

INFLUENCE D'UN SEUIL SUR LE RESSAUT HYDRAULIQUE EN CANAL TRIANGULAIRE

M. DEBABECHE & B. ACHOUR

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (Larhyss)
www.larhyss.org, info@larhyss.org
Université Mohamed Khider – Biskra – Algérie

RÉSUMÉ

Cette étude se propose d'examiner, par la voie de l'expérimentation au laboratoire, l'influence d'un seuil sur les caractéristiques du ressaut hydraulique en canal de section droite symétrique triangulaire. Une étude comparative entre les caractéristiques du ressaut contrôlé et forcé par seuil est alors proposée. Des conclusions intéressantes sont alors tirées. Cette recherche trouve son application dans les raies d'irrigation de forme triangulaire, utilisant la capacité du ressaut à surélever le plan de charge à l'aval de l'écoulement.

1. INTRODUCTION

La bibliographie montre que les travaux concernant le ressaut contrôlé et forcé par seuil n'ont été entrepris que sur le canal de section droite rectangulaire. Parmi ces travaux, nous pouvons citer ceux de Forster et Skrinde (1950), ceux de Hager et Li (1992) pour le ressaut contrôlé et ceux de Bretz (1988) pour le cas du ressaut forcé. La présente étude se propose d'examiner, par la voie de l'expérimentation au laboratoire, l'influence d'un seuil sur les caractéristiques du ressaut hydraulique en canal de section droite triangulaire symétrique à angle d'ouverture de 90° (figure 1). L'objectif principal est évaluer les caractéristiques essentielles intervenant au phénomène du ressaut à partir des conditions initiales et présenter une étude comparative, d'une part entre le ressaut contrôlé par seuil mince et par seuil épais, et entre le ressaut contrôlé et le ressaut forcé de type B-min. D'autre part, il faut cependant noter que la forme triangulaire n'est pas du tout adaptée aux grandes structures telles que les bassins amortisseurs, mais elle présente de multiples avantages lorsqu'elle est utilisée, à titre d'exemple, dans les raies d'irrigation. Dans ce cas, il est intéressant d'exploiter la capacité naturelle ou contrôlée d'un ressaut triangulaire à surélever le plan de charge aval (Achour, 1989) et cette particularité est souvent recherchée pour le prélèvement du débit requis. C'est dans ce domaine que notre travail trouve son application.

Les essais effectués sur le ressaut contrôlé par seuil dans le canal triangulaire d'angle d'ouverture de 90° , permettent de faire une étude comparative, d'une part, entre le ressaut contrôlé par seuil mince et par seuil épais, et d'autre part entre le ressaut contrôlé et le ressaut forcé de type B-min (Figure 2)

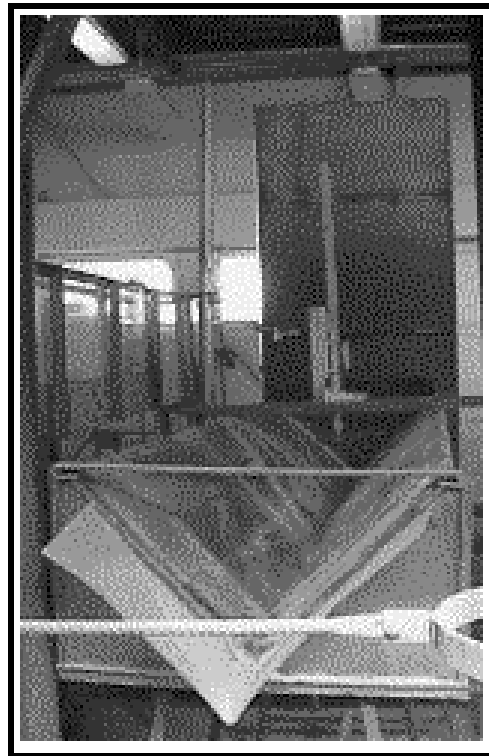


Figure 1 : Canal triangulaire qyant servi à l'expérimentation.

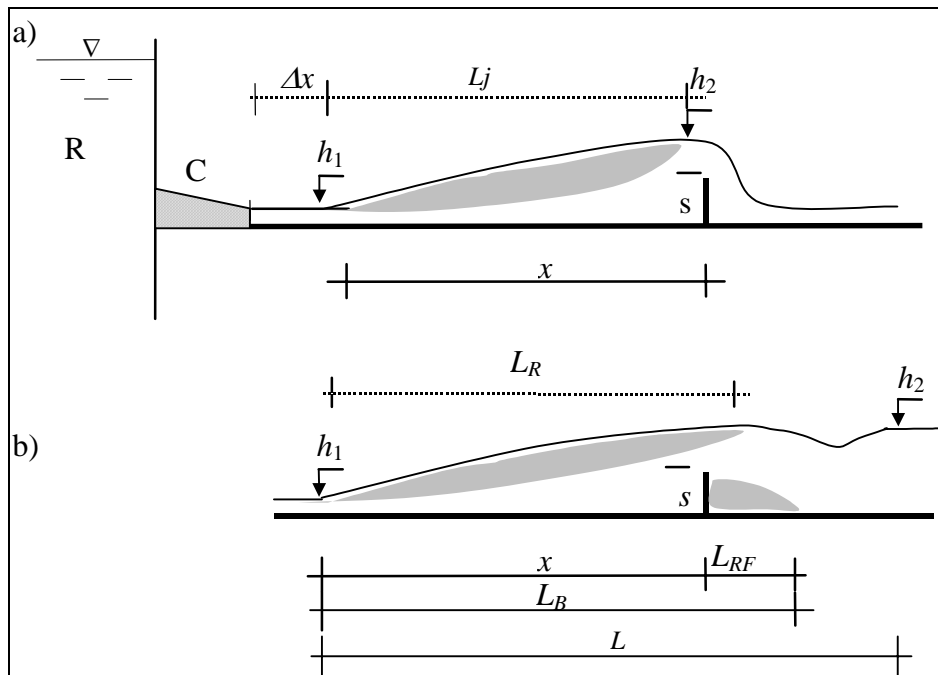


Figure 2 : a) Resson contrôlé. b) Resson forcé de type B_{min} .

h_1 hauteur d'eau amont, h_2 hauteur d'eau aval, s hauteur du seuil, x position du seuil par rapport au pied du ressaut, L_j longueur du ressaut, L_{RF} longueur du rouleau de fond, L_B distance entre le pied du ressaut et la fin du rouleau aval, L distance entre le pied du ressaut et la position où h_2 devient constante. Δx distance séparant le convergent du pied du ressaut, C convergent, R réservoir.

2. RAPPORT DES HAUTEURS CONJUGUEES DU RESSAUT

Le ressaut n'étant pas encore forcé, le seuil ne devrait avoir théoriquement aucun effet réducteur sur la hauteur finale h_2 du ressaut. En d'autres termes, la hauteur finale h_2^* du ressaut classique triangulaire doit être égale à la hauteur finale h_2 du ressaut contrôlé par seuil, sous les mêmes conditions de l'écoulement incident. La figure 3 montre la variation du rapport Y des hauteurs conjuguées en fonction du nombre de Froude IF_1 , d'une part, pour le cas du ressaut contrôlé par le seuil à paroi mince et épaisse, et d'autre part pour le ressaut forcé.

Nous avons également représenté la variation du rapport Y^* théorique du ressaut 'classique triangulaire' issu de l'application de l'équation de quantité de mouvement, soit :

$$IF_1^2 = \frac{2Y^* (Y^{*2} + Y^* + 1)}{3.(Y^* + 1)} \quad (1)$$

La figure 3 montre ainsi que l'égalité $Y = Y^*$ n'est satisfaite que pour une certaine gamme de valeurs du nombre de Froude incident IF_1 . L'influence du seuil à paroi mince (ou épaisse) sur le rapport des hauteurs conjuguées apparaît à des valeurs de IF_1 supérieures à 7,50 environ. Cette influence s'accroît avec l'augmentation de IF_1 , mais elle n'est cependant pas significative ; nous avons pu observer en effet que pour

$IF_1=11$ l'écart relatif $(Y-Y^*)/Y^*$ est approximativement égal à 5% pour le seuil à paroi mince et 7% environ pour le cas du seuil à paroi épaisse.

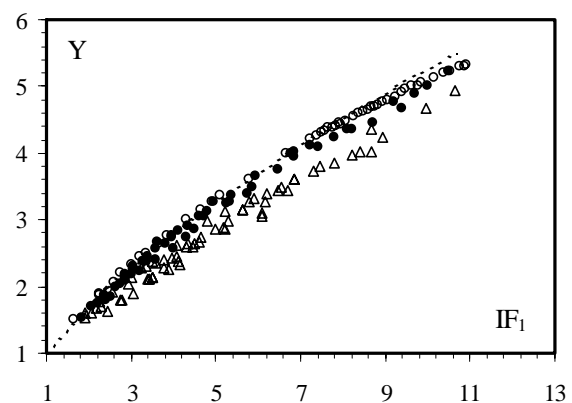


Figure 3 : Variation du rapport Y des hauteurs conjuguées en fonction du nombre de Froude IF_1 de l'écoulement incident, dans un canal triangulaire. Points expérimentaux pour $m = 1$: (o) ressaut contrôlé par seuil à paroi mince. (•) ressaut contrôlé par seuil à paroi épaisse. (Δ) ressaut forcé par seuil à paroi mince. (---) Courbe tracé selon la relation (1).

Par ailleurs, pour les mêmes nombres de Froude IF_1 , un décalage important entre les valeurs de Y du ressaut forcé et du ressaut contrôlé sont perceptibles. En effet,

pour des nombres de Froude IF_1 supérieur à 3, le rapport des hauteurs conjuguées du ressaut forcé est nettement inférieur à celui du ressaut contrôlé par seuil.

Dans toute la gamme de IF_1 que nous avons testée, c'est à dire $1,60 \leq IF_1 \leq 11$, un ajustement des valeurs expérimentales a montré que la variation de $Y = f(IF_1)$ est de type logarithmique :

$$Y = 1 + \alpha \cdot \text{Ln}[(IF_1+4)/5] \quad (2)$$

$\alpha = 3,96$ pour le ressaut contrôlé par seuil à paroi mince ;

$\alpha = 3,78$ pour le ressaut contrôlé par seuil à paroi épaisse ;

$\alpha = 3,33$ pour le ressaut forcé par seuil à paroi mince.

La condition de criticité est ainsi satisfaite puisque $Y (IF_1=1) = 1$.

L'analyse des mesure expérimentales a montré la possibilité de corréler le rapport Y des hauteurs conjuguées des ressauts contrôlé et forcé par seuil et la hauteur relative S de celui-ci, dans toute la gamme $1,60 \leq IF_1 \leq 11$. La figure 4 montre la variation expérimentale de Y en fonction de S pour le cas du ressaut contrôlé par seuil à paroi mince et épaisse, et le cas d'un ressaut forcé par seuil mince. Il ressort que cette variation suit une loi linéaire et un ajustement a permis d'écrire avec une bonne approximation, aussi bien pour le ressaut contrôlé (seuil à paroi mince et épaisse) que pour le ressaut forcé, que :

$$Y = 1 + \beta S \quad (3)$$

$\beta = 0,96$ pour le ressaut contrôlé par seuil à paroi mince ;

$\beta = 1,02$ pour le ressaut contrôlé par seuil à paroi épaisse ;

$\beta = 0,82$ pour le ressaut forcé par seuil à paroi mince.

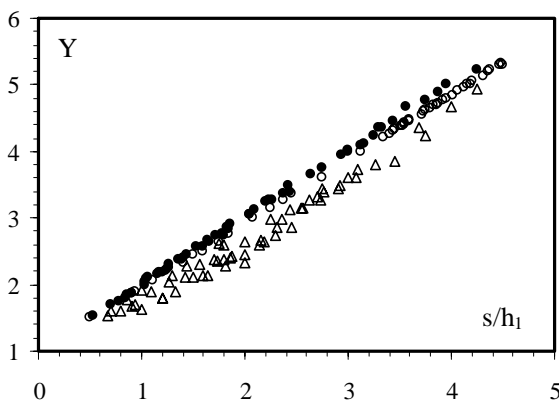


Figure 4 : Variation expérimentale du rapport Y hauteurs conjuguées en fonction de la hauteur relative S du seuil. Points expérimentaux pour $m=1$: (o) ressaut contrôlé par seuil à paroi mince. (•) ressaut contrôlé par seuil à paroi épaisse. (Δ) ressaut forcé par seuil à paroi mince.

3. HAUTEUR RELATIVE DU SEUIL

Il ressort des relations (2) et (3) que la hauteur relative S du seuil peut s'écrire pour les trois cas de figures comme suit :

$$S = \gamma \cdot \text{Ln}[(IF_1+4)/5] \quad (4)$$

$\gamma = 4,13$ pour le ressaut contrôlé par seuil à paroi mince ;

$\gamma = 3,71$ pour le ressaut contrôlé par seuil à paroi épaisse ;

$\gamma = 4,06$ pour le ressaut forcé par seuil à paroi mince.

L'expérimentation a d'ailleurs montré la validité de la relation (4) pour les trois types de ressauts testés. Nous présenterons sur la figure 5 les résultats obtenus.

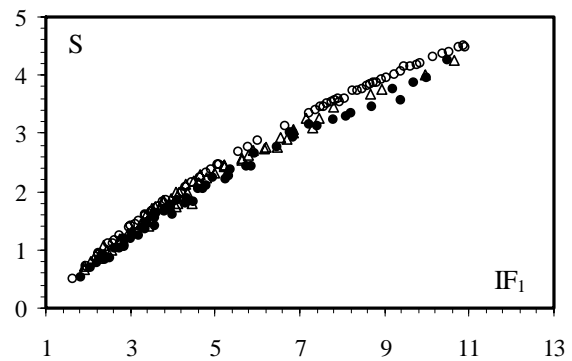


Figure 5 : Variation expérimentale la hauteur relative $S=s/h_1$ du seuil en fonction du nombre de Froude IF_1 , pour un ressaut évoluant dans un canal triangulaire. Points expérimentaux pour $m=1$: (o) ressaut contrôlé par seuil à paroi mince. (•) ressaut contrôlé par seuil à paroi épaisse. (Δ) ressaut forcé par seuil à paroi mince.

4. LONGUEUR RELATIVE DU BASSIN

Comme il est bien illustré dans la figure 5, la notation de longueur de bassin diffère pour les deux types de ressauts.

Pour le ressaut contrôlé par seuil mince ou épais, cette longueur correspond à la position x du seuil par rapport au début du ressaut. Pour ce type de ressaut, cette longueur est caractérisée par un rouleau de surface.

Tandis que pour le ressaut forcé, la longueur L_B du bassin est la somme de la longueur de la position x du seuil et de la longueur du rouleau de fond L_{RF} à l'aval du seuil, par rapport au pied du ressaut ($L_B = x + L_{RF}$).

La figure 6 montre la variation expérimentale de la longueur relative $X=x/h_1$ du bassin du ressaut contrôlé par seuil mince, par seuil épais et $X=L_B/h_1$ du ressaut forcé en fonction du nombre de Froude IF_1 . Un ajustement par la méthode des moindres carrés

a permis d’aboutir, avec une bonne approximation, pour les trois types de ressaut, à une équation de type puissance de la forme :

$$S + IF_1^{0,4} = a X + b \quad , \quad X \geq 4 \quad (5)$$

La hauteur relative $S=s/h_1$ de seuil est tirée de l’équation (5).

Les constantes a et b sont représentées pour chaque type de ressaut dans le tableau ci-dessous :

	Ressaut Contrôlé		Ressaut Forcé de type B-min
	Seuil mince	Seuil épais	
a	0,127	0,125	0,161
b	1,278	1,341	1,000
R ²	0,999	0,986	0,993

Tableau 1 : Valeurs des constantes a et b de l’équation (5) pour les trois types de ressaut

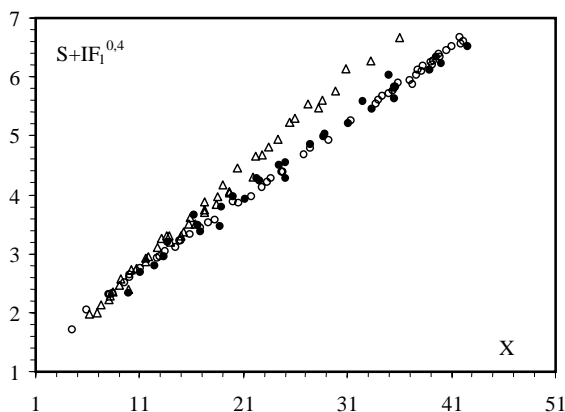


Figure 6 : Variation expérimentale de la longueur relative X du bassin en fonction du nombre de Froude IF_1 , pour un ressaut évoluant dans un canal triangulaire. Points expérimentaux pour $m=1$: (o) ressaut contrôlé par seuil à paroi mince. (●) ressaut contrôlé par seuil à paroi épaisse. (Δ) ressaut forcé par seuil à paroi mince.

Les points de mesures du ressaut contrôlé par seuil mince et épais sont quasiment confondus, montrant ainsi que pour le même nombre de Froude incident et la même hauteur relative s/h_1 de seuil, la longueur relative du bassin est pratiquement la même.

Par ailleurs, le décalage est assez important pour le cas du ressaut forcé. En effet, pour des nombres de Froude incidents supérieurs à 4, la longueur relative du bassin du ressaut forcé est inférieure à celle du ressaut contrôlé. On observe que pour $(S + IF_1^{0,4}) = 6,68$ ($IF_1 = 9,96$), l’écart relatif entre x/h_1 et L_B/h_1 est de 17% environ.

5. CONCLUSION

L’analyse des mesures expérimentales montre que la mise en place d’un seuil n’a pas d’effet réducteur significatif sur le rapport des hauteurs conjuguées du ressaut. Un léger écart est cependant observé en Y^* et Y désignant les rapports des hauteurs conjuguées respectivement du ressaut sans obstacle à l’aval “ressaut classique” et ceux du ressaut contrôlé. L’écart est par contre important, entre les valeurs de Y du ressaut forcé et du ressaut contrôlé. En effet, pour des nombres de Froude IF_1 supérieurs à 3, le rapport des hauteurs conjuguées du ressaut forcé est nettement inférieur à celui du ressaut contrôlé. Une loi de type logarithmique est proposée pour évaluer le rapport Y en fonction du nombre de Froude IF_1 , pour les trois types de ressaut. En outre, la représentation graphique des mesures expérimentales montre que $(Y-1)$ augmente au fur et à mesure que la hauteur relative S du seuil croît, suivant une courbe unique linéaire de pente 0,96 pour le cas du ressaut contrôlé par seuil mince, de pente 1,02 pour le cas du ressaut contrôlé par seuil épais et la pente est de 0,82 pour le ressaut forcé par seuil mince. L’interdépendance des paramètres adimensionnels S et IF_1 est alors mise en évidence. Par ailleurs, une relation de type puissance, liant la hauteur relative S du seuil, le nombre de Froude IF_1 et la longueur relative X du bassin a été trouvée pour les trois types de ressaut étudiés. La représentation graphique montre que pour le même nombre de Froude incident les points de mesures du ressaut contrôlé par seuil mince et épais sont presque confondus. En outre un décalage important est observé pour le cas du ressaut forcé. En effet, pour des nombres de Froude incidents supérieurs à 4, la longueur relative du bassin du ressaut forcé est inférieure à celle du ressaut contrôlé.

Enfin, nous pouvons conclure d’une manière générale, que le ressaut forcé par seuil mince se caractérise par une hauteur aval moindre et un bassin plus court.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACHOUR B. (1989): Jump flowmeter in a channel of triangular cross-section without weir, J. Hydraulic Research, Vol. 27, n° 2, pp. 205-214.

BRETZ N. V. (1988): ressaut hydraulique forcé par seuil, Laboratoire de Construction Hydraulique, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département de Génie Civil, Communication n°2.

FORSTER J. W., SKRINDE R. A. (1950) : Control of hydraulic jump by sills, transactions, American Society of Civil Engineers, vol. 115, pp. 973-987.

HAGER W. H., LI D. (1992) : Sill-controlled Energy Dissipator, J. Hydraulic Research, vol.30, n°2, pp.165-181.