



6. Application à l'étude d'autres régimes variés

On présente, dans ce chapitre, les transitions qu'on rencontre si la section du canal change brusquement. Les écoulements noyés et dénoyés sous une vanne de fond seront également abordés.

Les objectifs de ce chapitre sont :

1. Connaître les transitions dans les canaux découverts et les notions d'écoulements noyé et dénoyé ;
2. Appliquer les équations de l'énergie et de l'énergie spécifique ;
3. Calculer le débit d'une vanne de fond.

6.1 Transitions

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 dans un canal non prismatique où la section est variable. L'écoulement ne traverse pas forcément une section où la profondeur est critique.

On rencontre des transitions si la section du canal change brusquement :

- a) verticalement : comme décrochement d'un seuil positif ou négatif
- b) horizontalement : comme élargissement ou rétrécissement de la largeur de la section
- c) verticalement et horizontalement ensemble.

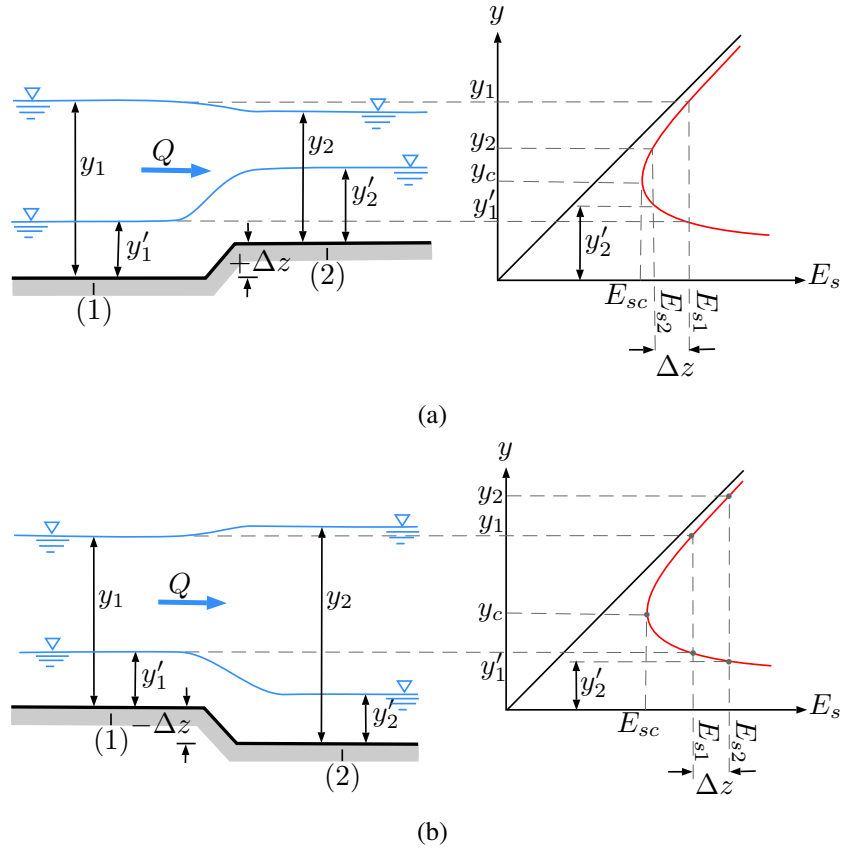
Une transition peut servir à déterminer le point de contrôle qui est l'origine d'un écoulement graduellement varié et permet donc de calculer la surface d'eau. Si la transition est courte, suffisamment progressive et raisonnablement profilée, la perte de charge, ΔH_s , qui en résulte peut souvent être négligée.

6.1.1 Décrochements

Soit un canal de section rectangulaire et de largeur, b , constante, avec une pente de fond, S_0 , très faible. Le radier présente en un point une sur- ou sous-élévation, $\pm \Delta z$ (voir Fig. 6.1). En négligeant les pertes de charge, l'équation de l'énergie, pour les deux sections, (1) et (2), situées de part et d'autre du décrochement d'un seuil positif (+) ou négatif (-) s'écrit :

$$y_1 + \frac{V^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} \pm \Delta z \quad (6.1)$$

Pour un débit constant, q , et un seuil de hauteur, $\pm \Delta z$, donné, l'éq. (6.1) permet de trouver les profondeurs,

FIGURE 6.1 – Décrochement d'un seuil (a) positif, $+\Delta z$, et (b) négatif, $-\Delta z$.

y_2 , d'eau en aval si la profondeur, y_1 , d'eau en amont est énoncée, et vice versa. L'éq. (6.1) 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. On pose alors :

$$E_{s2} = E_{s1} \mp \Delta z \quad (6.2)$$

La résolution graphique de l'éq. (6.1) s'impose :

1. En amont du seuil, avec une énergie spécifique, E_{s1} , donnée, deux profondeurs, y_1 et y'_1 , sont possibles : l'une, $y_1 > y_c$, en régime fluvial et l'autre, $y'_1 < y_c$, en régime torrentiel.
2. Sur la courbe de E_s , on constate un décalage de Δz vers la gauche pour un seuil positif et vers la droite pour un seuil négatif.
3. Pour un seuil positif (voir Fig. 6.1a), la profondeur a donc diminuée, $y_2 < y_1$, en régime fluvial et augmenté, $y'_2 > y'_1$, en régime torrentiel. Pour un seuil négatif (voir Fig. 6.1b), c'est l'effet inverse qui se produit.
4. Pour un seuil positif, un tel écoulement n'est toutefois possible que si la surélévation $+\Delta z$, n'abaisse pas la charge spécifique, E_{s2} , au-dessous de la charge spécifique critique, E_{sc} ; il faut donc que $E_{s2} > E_{sc}$.
5. Un minimum d'énergie spécifique, $E_{s1\min}$, en amont du décrochement est nécessaire pour franchir un seuil de surélévation, $+\Delta z$; il est donné par :

$$E_{s1\min} = E_{sc} + \Delta z \quad (6.3)$$

Par conséquent, la profondeur d'eau dans la section en aval du décrochement doit être égale à la profondeur critique $y_2 = y_c$ et on aura

$$E_{s2} = E_{sc} \quad (6.4)$$

Cette augmentation de l'énergie spécifique correspond à une augmentation du niveau d'eau en amont du décrochement. Un écoulement transitoire s'installe dans le canal pendant un certain temps. Un débit moindre que Q coule vers la section 2, le surplus étant stocké pour rehausser le niveau d'eau, et par conséquent l'énergie spécifique, en amont. Cet état transitoire cesse et l'écoulement redevient permanent que la différence entre les énergies spécifiques de deux sections se trouve égale Δz . À ce moment-là, la profondeur d'eau en amont se stabilise à y'_{s1} , solution de l'éq. (6.3) (dans le même régime d'écoulement).

6. 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.

Si la perte de charge, ΔH_s , due un décrochement n'est pas négligeable, il faut trouver une relation pour y_2 en utilisant l'équation de quantité de mouvement.

6.1.2 Canal de largeur variable

Soit un canal de section rectangulaire avec une pente de fond, S_0 , très faible. La largeur, b , du canal est soumise à un élargissement, $+\Delta b$, ou à un rétrécissement, $-\Delta b$. 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, ΔH_s . Ce problème peut être étudié de la même manière que le problème de décrochement en utilisant le concept de l'énergie spécifique.

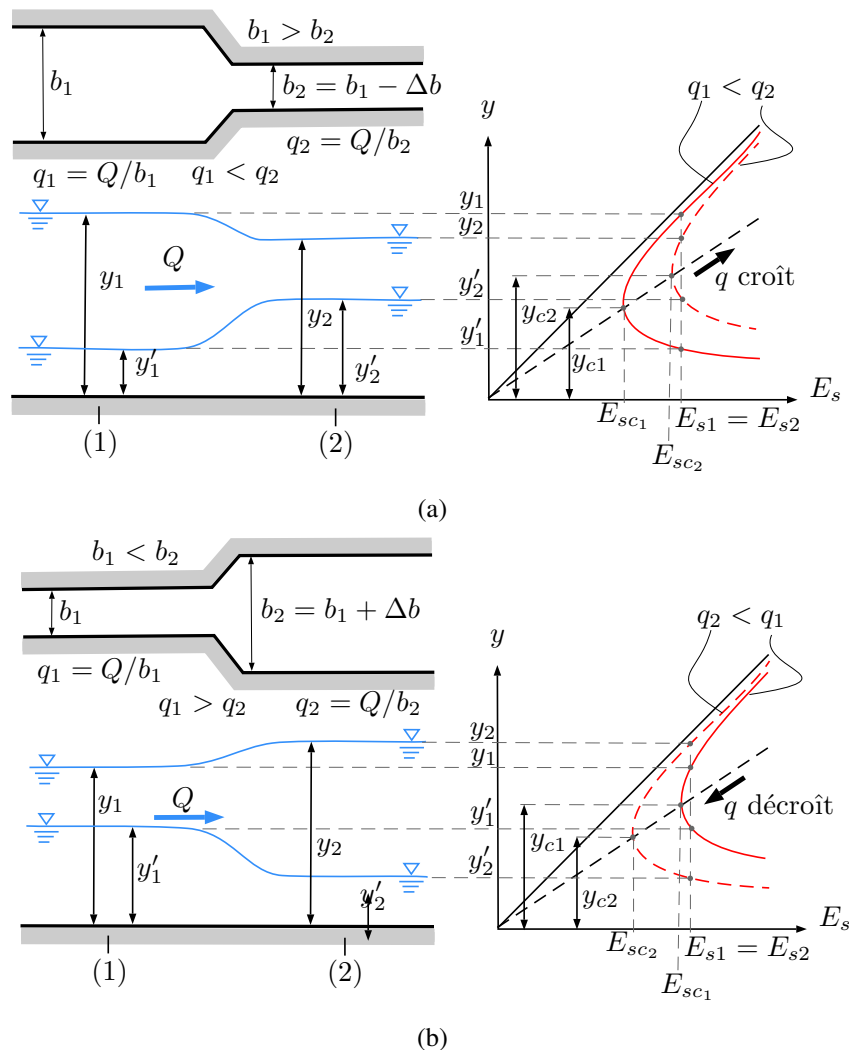


FIGURE 6.2 – Changement de largeur : (a) rétrécissement, $-\Delta b$, et (b) élargissement, $+\Delta b$.

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 :

$$E_{s1} = E_{s2} \quad (6.5)$$

Une résolution graphique de l'éq. (6.5) s'impose :

1. On trace alors les courbes (voir Fig. 6.2) de l'énergie spécifique, E_s , pour les deux débits, q_1 et q_2 , unitaires ; chacun a sa propre profondeur critique, y_{c1} et y_{c2}
2. En régime fluvial : un rétrécissement entraîne une augmentation du débit, $q_2 > q_1$, unitaire et par la suite une diminution de la profondeur, $y_2 < y_1$; un élargissement entraîne une diminution du débit, $q_1 > q_2$, unitaire et par la suite une augmentation de la profondeur d'eau, $y_2 > y_1$.
3. En régime torrentiel : un rétrécissement produit une augmentation de la profondeur, $y'_2 > y'_1$; un élargissement produit une diminution de la profondeur d'eau, $y'_2 < y'_1$.
4. La largeur b_m qui donne une profondeur critique (et un débit q_m maximal) au niveau de la transition se calcul par les équations du tableau 3.1. Pour une section rectangulaire, on obtient :

$$b_m = b_c = \frac{Q}{\sqrt{gy_c^3}} \quad (6.6)$$

Ce principe est utilisé dans le canal jaugeur (voir Fig. 3.3b) où la profondeur critique s'établit quelque part dans la partie rétrécie.

5. L'énergie spécifique disponible à la section (2) pour le débit Q , E_{s2} ne peut pas descendre en dessous de l'énergie minimale, E_{sc2} qui se produit quand $y_2 = y_c$. Par conséquent, la profondeur d'eau dans la section en aval doit être égale à la profondeur critique et on aura $E_{s2} = E_{sc2}$. La profondeur amont y_1 augmentera jusqu'à une profondeur y'_1 , de telle sorte que la nouvelle énergie spécifique à la section amont 1 soit (même explication que le point 5, sous-section 6.1.1. y'_1 est la solution de l'éq. (6.7)) :

$$E'_1 = E_{sc} \quad (6.7)$$

6. 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

La perte de charge provoquées par une variation de largeur, est donnée par :

$$\Delta H_s = K_t \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad (6.8)$$

où $0,05 < K_t < 0,1$ pour un rétrécissement progressif et $K_t = 0,5$ s'il y a des angles vifs, où $0,1 < K_t < 0,2$ pour un élargissement et $K_t = 1,0$ s'il y a des angles vifs.

Un rétrécissement se produit aussi au passage d'un écoulement autour des piles d'un pont (Fig 6.3a) ou une constriction du canal (Fig. 6.3b)

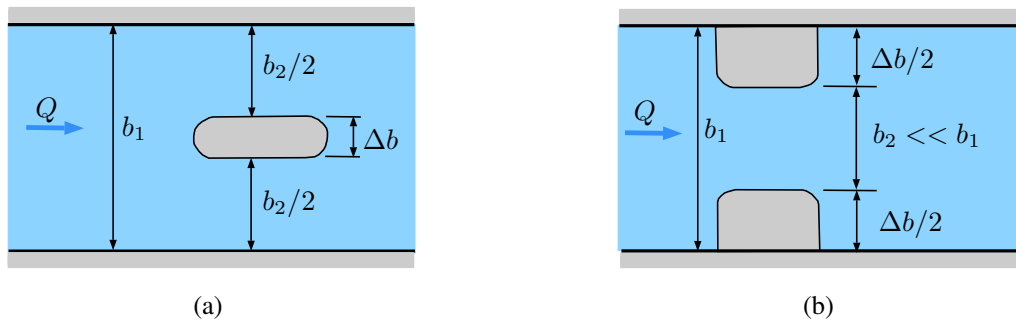


FIGURE 6.3 – Canal de largeur variable (a) piles de pont et (b) constriction.

6.2 Vannes de fond

Une vanne de fond est un dispositif qu'on utilise pour mesurer et/ou contrôler le débit, Q , s'écoulant dans des canaux ou sortant d'un réservoir. La vanne est essentiellement une paroi mobile avec une ouverture, a , au fond ou près du fond du canal par laquelle l'eau débite vers l'aval.

Il existe différents types de vannes de fond (voir Fig. 6.4) tels que les vannes-segment, les vannes planes (verticales ou inclinées) ou les vannes-cylindres.

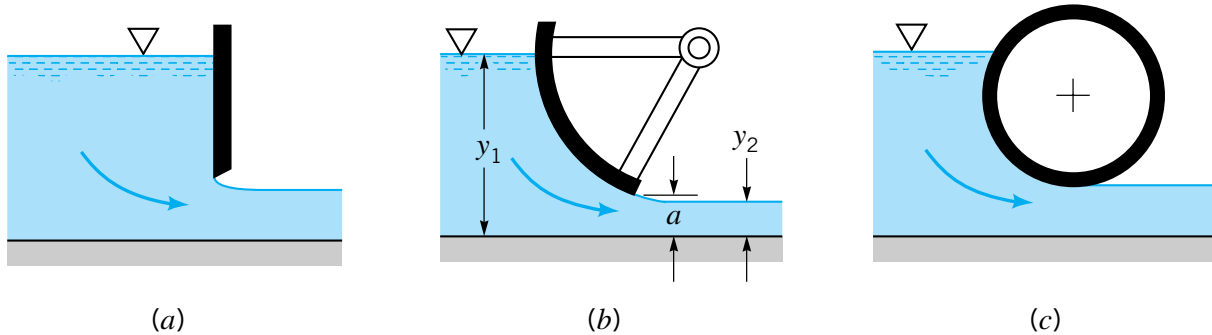


FIGURE 6.4 – Types de vanne de fond : (a) vanne plane, (b) vanne-segment et (c) vanne-cylindre.

L'écoulement sous une vanne est dénoyé (ou libre) lorsque le liquide sort sous forme d'un jet d'écoulement torrentiel avec une surface libre ouverte à l'atmosphère, comme le montre la figure 6.5a. il est appelé écoulement noyé (ou submergé) si le liquide déchargé revient en arrière et submerge le jet (Fig. 6.5b). Dans ce cas, le jet de liquide subit un ressaut hydraulique et l'écoulement en aval est ainsi fluvial.

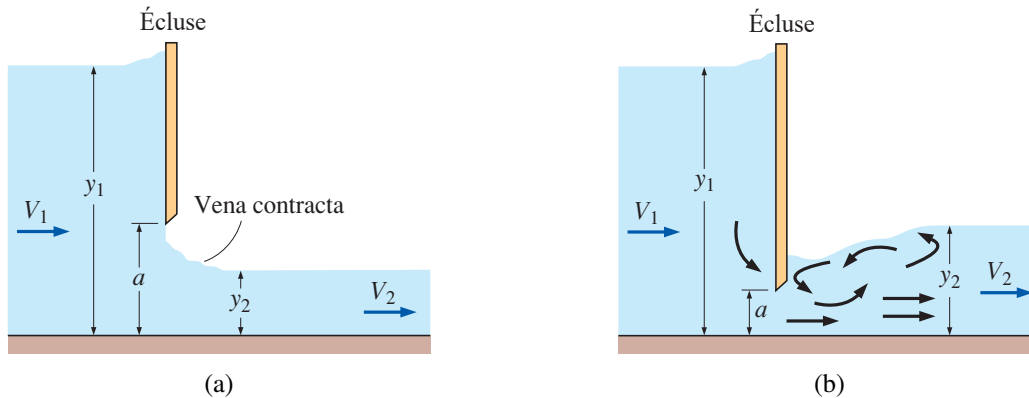


FIGURE 6.5 – Vanne (a) dénoyée et (b) noyée.

Pour l'écoulement (noyé ou dénoyé) à travers (sous) une vanne de fond :

$$Q = C_d a b \sqrt{2gy_1} \quad (6.9)$$

où C_d est le coefficient de débit, b et a sont respectivement la largeur et la hauteur de l'ouverture du portail.

Le coefficient de débit est généralement inférieur à 1. Les valeurs de C_d déterminées expérimentalement pour les vannes de fond sont représentées sur la figure 6.6 en fonction du coefficient de contraction y_2/a et du rapport de profondeur y_1/a . On remarque que la plupart des valeurs de C_d pour un écoulement dénoyé sous une vanne verticale se situent entre 0,5 et 0,6. Les valeurs de C_d chutent fortement pour les écoulements noyés (pour une valeur donnée de y_1/a , la valeur de C_d diminue avec l'augmentation de y_2/a).

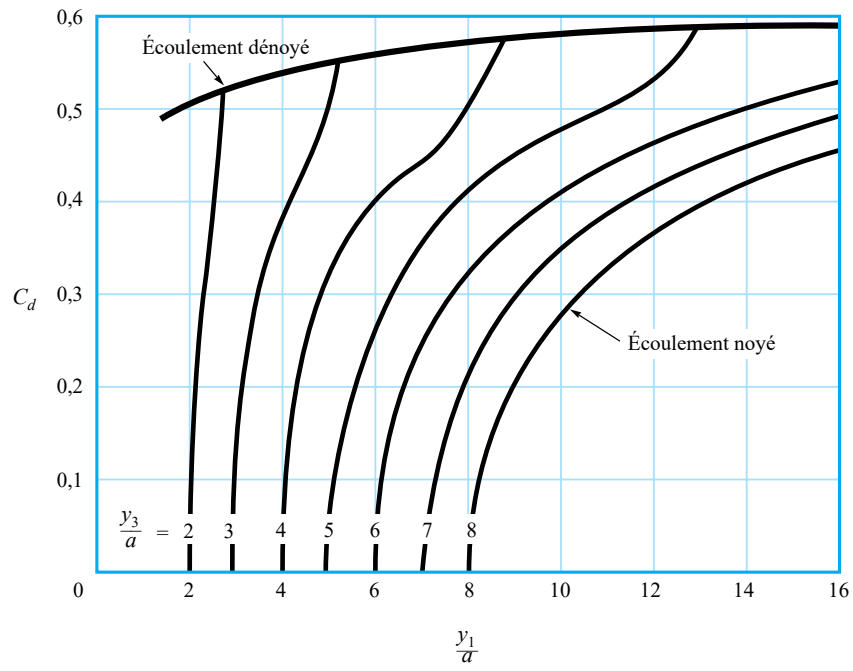


FIGURE 6.6 – Coefficient de débit, C_d , pour des écoulements noyé et dénoyé sous une vanne de fond.