

Conditions d'examen

Les références bibliographiques ou photocopiés :

- Walter Graf & Mustafa Altinakar, Hydrodynamique, PPUR ;
- notes de cours disponibles à partir du site du LHE (<http://lhe.epfl.ch>).

Professeur responsable : Christophe ANCEY (3 3287)

Documentation autorisée : toute documentation

Matériel autorisé : tout matériel sauf appareil de transmission (téléphone, email, etc.)

Durée de l'examen : 2 h 30 (8h15–10h45)

Date et lieu : 17 février 2005, salle C03

Barème :

- Problème 1 (1,5/6) : (a) 1,00 ; (b) 0,25 ; (c) 0,25.
 - Problème 2 (2,0/6) : (a) 0,20 ; (b) 0,30 ; (c) 0,50 ; (d) 0,50 ; (e) 0,50.
 - Problème 3 (2,5/6) : (a) 0,75 ; (b) 0,50 ; (c) 0,125 ; (d) 0,25 ; (e) 0,50 ; (f) 0,125 ; (g) 0,125 ; (h) 0,125.
-

Un barrage est muni d'un siphon qui alimente une conduite forcée circulaire de rayon R_d qui va du point O à un exutoire situé en B. Au point A, la conduite subit un coude de 90° . Entre O et A, la chute est verticale, puis de A à B, la conduite est **horizontale**. La conduite déverse l'eau dans un canal à forte pente entre B et C, puis le canal est à pente douce entre C et D. En D, on a disposé un déversoir à seuil épais de pelle p . L'écoulement entre B et D se fait à surface libre dans un canal lisse à section rectangulaire.

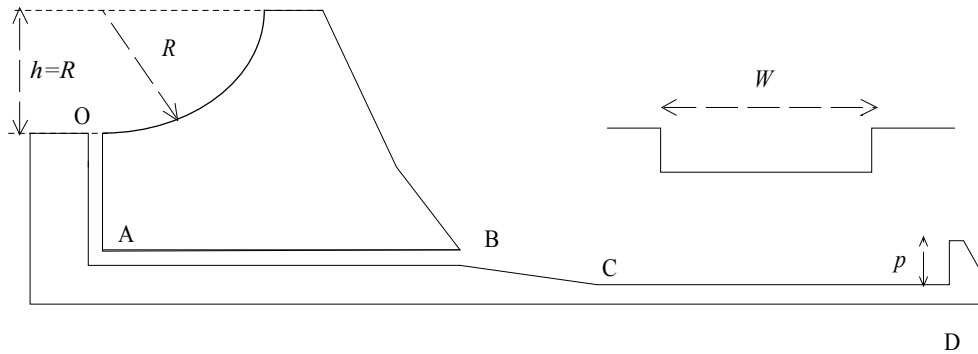


Figure 1 : schéma du canal et de la retenue. Les échelles de longueur ne sont pas respectées.

Le lac de retenue s'appuie sur un mur de section circulaire de rayon R et de largeur \mathcal{L} . La hauteur maximale de la retenue d'eau derrière le barrage est donc R .

Données :

- rayon du barrage $R = 50$ m, largeur du barrage $\mathcal{L} = 100$ m ;
- volume maximal de la retenue $V = 300\,000$ m³ ($h_r = R$) ;
- différence de dénivellation OA : $\ell_{OA} = 10$ m ;
- longueur AB : $\ell_{AB} = 2000$ m ;
- débit de projet : $Q_p = 300$ m³/s ;
- pour le coefficient de frottement de la conduite forcée, prendre $k_s = 1$ mm et la formule de Colebrook ou bien le diagramme de Moody ;
- coefficient de frottement des parois du canal rectangulaire : $C = 40$ m^{1/2}/s (coefficient de Chézy) ;
- diamètre de la conduite $2R_d = 6$ m ;
- largeur du canal $W = 10$ m ;
- pente du canal entre BC : $i = 4$ % ;
- pente du canal entre CD : $i = 0,1$ % ;
- pelle du déversoir : $p = 3$ m.

Formules utiles :

$$\int_0^{\pi/2} d\theta \cos \theta \sin \theta = \frac{1}{2} \text{ et } \int_0^{\pi/2} d\theta \sin^2 \theta = \frac{\pi}{4}.$$

$$\int dx \frac{1}{\sqrt{a+x}} = 2\sqrt{a+x}.$$

Problème 1 *Calcul de la stabilité du barrage*

- (a) calculer analytiquement la force de pression qui s'exerce sur le mur du barrage.
- (b) faire une application numérique avec les données ci-dessus.
- (c) est-ce que, d'après vous, la forme en arc de cercle du mur du barrage est plus favorable à la stabilité du barrage qu'un mur droit? Justifier (sans calcul).

Problème 2 *Calcul de l'écoulement dans la conduite*

- (a) calculer les pertes de charge singulières en O et A.
- (b) que vaut le nombre de Reynolds? Calculer les pertes de charge régulières entre O et A, puis A et B. En déduire les pertes de charges totales. Les applications numériques seront faites avec le débit correspondant au débit de projet Q_p .
- (c) quel doit être le niveau d'eau h_r dans la retenue pour que le débit en B soit de $Q_p = 300 \text{ m}^3/\text{s}$?
- (d) quel est le débit maximal que peut laisser transiter la conduite forcée quand le barrage est plein? En première approximation, on peut admettre que le coefficient de frottement f est constant ($f = 0,012$).
- (e) estimer grossièrement le délai nécessaire à la vidange complète du barrage quand celui-ci est plein. Comme approximation, on peut admettre que le coefficient de frottement f est constant ($f = 0,012$) et que le volume de la retenue est à peu près équivalent à un volume parallélépipédique, c'est-à-dire que lorsque le niveau de la retenue varie d'une hauteur dh , cela correspondant à une variation de volume égale à $dV = Sdh$, avec $S = V/R = 6\,000 \text{ m}^2$ la section équivalente de la retenue. Comparer avec le temps si on suppose la vitesse constant durant la vidange et égale au débit de projet.

Problème 3 *Calcul de l'écoulement dans le canal*

- (a) calculer les hauteurs normales et critiques pour chaque bief (BC et CD) pour un débit de projet de $Q_p = 300 \text{ m}^3/\text{s}$.
- (b) tracer schématiquement la courbe de remous dans le bief BC (en justifiant sommairement), notamment en indiquant la nature des régimes dans chaque bief et en traçant les hauteurs caractéristiques (normales et critiques). Pour cela, on admettra les hypothèses suivantes :
 - (i) la hauteur initiale (entrée dans le bief BC) correspond au diamètre du tube,
 - (ii) l'écoulement d'eau à la sortie du tube AB est parallèle au bief BC,
 - (iii) le bief BC est infiniment long (c'est-à-dire : la hauteur d'écoulement peut atteindre sa valeur limite).
- (c) pensez-vous que le système tel qu'il est dessiné (déversement du flux directement dans le radier depuis la conduite forcée horizontale) est efficace ? Si oui, justifier. Si non, que proposeriez-vous à la place pour forcer l'écoulement à suivre le bief BC le plus rapidement possible et éviter la formation d'un jet à la sortie de la conduite ?
- (d) calculer la charge totale juste à l'amont du déversoir.
- (e) déduire la forme de la courbe de remous entre C et D (en justifiant sommairement). Préciser les conditions aux limites adoptées et quelle équation vous auriez à résoudre numériquement pour trouver la courbe de remous.
- (f) localiser approximativement le ressaut (expliquer sommairement ; on se contentera de localiser le ressaut schématiquement le long du bief CD).
- (g) indiquer en quoi cet aménagement (radier à pente faible + seuil) peut servir en pratique.
- (h) que se passerait-il si le débit était divisé par un facteur 10 ? (justifier sommairement en recalculant les hauteurs normales et critiques).

Le tracé des courbes des remous est à faire qualitativement en plaçant l'allure de la courbe en fonction des hauteurs critiques et normales.