

100%  
correcte

**Lilia**

Examen CIV3330 Hydraulique des réseaux  
14 décembre 2008

9h30 à 12h00

5 questions

12 pages

pondération : 50% de la note finale

répondre dans le cahier

remettre le questionnaire.

**Note :** Dans l'examen, utilisez les propriétés suivantes de l'eau :  $\rho = 999,7 \text{ Kg/m}^3$ ,  $\gamma = 9804 \text{ N/m}^3$ ,  
 $\nu = 1,306 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  et  $p_v = 1,23 \text{ KPa abs}$ .

Pour chaque réponse, expliquez clairement votre démarche de résolution.

Aucune documentation permise sauf le livre de F.G.Brière, Distribution et Collecte des eaux, aux Presses Internationales polytechnique.

Calculatrice non-programmable permise.

**Je serai absent lors de l'examen mais Nathalie Laforte sera présente.**

### Question 1 (6 points)

Un système hydraulique qu'illustre la figure 1, transporte un débit d'eau de 60 L/s, débit pompé du réservoir 1 au réservoir 2. La station de pompage est équipée de deux (2) pompes identiques montées en parallèle modèle 5070-7 dont les caractéristiques pour trois diamètres de roue (impulseur) sont données à la figure 2. Chaque pompe est installée dans un puits individuel autonome. Notez que les deux pompes excluent la pompe d'urgence.

Le tableau 1 fournit les caractéristiques des conduites à l'aspiration (une par pompe) et de la conduite de refoulement (une seule pour les quatre pompes) et le tableau 2 fournit les altitudes en plusieurs sections du système hydraulique. Les conduites sont en fonte et ont un coefficient de frottement constant égal à 0,025. Les pertes d'énergie singulière à l'aspiration sont représentées par un coefficient  $K$  égal à 8 et applicable à l'énergie cinétique dans la conduite d'aspiration, donc relative à la vitesse moyenne dans cette conduite. Les pertes d'énergie singulières sont jugées négligeables dans la conduite de refoulement.

À la section 3, il est exigé de maintenir une pression minimale de 125 kPa.

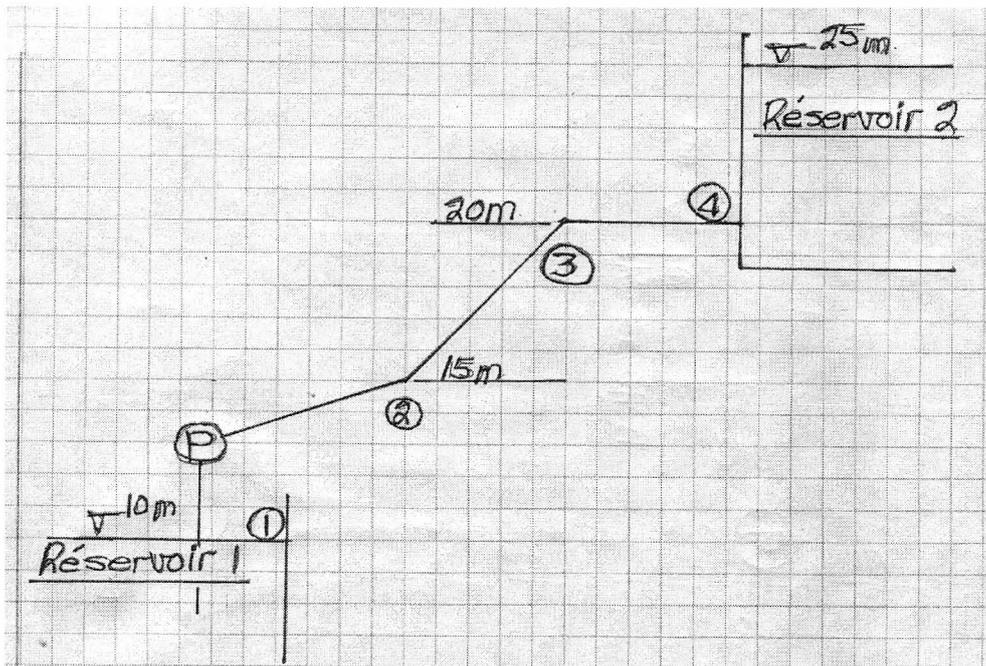


Figure 1 Schéma du système hydraulique (question 1)

Question 1 ( suite)

**Tableau 1**  
**Caractéristiques des conduites**

Conduite	Longueur (m)	K	Diamètre (m)
aspiration	6	8	0,10
refoulement			
▪ de pompe à section 2	700	-	0,25
▪ de section 2 à section 3	800	-	0,25
▪ de section 3 à section 4	200	-	0,25

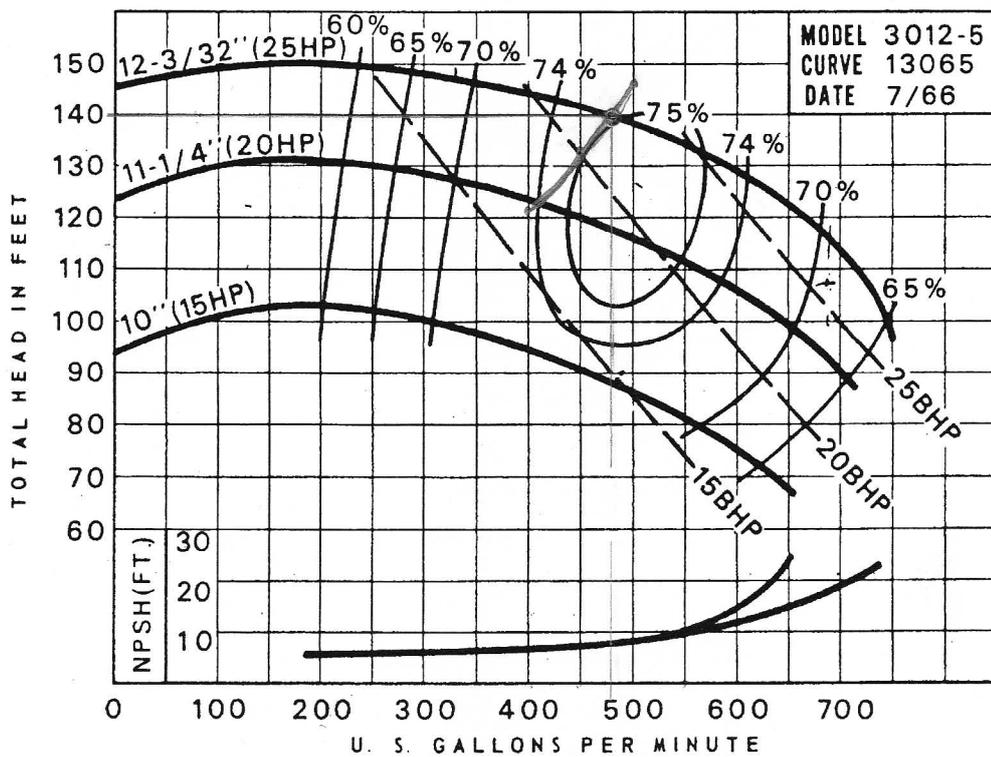


Figure 2 Courbe caractéristique de la pompe 5070-7 (question 1)

### Question 1 ( suite)

**Tableau 2**  
**Altitudes des sections particulières**  
**du système hydraulique**

Section	Altitude (m)
Réservoir 1	10
Section 2	15
Section 3	20
Section 4	20
Réservoir 2	25

- 1-1. Déterminez le diamètre de la roue et le point d'opération des pompes qui seront installées dans la station de pompage. (3 points)
- 1-2. Le débit que des deux pompes est-il suffisant ? (1 point)
- 1-3. Déterminez l'altitude maximale des pompes au-dessus de la surface du réservoir 1. (1 point)
- 1-4. Déterminez l'altitude du fond du puits humide. (1 point)

### Question 2 (3 points)

Déterminez le débit de protection incendie et la durée de l'alimentation en eau par rapport au débit d'incendie d'un bâtiment résidentiel. Ce bâtiment est un triplex (trois étages plus un sous-sol) de superficie au sol de 9 m de largeur et de 14 m de longueur. Ce bâtiment est une construction ordinaire dont l'affectation ne présente pas de risque particulier et qui n'est pas muni d'extincteurs automatiques. Les distances d'éloignement entre les bâtiments sont de 30 m à l'avant, de 3 m de chaque côté et de 25 m à l'arrière.

### Question 3 (3 points)

Une conduite en acier ( $E=207 \cdot 10^6$  kPa), munie à la section aval d'une vanne, a une longueur de 10 000 m, un diamètre de 0,5 m et une épaisseur de 0,025 m. Elle transporte de l'eau ( $E_v=2,07 \cdot 10^6$  kPa;  $\gamma=9804$  N/m<sup>3</sup> et  $\rho=999,7$  Kg/m<sup>3</sup>). La vitesse de l'eau au début d'une manœuvre de fermeture complète d'une durée de 8 secondes est 1,55 m/s. Cette fermeture est linéaire.

- 3-1. Déterminez la surpression maximale à la vanne et à la section située à mi-longueur de la conduite (à  $L/2$ ) (1 point)
- 3-2. De combien devrait-on allonger la durée de fermeture pour limiter la surpression en tout point de la conduite à 100 m d'eau? (1 point)
- 3-3. Déterminez la pression totale maximale qui s'exercera à la mi-longueur de la conduite si cette section se trouve à 75 m sous la surface du réservoir qui l'alimente et si la perte d'énergie de l'entrée jusqu'à cette section est de 45 m d'eau. (1 point)

3-4. Tracez la variation de la pression à la mi-longueur (à L/2) pour le cas d'une fermeture totale instantanée pour les deux premiers cycles aller-retour de l'onde de surpression. (1 point)

#### Question 4 (4 points)

Le dimensionnement des conduites du réseau pluvial schématisé à la figure 3 doit être complété. Ce réseau draine les eaux pluviales de trois sous-bassins dont les caractéristiques sont données au tableau 3. Les conduites dont les caractéristiques sont données au tableau 4, sont en béton armé ( $n=0,013$ ). La couverture minimale est de 2 m. La période de récurrence adoptée pour ce réseau est de 5 ans et la courbe IDF pour cette fréquence est donnée par l'équation 1.

$$I(\text{mm} / \text{h}) = \frac{2184,4}{t(\text{minute}) + 12} \quad [1]$$

Dimensionnez (débit maximal, diamètre, pente, altitude du radier aux sections amont et aval) la conduite 4-5. Cherchez à minimiser les volumes d'excavation. Suivez les règles de bonne pratique énoncées en classe et suivies dans le projet de collecte des eaux usées. Négligez l'épaisseur des conduites dans le calcul des radiers.

**Tableau 3**  
**Caractéristiques des sous-bassins**

Sous-bassin	Aire (ha)	R	$t_e$ (minutes)
A	1,43	0,40	10
B	0,60	0,35	10
C	1,75	0,60	10

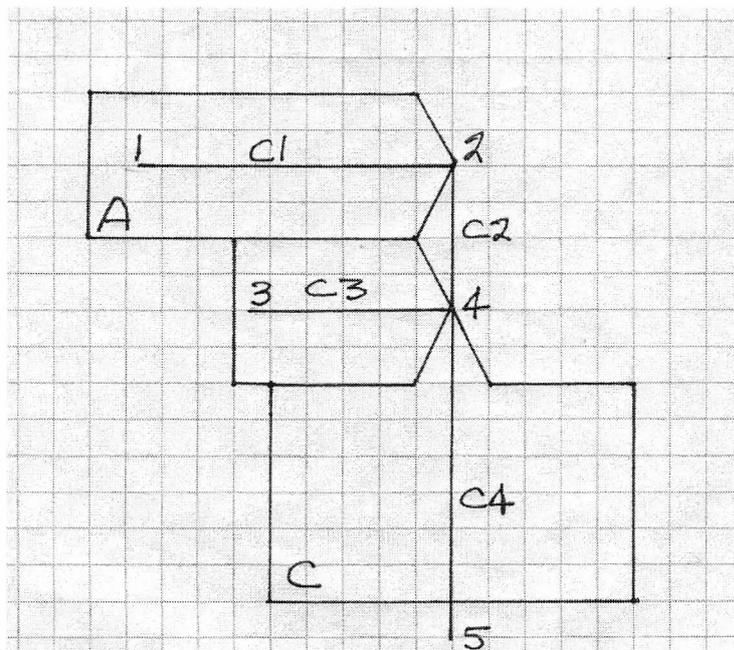
**Tableau 4**  
**Caractéristiques des conduites**

Conduite	Nœud amont	Nœud aval	Longueur (m)	Niveau du sol aménagé (m)		Diamètre commercial réel (mm)	$t_{\text{min}}$	Pente de la conduite
				Nœud amont	Nœud aval			
C1	1	2	190	100,0	99,0	0,455	1,40	0,006
C2	2	4	80	99,0	98,5	0,455	1,00	0,006
C3	3	4	180	99,0	98,5	0,305	2,80	0,006
C4	4	5	180	98,5	97,2			

### Question 4 (suite)

**Tableau 5**  
**Altitude (en m) des couronnes et radiers des conduites**

Conduite	Couronne		Radier	
	Amont	Aval	Amont	Aval
C1	98,000	97,000	97,545	96,545
C2	96,980	96,500	96,525	96,045
C3	97,000	95,920	96,695	95,615



**Figure 3 : Schéma du territoire à équiper d'un réseau d'égout pluvial (question 4)**

### Question 5 (4 points)

Un système hydraulique composé de deux conduites en série transporte de l'eau entre deux réservoirs dont la différence d'altitude de leur surface libre est  $\Delta H$  et égale à 4m. La conduite 1 s'alimente au réservoir à l'amont et se déverse dans la conduite 2 qui se déverse dans le réservoir 2. Les deux conduites sont submergées. Pour les caractéristiques des conduites données au tableau 5, déterminez le débit qui s'écoule entre les deux réservoirs. Les pertes singulières sont négligeables.

**Question 5 (suite)**

**Tableau 5**  
**Caractéristiques des conduites (question 5)**

Conduite	Longueur m	Diamètre m	Rugosité $k_s$ mm
1	40	0,25	0,25
2	200	0,50	0,25

Total des points : /20 points

Bon examen !!  
Bon congé scolaire!  
Bonne année 2009  
Soyez prudents dans vos déplacements !!

Meilleurs vœux d'une carrière intéressante et féconde à celles et ceux qui terminent leurs études.

L'équipe professorale :  
Guy Leclerc, professeur  
Nathalie Laforte

## Informations diverses et aide-mémoire

### Quelques facteurs de conversion

- 1 USgal/minute  $\times$  0,06309 = 1 L/s
- 1,0 L/s  $\times$  15,865 = 1,0 USgal/minute
- 1,0 m = 3,2808 pi.
- 1,0 kW = 1,341 HP

### Équation d'énergie 1-D, fluide réel incompressible, écoulement transitoire

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f + h_s + \frac{L}{g} \frac{dV}{dt}$$

### Alimentation en eau et station de pompage

#### Équation de Hazen-Williams (unités m, m<sup>3</sup>/s)

$$h_f = 10,679 \frac{L}{d^{4,871}} \frac{Q^{1,852}}{C_{HW}^{1,852}}$$

#### Critère de vitesse dans les conduites d'adduction

Critère	Vitesse minimale (m/s)	Vitesse maximale (m/s)
objectif	0,9	1,22
limite	0,6	1,85

$$NPSH = H_g - H_v - H_{as} - J_a = \frac{P_0 - P_v}{\gamma} - z_a - J_a$$

#### Équation de la puissance (unités m, m<sup>3</sup>/s)

$$P = \frac{\gamma Q H}{1000}$$

#### Critères de vitesse recommandés

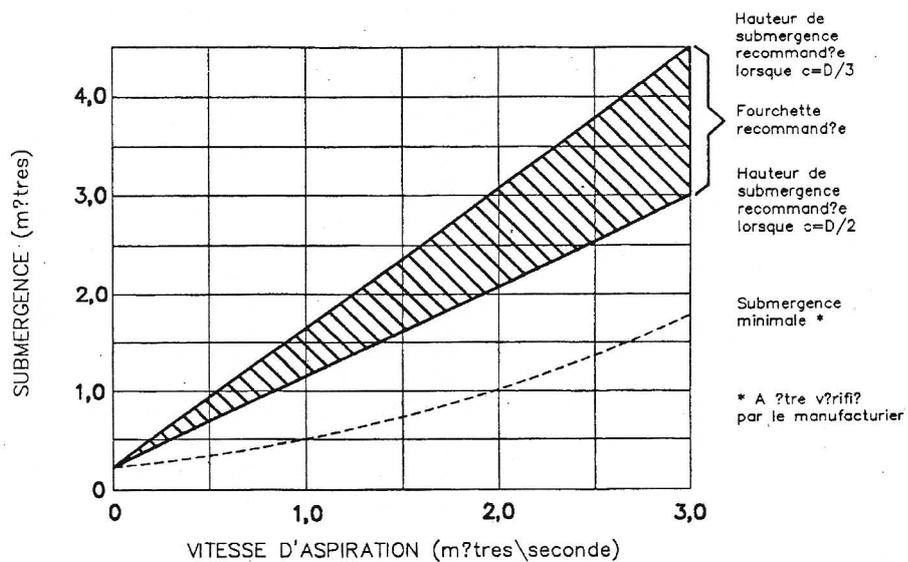
- Aspiration : 1,2 à 1,8 m/s
- Refoulement 1,8 à 2,4 m/s

### Collecte des eaux usées

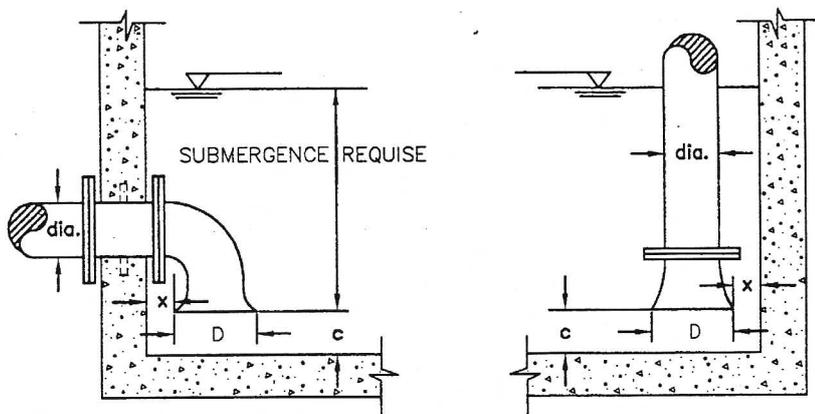
Estimation du diamètre minimal d'une conduite coulant pleine

$$D_{\min} = \left[ \frac{3,2084 Q n}{\sqrt{S}} \right]^{\frac{3}{8}}$$

## Recommandations pour submergence



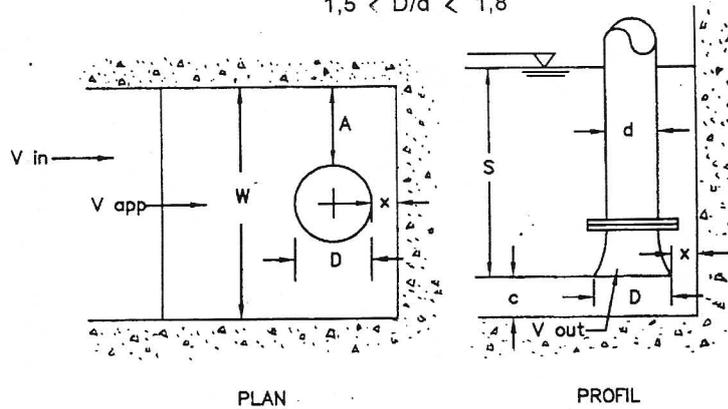
$D=1,5 \text{ @ } 1,8 \times \text{dia.}$   
 $x=D/4 \text{ @ } D/2$   
 $c=D/2$



## Critères de dimensionnement

### 1) Pour un puits autonome

$$1,5 < D/d < 1,8$$



### Standards et recommandations existantes

Reference	V <sub>in</sub> (m/s)	V <sub>app</sub> (m/s)	V <sub>out</sub> (m/s)	C	X	S	A	W	L
HISPC	≤ 0,6	≤ 0,3	≤ 2,6	0,4D	0,35D	3D à 2D	-	2D	3D
AIRH	≤ 0,6	≤ 0,3	0,75 à 2,0	0,4D à 0,6D	D/4	3,5D à 0,5D	-	2D	4D
BHRA	≤ 0,6	≤ 0,3	1,3	D/2	D/4 à D/2	1,5D	-	2D à 3D	4D <sup>(1)</sup>
RHSPD	≤ 0,6	0,3	1,3	D/2	D/4 à D/2	1,5D	-	2D à 3D	4D <sup>(1)</sup>
STEPANOFF A.J.	-	-	-	D/2	D/2	1,5 m	D/2	-	
FRASER W.N./ARISON N.J.	-	-	-	D/2 à 3D 4	D	1,5D à 2D	3/4D	2,5D	
IVERSEN H.W.	-	-	-	D/2	D/4 à d/2	2D	1/4 D	-	

Légende

HISPC: Hydraulic Institute Standards for Centrifugal pumps  
 AIRH: Association Internationale de Recherches Hydrauliques  
 BHRA: British Hydraulic Research Association  
 RHSPD: Review of the Hydraulic of Pump Sump Design

<sup>(1)</sup>: varie s'il y a des obstructions

## Onde de surpression, coup de bélier et cheminée d'équilibre

### Vitesse de l'onde, c<sub>p</sub>

- Conduite rigide  $c = c_p = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}}$  E<sub>v</sub>: module d'élasticité du liquide

- Conduite élastique

$$c = c_p = \sqrt{\frac{E_c}{\rho}} = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{DE_v}{eE}}} = \sqrt{\frac{g}{\gamma \left( \frac{1}{E_v} + \frac{D}{eE} \right)}}$$

### Suppression (fermeture instantanée, partielle ou totale)

$$\Delta p = -\rho c_p \Delta V = -\rho \Delta V \sqrt{\frac{E_c}{\rho}} = -\Delta V \sqrt{\frac{\gamma}{g} \left[ \frac{1}{\frac{1}{E_v} + \frac{D}{eE}} \right]}$$

### Durée du trajet aller-retour de l'onde

$$T_c = \frac{2L}{c_p}$$

### $h_s^{\max}$ : surpression maximale suite à une fermeture complète

$$h_s^{\max} = \frac{v_0}{\sqrt{\gamma g \left( \frac{1}{E_v} + \frac{D}{eE} \right)}} = \frac{c_p v_0}{g} \quad \text{Formule d'Allievi}$$

### Fermeture complète rapide ( $0 \leq t_c \leq T_c$ )

$$x_0 = \frac{c_p t_c}{2} \quad \text{où } x_0 \text{ est la longueur depuis l'entrée de la conduite qui n'est pas soumise à la surpression maximale.}$$

### Fermeture complète lente ( $t_c \geq T_r$ )

$$h_s' = \frac{2Lv_0}{gt_c}$$

### Cheminée d'équilibre de section constante

$$z = z_* \sin \frac{2\pi t}{T_*}$$

$$Z_* = v_0 \sqrt{\frac{LA_{\text{conduite}}}{gA_{\text{che min ée}}}}$$

$$T_* = 2\pi \sqrt{\frac{LA_{\text{che min ée}}}{gA_{\text{conduite}}}}$$

$$h_{\text{transmis}} = h_s \frac{A_{\text{conduite}}}{A_{\text{conduite}} + A_{\text{che min ée}}}$$

Nom : \_\_\_\_\_

Matricule : \_\_\_\_\_

### Diagramme de Moody

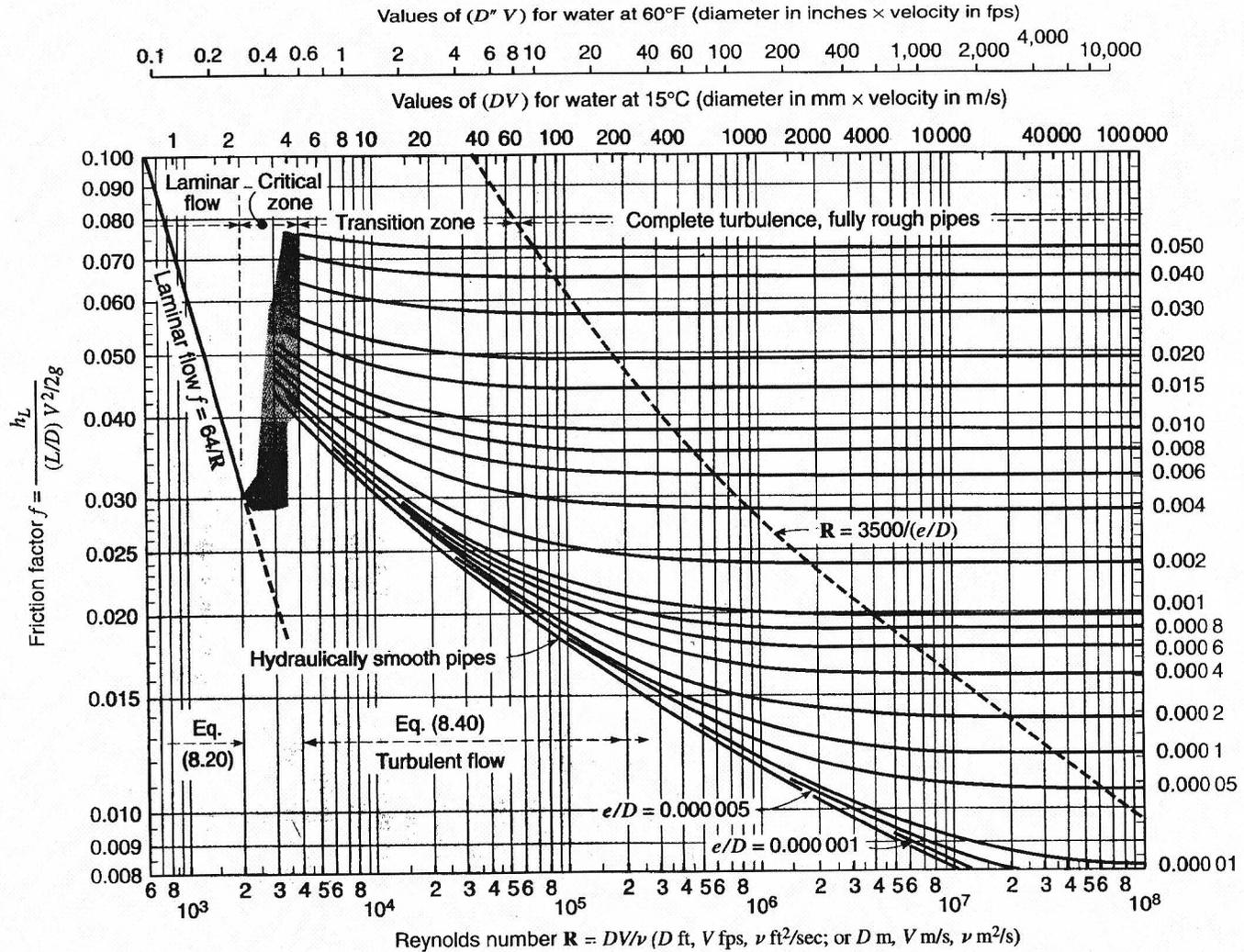


Figure 8.11  
Moody chart for pipe friction factor (Stanton diagram).

### Question 1

$$Q = 60 \text{ l/s} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s} \\ = 951 \text{ US gal/min}$$

2 pompes.

$$f = 0,025$$

$$P_3 = 125 \text{ hPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{aspiration} \\ K = 8 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{refoulement} \\ \Sigma H_s = 0 \end{array}$$

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot V \\ V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Bar entre 1 et 3.

$$0 + 0 + z_1 + H_M = \frac{125}{9,804} + \frac{V_3^2}{2g} + z_3 + H_f + H_s$$

$$J_a = \left( \frac{0,025 \cdot 6 \cdot 0,10}{0,10} + 8 \right) \left[ \frac{16 Q^2}{\pi^2 (0,1)^4 \cdot 4} \cdot \frac{1}{(9,81)(2)} \right] \\ = 9,5 \cdot 206,567 Q^2 = 1962,39 Q^2$$

$$J_r = \frac{0,025 \cdot 1500 \cdot 16 Q^2}{(2) \cdot (9,81) \cdot \pi^2 (0,25)^5} = 3172,87 Q^2$$

$$H_M = 12,75 + 10 + 415 Q^2 + 1962,39 Q^2 + 3172,87 Q^2 \\ \boxed{H_{M_1} = 22,75 + 5550,27 Q^2} \quad \text{condition 1}$$

condition 2

Bar entre ① et res ②.

$$0 + 0 + z_1 + H_M = 0 + 0 + z_2 + H_f + H_s$$

$$J_r = \frac{0,025 \cdot 1700 \cdot 16 Q^2}{(2) \cdot (9,81) \cdot \pi^2 (0,25)^5} = 3595,92 Q^2$$

$$H_M = 15 + 3595,92 Q^2 + 1962,39 Q^2 \\ \boxed{H_{M_2} = 15 + 5558 Q^2} \quad \text{condition 2}$$

on remarque que la condition 1 est plus critique.  
donc on travail le  $H_{M_1}$ ,

$$Q = 451 \quad \Rightarrow \quad Q_P = 475,5$$

	Q		H m	
	US gal/min	m <sup>3</sup> /s	m	ft
450	900	0,05678	40,64	133,35
500	1000	0,06309	44,84	147,11
550	1100	0,06940	49,48	162,34
600	800	0,05047	36,88	121,02

le point d'opération est à 480 US gal/min d'une pompe de diamètre de roue de 12- $\frac{3}{4}$ " avec un rendement de 75%.

1-2) oui il est suffisant, on tombe à 480 US gal/min.  
 Pour chaque pompe  $\Rightarrow$  960 gal US/min  $>$  451 gal US/min

1-3)

$$NPSH_d = NPSH_r$$

$$2,7432 = \frac{101,3 - 1,23}{9,804} - 1462,39 (0,06056)^2 - Z_A$$

$$2,7432 = 10,207 - 7,1486 - Z_A$$

$$Z_A = 0,265 \text{ m}$$

1-4)

$$\frac{D}{d} = 1,5$$

$$D = 1,5 d = 1,5 \cdot 0,1 = 0,15 \text{ m}$$

ISPC

$$v = \frac{4 \cdot (0,03028)^2}{\pi (0,1)^2} = 0,1167 \cdot 0,3 \checkmark$$

$$c = 0,4 \cdot 0,15 = 0,06$$

$$s = 2,5 D = 2,5 \cdot 0,15 = 0,375$$

$$\text{Profondeur} = 10 - 0,06 - 0,375 = 9,565 \text{ m}$$

## Question 2

triplane

$$S = 9 \cdot 14 \cdot 3 = 378 \text{ m}^2$$

$$C = 1$$

$$D = 220 \cdot 1 \cdot \sqrt{378} = 4277 \text{ l/min}$$

majoration  $\approx 1000 \text{ l/min}$  pres.

$$\Rightarrow D = 4000 \text{ l/min} < 2000 \text{ l/min}$$

majoration par coté.

$$10\% + (2 \cdot 25\%) + 10\% = 70\% < 75\%$$

$$\Rightarrow D = 4000 \text{ l/min} + 1,70\% = 6800 \text{ l/min}$$

$$\text{majoration} \Rightarrow D = 7000 \text{ l/min} < 2000 \text{ l/min}$$

ok ✓

Réserve de 2h pour le niveau de débit.

## Question 3

$$E = 207 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$E_v = 2,07 \cdot 10^6 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 9,804 \text{ kN/m}^3$$

$$V_0 = 1,55 \text{ m/s}$$

$$e = 0,025 \text{ m}$$

$$D = 0,5$$

$$L = 10000 \text{ m}$$

$$C_j = \sqrt{0,9997 \left( \frac{1}{2,07 \cdot 10^6} + \frac{0,5}{0,025 \cdot 207 \cdot 10^6} \right)} = 1313,589 \text{ m/s}$$

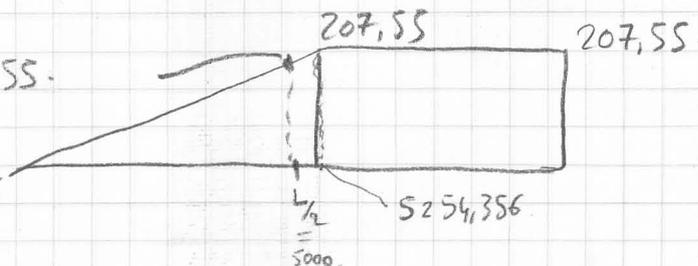
$$h_s = \frac{C_j \cdot V_0}{\gamma} = \frac{1313,589 \cdot 1,55}{9,804} = 207,55$$

$$u_0 = \frac{1313,589 \cdot 8}{2} = 5254,356 \text{ m}$$

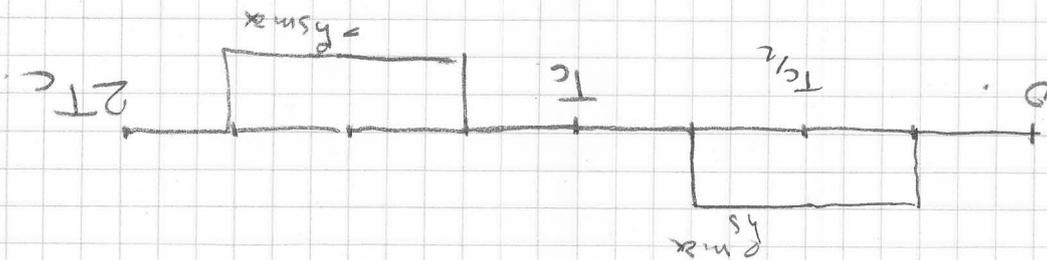
$$5254,356 \rightarrow 207,55$$

$$5000 \rightarrow H_s$$

$$H_s = 147,50 \text{ m}$$



3-4

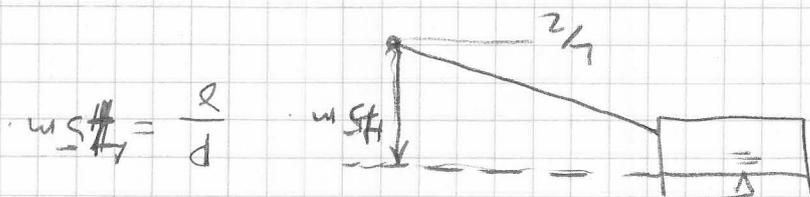


$$\frac{P_{max}}{P} = \frac{P}{P} + h_s \cdot P_{max}$$

$$P_{max} = P \left( \frac{P}{P} + h_s \right)$$

$$= 9,804 (75 + 207,55)$$

$$= 2476 \text{ Hz}$$



3-3

$$P_{h_s} = 207,55 \cdot \frac{15,225}{100} = 100$$

$$T_c = \frac{207,55 \cdot 15,225}{100} = 31,6 \text{ seconds}$$

$$T_c = \frac{2L}{cP} = \frac{20000}{1313,589} = 15,225 \text{ seconds}$$

# Question 4

$n = 0,013$   
 couverture min = 2m

conduite 4-5  $Q_{max}$ ?  $D$ ?  $S$ ?  $H_{rezerv}$ ?

$$t_c = \max(t_{e_4}, t_{e_{3-4}}, t_{c_{(4-5)}})$$

$$= \max(10, 10+2,8, 10+1+1,4)$$

$$= 12,8 \text{ min.}$$

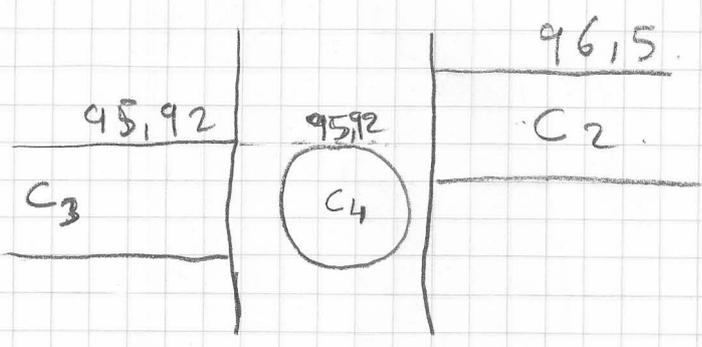
$$I = 88,08 \text{ mm/h}$$

$$Q_{max} = (1,43 \cdot 0,4 + 0,6 \cdot 0,35 + 0,6 \cdot 1,75) \cdot 88,08 \cdot 2,75 \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,4437 \text{ m}^3/\text{s}$$

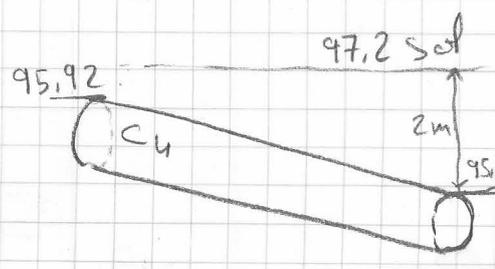
$$S = \frac{98,5 - 97,2}{180} = 0,007$$

mais pour minimiser les excavations ce se peut qu'on ait une pente plus petite.



$$S = \frac{95,92 - 95,2}{180}$$

$$= 0,004$$



et puisque d'après les règles des pentes dans briedra pour les conduites à l'entrée est à la sortie, la pente minimal doit pas être inférieur à 0,005.

$$0,005 = \frac{95,92 - u}{180} \Rightarrow u = 95,02$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{20,387 f_2 + 130,479 f_1}{4}}$$

$$4 = V_2 \left[ 20,387 f_2 + 130,479 f_1 \right]$$

$$\Rightarrow \sqrt{V_1 = 4 V_2}$$

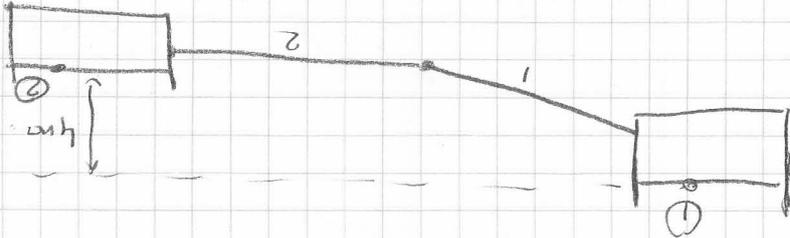
$$\Rightarrow V_2 = 0,25 V_1$$

$$V_2 = \frac{0,152}{0,152} V_1$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{H_2}{H_1} V_1 \quad \Rightarrow \quad H_1 V_1 = H_2 V_2$$

$$4 = \frac{f_1 \cdot 40 \cdot V_1^2}{(2)(9,81) \cdot (0,25)} + \frac{f_2 \cdot 200 \cdot V_2^2}{(2)(9,81) \cdot (0,5)}$$

$$0 + 0 + 3_1 = 0 + 0 + 3_2 + 0 + 0 + 11 f_1 + 11 f_2$$



$$\Sigma H_s = 0$$

Question 5

$$H_{\text{réservoir 2}} = 95,02 - 0,685 = 94,335 \text{ m}$$

$$H_{\text{réservoir 1}} = 95,92 - 0,685 = 95,235 \text{ m}$$

Hauteur du réservoir

$$D_{\text{réservoir}} = 0,1685 \text{ m}$$

$$= 0,6049 = 0,675 \text{ m}$$

$$D = \left( \frac{3,2084 \cdot 0,1437 \cdot 0,1013}{3/8} \right)^{1/0,005}$$

$$97,2 - 95,02 = 2,18 \text{ de couverture.}$$

iteration 1

$$f_1 \Rightarrow \frac{h_s}{D} = \frac{0,25}{0,25 \cdot 10^3} = 0,001$$

$$\alpha \text{ pose } f_{s1} = 0,02$$

$$f_2 \Rightarrow \frac{h_s}{D} = \frac{0,25}{0,5 \cdot 10^3} = 0,0005$$

$$\alpha \text{ pose } f_{s2} = 0,017$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{4}{(130,479 \cdot 0,02) + (20,387 \cdot 0,017)}}$$

$$v_2 = 1,1632 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{1,1632 \cdot 0,5}{1,306 \cdot 10^{-6}} = 4,45 \cdot 10^5$$

$$f_{s1} = 0,0205$$

$$f_{s2} = 0,0185$$

I+2

$$v_2 = \sqrt{\frac{4}{(130,479 \cdot 0,0205) + (20,387 \cdot 0,0185)}}$$

$$v_2 = 1,1448$$

$$f_{s1} = 0,0205$$

$$f_{s2} = 0,0185$$

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot (0,5)^2 \cdot 1,1448$$

$$Q = 0,22478 \text{ m}^3/\text{s}$$