



5. Mouvement brusquement varié (le ressaut hydraulique)

Ce chapitre est consacré à l'étude des écoulements brusquement varié (EBV). Nous allons décrire le phénomène du ressaut hydraulique, présenter sa mise en équation et illustrer ses utilisations pratiques.

Les objectifs de ce chapitre sont :

1. Connaître la notion du ressaut hydraulique leur propriétés et leur utilisation ;
2. Comprendre les concepts de l'impulsion totale et des profondeurs conjuguées d'un ressaut hydraulique ;
3. Identifier les différents types de ressauts hydrauliques ;
4. Calculer les profondeurs conjuguées d'un ressaut hydraulique.

5.1 Définition

Dans l'écoulement variant brusquement, la vitesse et le niveau varient d'une manière sensible et brusque sur une courte distance.

Le ressaut hydraulique (Fig 5.1) est une surélévation brusque de la surface libre d'un écoulement permanent qui se produit lors du passage du régime torrentiel au régime fluvial. Il est accompagné d'une agitation marquée et de grandes pertes d'énergie.

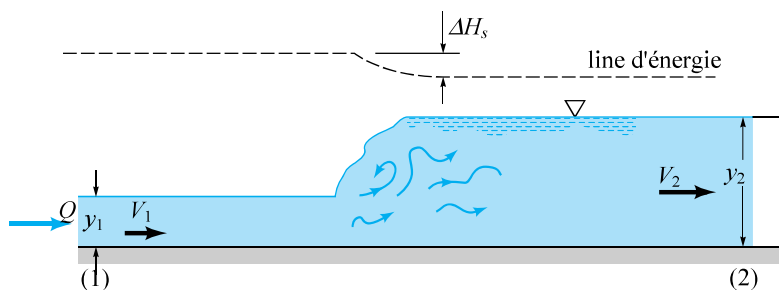


FIGURE 5.1 – Ressaut hydraulique.

Sa présence est généralement associée à un changement de pente ou à l'existence d'obstacles (barrage-déversoir) ou de structures (en-dessous d'une vanne de fond) causant ce changement de régime (Fig 5.2).

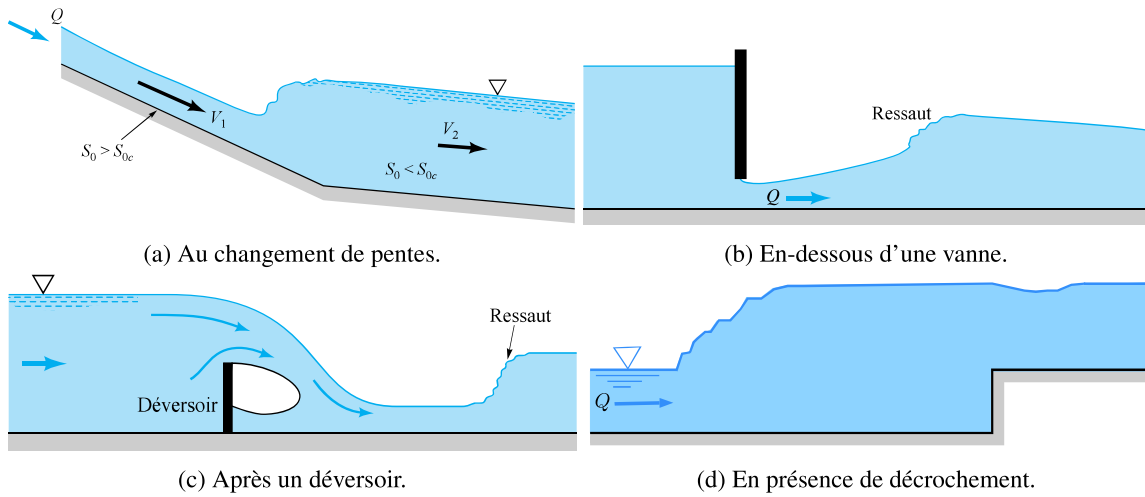


FIGURE 5.2 – Quelques exemple de l'apparition d'un ressaut hydraulique.

TABLEAU 5.1 – Classification des ressauts hydrauliques.

F_{r1}	y_2/y_1	Classification	Figures
< 1	1	Ressaut impossible	
1 à 1,7	1 à 2	Ressaut ondulé	
1,7 à 2,5	2 à 3,1	Ressaut faible	
2,5 à 4,5	3,1 à 5,9	Ressaut oscillant	
4,5 à 9,0	5,9 à 12	Ressaut établi	
$> 9,0$	> 12	Ressaut fort	

5.2 Profondeurs conjuguées du ressaut

Les profondeurs y_1 et y_2 observées respectivement en amont et en aval du ressaut hydraulique sont appelées profondeurs conjuguées du ressaut.

La détermination de y_1 et y_2 peut se faire par une des méthodes suivantes :

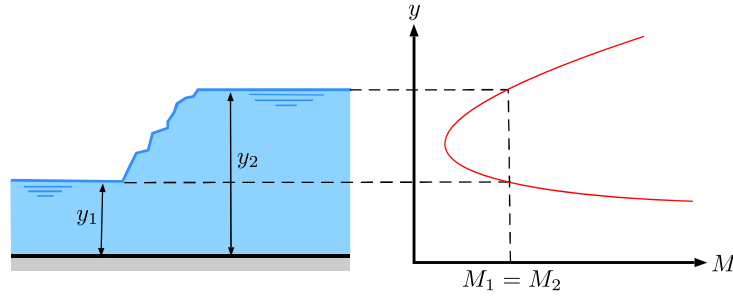


FIGURE 5.3 – La courbe des impulsions totales.

TABLEAU 5.2 – Le produit Ay_G dans l'éq. (5.1) suivant la géométrie du canal

Canal	Rectangulaire	Trapézoïdal	Triangulaire	Circulaire
$Ay_G =$	$b \frac{y^2}{2}$	$\frac{y^2}{6}(2my + 3b)$	$m \frac{y^3}{3}$	$\frac{d_0}{24} \left(3 \sin \theta - \sin^3 \theta - \frac{\pi \theta}{180} \cos \theta \right)$ avec $\theta = 180 - \arccos \left(\frac{2y}{d_0} - 1 \right)$, θ en $^\circ$

- la résolution de l'équation des impulsions totales. Cette équation est obtenue en appliquons l'équation de la quantité de mouvement pour un volume de contrôle compris entre les sections 1 et 2 du ressaut (Fig. 5.1) :

$$\underbrace{\frac{Q^2}{gA_1}}_{M_1} + A_1 y_{G1} = \underbrace{\frac{Q^2}{gA_2}}_{M_2} + A_2 y_{G2} \quad (5.1)$$

- y_{G1} et y_{G2} sont les profondeurs conjuguées mesurées jusqu'au centre de gravité compter à partir du fond du canal.
- M_1 et M_2 sont les impulsions totales à la section 1 et 2 respectivement.

On présente sur la figure 5.3 la forme générale de la courbe des impulsions totales pour un ressaut hydraulique et dans le tableau 5.2 le produit Ay_G qui est le deuxième terme de chaque membre de l'égalité (5.1).

- Pour un canal rectangulaire on peut utiliser une des équations suivante :

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8\text{Fr}_1^2} - 1 \right] \quad (5.2a)$$

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8\text{Fr}_2^2} - 1 \right] \quad (5.2b)$$

$$\frac{Q^2}{gb^2} = \frac{1}{2} y_1 y_2 (y_1 + y_2) \quad (5.2c)$$

- l'utilisation des graphes pour les sections triangulaire (Fig. 5.4), trapézoïdales (Fig. 5.5) et circulaires (Fig. 5.6).

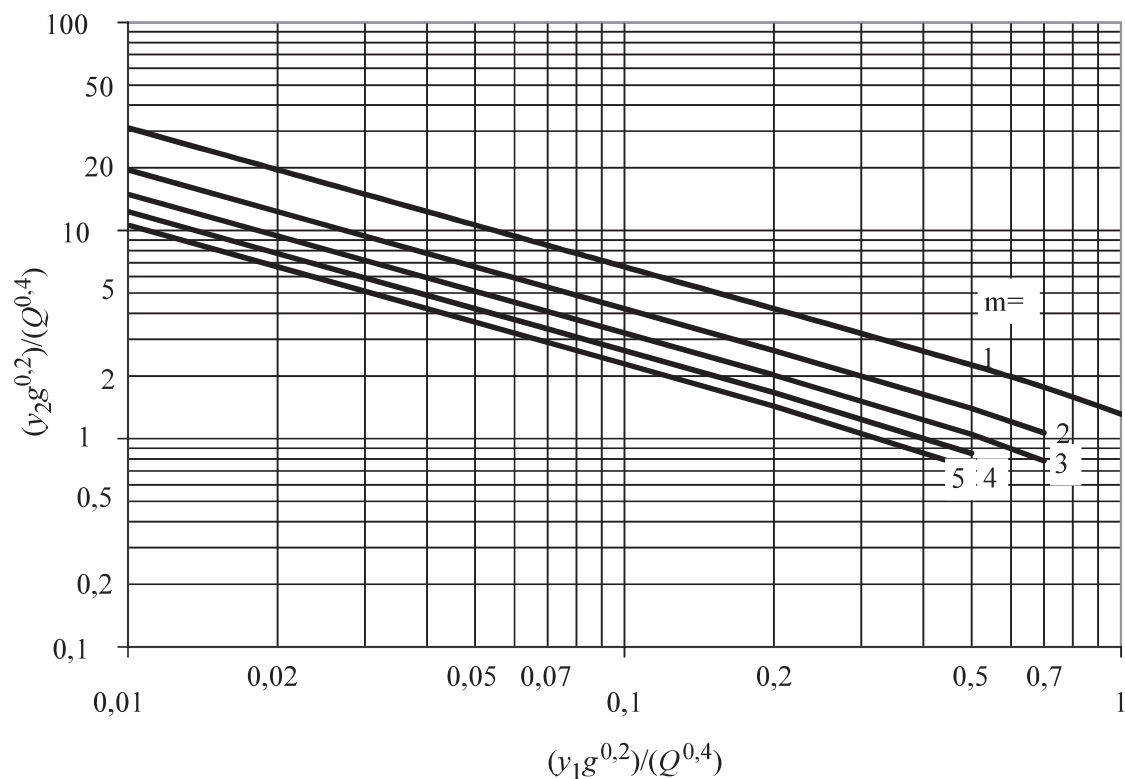


FIGURE 5.4 – Détermination des profondeurs conjuguées pour un canal triangulaire.

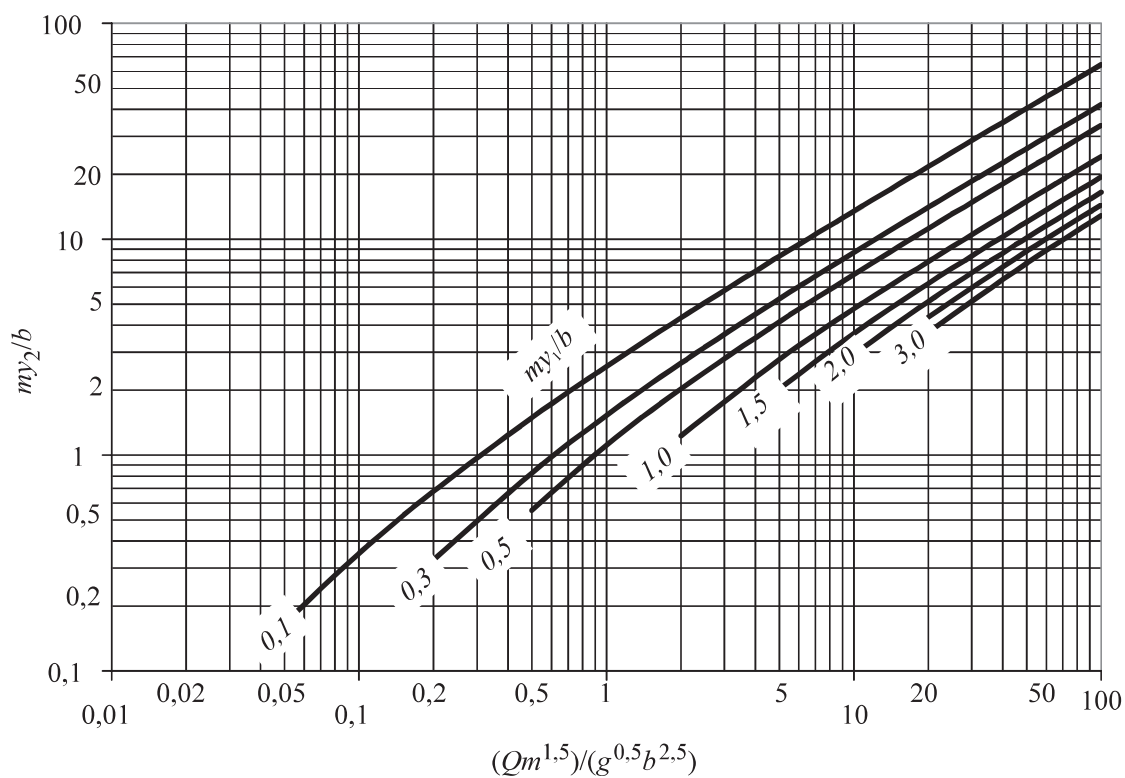


FIGURE 5.5 – Détermination des profondeurs conjuguées pour un canal trapézoïdal.

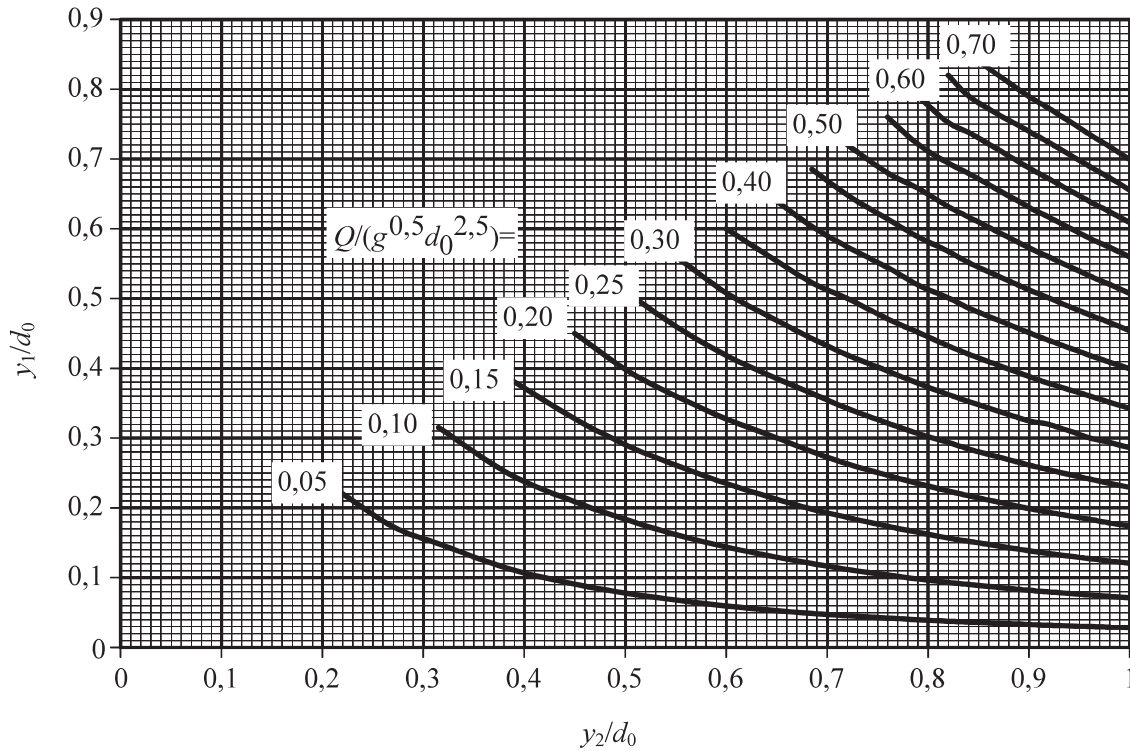


FIGURE 5.6 – Détermination des profondeurs conjuguées pour un canal circulaire.

5.3 Paramètres du ressaut

1. La perte de charge dans un ressaut hydraulique se calcule par la formule :

$$\Delta H_s = E_1 - E_2 \quad (5.3)$$

pour un canal rectangulaire :

$$\Delta H_s = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} \quad (5.4)$$

En utilisant cette équation avec l'équation (5.2a) on peut trouver :

$$\frac{16g^{1/3}\Delta H_s}{q^{2/3}} = \frac{(\sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 3)^3}{F_{r1}^{2/3}(\sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1)} = f(F_{r1}) \quad (5.5)$$

avec $q = Q/b$ est le débit par unité de largeur du canal rectangulaire. L'équation (5.5) est très importante dans la conception du bassin d'amortissement d'un barrage lorsqu'il s'agit d'estimer les profondeurs conjuguées du ressaut hydraulique quand le débit unitaire (q) et la perte d'énergie (ΔH_s) sont les seuls paramètres connus du ressaut.

2. La puissance dissipée par un ressaut hydraulique :

$$\mathcal{P} = \rho g Q \Delta H_s \quad (5.6)$$

3. La longueur du ressaut est très difficile à déterminer. Elle peut être approchée empiriquement par :

$$5 < \frac{L_r}{y_2 - y_1} < 7 \quad (5.7)$$

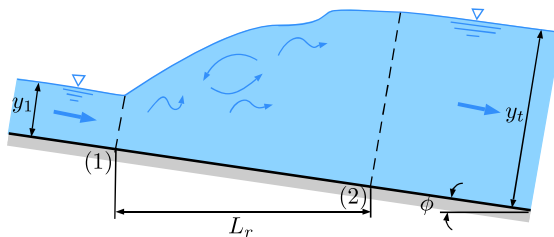
4. Le rendement du ressaut pour un canal rectangulaire :

$$\eta_r = \frac{4y_1 y_2}{(y_2 - y_1)^2} \quad (5.8)$$

5. La hauteur du ressaut :

$$a = y_2 - y_1 \quad (5.9)$$

5.4 Ressaut hydraulique dans un canal en pente



Soit un ressaut hydraulique dans canal rectangulaire sans frottement de pente S_0 (voir Fig. 5.7. y_1 et y_2 étant respectivement les profondeurs en amont et en aval du ressaut hydraulique. La relation suivante relie y_1 à y_2 , la profondeur conjuguée de y_1 sur un fond horizontal :

$$\frac{y_1}{y_2} = 1,0071 \times e^{3,2386 S_0} \quad (5.10)$$

FIGURE 5.7 – Schéma d'un ressaut hydraulique dans un canal en pente

La longueur du ressaut sur ce canal est :

$$L_r = (6,1 + 4S_0) y_2 \quad (5.11)$$

La perte de charge due au ressaut se calcul par l'équation (5.3).

5.5 Utilisations du ressaut hydraulique

Le ressaut hydraulique peut être utilisé :

1. comme dissipateur d'énergie pour réduire la vitesse de l'eau à l'aval d'un coursier d'évacuateur de crue (Fig. 5.8) ou d'une vanne (Fig. 5.9). L'énergie cinétique existant en amont d'un ressaut est considérablement réduite sur une faible distance.
2. Pour les grandes vitesses, $F_{r1} > 1$, les canaux fond mobile s'éroderaient; par conséquent, une protection du lit par un radier artificiel, appelé bassin d'amortissement (Fig. 5.10), s'impose. La longueur du ressaut (pour tous les débits possibles) y est contenue, de sorte qu'une vitesse raisonnable, $F_{r2} < 1$, quitte le bassin.
3. à la sortie d'un ponceau (Fig. 5.11) pour éviter l'affouillement de l'ouvrage et l'érosion des berges il est nécessaire d'installer un bassin d'amortissement.
4. comme mélangeur du fait de son action violente dans les rouleaux qui brassent l'eau avec l'air (Fig. 5.12) ou avec un autre fluide (contenant des produits chimiques) ajouté.

Pour provoquer ou contrôler le ressaut, on peut installer des décrochements au fond du canal (Fig. 5.13) ou des seuils dentés (Fig. 5.14). Dans certains aménagements hydrauliques, le canal est constituée soit par des contractions (rétrécissements) ou des élargissements (expansions). Ce changement de direction donne un ressaut hydraulique oblique.



(a)



(b)

FIGURE 5.8 – Bassin de dissipation sur l'île de Jeju (Corée) : le 26 mai 2013 à débit faible et le 28 mai 2013 après un orage.



(a)



(b)

FIGURE 5.9 – Bassin d’amortissement avec ressaut hydraulique en aval de l’écluse des portes, Grand Colmitage, Cambodge : (a) Seuils dentés et (b) fonctionnement pendant la saison des inondations.



(a)



(b)



(c)

FIGURE 5.10 – Exploitation d’une petite structure de tranquillisation à Toyohashi (Japon) pendant des débits très bas (a), bas (b) et moyen (c).



FIGURE 5.11 – Bassin d’amortissement avec blocs de chute en aval d’un ponceau.



FIGURE 5.12 – Exemple d’écoulement entièrement aéré dans un coursier à chicanes.



(a)



(b)

FIGURE 5.13 – Exploitation du déversoir du mont Crosby sur la rivière Brisbane (Australie) en période de faible débit (a), haut débit (b).

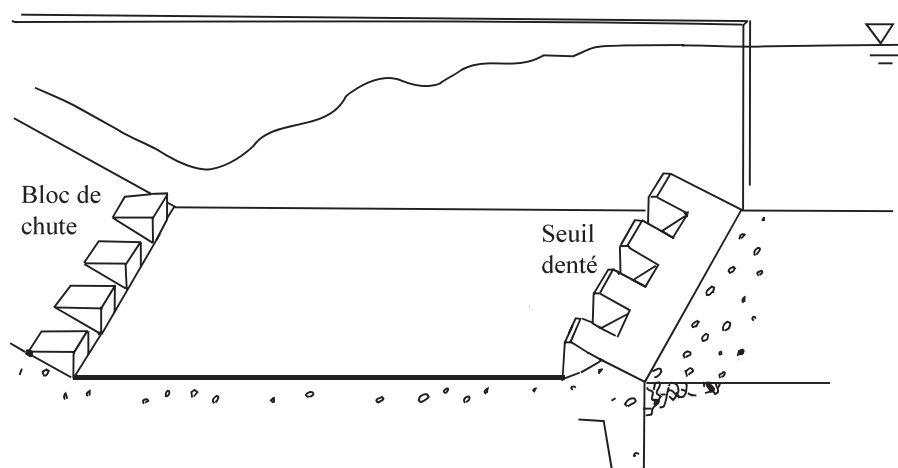


FIGURE 5.14 – Schéma d'un bassin de dissipation.