  $Y$  des hauteurs conjuguées, nous avons constaté que pour une valeur donnée du nombre de Froude  $Fr_1$  de l'écoulement incident, le rapport des hauteurs conjuguées  $Y$  du ressaut diminue lorsque le rapport de compacité  $\gamma$  augmente.

Le deuxième résultat obtenu concerne la variation de la hauteur relative du seuil  $S$ . Il a été constaté que pour une valeur donnée du nombre de Froude  $Fr_1$  de l'écoulement incident, la hauteur relative du seuil  $S$  diminue lorsque le rapport de compacité  $\gamma$  augmente.

Ces constatations donnent plus d'avantage au bassin de dissipation vis-à-vis de sa conception.

#### NOMENCLATURE

$A_1$	L'aire de la section mouillée initiale	$[m^2]$
$B$	La grande base du canal trapézoïdal	$[m]$
$b$	La petite base du canal trapézoïdal	$[m]$
$Fr_1$	Nombre de Froude incident	$[-]$

$g$	Accélération de la pesanteur	$[m/s^2]$
$h_1$	Hauteur initiale du ressaut	$[m]$
$h_2$	Hauteur finale du ressaut	$[m]$
$L_j$	Longueur du ressaut	$[m]$
$L_r^*$	Longueur du rouleau classique	$[m]$
$L_r$	Longueur du rouleau de surface	$[m]$
$m$	Cotangente de l'angle d'inclinaison d'un talus	$[-]$
$M$	Rapport de forme pour un canal trapézoïdal	$[-]$
$Q$	Débit volume	$[m^3/s]$
$s$	Hauteur du seuil	$[m]$
$S$	Hauteur relative du seuil	$[-]$
$x$	Position de seuil par rapport au pied du ressaut	$[m]$
$X$	Position relative de seuil	$[-]$
$Y$	Rapport des hauteurs conjuguées du ressaut	$[-]$
$\gamma$	Rapport de compacité	$[-]$

#### REFERENCES

- [1] Posey, C. J., Hsing, P. S. (1938). Hydraulic jump in trapezoidal channel, Engineering News Record. pp. 797-798.
- [2] Silvester, P. (1964). Hydraulics Jump in all Shapes of Horizontal Channels, Proc. ASCE, J. Hydr. Divi. 90 23-55.
- [3] Ohtsu, I. (1976). Free hydraulic jump and submerged hydraulic jump in trapezoidal and rectangular channels, Trans. JSCE 8, 122-125.
- [4] Wanoschek, R., Hager, W. H. (1989). Hydraulic jump in trapezoidal channel, journal of hydraulic research, 27:3, 429-446.
- [5] Afzal, B., Bushra, A. (2002). Structure of the turbulent hydraulic jump in trapezoidal Channel, Journal of hydraulic Research. 40 (2) 205-214.
- [6] Kateb, S., Debabeche, 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. Rev. can. Genie civ. 40:1014-1018.
- [7] Cherhabil, S., Debabeche, M. (2016). Experimental Study of Sequent Depths Ratio of Hydraulic Jump in Sloped Trapezoidal Chanel, 6th International Symposium on Hydraulic Structures and Water System Management. ISBN 978 1 884 575 75 4.
- [8] Kateb, S., Debabeche, 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] Herbrand, K. (1973). The Spatial Hydraulic Jump, Journal of Hydraulic Research, 11:3, 205-218.

- [10] Hager, W. H. (1985). Hydraulic jump in non-prismatic rectangular channels, *Journal of Hydraulic Research*, 23:1, 21-35.
- [11] Omid, M. H., Esmaceli Varaki, M. & Narayanan, R. (2007). Gradually expanding hydraulic jump in a trapezoidal channel, *Journal of Hydraulic Research*, 45:4, 512-518.
- [12] Debabeche, M. (2003). Ressaut hydraulique dans les canaux prismatiques. Thèse de doctorat d'état, département d'hydraulique. Université de Biskra, Algérie