

Note au sujet de la propriété intellectuelle de l'examen de l'Ordre des ingénieurs du Québec (« l'Ordre »)

Cet examen est la propriété exclusive de l'Ordre et son utilisation est strictement limitée à des fins académiques et personnelles. Toute reproduction, distribution ou utilisation commerciale non autorisée de cet examen constitue une violation de la propriété intellectuelle de l'Ordre et est strictement interdite. L'Ordre se réserve le droit de prendre toutes les mesures légales appropriées contre toute utilisation non autorisée de son examen.

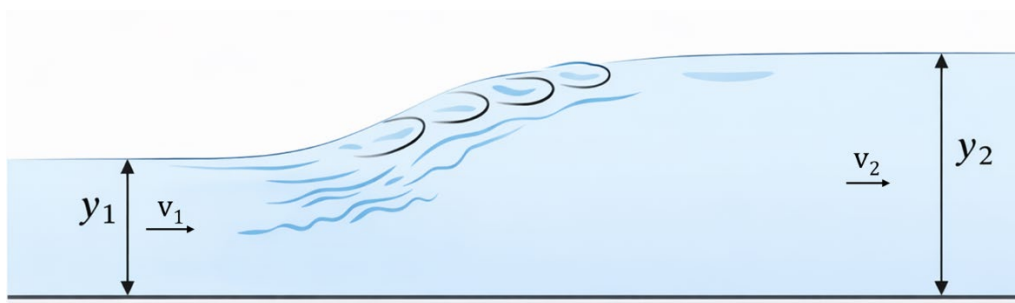
Toute documentation permise

Calculatrices : modèles autorisés seulement

Durée de l'examen : 3 heures

22-AE-A2 MÉCANIQUE DES FLUIDES APPLIQUÉE**Exercice #1: Ressaut Hydraulique (25 points)**

On considère un écoulement en régime permanent d'eau dans un canal rectangulaire horizontal de largeur $b = 2,5$ m. Le débit volumique Q à travers le canal est constant et égal à $8,0 \text{ m}^3/\text{s}$. En amont d'un ressaut hydraulique (schéma ci-dessous), la hauteur d'eau est $y_1 = 0,45$ m. On néglige les pertes de charge en dehors du ressaut ainsi que les effets de frottement sur la zone étudiée. On prendra : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$



- a) Calculez la vitesse moyenne v_1 en amont du ressaut et précisez la nature de l'écoulement (subcritique, critique ou supercritique) en justifiant votre réponse. (6 points)

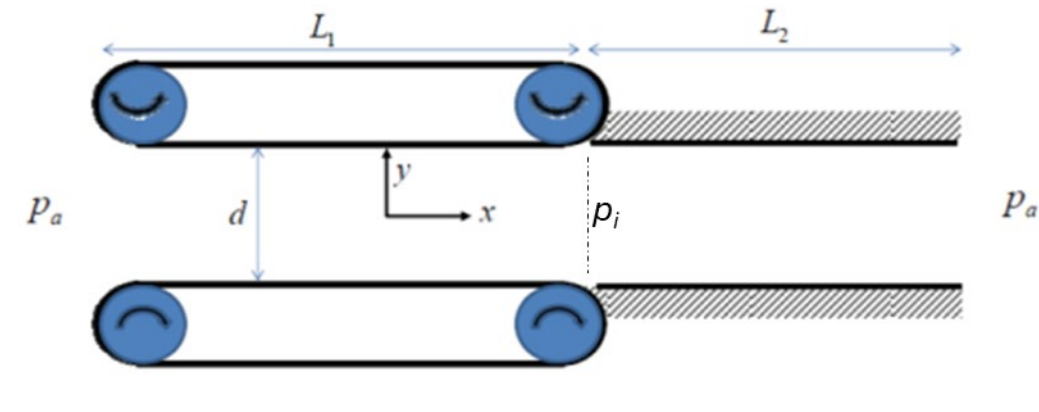
- b) Déterminez la vitesse moyenne v_2 en aval du ressaut et dites s'il y a une transition de régime. **(6 points)**
- c) Calculez la perte d'énergie ΔE et commenter brièvement la signification physique de cette perte. **(6 points)**
- d) Expliquez, en termes physiques, pourquoi l'énergie mécanique diminue dans un ressaut hydraulique alors que le débit reste constant. **(3 points)**
- e) Citez deux applications concrètes en ingénierie hydraulique où l'on cherche à provoquer un ressaut hydraulique, et expliquer brièvement leur utilité. **(4 points)**

Exercice #2: Cisaillement d'un fluide Newtonien (40 points)

Quatre roues identiques de rayon R , tournant avec une vitesse angulaire ω , entraînent le déplacement horizontal de deux bandes de caoutchouc parallèles sur une longueur L_1 dans la direction x (voir schéma ci-dessous). Sous l'effet de ce mouvement, un fluide newtonien incompressible de viscosité μ et de densité ρ constantes, est aspiré entre les deux bandes, de profondeur W et séparées par une distance d , puis poussé à travers une filière rectangulaire d'épaisseur égale à d et de même profondeur que les bandes de caoutchouc.

On suppose que les effets de bords sont négligeables ($d \ll L_1, L_2$ et W) et que l'origine du système d'axes xy est placée à mi-distance entre les deux bandes, comme illustré sur le schéma ci-dessous. On vous demande d'étudier l'écoulement du fluide: i) entre les deux bandes de caoutchouc (zone 1) et ii) à travers la filière (zone 2).

- a) Pour chacune des deux zones, établissez les conditions frontières appropriées pour résoudre cet écoulement. **(6 points)**
- b) En supposant que les gradients de pression $\partial p / \partial x$ sont constants à travers chacune des deux zones (zone1 : $\partial p / \partial x = (p_i - p_a) / L_1$; zone2 : $\partial p / \partial x = (p_a - p_i) / L_2$), développez l'expression du profil de vitesse dans chaque zone en vous basant sur la composante appropriée de l'équation de Navier-Stokes présentée en annexe. **(18 points)**
- c) Calculez le débit de fluide dans chacune des deux zones. **(8 points)**
- d) Déterminez la pression p_i au passage de la zone 1 à la zone 2. **(8 points)**



Exercice #3: Pompage d'eau d'un puits vers un réservoir (35 points)

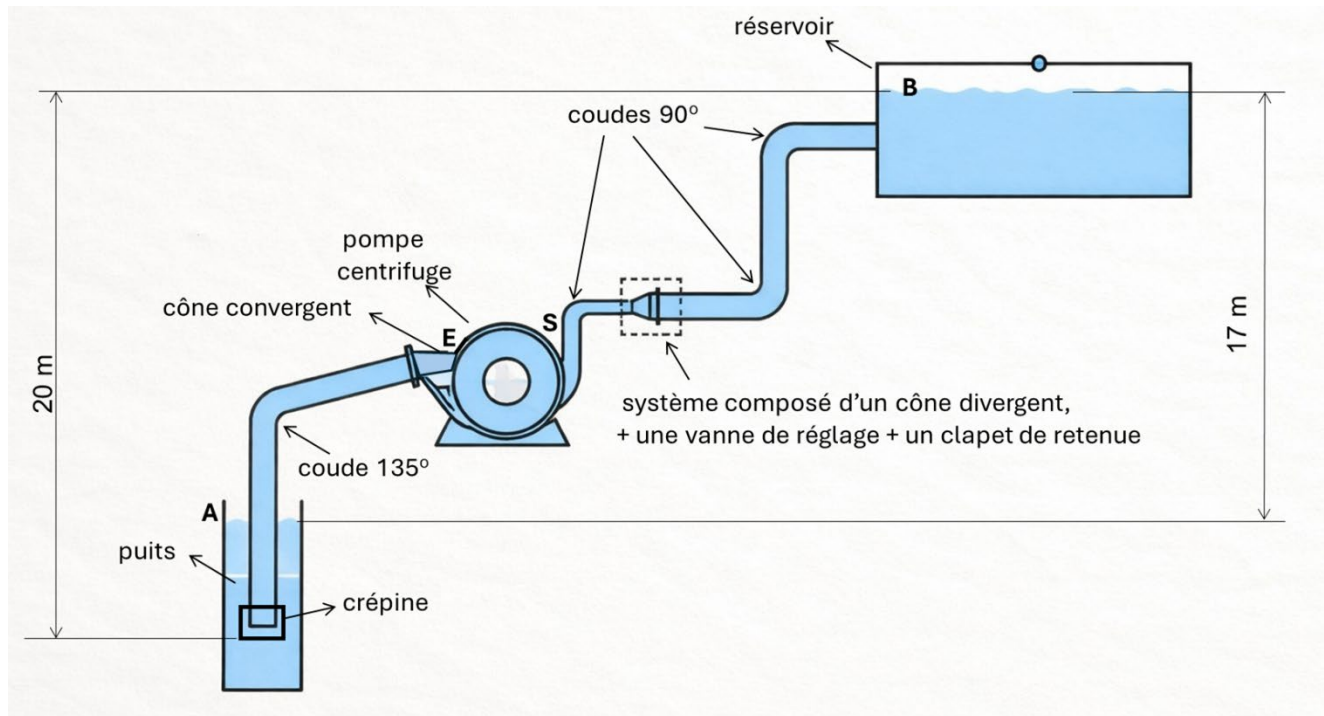
Le schéma ci-dessous présente un système d'irrigation en eau (Masse volumique: $\rho = 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; Viscosité dynamique: $\mu = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$) d'un domaine à partir d'un puits. Ce système comporte une pompe centrifuge qui fournit un débit d'eau constant de 40 l/s. La conduite d'aspiration de diamètre de 200 mm a une longueur totale de 8 m et comprend une crépine avec clapet de pied ($K = 3,5$), un coude à 135° ($K = 0,15$), et un cône de raccordement à la pompe ($K = 0,1$). La hauteur géométrique d'aspiration est de 3 m.

La conduite de refoulement, de diamètre 175 mm et de longueur totale de 160 m, comprend un système de raccordement à la pompe composé d'un coude 90° ($K = 0,2$), de longueur négligeable, et d'un cône divergent ($K = 0,25$), ainsi qu'une vanne de réglage ouverte ($K = 0,2$), deux autres coudes 90° ($K = 0,2$), un clapet de retenue ($K = 1,5$) et un débouché dans le réservoir supérieur ($K = 0,5$). La hauteur géométrique totale d'élévation est de 17 m.

Toutes les conduites d'aspiration et de refoulement sont en acier galvanisé de rugosité absolue $\varepsilon = 0,15 \text{ mm}$

- Vérifiez le régime d'écoulement de l'eau à travers la conduite d'aspiration ainsi que celle de refoulement. **(5 points)**
- Trouvez le facteur de friction f à travers les conduites dans chacune des deux zones (aspiration et refoulement). Utilisez le diagramme de Moody présenté en annexe. **(4 points)**
- En appliquant la relation de Bernoulli entre la surface libre du réservoir (niveau A) et celle du réservoir (niveau B), calculez la hauteur nette, H_n , que doit fournir la pompe. **(12 points)**
- Calculez les pressions effectives ($P/(\rho\cdot g)$) en termes de hauteur à l'entrée (point E) et à la sortie (point S) de la pompe. **(10 points)**

e) Calculez le rendement η de la pompe qui est entraînée par un moteur électrique fournissant 12 kW. **(4 points)**



Annexe

A) Composantes de l'équation de mouvement (Navier-Stokes) pour un fluide newtonien

$$[\rho D\mathbf{v}/Dt = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \rho \mathbf{g}]$$

Cartesian coordinates (x, y, z) :

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right] + \rho g_x$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right] + \rho g_y$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z$$

B) Diagramme de Moody :

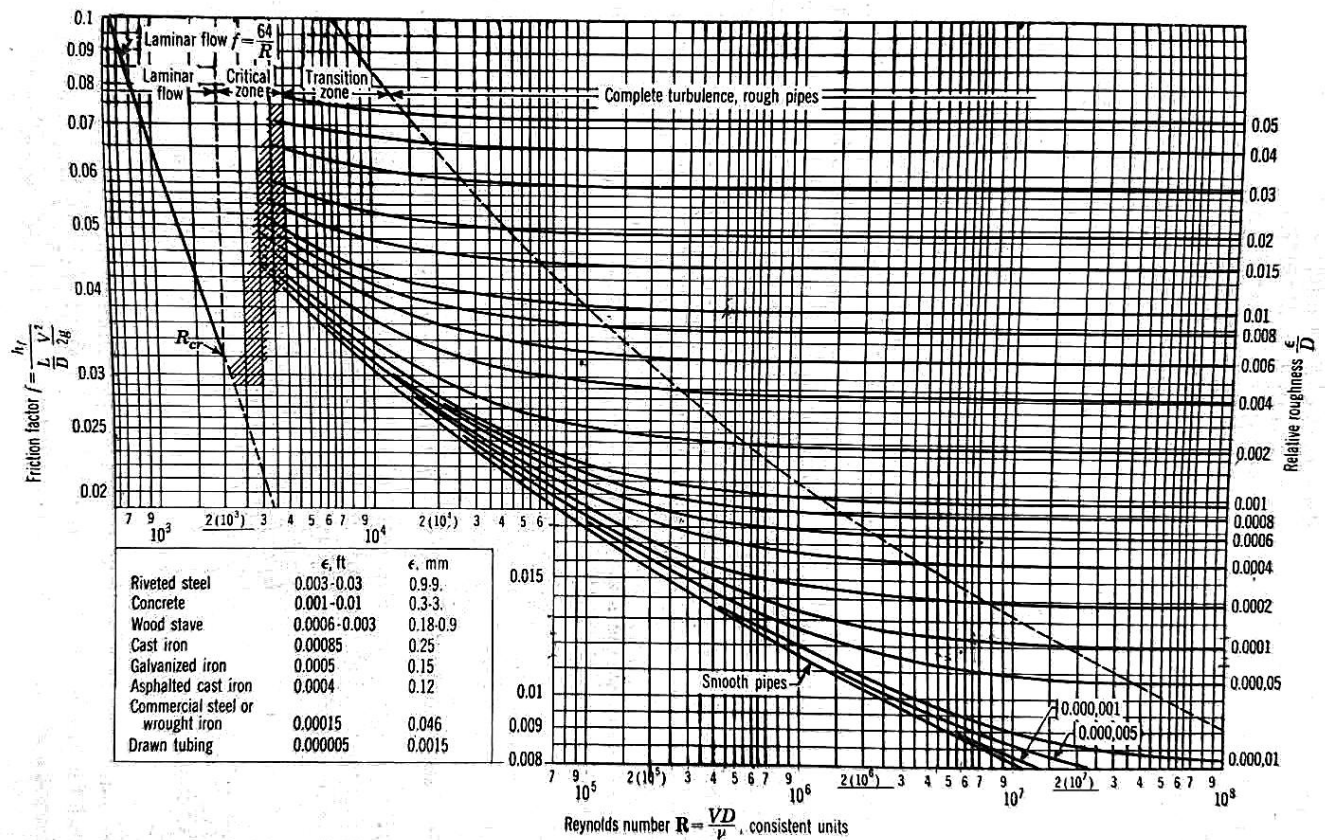


Figure 5.32 Moody diagram.