

**RESSAUT HYDRAULIQUE EN LIT COMPOSE****HYDRAULIC JUMP IN COMPOUND CHANEL**

**Mohammed KHATTAOUI**, *Dép<sup>t</sup> de Génie Civil, Faculté du Génie de la Construction, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, khattaoui\_mohammed@yahoo.fr*

**Bachir ACHOUR**, *Laboratoire d'Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS), Dép<sup>t</sup> de Génie Civil et de l'Hydraulique, Faculté des Sciences et de la Technologie, Université Mohamed Khider, Biskra, bachir.achour@larhyss.net*

**RESUME** : En s'inspirant du travail de Achour (2000), relatif au ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie, et par analogie à la relation de *Borda-Carnot*, des approches théoriques inédites sont proposées, par application de l'équation de la quantité de mouvement, pour la détermination du rapport des hauteurs conjuguées et du rendement du ressaut hydraulique dans un lit composé droit. Les équations résultantes sont présentées en termes adimensionnelles afin de leur donner un caractère de validité général. Afin de bien illustrer l'influence de chaque variable géométrique et hydraulique, les équations théoriques résultantes sont représentées sur des graphiques. Ceux-ci ont montré la variation du rapport des hauteurs conjuguées ainsi que du rendement en fonction du nombre de *Froude* de l'écoulement incident, du rapport des largeurs entre le lit mineur et le lit majeur ainsi que du rapport de leurs hauteurs.

**Mots-clés** : Ressaut, Bassin, Dissipation, Energie, Ecoulement, Inondation, Rendement

**ABSTRACT** : By inspiration from *Achour* work ( 2000 ), concerning the hydraulic jump in a suddenly widened circular tunnel, and by analogy to the *Borda-Carnot* relation, new theoretical approaches are proposed, by application the momentum equation, for a determination the sequent depths ratio and the efficiency of the hydraulic jump in straight compound channel. The resultant equations are presented in non-dimensional terms to have a general validity character. To illustrate well the influence of every geometrical and hydraulic variable, the theoretical

resultant equations are represented on graphs. These showed the variation of the sequent depths ratio as well as the efficiency according to the Froude number on the incidental flow, the widths ratio between the minor and the major bed as well as the heights ratio.

**Keywords :** Jump, Basin, Dissipation, Energy, Flow, Inondation, Efficiente

## NOTATION ET SYMBOLES

$f_x$ : Force de résistance	$b$ : Largeur du lit mineur
$Y = h_2 / h_1$ : Rapport des hauteurs conjuguées	$B$ : Largeur du lit majeur
$\tau = h_1 / h$ : Rapport des hauteurs	$h_1$ et $h_2$ : 1 <sup>ère</sup> et 2 <sup>ème</sup> hauteur conjuguée du ressaut
$\beta = b / B$ : Rapport de l'élargissement	$h$ : Hauteur de plein bord du lit mineur
$F_1$ : Nombre de Froude de l'écoulement incident	$L_j$ : Longueur du ressaut
$f_1$ et $f_2$ : Forces hydrostatiques au pied et à la fin du ressaut	$L_r$ : Longueur du rouleau
$A_1$ et $A_2$ : Aires de la section au pied et à la fin du ressaut	$V_1$ et $V_2$ : Vitesses moyennes au pied et à la fin du ressaut
$H_1$ et $H_2$ : Charges totales au pied et à la fin du ressaut	$Q$ : Débit
$\Delta H$ : Pertes de charge dues au ressaut	$g$ : Accélération de la pesanteur
$\varpi$ : Poids spécifique du liquide	$k$ : Coefficient
$\eta$ : Rendement du ressaut	

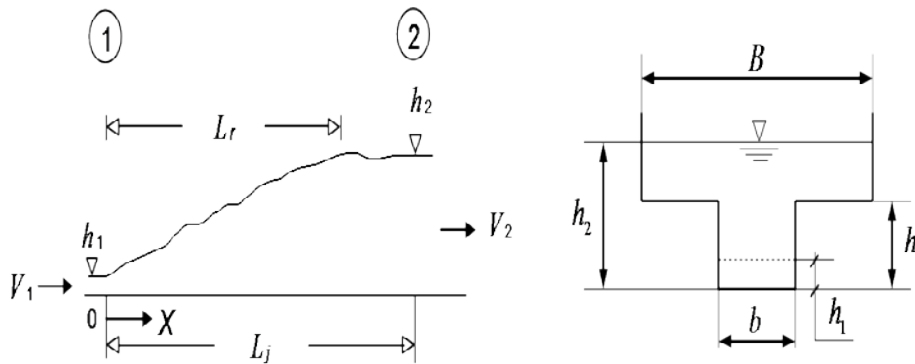
## INTRODUCTION

L'étude des écoulements uniformes, ou plus encore les écoulements non uniformes en lit composé sont très compliqués à cause du transfert de masse et de la quantité de mouvement entre le lit mineur et le lit majeur (Bousmar et al. 2005). Ces deux phénomènes, se manifestant de différentes façons, sont des sources de dissipation d'énergie supplémentaire de l'écoulement. Il peut être donc intéressant de voir la grandeur de ces dissipations dans le cas où il se produit un ressaut hydraulique dans le lit composé. Il est plus intéressant d'autant

plus que le ressaut hydraulique est utilisé justement pour la dissipation d'énergie. Cette dissipation supplémentaire est donc la bienvenue. En s'inspirant du développement théorique mené par Achour (2000) sur le ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie, une approche théorique est proposée dans ce présent travail pour déterminer le rapport des hauteurs conjuguées du ressaut en lit composé. Le rendement du ressaut est lui aussi quantifié. Toutes les équations sont présentées en termes adimensionnels afin de leur donner un caractère de validité général.

### RAPPORT DES HAUTEURS CONJUGUEES

La figure 1 montre les différentes caractéristiques géométriques et hydrauliques du ressaut hydraulique en lit composé droit.



**Fig. 1** Schéma de définition du ressaut hydraulique en canal composé droit

Le transfert de masse et de quantité de mouvement se produit à l'interface entre le lit mineur et le lit majeur (Bousmar et al. 2004).

L'équation de la quantité de mouvement appliquée entre le pied et la fin du ressaut, défini par la figure 1, s'écrit comme suit :

$$\rho Q(\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1) = f_1 - f_2 \quad (1)$$

En s'inspirant de l'article de Achour (2000), par analogie à la relation de Borda-Carnot et au vue de la forme de la relation 1, il paraît admissible de rajouter une force de résistance dont la projection selon l'axe horizontal de l'écoulement aurait comme expression:

$$f_x = -k\varpi(h_2 - h)^x h_1^y (B - b)^z \tag{2}$$

C'est une source de perte de charge liée nécessairement au transfert de masse et de la quantité de mouvement entre le lit mineur et le lit majeur. Les exposants  $x$ ,  $y$  et  $z$  sont liés par la relation  $x + y + z = 3$ , le coefficient  $k$  est tel que  $k = \varphi(L_j \text{ ou } L_r, h_2, h_1, h)$ .

En tenant compte de  $f_x$ , l'équation d'Euler devient :

$$\rho Q^2 (1/A_2 - 1/A_1) = f_1 - f_2 + f_x \tag{3}$$

Analysons l'équation pour la fonction  $f_x = (1/2)\varpi(h_2 - h)h_1(B - b)$  :

L'hypothèse d'une distribution uniforme pour les vitesses dans les sections transversales correspondant au pied et à la fin du ressaut implique que  $\beta_1 = \beta_2 = 1$ . Les sections  $A_1$  et  $A_2$  sont données respectivement par :  $A_1 = bh_1$  et  $A_2 = B(h_2 - h) + bh$ . Prenons comme hypothèse aussi que la distribution des pressions est hydrostatique dans les sections 1 et 2 du ressaut, ce qui donne les expressions des forces :

$$f_1 = \varpi(h_1/2)bh_1 \text{ et } f_2 = \varpi(h_2 - h/2)bh + \varpi[(h_2 - h)/2]B(h_2 - h).$$

En tenant compte de toutes ces hypothèses et informations ainsi que de l'équation de continuité,  $V_1A_1 = V_2A_2 = Q$ , l'équation 3 s'écrit en définitive, après réarrangement, comme suit :

$$2F_1^2 \left( \frac{\beta}{Y - (1 - \beta)/\tau} - 1 \right) = 1 - \frac{(2Y - 1/\tau)}{\tau} - \frac{(Y - 1/\tau)^2}{\beta} - \left( Y - \frac{1}{\tau} \right) \left( \frac{1}{\beta} - 1 \right) \tag{4}$$

Où : 
$$F_1 = Q / \sqrt{b^2 h_1^3 g} \tag{5}$$

En négligeant la force de résistance  $f_x$ , l'équation résultante aurait comme expression :

$$2F_1^2 \left( \frac{\beta}{Y - (1 - \beta)/\tau} - 1 \right) = 1 - \frac{(2Y - 1/\tau)}{\tau} - \frac{(Y - 1/\tau)^2}{\beta} \tag{6}$$

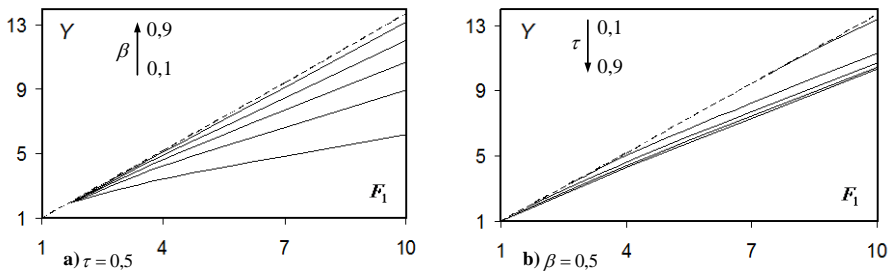
Les relations 3 et 4 sont des équations fonctionnelles de forme  $\phi(F_1, Y, \beta, \tau) = 0$ .

Notons que les équations 4 et 6 peuvent s'écrire sous la forme  $Y^3 + aY^2 + bY + C = 0$ .

En faisant le changement de variable  $Y = x - a/3$ , l'équation de troisième degré devient sous la forme  $Y^3 + pY + q = 0$  dont la résolution peut se faire aisément en utilisant la méthode trigonométrique.

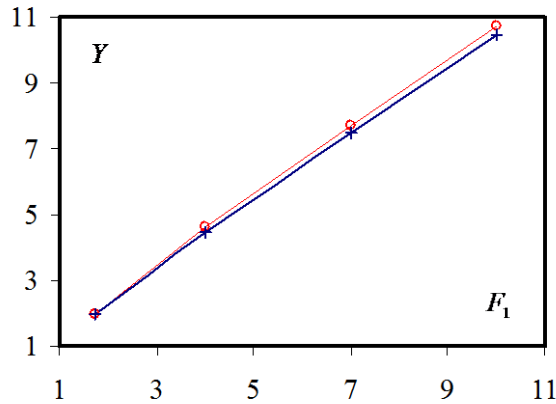
La figure 2 illustre la variation de  $Y$ , calculé par l'équation 6, en fonction de  $F_1$ . L'une des variables,  $\beta$  ou  $\tau$ , est fixée, l'autre varie avec un pas de 0,2. Pour que le ressaut se produise effectivement dans le canal composé ( $h_2 > h$ ), les valeurs de  $F_1$  à considérer doivent être strictement supérieur à la valeur minimale  $F_{1\min} = \left[1/(2\sqrt{2})\right] \sqrt{(2/\tau + 1)^2 - 1}$  correspondant à  $h_2 = h$ .

On s'aperçoit de ces figures, que pour un  $\beta$  et  $\tau$  données,  $Y$  augmente continuellement avec l'accroissement de  $F_1$ . L'augmentation du rapport  $Y$  en fonction de  $F_1$  est plus rapide pour de grandes valeurs de  $\beta$ . Pour un  $F_1$  fixé,  $Y$  croît avec l'accroissement de  $\beta$  et diminue avec l'augmentation de  $\tau$ .



**Fig. 2** Variation de  $Y$ , calculé par (1), en fonction de  $F_1$ . (---) :  $\beta = 1$ .

Sur la figure 3 nous avons représenté la variation de  $Y$  en fonction de  $F_1$  pour  $\beta = \tau = 0,5$ . On voit clairement que les  $Y$  calculées en tenant compte de la force de résistance rajoutée sont inférieures à celles calculées en l'a négligeant. La différence est plus claire au fur et à mesure que le nombre de Froude  $F_1$  augmente. La force  $f_x$  traduit les pertes de charge dues à l'expansion de l'écoulement vers le haut.



**Fig. 3** Variation de  $Y$  en fonction de  $F_1$ . (o) : équation 2, (+) : équation 1

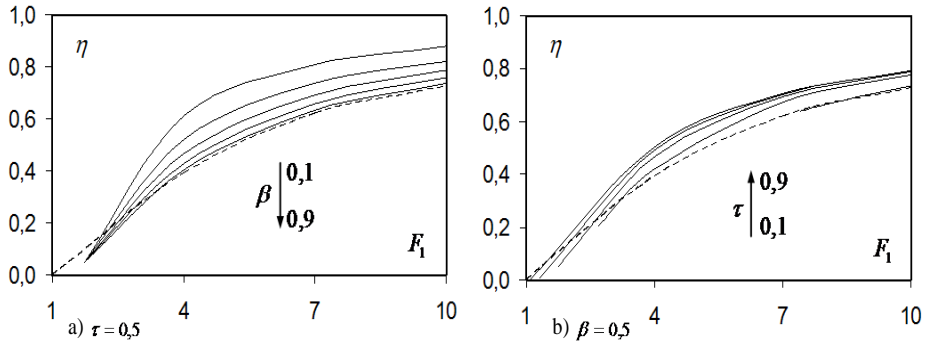
### RENDEMENT DU RESSAUT

En considérant les mêmes hypothèses que pour le rapport des hauteurs conjuguées, le rendement,  $\eta = \Delta H / H_1$ , peut s'exprimer par :

$$\eta = 1 - \frac{Y + \frac{F_1^2}{2}}{2[Y/\beta - (1/\beta - 1)/\tau]^2 + 1 + F_1^2/2} \quad (7)$$

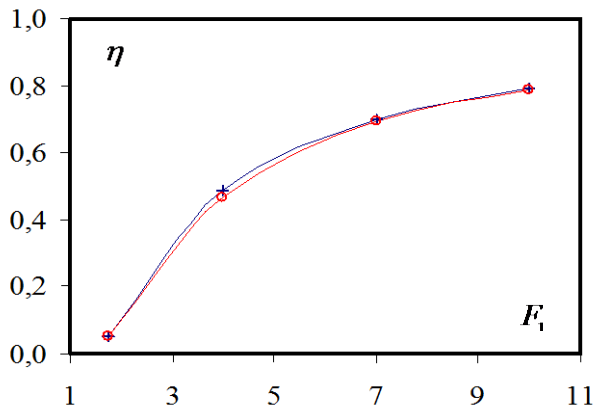
L'équation 7 permet le calcul, d'une manière explicite, le rendement du ressaut se produisant en lit composé droit, connaissant  $F_1$ ,  $Y$  ainsi que  $\beta$  et  $\tau$ . En considérant les valeurs de  $Y$  calculées avec la relation 6, nous avons représenté sur la figure 4 la variation de  $\eta$  en fonction de  $F_1$ . Pour un  $\tau$  et un  $\beta$  fixés, il est clairement illustrer sur la figure que le rendement  $\eta$  d'un ressaut hydraulique dans un lit composé, croît proportionnellement et continuellement avec l'accroissement de  $F_1$ .

Pour un  $\tau$  connu, en fixant  $F_1$ ,  $\eta$  diminue avec l'augmentation de  $\beta$ .  
 Pour un  $\beta$  et un  $F_1$  fixés, on peut aisément voir que le  $\eta$  augmente avec l'accroissement de  $\tau$ .



**Fig. 4** Variation de  $\eta$  en fonction de  $F_1$ . (---) :  $\beta = 1$ .  $\eta$  est calculé par l'équation 3.

Sur la figure 5 est représentée la variation de  $\eta$  en fonction de  $F_1$  pour  $\beta = \tau = 0,5$ . Il est bien illustré que les  $\eta$  calculées en tenant compte de la force de résistance rajoutée sont supérieures à celles calculées en l'a négligeant.



**Fig. 5** Variation de  $\eta$  en fonction de  $F_1$ . (o) : équation 2, (+) : équation 1

## CONCLUSION

L'application de l'équation de la quantité de mouvement au ressaut hydraulique dans un canal composé droit à aboutit à une équation fonctionnelle de forme  $\phi(F_1, Y, \beta, \tau) = 0$ .

Une nouvelle approche est proposée en rajoutant une force de résistance liée à la forme composée du canal. L'expression générale de cette force est inspirée du développement théorique mené par Achour (2000) sur le ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie. Après l'injection de cette force dans nos développements, les valeurs du rapport des hauteurs conjuguées  $Y$ , en diminuant, ainsi que de celles du rendement  $\eta$ , en augmentant, se sont certainement rapprochées de la réalité.

Afin de trouver l'expression définitive de cette force de résistance, étroitement liée au transfert de masse et de la quantité de mouvement entre le lit mineur et le lit majeur, des mesures, sur modèle réduit au laboratoire, sont indispensables.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achour B. (2000) *Ressaut hydraulique dans une galerie circulaire brusquement élargie*. JHR 2000 ; 38(4): 307-311.
- Ackers P. (1991) *Hydraulic design of straight compound channels*. SR281, HR Wallingford, Wallingford, U K, 1991.
- Bousmar D, Rivière N, Proust S, Paquier A, Morel R, Zech Y. (2005) *Upstream discharge distribution in compound-channel flumes*. J H Eng 2005, ASCE; 131(5): 408-412.
- Bousmar D, Wilkin N, Jacquemart, J H, Zech Y. (2004) *Overbank flow in symmetrically narrowing flood plains*. J H Eng 2004; 130(4): 305-312.
- Morvan H, Pender G, Wright N G, Ervine D A. (2002) *Three-Dimensional hydrodynamics of meandering compound channels*. JHE 2002; 128(7): 674-682.
- Sellin R H J. (1964) *A laboratory investigation into the interaction between the flow in the channel of a river and that over its flood plain*. La Houille Blanche 2002; 7: 793-802.

&&&