Hydraulique à surface libre

Exercice 1

Un écoulement dans un canal rectangulaire en béton a une profondeur normale $h_n = 5$ m. Le canal rectangulaire a une largeur b de 15 m. Le coefficient de Manning est $n = 0{,}015$ et la pente du lit est $i = 0{,}5$ %.

1. Quel est le coefficient de Manning-Strickler K ? Déterminer la vitesse moyenne u et le débit Q.
2. Quel est le diamètre équivalent d_90 associé à K ?
3. Renouveler le calcul avec l'hypothèse d'un frottement de type Keulegan : que valent u et Q ?
4. Calculer la hauteur normale pour le même canal et un débit de 300 m^3/s.

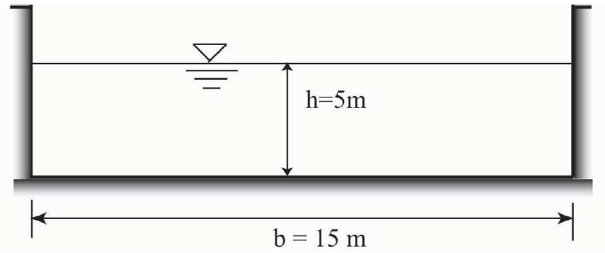

Figure 1 : Vue en coupe du canal

Exercice 2

Un bassin sert à alimenter en eau une machine hydraulique (une simple turbine pour produire de l'électricité). Se reporter au plan de la figure 2. Le bassin est alimenté par un torrent, dont le débit usuel est $Q_s = 100$ l/s (débit de service). Le bassin est muni d'un déversoir (seuil) qui en cas de trop plein (crue du torrent), évacue les eaux en direction d'un canal. L'alimentation de la conduite de la machine se fait par une conduite verticale de diamètre d et de longueur $L_c = 1$ m. La hauteur d'eau dans le bassin est $h = 5$ m et en conditions usuelles de fonctionnement, l'eau est supposée au repos. La longueur et la largeur du bassin sont $L = 100$ m et $W = 50$ m. Le déversoir est une paroi mince de pelle $p = 5$ m et de largeur $\ell = 1$ m. L'eau se déverse dans un coursier (canal en béton), puis dans une rivière de largeur $B = 4$ m et de pente $i = 0{,}1$ %. Le lit de la rivière est composé de gravier, dont le diamètre d_{90} vaut 1 cm. Lorsque le torrent entre en crue, son débit atteint $Q_c = 2$ m^3/s. Dans de telles circonstances, la conduite d'alimentation est coupée et toute l'eau qui arrive par le torrent est déversée dans la rivière.

1. Calculer le diamètre de la conduite d'alimentation de la machine hydraulique pour que le débit soit celui du torrent en conditions usuelles ($Q = Q_s$).
2. Calculer la hauteur dans le bassin lorsque le torrent est en crue ($Q = Q_c$).
3. Calculer la hauteur critique dans le canal ($Q = Q_c$).
4. Tracer qualitativement la ligne d'eau (courbe de remous) en la plaçant correctement par rapport aux grandeurs caractéristiques (en indiquant les différentes hauteurs caractéristiques et la courbe de remous). Commenter le graphique avec les caractéristiques essentielles de la ligne d'eau (pour $Q = Q_c$).
5. Lorsque la crue arrive, on suppose que le débit du torrent passe soudainement de Q_s à Q_c. Cela provoque une variation graduelle de hauteur d'eau dans le bassin. En faisant un bilan des flux d'eau entrant et sortant au moment d'une crue, écrire l'équation différentielle régissant la hauteur d'eau dans le bassin dans le régime transitoire. Tracer la forme de la solution.

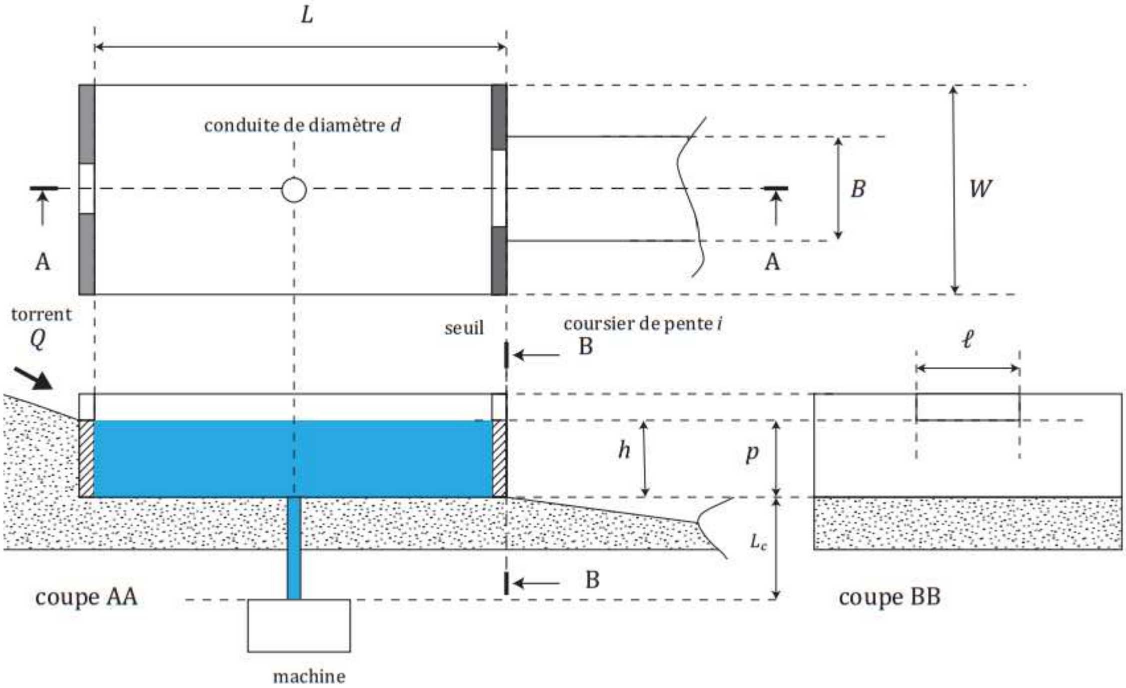

Figure 2 : schéma de l'aménagement étudié. La hauteur du bassin vaut h = 5 m. Pour le gravier du canal, le diamètre d_90 vaut 10 mm. La longueur de la conduite est $L_c = 1$ m. La longueur et largeur du bassin sont $L = 100$ m et $W = 50$ m. Le déversoir a pour largeur $\ell = 1$ m ; sa pelle vaut $p = 5$ m et on suppose le seuil est dénoyé. La pente du coursier et de la rivière est $i = 0{,}1$ %.

Exercice 3

Un canal de section rectangulaire et de largeur $b = 10$ m se compose de trois biefs successifs :

- le premier a une pente i_1 et il est très long ;
- le second a une pente $i_2 = 2$ % et il est également très long ;
- le troisième est horizontal.

Les parois sont en béton lissé, avec un coefficient de rugosité de Strickler K = 75 $\mathrm{m}^{1/3}\cdot$/s. Le débit est $Q = 100$ m^3/s.

1. Quels sont hauteurs normales et critiques pour chacun des biefs (pour la hauteur normale on se contentera de donner l'équation qu'il faut résoudre implicitement)?
2. Quels sont la pente et nombre de Froude critiques du canal?
3. Si la hauteur normale d'eau dans le premier bief est $h_1 = 5$ m, quelle est sa pente? Quel est le nombre de Froude? Comment caractériseriez-vous le régime d'écoulement dans ce bief?
4. Comment caractériseriez-vous le régime d'écoulement dans le second bief?
5. Tracez de façon schématique la courbe de remous le long du canal?
6. Calculer la hauteur d'eau à l'aval ha du ressaut hydraulique.

Exercice 4

On considère un canal rectiligne sur fond horizontal, de largeur B. On observe la propagation d'un ressaut hydraulique (mascaret), qui s'apparente à une « onde de choc » ou une discontinuité se déplaçant à la vitesse constante c dans le sens de l'écoulement. On va s'intéresser à ce qui se passe dans un volume de contrôle mobile ABCD (voir figure 3) qui se déplace à la vitesse c ; ce volume est dit arbitraire car il se déplace à une vitesse différente de la vitesse (matérielle) de l'eau. Le raisonnement que l'on va suivre est donc identique à celui utilisé en cours pour obtenir l'équation du ressaut hydraulique si ce n'est que le ressaut est désormais mobile.

Le volume de contrôle est supposé de petites dimensions en sorte que l'on puisse négliger les pertes de charge dues au frottement sur le fond par rapport à la dissipation d'énergie associée à la propagation du mascaret (cela revient aussi à supposer le fluide parfait, c.-à-d. de viscosité nulle). La masse volumique de l'eau est ϱ. Le mascaret est dû au lâcher d'eau d'un barrage. On supposera qu'à l'aval, la hauteur est uniforme et égale à h_2 ; la vitesse est $u_2 = 0$. À l'amont du mascaret, la hauteur est également uniforme,mais égale à $h1 > h2$; la vitesse est $u_1 > 0$. On supposera ici que le profil de vitesse est uniforme : par exemple, le profil de vitesse à l'amont du ressaut est $u(z) = u1$ pour $0 \leq z \leq h1$. La pression atmosphérique est supposée nulle.

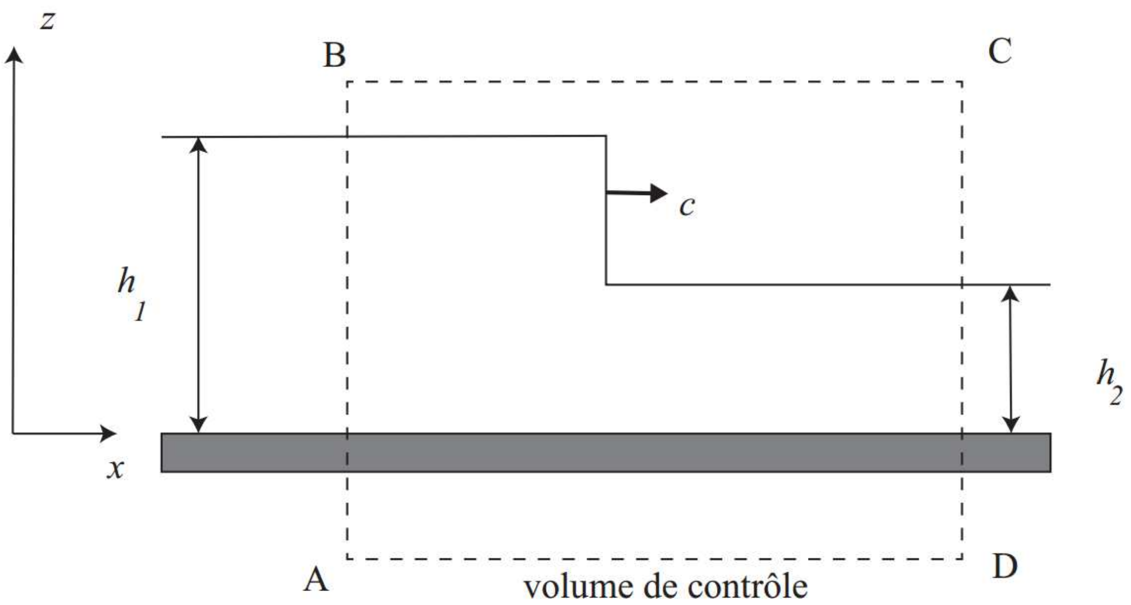

Figure 3 : schéma d'un mascaret avec le volume de contrôle (arbitraire) Va associé.

1. Est-ce que la pression est hydrostatique?
2. Quelle est la distribution de pression $p(z)$ sur la face AB?
3. Quelle est la résultante des forces de pression F_{AB} sur la face AB?
4. Quelle est la résultante des forces de pression F_{CD} sur la face CD?
5. En vous servant de la conservation de la masse en régime permanent, déterminer la célérité c en fonction de h_1 et h_2
6. En vous servant de la conservation de la quantité en mouvement en régime permanent, déterminer le flux ϕ_{AB} de quantité de mouvement à travers la face AB.
7. En vous servant de la conservation de la quantité en mouvement en régime permanent, déterminer le flux ϕ_{CD} de quantité de mouvement à travers la face CD.
8. En régime permanent, la conservation de la quantité de mouvement implique que le flux de quantité de mouvement à travers la surface de contrôle est égal à la somme des forces appliquées au volume (théorème d'Euler). En déduire l'équation que doit vérifier c en égalant forces de pression et flux de quantité de mouvement après simplification.
9. En vous servant de conservation de la masse, en déduire la vitesse c en fonction de h_1 et h_2.