

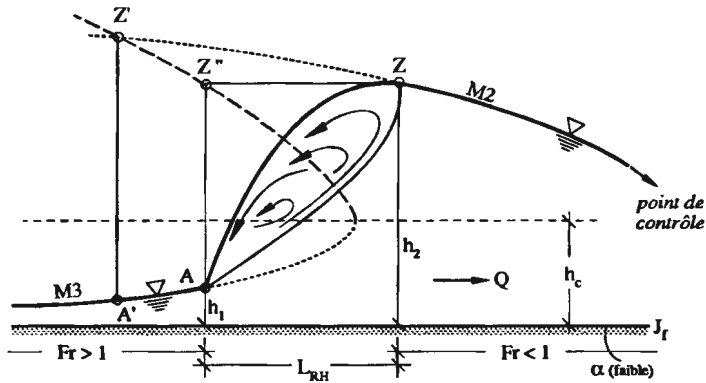


Fig. 4.19 Position du ressaut hydraulique.

- 8° Un ressaut hydraulique est souvent *utilisé* dans les constructions hydrauliques comme dissipateur d'énergie. L'énergie cinétique existant en amont d'un ressaut est considérablement réduite (voir Fig. 4.17) sur une faible distance; le ressaut entraîne une perte de charge appréciable.

Pour les grandes vitesses, $Fr_1 > 1$, les canaux à fond mobile s'éroderaient (voir sect. 3.4.2); par conséquent, une protection du lit par un radier artificiel, appelé *bassin d'amortissement*, s'impose. La longueur du ressaut (pour tous les débits possibles) y est contenue, de sorte qu'une vitesse raisonnable, $Fr_2 < 1$, quitte le bassin.

Pour contrôler ou provoquer le ressaut, on peut installer des seuils (dentés) ou des décrochements (voir sect. 4.5) au fond du canal.

Les différentes configurations des bassins d'amortissement et leur comportement hydraulique sont présentés dans les livres de *Chow* (1959, chap. 15), de *Hoffmann* (1977, chap. 9), de *Sinniger et Hager* (1989, chaps. 16 et 17) et de *Naudascher* (1987, chap. 2).

Un ressaut peut aussi être utilisé comme *mélangeur* du fait de son action violente dans les rouleaux qui brassent l'eau avec l'air ou avec un autre fluide (contenant des produits chimiques) ajouté.

4.5 TRANSITIONS

- 1° Une transition, qui est le bref passage d'un écoulement uniforme à un autre, représente le cas général d'un écoulement rapidement varié sur une courte distance (voir sect. 4.4) dans un canal non prismatique où la section est variable. L'écoulement ne traverse pas forcément une section où la profondeur est critique.

- 2° On rencontre des transitions si la section du canal change brusquement :
- i) verticalement : comme décrochement d'un seuil positif ou négatif (voir sect. 4.5.1),
 - ii) horizontalement : comme élargissement ou rétrécissement de la largeur de la section (voir sect. 4.5.2 et sect. 4.5.3),
 - iii) verticalement et horizontalement ensemble.
- 3° Une transition peut servir à déterminer le point de contrôle qui est à l'origine d'un écoulement graduellement varié et permet donc de calculer la surface d'eau (voir sect. 4.3).
- 4° Si la transition est courte, suffisamment progressive et raisonnablement profilée, la perte de charge, h_r , qui en résulte peut souvent être négligée.

4.5.1 Décrochements

- 1° Soit un canal de section rectangulaire et de largeur, B , constante, avec une pente de fond, J_f , très faible. Le radier présente en un point une sur- ou sous-élévation, $\pm \Delta z$ (voir Fig. 4.20).
- 2° En négligeant les pertes de charge, h_r (voir Rouse, 1938, p. 285), l'équation de l'énergie, éq. 2.9, pour les deux sections, S_1 et S_2 , situées de part et d'autre du décrochement d'un seuil positif (+) ou négatif (-) s'écrit :

$$h_1 + \frac{q^2}{2g h_1^2} = h_2 + \frac{q^2}{2g h_2^2} \pm \Delta z \quad (4.46)$$

L'équation de continuité fournit les vitesses suivantes :

$$q = U_1 h_1 = U_2 h_2 \quad ; \quad B = \text{Cte}$$

Pour un débit constant, q , et un seuil de hauteur, $\pm \Delta z$, donné, l'éq. 4.46 permet de trouver les profondeurs, h_2 , d'eau en aval si la profondeur, h_1 , d'eau en amont est énoncée, et vice versa.

L'éq. 4.46 est une équation du troisième degré. On se demande combien de solutions réelles existent et sont *hydrauliquement* possibles. Pour y répondre, il s'avère intéressant d'utiliser le concept de l'énergie spécifique (voir sect. 2.3).

- 3° On pose alors :

$$H_{s_2} = H_{s_1} \mp \Delta z \quad (4.47)$$

où $H_s = U^2/2g + h$ est la charge spécifique dont la courbe (voir Fig. 2.5) pour un débit constant, q , est tracée sur la Fig. 4.20. La résolution graphique de l'éq. 4.46 s'impose :

- i) La ligne d'énergie totale (lct) reste constante et horizontale.
- ii) En amont du seuil, avec une énergie spécifique, H_{s_1} , donnée, deux profondeurs, h_1 et h_1' , sont possibles : l'une, $h_1 > h_c$, en régime fluvial et l'autre, $h_1' < h_c$, en régime torrentiel.
- iii) En aval du seuil, l'énergie spécifique, H_{s_2} , a changé par la hauteur, Δz , du seuil; elle a donc pour valeur $H_{s_2} = H_{s_1} \mp \Delta z$. Sur la courbe, $H_s = f(h)$, on constate un décalage de Δz vers la gauche pour un seuil positif et vers la droite pour un seuil négatif.
- iv) Pour un seuil positif (voir Fig. 4.20a), la profondeur a donc diminué, $h_2 < h_1$, en régime fluvial et augmenté, $h_2' > h_1'$, en régime torrentiel. Pour un seuil négatif (voir Fig. 4.20b), c'est l'effet inverse qui se produit.
- v) Pour un seuil positif, un tel écoulement n'est toutefois possible que si la surélévation, $+\Delta z$, n'abaisse pas la charge spécifique, H_{s_2} , au-dessous de la charge spécifique, H_{s_c} , critique; il faut donc que $H_{s_2} \geq H_{s_c}$. Il est évident que l'écoulement après le décrochement sera en régime critique, $Fr_2 \equiv 1$, si la charge spécifique, $H_{s_2} = H_{s_c}$, devient critique; le seuil joue le rôle de section de contrôle (voir Fig. 4.13).
- vi) Un minimum d'énergie spécifique, $H_{s_1}^m$, en amont du décrochement est nécessaire pour franchir un seuil de surélévation, $+\Delta z$; il est donné par :

$$H_{s_1}^m = H_{s_c} + \Delta z \quad \text{où} \quad H_{s_c} \equiv H_{s_2}.$$

Dans un écoulement fluvial, une courbe de remous se formera donc en aval du décrochement; dans un écoulement torrentiel, un ressaut hydraulique peut se former.

- 4° Si la perte de charge, h_f , due à un décrochement n'est pas négligeable, il faut trouver une relation pour $h_2 = f(h_1)$ en utilisant l'équation de quantité de mouvement (voir Jaeger, 1954, pp. 162-171).

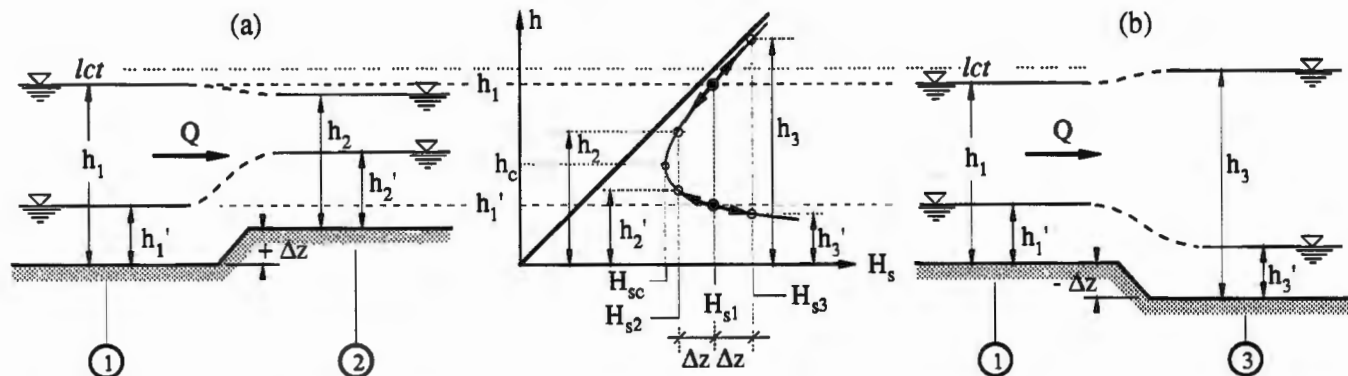


Fig. 4.20 Décrochement d'un seuil positif, $+\Delta z$, et négatif, $-\Delta z$.

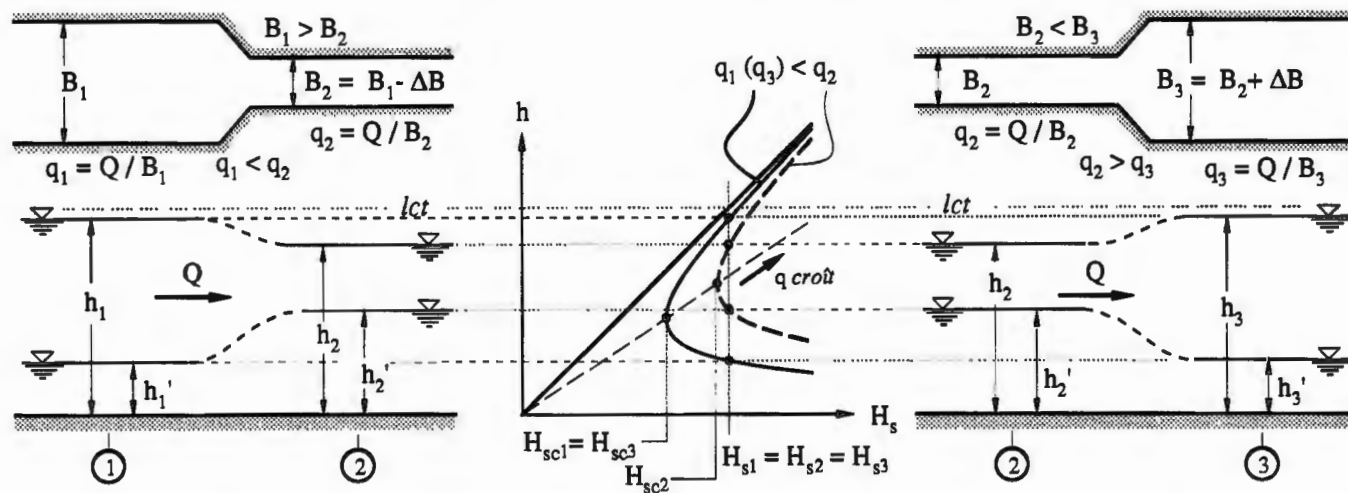


Fig. 4.21 Changement de largeur : rétrécissement, $-\Delta B$, et élargissement, $+\Delta B$.

4.5.2 Canal de largeur variable

- 1° Soit un canal de section rectangulaire avec une pente de fond, J_f , très faible. La largeur, B , du canal est soumise à un élargissement, $+\Delta B$, ou à un rétrécissement, $-\Delta B$.
- 2° On admet que le changement de largeur, $\pm \Delta B$, se produit à une distance courte et suffisamment progressive pour ne pas entraîner de perte de charge, h_f . Ce problème peut être étudié de la même manière que le problème de décrochement (voir sect. 4.5.1) en utilisant le concept de l'énergie spécifique (voir sect. 2.3).
- 3° L'équation de continuité pour un débit constant, Q , permet d'écrire :

$$q_1 B_1 = Q = q_2 B_2$$

Pour un canal de largeur variable, le débit unitaire, q , est également variable.

L'énergie spécifique étant conservée le long de la transition, on a :

$$H_{s1} = H_{s2} \quad (4.48)$$

Une résolution graphique de l'éq. 4.48 s'impose :

- i) On trace alors les courbes (voir Fig. 4.21) de l'énergie spécifique, H_s , pour les deux débits, q_1 (q_3) et q_2 , unitaires; chacun a sa propre profondeur critique, h_{c1} et h_{c2} .
- ii) En régime fluvial : un rétrécissement entraîne une augmentation du débit, $q_2 > q_1$, unitaire et par la suite une diminution de la profondeur, $h_2 < h_1$; un élargissement entraîne une diminution du débit, $q_2 > q_3$, unitaire et par la suite une augmentation de la profondeur d'eau, $h_3 > h_2$.
- iii) En régime torrentiel : un rétrécissement produit une augmentation de la profondeur, $h_2' > h_1'$; un élargissement produit une diminution de la profondeur d'eau, $h_3' < h_2'$.
- iv) On peut toutefois se demander pour quel débit unitaire maximal, $q_m = Q/B_m$, un écoulement fluvial et torrentiel devient un écoulement à profondeur, $h_m \equiv h_c$, critique. On calcule alors la réduction de largeur, $\Delta B = B_1 - B_m$, en utilisant l'éq. 2.24; pour une section rectangulaire, on obtient :

$$B_m^{-1} \equiv B_c^{-1} = \frac{1}{Q} \sqrt{g h_c^3}$$

Ce principe est utilisé dans le canal jaugeur (voir Fig. 4.14), où la profondeur critique s'établit quelque part dans la partie rétrécie.

v) Si la réduction de la largeur devient importante, $B_2 < B_c$, et que le débit, Q , reste constant, il peut se former une courbe de remous ou un ressaut hydraulique (voir *Ranga Raju*, 1981, p. 121).

4° Si les pertes de charge, h_r , provoquées par une variation de largeur, ne sont pas négligeables, il faudra utiliser l'équation de quantité de mouvement pour obtenir une relation entre les profondeurs, h_1 et h_2 (voir *Jaeger*, 1954, p. 171-180). La perte de charge, qui a été négligée dans l'étude précédente, est donnée (voir *Crausse*, 1951, p. 229) par :

$$h_r = K_t \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}$$

où $0.05 < K_t < 0.1$ pour un rétrécissement progressif et $K_t \approx 0.5$ s'il y a des angles vifs, où $0.1 < K_t < 0.2$ pour un élargissement et $K_t \approx 1.0$ s'il y a des angles vifs.

5° Un rétrécissement, donc une réduction de largeur, se produit aussi au passage d'un écoulement autour des *piles d'un pont* (voir *Crausse*, 1951, p. 233). Sous le pont, la largeur du courant est réduite à $(B_1 - \Delta B)$ par la présence des piles (voir Fig. 4.22).

En régime fluvial, les piles provoquent un abaissement de la surface d'eau, tandis qu'en régime torrentiel elles provoquent une élévation (voir Fig. 4.21).

A noter que la largeur rétrécie, $(B_1 - \Delta B)$, doit être corrigée par un coefficient, μ , de contraction, qui sera légèrement inférieur à l'unité.

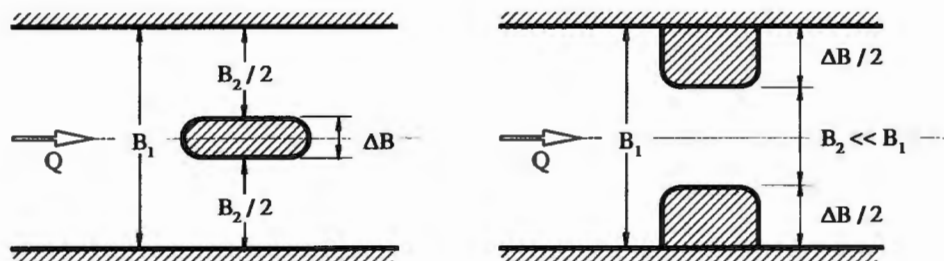


Fig. 4.22 Canal de largeur variable : piles de pont et constriction.

6° Une réduction très importante de largeur se produit aussi au passage d'un écoulement à travers une *constriction* (voir Fig. 4.22) du canal.

Ce phénomène hydraulique est très compliqué et l'on doit se contenter d'études expérimentales. Des abaques pour différents types de constriction existent dans la littérature (voir *French*, 1985, pp. 394-426).