

## V.1. INTRODUCTION

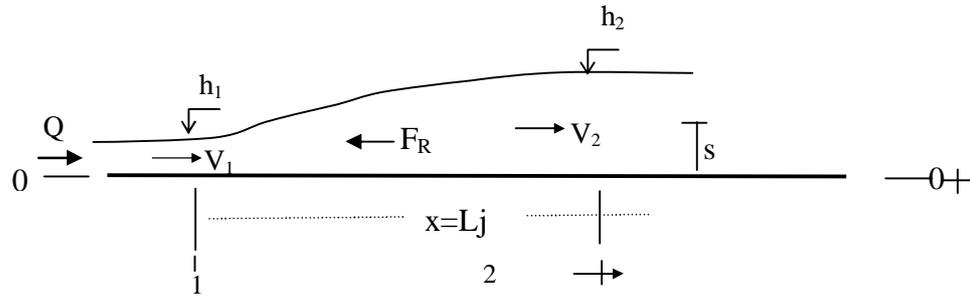
L'étude bibliographique montre que les caractéristiques adimensionnelles intervenant au phénomène du ressaut sont : le nombre de Froude  $F_1$  ou le débit relatif  $q$ , la hauteur relative amont  $y_1=h_1/D$  ( $h_1$  est la hauteur au pied du ressaut,  $D$  est la largeur du canal), la hauteur relative aval  $y_2=h_2/D$  ( $h_2$  est la hauteur maximale mesurée à l'aval du ressaut) et le rapport  $y=h_2/h_1$  des hauteurs conjuguées du ressaut.

Comme il a été signalé dans la partie bibliographique, à l'exception des travaux de Hager (1987, 1989) et ceux plus récemment Achour et Debabeche (2000), très peu d'étude ont été entreprises dans le domaine du ressaut hydraulique évoluant en canal profilé en "U". Quand au ressaut en canal à fond rugueux, à notre connaissance l'étude la plus connue est celle de Rajaratnam (1968), qui a expérimenté le ressaut hydraulique en canal rectangulaire à fond rugueux et celle aussi de Rajaratnam (2002), relative au ressaut hydraulique en canal rectangulaire à fond ondulé. A notre connaissance, le canal profilé en "U" à fond rugueux, n'a jamais fait l'objet d'étude de ce genre. C'est dans le but de combler cette lacune que cette étude pour ce type de ressaut a été proposée.

Nous voulons par cette étude, examiner le contrôle du ressaut par un seuil à parois mince dans un canal profilé en "U" à fond rugueux d'un point de vue expérimental et théorique. En effet, le développement théorique, vise à trouver une relation de la forme  $f(Y, F_1, C_r)=0$ , tels que  $Y$  est le rapport des hauteurs conjuguées du ressaut,  $F_1$  est le nombre de Froude incident et  $C_r$  est le rapport (ou coefficient) de résistance, qui exprime l'effet de la rugosité du fond du canal en "U" sur le ressaut hydraulique.

## V.2. ANALYSE THEORIQUE

La figure 5.1 montre un ressaut contrôlé par un seuil à paroi mince de hauteur géométrique 's' dans un canal profilé en "U" à fond rugueux de diamètre  $D$ . Le seuil est placé à une distance  $x$  quasi égale à la longueur  $L_j$  du ressaut dont les hauteurs conjuguées à l'amont et à l'aval sont respectivement  $h_1$  et  $h_2$ . L'écoulement étant en régime torrentiel à l'amont et fluvial à l'aval.



**Figure 5.1 :** Ressaut contrôlé par un seuil à paroi mince dans un canal Profilé en "U" à fond rugueux .Schéma de définition.

Appliquant l'équation de la quantité de mouvement sous sa forme classique entre les sections 1-1 et 2-2 (figure 5.1), en tenant compte de la force de résistance  $F_R$  due à la rugosité appliquée au fond du canal. Cette équation est :  $\bar{h}_1 A_1 + Q^2 / (gA_1) = \bar{h}_2 A_2 + Q^2 / (gA_2) + F_R / \rho g$  où  $\bar{h}_1 = (D^3 / 12A_1) \sin^3 \theta_1 - (D/2) \cos \theta_1$  est la position du centre de gravité de la section amont  $A_1$ ,  $\bar{h}_2 = (D/2)[(y_2 - 1/2)(y_2 + 1/2 - 2C_o) + 1/6] / (y_2 - C_o)$  est la position du centre de gravité de la section aval  $A_2$ ,  $\theta_1 = \cos^{-1}(1 - 2y_1)$ .

$F_R = \rho g L_j C(V_1^2 / 2g) p$ , avec  $p$  : périmètre du demi circulaire du canal.

Comme il a été signalé précédemment les hypothèses prises en considération pour l'application de l'équation de quantité de mouvement sont les suivantes :

- La pression est hydrostatique pour les sections amont et aval.
- La pente du canal est presque nulle ou horizontale.
- La résistance de l'air est négligeable, l'écoulement est permanent et uniforme à l'amont du canal.

$L_j$  : la longueur du ressaut (m),

$C$  : coefficient de la force de résistance.

$\rho$  : la masse volumique du liquide ( $\text{kg/m}^3$ )

on a :

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{Q}{\frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{Q^2}{2g(A_1)^2} = \frac{8Q^2 D}{gD^5 [(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)]^2} = \frac{8q^2 D}{[(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)]^2}$$

$$\text{avec } F_1^2 = \frac{Q^2 D \sin \theta_1}{g \left[ \frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]^3} = \frac{64 q^2 \sin \theta_1}{(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)^3} \quad \text{et } q^2 = \frac{Q^2}{g D^5}$$

$$\text{D'ou: } \frac{V_1^2}{2g} = F_1^2 \frac{D(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)}{8 \sin \theta_1}$$

$$A_1 = \frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1); A_2 = \frac{\pi D^2}{8} + \left( h_2 - \frac{D}{2} \right) D = \frac{\pi D^2}{8} + h_2 D - \frac{D^2}{2} ; \quad P = \frac{\pi D}{2}$$

L'équation de quantité de mouvement s'écrit comme suit :

$$\frac{Q^2}{g A_1} - \frac{Q^2}{g A_2} - C \frac{V_1^2}{2g} L_j P = h_2 A_2 - h_1 A_1 \quad (5.1)$$

Remplaçant  $V_1^2/2g$  par son expression dans l'équation (5.1) on obtient :

$$\frac{Q^2}{g} \left( \frac{A_2 - A_1}{A_2 A_1} \right) - C F_1^2 \frac{D(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)}{8 \sin \theta_1} L_j P = h_2 A_2 - h_1 A_1 \quad (5.2)$$

On multiplie les deux membres de l'équation (5.2) par  $\frac{A_2 A_1}{A_2 - A_1}$  il vient :

$$\frac{Q^2}{g} - C F_1^2 \frac{D(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)}{8 \sin \theta_1} L_j \frac{\pi D}{2} \frac{A_2 A_1}{A_2 - A_1} = h_2 A_2 \frac{A_2 A_1}{A_2 - A_1} - h_1 A_1 \frac{A_2 A_1}{A_2 - A_1} \quad (5.3)$$

En remplaçant  $A_1, A_2, \hat{h}_1$  et  $\hat{h}_2$  par leurs expressions respectives dans la relation (5.3) et en divisant les deux membres par  $D^5$  il s'en suit :

$$q^2 - \frac{CD(\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1)F_1^2 L_j \pi (D/2) \frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \left( \frac{\pi D^2}{8} + h_2 D - \frac{D^2}{2} \right)}{8D^5 \sin\theta_1 \left[ \left( \frac{\pi D^2}{8} + h_2 D - \frac{D^2}{2} \right) - \left( \frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right) \right]} =$$

$$\left( \frac{D}{2(y_2 - C_0)} \right) \frac{\left[ (y_2 - 1/2)(y_2 + 1/2 - 2C_0) + 1/6 \right] \left[ \left( \frac{\pi D^2}{8} + h_2 D - \frac{D^2}{2} \right)^2 \left( \frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right) \right]}{D^5 \left[ \left( \frac{\pi D^2}{8} + h_2 D - \frac{D^2}{2} \right) - \left( \frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right) \right]}$$

$$\frac{\frac{D^3 \sin^3 \theta_1}{12 \left( \frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right)} \left( \frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right)^2 \left( \frac{\pi D^2}{8} + h_2 D - \frac{D^2}{2} \right) + (D/2) \left( \frac{\pi D^2}{8} + h_2 D - \frac{D^2}{2} \right)^2 \left( \frac{\pi D^2}{8} + h_2 D - \frac{D^2}{2} \right)}{D^5 \left[ \left( \frac{\pi D^2}{8} + h_2 D - \frac{D^2}{2} \right) - \frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right]}$$

en faisant sortir  $D^7$  comme facteur commun entre les deux membres avec  $L_j^* = L_j/D$

on obtient :

$$q^2 - \frac{CF_1^2 L_j^* (\pi/2) \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1)^2 \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right)}{8 \sin\theta_1 \left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \left( \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right) \right]} =$$

$$\frac{\left[ (y_2 - 1/2)(y_2 + 1/2 - 2C_0) + 1/6 \right] \left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right)^2 \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right]}{2(y_2 - C_0) \left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right]} +$$

$$\frac{-\frac{\sin^3 \theta_1}{12} \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) + \frac{\cos\theta_1}{2} \left( \frac{\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1}{4} \right)^2 \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right)}{\left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1)}$$
(5.4)

en faisant sortir également pour le deuxième membre comme facteur commun le rapport

suivant :  $\frac{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right]}{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right]}$  il vient :

$$q^2 - \frac{CF_1^2 L_j^* (\pi/2) \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)^2 \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right)}{8 \sin \theta_1 \left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \left( \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right) \right]} = \frac{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]}{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]} \quad (5.5)$$

$$\left[ \frac{[(y_2 - 1/2)(y_2 + 1/2 - 2C_0) + 1/6]}{2(y_2 - C_0)} \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{\sin^3 \theta_1}{12} + \frac{\cos \theta_1}{2} \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]$$

On multiplie les deux membres de l'équation (5.5) par l'expression :  $\frac{64 \sin \theta_1}{(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)^3}$

L'équation (5.5) devient alors :

$$F_1^2 - \frac{CF_1^2 L_j^* (\pi/2) \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)^2 \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right)}{8 \sin \theta_1 \left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \left( \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right) \right]} \frac{64 \sin \theta_1}{(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)^3} =$$

$$\frac{64 \sin \theta_1}{(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)^3} \frac{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]}{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]} \quad (5.6)$$

$$\left[ \frac{[(y_2 - 1/2)(y_2 + 1/2 - 2C_0) + 1/6]}{2(y_2 - C_0)} \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{\sin^3 \theta_1}{12} + \frac{\cos \theta_1}{2} \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]$$

Après simplification on obtient finalement la relation suivante :

$$F_1^2 \left( 1 - \frac{CL_j^* \pi \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right)}{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \left( \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right) \right]} \frac{(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)}{(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)} \right) =$$

$$\frac{8 \sin \theta_1}{(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)^2} \frac{\left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right)}{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]}$$

$$\left[ \frac{[(y_2 - 1/2)(y_2 + 1/2 - 2C_0) + 1/6]}{(y_2 - C_0)} \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{\sin^3 \theta_1}{6} + \frac{\cos \theta_1}{4} \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right] \quad (5.7)$$

L'équation (5.7) est sous la forme  $F_1^2 (1 - C_r) = f(y_1, y_2)$

$$\text{Avec } C_r = \frac{CL_j^* \pi \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right)}{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \left( \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right) \right] (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)}$$

d'où l'expression finale (5.8):

$$F_1^2 (1 - C_r) = \frac{8 \sin \theta_1}{(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)^2} \frac{\left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right)}{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]} \quad (5.8)$$

$$\left[ \frac{[(y_2 - 1/2)(y_2 + 1/2 - 2C_0) + 1/6]}{6} - \frac{\sin^3 \theta_1}{6} + \frac{\cos \theta_1}{4} \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]$$

En effet, cette expression est semi théorique du fait que le coefficient de résistance  $C_r$ , ne peut être trouvé qu'à partir des données expérimentales.

Il est clair que pour un coefficient  $C_r$  égale à zéro, l'expression (5.8) revient à l'équation théorique de Debabeche (2003) d'un ressaut hydraulique évoluant dans un canal profilé en "U" à fond parfaitement lisse.

### V.3. ANALYSE EXPERIMENTALE DE L'ÉQUATION SEMI-THÉORIQUE

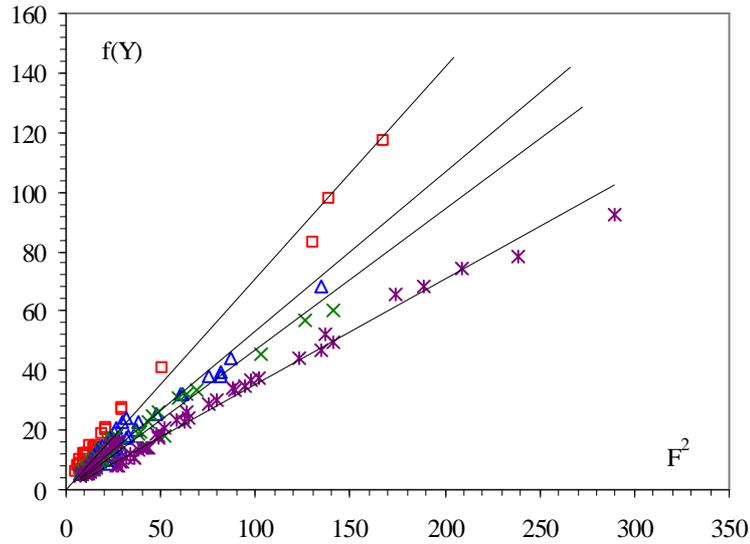
#### V.3.1. Variation du coefficient $C_r$ de résistance en fonction de la rugosité relative $\varepsilon/D$

Pour trouver l'expression du coefficient  $C_r$  de résistance en fonction de la rugosité relative  $\varepsilon/D$ , nous allons représenter sur la figure 5.2, la variation du terme

$$\frac{8 \sin \theta_1}{(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)^2} \frac{\left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right)}{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]}$$

$$\left[ \frac{[(y_2 - 1/2)(y_2 + 1/2 - 2C_0) + 1/6]}{6} - \frac{\sin^3 \theta_1}{6} + \frac{\cos \theta_1}{4} \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]$$

en fonction de  $F_1^2$  pour les quatre rugosités absolues :  $\varepsilon(\text{mm}) = 4,30; 5,63; 7,14$  et  $9,11$ .



**Figure 5.2 :** Variation de  $f(Y)$  en fonction de  $F_1^2$ , pour quatre rugosités absolues :  $\epsilon(\text{mm}) = (\square) 4,3 ; (\triangle) 5,63 ; (\times) 7,14$  et  $(*) 9,11$ . (—) Courbe d’ajustement.

La figure 5.2 montre quatre nuages de points différents, correspondant chacun à une valeur bien déterminée de la rugosité relative  $\epsilon/D$ .

L'analyse des points de mesures expérimentales du ressaut, montre que chaque nuage de points peut s’ajuster avec une relation de la forme :

$$\frac{8 \sin \theta_1}{(\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1)^2} \left[ \frac{\left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right)}{\left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]} \right] = d F_1^2$$

$$\left[ \frac{[(y_2 - 1/2)(y_2 + 1/2 - 2C_0) + 1/6]}{6} - \frac{\sin^3 \theta_1}{6} + \frac{\cos \theta_1}{4} \frac{1}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) \right]$$

En comparant avec la relation (5.8), on constate que le terme ‘d’ représente le facteur  $(1-C_r)$ .

Le Tableau 5.3 regroupe les valeurs des coefficients  $C_r$ .

**Tableau 5.3:** Coefficients  $C_r$  des courbes d'ajustement

$\epsilon/D$	Coefficient $C_r$	$R^2$
0,0175	0,29	0,98
0,0229	0,48	0,98
0,0291	0,53	0,96
0,0371	0,65	0,98

Le tableau 5.3 montre que le coefficient  $C_r$  augmente avec l’augmentation de la rugosité relative  $\epsilon/D$ . L’ajustement statistique des couples des valeurs  $(\epsilon/D, C_r)$  par la méthode des

moindres carrés donne une relation de type linéaire d'équation :  $C_r = 18,14(\varepsilon/D)$ . Celle-ci est indiquée dans la figure 5.3.

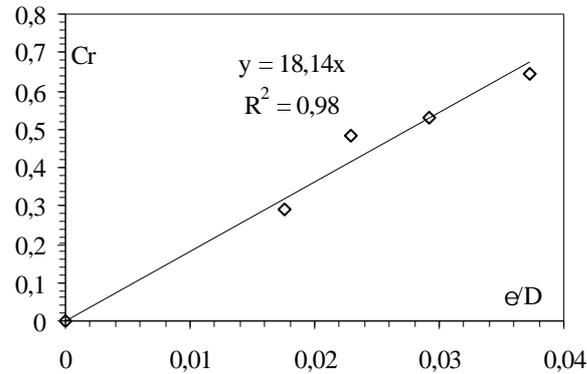


Figure 5.3 : Variation du coefficient  $C_r$  en fonction de la rugosité relative  $\varepsilon/D$

En remplaçant le coefficient  $(1-C_r)$  par son expression dans la relation :

$$\frac{8\sin\theta_1}{(\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1)^2} \left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4}(\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right] \left[ \frac{[(y_2 - 1/2)(y_2 + 1/2 - 2C_0) + 1/6]}{6} - \frac{\sin^3\theta_1}{4} + \frac{\cos\theta_1}{4}(\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right] = (1-C_r)F_1^2$$

L'équation (5.8) peut s'écrire alors :

$$(1-18,14(\varepsilon/D))F_1^2 = \frac{8\sin\theta_1}{(\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1)^2} \left[ \left( \frac{\pi}{8} + y_2 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4}(\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right] \left[ \frac{[(y_2 - 1/2)(y_2 + 1/2 - 2C_0) + 1/6]}{6} - \frac{\sin^3\theta_1}{4} + \frac{\cos\theta_1}{4}(\theta_1 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \right] \quad (5.9)$$

$$0 \leq \varepsilon/D \leq 0,0371$$

La figure 5.4 montre que la relation  $f(y_1, y_2) = \xi(\varepsilon/D, F_1)$  ajuste avec une bonne corrélation les points de mesures expérimentales et ces derniers suivent exactement la première bissectrice, montrant par conséquent la fiabilité de la relation (5.9).

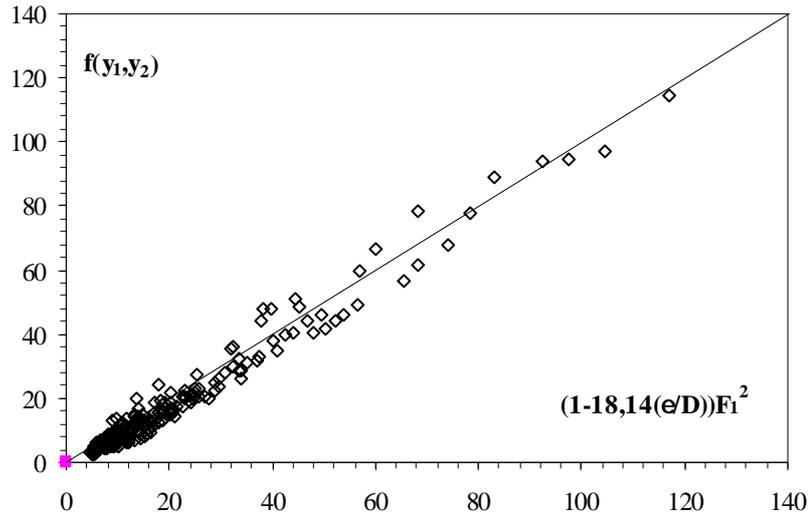


Figure 5.4 : Variation de  $f(y_1, y_2)$  en fonction de la relation  $(1-18,14(\epsilon/D)) F_1^2$   
 (—) première bissectrice

**V.3.2. Variation du rapport Y des hauteurs conjuguées du ressaut en fonction du coefficient Cr de résistance et du nombre de Froude F1**

L'équation semi théorique (5.9) étant implicite en  $y_2$ , nous avons trouvé une relation approchée qui permet de trouver aisément le rapport  $Y = y_2/y_1$  en fonction du coefficient  $C_r$  de résistance du fond du canal et du nombre de Froude  $F_1$  de l'écoulement incident.

La figure (5.5) montre un nuage de points qui suit parfaitement l'allure d'une courbe unique. L'ajustement des points de mesures par la méthode des moindres carrés non linéaire donne avec une très bonne corrélation la relation puissance suivante :

$$Y = 1,38 F_1^{0,76} \left(1 - 18,14 \frac{\epsilon}{D}\right)^{0,38} \tag{5.10}$$

$$0,0144 \leq \epsilon/D \leq 0,0371$$

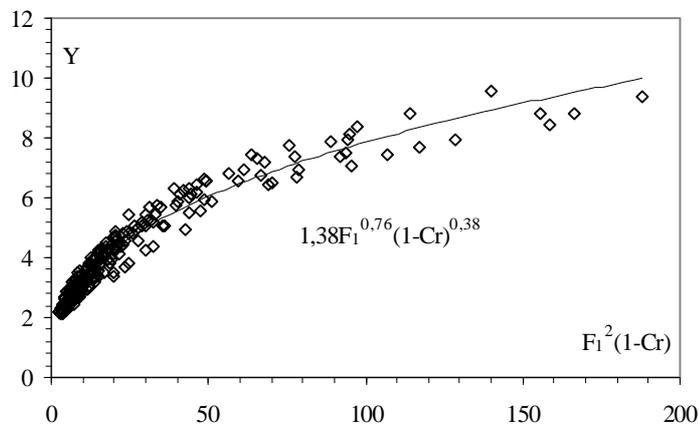
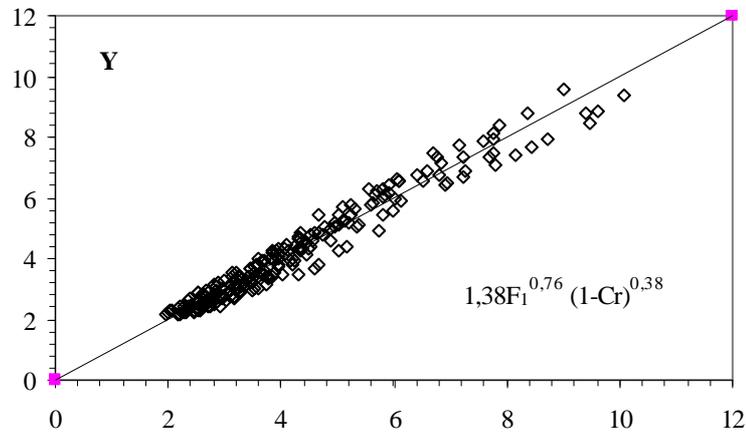


Figure 5.5 : Variation du rapport Y des hauteurs conjuguées en fonction de  $F^2(1-C_r)$ .  
 (o) Points de mesures expérimentales. (—) Courbe d'ajustement.

La figure 5.6 montre la comparaison de la relation approchée (5.10) avec les mesures expérimentales  $Y$ . On remarque que le nuage de points suit parfaitement la première bissectrice, montrant ainsi que la relation approchée représente bien les mesures expérimentales.



**Figure 2.6 :** Comparaison de la relation approchée ( $F_1, \varepsilon/D$ ) obtenue avec les mesures expérimentales  $Y$ .  
 (□) Points de mesures expérimentales. (—) la première bissectrice.

Par ailleurs, les écarts relatifs entre les valeurs des mesures expérimentales  $Y$  avec les mesures issues de l'équation semi théorique (5.10) sont calculés et indiqués au tableau 5.4, afin d'examiner la validité de la relation semi théorique (5.10). Le tableau 4.4, montre clairement que les écarts relatifs sont en majorité inférieur à 5%.

**Tableau 5.4 :** Ecart relatifs en (%) entre Y semi- Théorique et Y expérimentale.

Y(approche)	Y(exp)	$\Delta Y/Y$	Y(approche)	Y(exp)	$\Delta Y/Y$
3,94	4,02	-2,02	6,14	5,88	4,20
4,53	4,41	2,68	2,45	2,31	5,66
4,79	5,07	-5,78	2,55	2,42	4,85
3,72	3,49	6,19	2,58	2,45	4,89
4,30	4,34	-0,78	2,65	2,56	3,32
4,51	4,81	-6,56	2,69	2,60	3,36
4,60	4,87	-5,88	2,82	2,79	1,27
5,58	5,75	-2,96	2,84	2,83	0,47
2,32	2,22	4,06	2,95	3,02	-2,28
2,41	2,41	-0,22	3,09	3,15	-2,21
2,79	2,76	1,18	3,17	3,27	-3,08
3,27	3,09	5,55	3,27	3,44	-5,22
3,36	3,24	3,49	3,46	3,67	-6,10
3,43	3,39	0,94	3,69	3,94	-6,75
3,53	3,72	-5,55	3,09	2,95	4,60
3,59	3,82	-6,35	3,20	3,00	6,29
2,63	2,81	-6,96	3,23	3,16	2,03
3,20	3,37	-5,23	6,90	6,43	6,80
3,24	3,42	-5,61	3,22	3,00	6,75
3,66	3,91	-6,96	3,25	3,03	6,76
3,87	4,12	-6,53	3,34	3,09	7,66
3,96	4,16	-4,90	3,38	3,26	3,29
3,48	3,33	4,10	3,53	3,53	0,07
3,83	4,03	-5,33	3,69	3,59	2,66
4,13	4,25	-2,85	4,15	3,94	5,07
7,78	8,12	-4,36	4,20	4,00	4,67
8,36	8,81	-5,47	4,36	4,32	0,76
5,32	5,67	-6,52	4,44	4,50	-1,27
7,60	7,87	-3,61	4,56	4,59	-0,66
9,02	9,55	-5,87	4,88	4,97	-1,77
2,59	2,55	1,54	5,01	5,09	-1,57
2,82	2,73	3,43	5,19	5,18	0,25
3,45	3,65	-5,64	6,03	5,94	1,54
2,27	2,40	-6,02	6,53	6,59	-0,96
6,95	6,48	6,78	6,80	6,76	0,59
7,25	6,91	4,63	2,17	2,13	1,68
7,69	7,35	4,47	2,19	2,15	1,49
7,75	7,48	3,50	2,22	2,19	1,46
9,39	8,78	6,46	2,26	2,27	-0,27
4,49	4,35	2,95	2,37	2,44	-3,10
4,86	4,56	6,29	2,43	2,46	-1,36
5,34	5,06	5,28	2,62	2,73	-4,24
5,39	5,09	5,53	2,72	2,90	-6,72
5,82	5,47	5,99	2,84	2,98	-5,14
6,00	5,59	6,79	2,86	3,06	-7,05
			2,71	2,54	6,37
			2,76	2,61	5,60
			2,87	2,70	5,59
			2,93	2,79	4,96

**Tableau 5.4 (suite et fin)** : Ecart relatifs en (%) entre Y semi- théorique et Y expérimentale

Y(approche)	Y(exp)	$\Delta Y/Y$
3,12	2,97	4,75
3,17	3,07	3,16
3,94	3,74	5,09
3,94	3,83	2,88
4,34	4,26	1,78
4,39	4,35	0,96
4,75	4,78	-0,68
4,95	5,04	-1,84
5,13	5,26	-2,61
5,83	6,13	-5,12
6,40	6,78	-6,05
6,60	6,91	-4,70
6,85	7,17	-4,68
7,21	7,35	-1,87
7,76	7,91	-1,93
3,58	3,41	4,73
3,68	3,50	4,98
3,90	3,94	-1,11
4,05	4,15	-2,48
4,23	4,41	-4,28
4,36	4,59	-5,14
4,66	4,82	-3,45
4,94	5,21	-5,31
5,08	5,26	-3,60
5,22	5,44	-4,25
5,61	5,85	-4,27
5,81	6,03	-3,72
5,91	6,18	-4,48
2,25	2,23	0,72
2,27	2,26	0,52
2,33	2,36	-1,10
2,34	2,39	-2,10
2,42	2,48	-2,16
2,48	2,54	-2,34
2,58	2,64	-2,36

#### V.4. Etude expérimentale

L'objectif principal de cette étude est d'examiner l'effet de la rugosité du fond du canal profilé en "U", sur les caractéristiques géométriques du ressaut hydraulique.

En effet, des relations fonctionnelles, en terme adimensionnels, liant les différentes caractéristiques du ressaut pour cinq rugosités absolues du fond du canal ( $\varepsilon = 3,55\text{mm}$  ;  $\varepsilon = 4,3\text{mm}$  ;  $\varepsilon = 5,63\text{mm}$  ;  $\varepsilon = 7,14\text{mm}$  et  $\varepsilon = 9,11\text{mm}$ ) seront proposées.

Il est nécessaire de noter que le régime d'écoulement de toutes les expérimentations réalisées, se situe dans le domaine du turbulent de transition.

#### V.4.1. Description du modèle

Le canal de mesure qui nous a servi de banc d'essai (photo 5.1) est constitué essentiellement d'une rigole demi-circulaire en 'pvc' de 5,67 m de longueur sur laquelle est fixée latéralement, d'un coté une tôle en aluminium de 0,50 m de hauteur et de l'autre coté une série de 7 panneaux transparents en plexiglas permettant les prises de vues et observations. Ces panneaux sont reliés entre eux par collage au chloroforme. Le tout est fixé par boulonnage à une structure métallique rigide. L'étanchéité est assurée par des joints en caoutchouc et par du silicone.



**Photo 5.1** : Photographie du canal ayant servi à l'expérimentation.

Le fond du canal est parfaitement horizontal (de pente nulle). Un bassin d'alimentation est relié au canal par le moyen d'une conduite circulaire de 110 mm de diamètre. Celle-ci est reliée à une boîte en charge (Photo 5.2a) métallique fermée, sur laquelle est insérée une ouverture à paroi plane (photo 5.2b) en tôle de largeur déterminée débouchant dans le canal (figure 5.8).

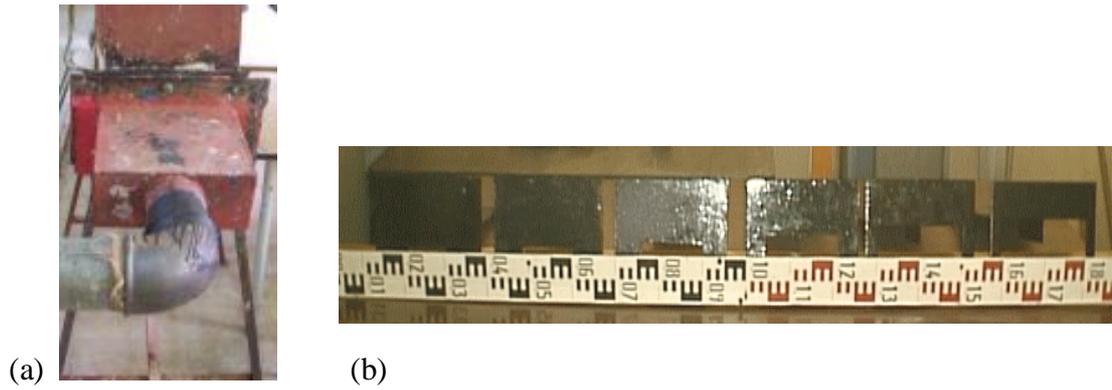


Photo. 5.2 (a) boîte en charge (b) série d'ouvertures

Le rôle de cette ouverture est de générer un écoulement incident à grande vitesse. La section de sortie de celle-ci est variable et sa hauteur correspondra à la hauteur initiale  $h_1$  du ressaut.

Le réglage des débits volumes s'effectue par manipulation d'une vanne et sont mesurés à l'aide d'un débitmètre à affichage numérique. L'alimentation du canal s'effectue par le moyen d'une pompe (photo 5.2c) débitant jusqu'à 44 l/s.



Photo 5.2(c) : Pompe

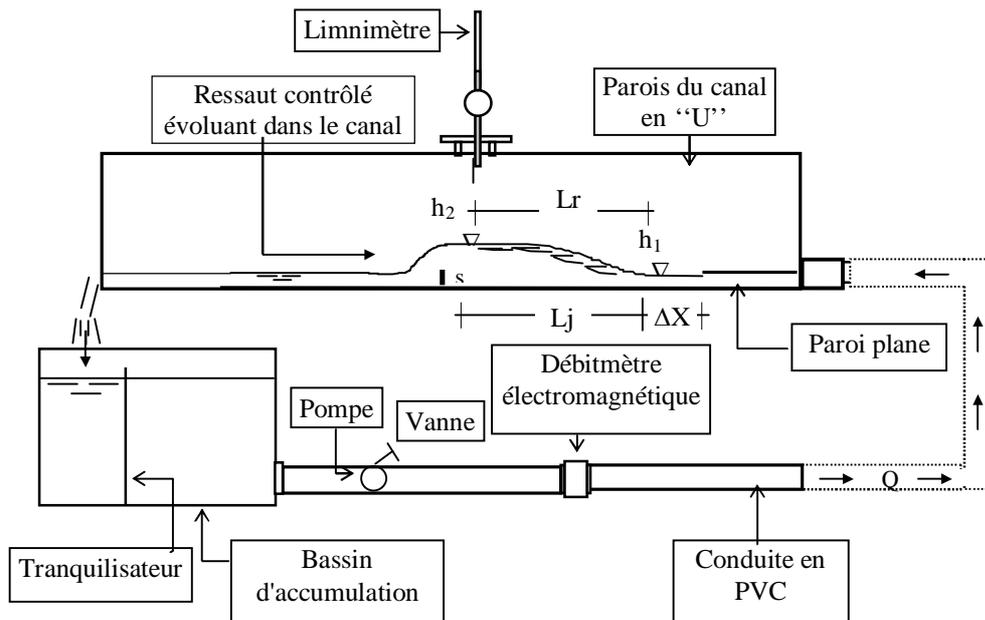


Figure 5.8 : Schéma de l'installation ayant servi à l'expérimentation.

## V.4.2.Appareillages de mesure

### V.4.2.1. Débitmètre électromagnétique

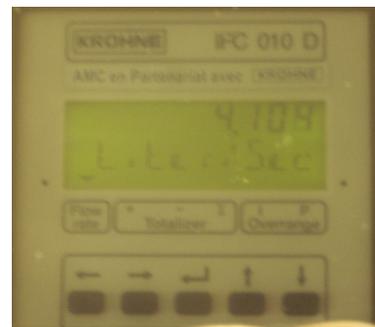
Le débitmètre électromagnétique est un dispositif destiné à la mesure des débits. Il est composé d'un capteur de mesures (photo 5.3) placé au travers de l'écoulement, raccordé par un câble électrique à un convertisseur de mesures à affichage digital (photo 5.4). Selon le diamètre de la conduite, cet appareil admet un débit minimal et un débit maximal. Pour notre cas le capteur de mesures présente un diamètre nominale  $D = 110\text{mm}$ , pour cela le débit volume mesuré est inscrit dans l'intervalle :  $2 \text{ l/s} \leq Q \leq 44 \text{ l/s}$ .



Photo 5.3 : Photographie du capteur de mesures du débitmètre électromagnétique.



a)



b)

Photo 5.4. : a) Photographie du convertisseur de mesures du débitmètre électromagnétique.  
b) Photographie de l'écran d'affichage des débits.

Le principe de fonctionnement de cet appareil est fondé sur la loi d'induction de Faraday. Le liquide qui traverse le débitmètre constitue un élément conducteur qui génère une tension induite par le champ magnétique créé par les bobines d'induction de cet appareil électromagnétique (figure 5.9). Cette tension est linéairement proportionnelle à la vitesse de passage du liquide.

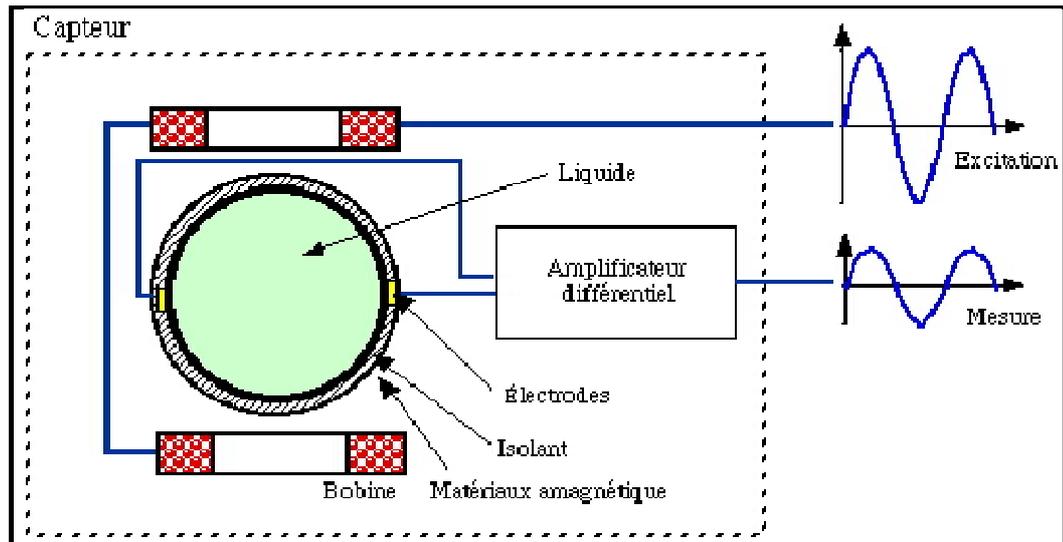


Figure 5.9 : Schéma électrique du capteur du débitmètre électromagnétique

L'induction magnétique, est produite par deux bobines placées de part et d'autre de la conduite de mesure. La conduite est en matériaux amagnétique et est revêtue sur sa surface intérieure d'une couche isolante. Deux électrodes de mesure sont placées aux extrémités du diamètre perpendiculaire au champ. Les bobines sont alimentées par une tension alternative, afin d'éviter une polarisation des électrodes.