

Exercices série 3

Canaux et galeries

Exercice 1

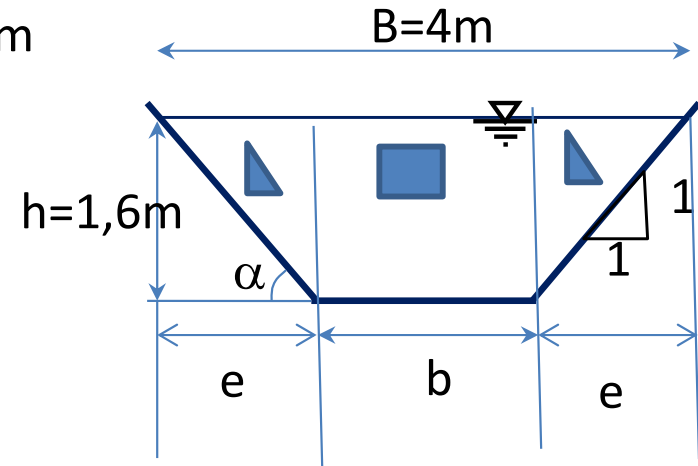
Soit un canal trapézoïdal dont les caractéristiques sont ci-dessous :

largeur au miroir: 4 m ; pentes des côtés : 1/1

rugosité des parois : 75,2 ; pente du fond : 0,30 m/km

tirant d'eau : 1,60 m

- calculez le rayon hydraulique ;
- calculez la vitesse de l'écoulement ;
- calculez le débit de l'écoulement ;
- Quel est le régime d'écoulement?



Solution

1. Le rayon Hydraulique $R_h = \frac{S_m}{P_m}$

La section mouillée S_m

$$S_m = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{B-b}{2} \cdot h \right) + b \cdot h$$

$$\text{avec } \operatorname{tg} \alpha = 1 = \frac{h}{e} = \frac{h}{(B-b)/2} \Rightarrow b = B - \frac{2h}{\operatorname{tg} \alpha} = 4 - 3,2 = 0,8 \text{ m}$$

$$\Rightarrow S_m = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{4-0,8}{2} \cdot 1,6 \right) + 1,6 \cdot 0,8 = 3,84 \text{ m}^2$$

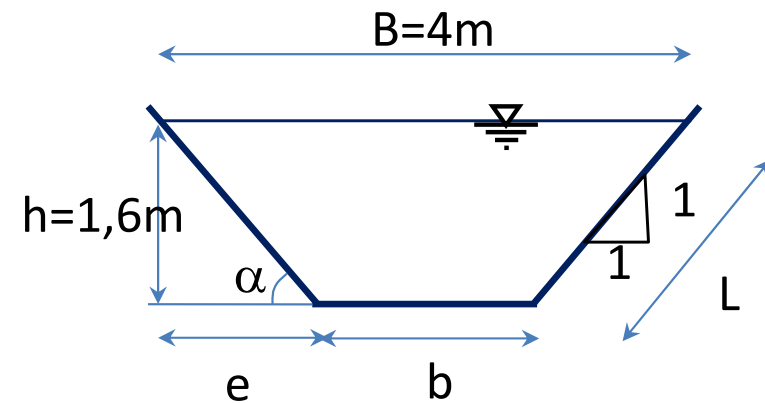
Le périmètre Mouillé

$$P_m = b + 2L = 0,8 + 2 \cdot (\sqrt{e^2 + h^2})$$

$$e = \frac{B-b}{2} = \frac{4-0,8}{2} = 1,6m$$

$$P_m = 0,8 + 2 \cdot (\sqrt{1,6^2 + 1,6^2}) = 5,325m$$

Le rayon Hydraulique $R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{3,84}{5,325} = \mathbf{0,72m}$



2. La vitesse d'écoulement

On utilisant la formule de Strikler

$$V = K_s \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} = 75,2 \cdot 0,72^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0,0003} = \mathbf{1,05m/s}$$

3. Le débit

$$Q = V \cdot S_m = 1,05 \cdot 3,84 = \mathbf{4,032m^3/s}$$

4. Le régime de 'écoulement

$$\text{le nombre de Froud } F = \sqrt{\frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot S_m^3}} = \sqrt{\frac{4,032^2 \cdot 4}{9,81 \cdot 3,84^3}} = \mathbf{0,34 < 1 \text{ donc le regime est fluvial}}$$

Exercice 2

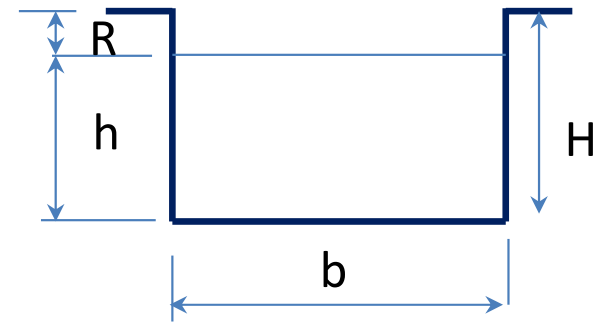
Un canal rectangulaire bétonné, une pente du lit de 1/1000 et le coefficient de rugosité de Manning est de 0,015 et transportant un débit est de 20 m³/s. Calculer les dimensions optimales de ce canal (tirant d'eau h, la revanche R, le dimension du canal B et H)

Solution

$$Q = 1/n \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \cdot S$$

Les condition pour avoir le débit maximal pour un canal rectangulaire (section optimale ou économique) sont:

$$S_m = 2h^2 \text{ et } P_m = 4h \Rightarrow b = 2h \text{ avec } R_h = \frac{h}{2}$$



$$d'ou Q = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \cdot 2h^2 \Leftrightarrow 20 = \frac{1}{0,015} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0,001} \cdot 2h^2$$

$$\Leftrightarrow 20 = \frac{2 \cdot \sqrt{0,001}}{0,015 \cdot 2^{2/3}} \cdot h^{\frac{8}{3}} = 2,656 \cdot h^{\frac{8}{3}}$$

$$\Leftrightarrow h = \left(\frac{20}{2,656}\right)^{\frac{3}{8}} = 7,53^{3/8} = 2,13m \Rightarrow b = 2h = 4,26 \text{ on prendra } b=4,30m$$

canal bétonné donc la revanche R =10 à 20 cm on prendra R=17cm donc H=2,30m

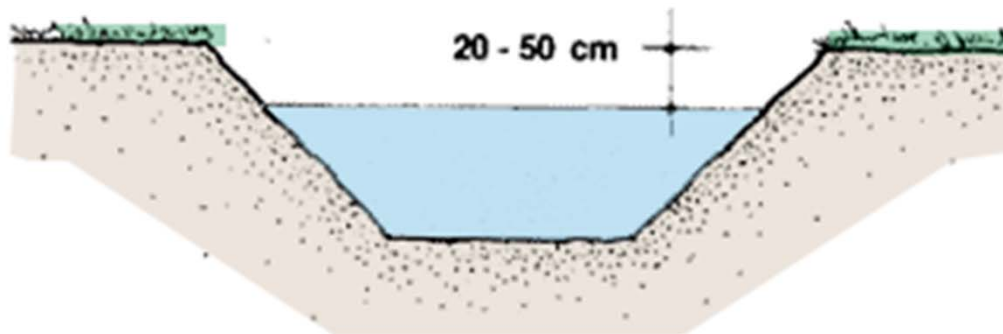
Choix de la revanche* du canal

Il a surtout été question jusqu'à maintenant de la notion de **section transversale mouillée** des canaux. Or, comme il a été mentionné brièvement au début, la hauteur des berges du canal doit être légèrement supérieure à la hauteur requise pour assurer une certaine capacité de transport, de façon à éviter les débordements. Cette hauteur supplémentaire des parois par rapport au niveau normal de l'eau est appelée la **revanche**.

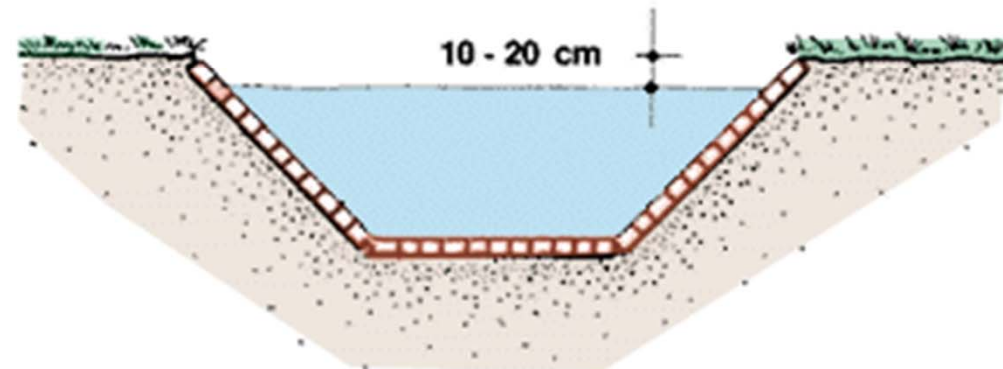
La revanche est plus ou moins importante suivant le type de canal considéré:

- pour les **canaux de terre**, elle varie de 20 à 50 cm;
- pour les **canaux à revêtement**, elle varie de 10 à 20 cm.

Revanche pour canaux de terre.



Revanche pour canaux revêtus

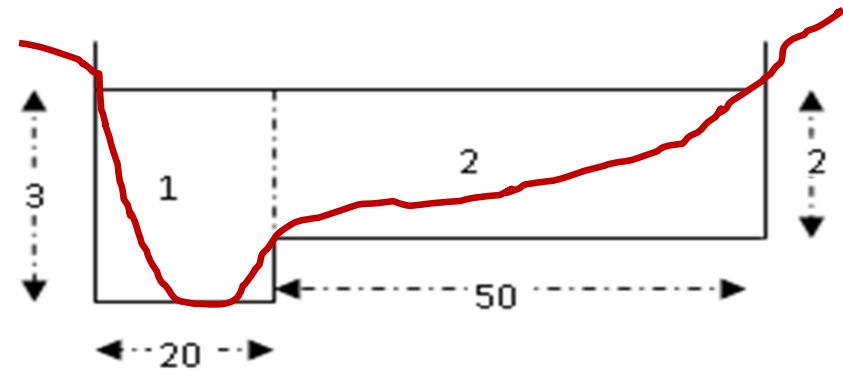


Exercice 6

Soit un canal de la figure en face, avec $I=0.6\%$,
 $n_1=0.018$, $n_2=0.022$

Calculer le débit de ce canal Q .

$$I = 0,006, n_1 = 0,018 ; n_2 = 0,022 ; H_1 = 3m ; H_2 = 2m.$$



1^{ère} Méthode sommation des débits des sections

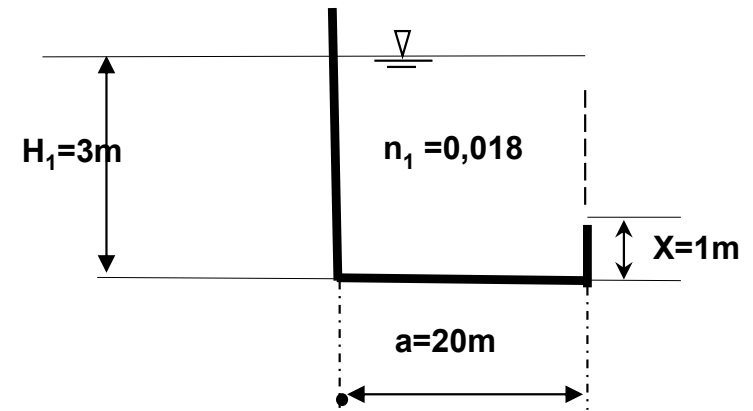
a. $Q = Q_1 + Q_2$

1, Section S1

$$S_1 = a \cdot H_1 = 20 \cdot 3 = 60m^2$$

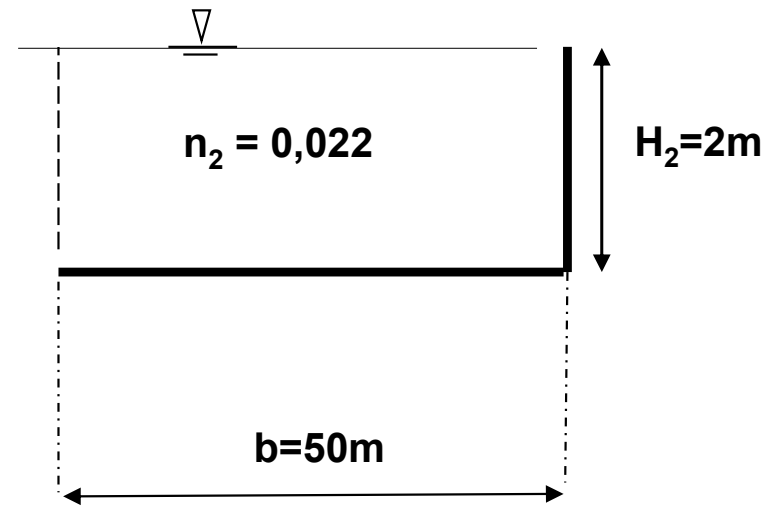
$$P_1 = a + X + H_1 = 20 + 1 + 3 = \underline{\underline{24m}}$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{S_1}{P_1} = \frac{60}{24} = \underline{\underline{2,4m}}$$



$$Q_1 = \frac{1}{n} \cdot R_1^{2/3} \cdot \sqrt{I} \cdot S_1 = \frac{1}{0,018} \cdot 2,50^{2/3} \cdot \sqrt{0,006} \cdot 60 = \underline{\underline{475,6m^3/s}}$$

2. Section S2



$$S_2 = b \cdot H_2 = 2 \cdot 50 = 100\text{m}^2$$

$$P_2 = b + H_2 = 2 + 50 = \underline{\underline{52\text{m}}}$$

$$R_2 = \frac{S_2}{P_2} = \frac{100}{52} = \underline{\underline{1,92\text{m}}}$$

$$Q_2 = \frac{1}{n_2} \cdot R_2^{2/3} \cdot \sqrt{I} \cdot S_2 = \frac{1}{0,022} \cdot 1,92^{2/3} \cdot \sqrt{0,006} \cdot 100 = \underline{\underline{543,9\text{m}^3/\text{s}}}$$

Débit du canal est :

$$Q = Q_1 + Q_2 = 475,6 + 543,9 = \underline{\underline{1019,5\text{m}^3/\text{s}}}$$

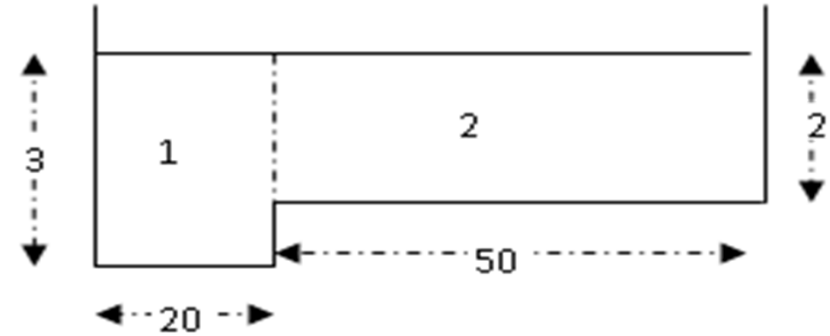
2^{ème} Méthode en utilisant la relation dite d'Einstein (rugosité équivalente)

$$n_{eq} = \bar{n} = \left(\frac{\sum p_i \cdot n_i^{3/2}}{p} \right)^{2/3}$$

$$P_1 = a + X + H_1 = 20 + 1 + 3 = \underline{\underline{24m}}$$

$$P_2 = b + H_2 = 2 + 50 = \underline{\underline{52m}}$$

$$P = P_1 + P_2 = \underline{\underline{76}}$$



$$n_{eq} = \bar{n} = \left(\frac{(p_1 \cdot n_1^{3/2}) + (p_2 \cdot n_2^{3/2})}{p} \right)^{2/3} = \left(\frac{(24 \cdot 0,018^{3/2}) + (52 \cdot 0,022^{3/2})}{76} \right)^{2/3}$$

$$n_{eq} = \underline{\underline{0,0208}}$$

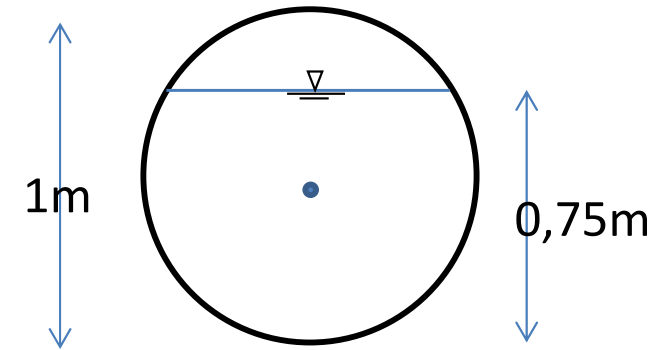
$$S = S_1 + S_2 = \underline{\underline{160m^2}}$$

$$R = \frac{S}{P} = \frac{160}{76} = \underline{\underline{2,105m}}$$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I} \cdot S = \frac{1}{0,0208} \cdot 2,105^{2/3} \cdot \sqrt{0,006} \cdot 160 = \underline{\underline{978,66 m^3/s}}$$

Exercice 4

Quel est le débit s'écoulant dans une conduite circulaire en béton de diamètre $\varnothing = 1000$ mm ayant une pente de 0.1 %? La hauteur normale observée est de 75 cm.



1. Solution graphique:

1. Caractéristiques à pleine section

1.1. Débit à pleine section

$$S_{ps} = \frac{\pi \varnothing^2}{4}; \quad P_{ps} = \pi \varnothing; \quad \Rightarrow R_{ps} = \frac{\varnothing}{4}$$

$$Q_{ps} = \frac{1}{n} \cdot R_{ps}^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \cdot S_{ps} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{\varnothing}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \cdot \frac{\pi \varnothing^2}{4}$$

$$Q_{ps} = \frac{\pi}{n \cdot 4 \cdot 4^{\frac{2}{3}}} \cdot \varnothing^{\frac{8}{3}} \cdot \sqrt{I} \cdot$$

$$Q_{ps} = \frac{0,3117}{n} \cdot \varnothing^{\frac{8}{3}} \cdot \sqrt{I}$$

$$Q_{ps} = \frac{0,3117}{0,013} \cdot 1^{\frac{8}{3}} \cdot \sqrt{0,001} = 0,758 \text{ m}^3/\text{s}$$

1.2. Vitesse à pleine section

$$V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_{ps}} = \frac{4Q_{ps}}{\pi\phi^2}$$

$$V_{ps} = \frac{4 \cdot 0,758}{3,14 \cdot 1^2} = 0,966 \text{ m/s}$$

ABAUQUE Ab. 5

Ab. 5 (a)

2. Calcul des fraction

Fraction de hauteur de remplissage

$$r_H = \frac{H}{\phi} = 0,75$$

$r_H = 0.75$

à partir du monogramme on trouve

$$r_Q = 0,92 \quad \text{et} \quad r_V = 1,13$$

3. Le débit de la conduite

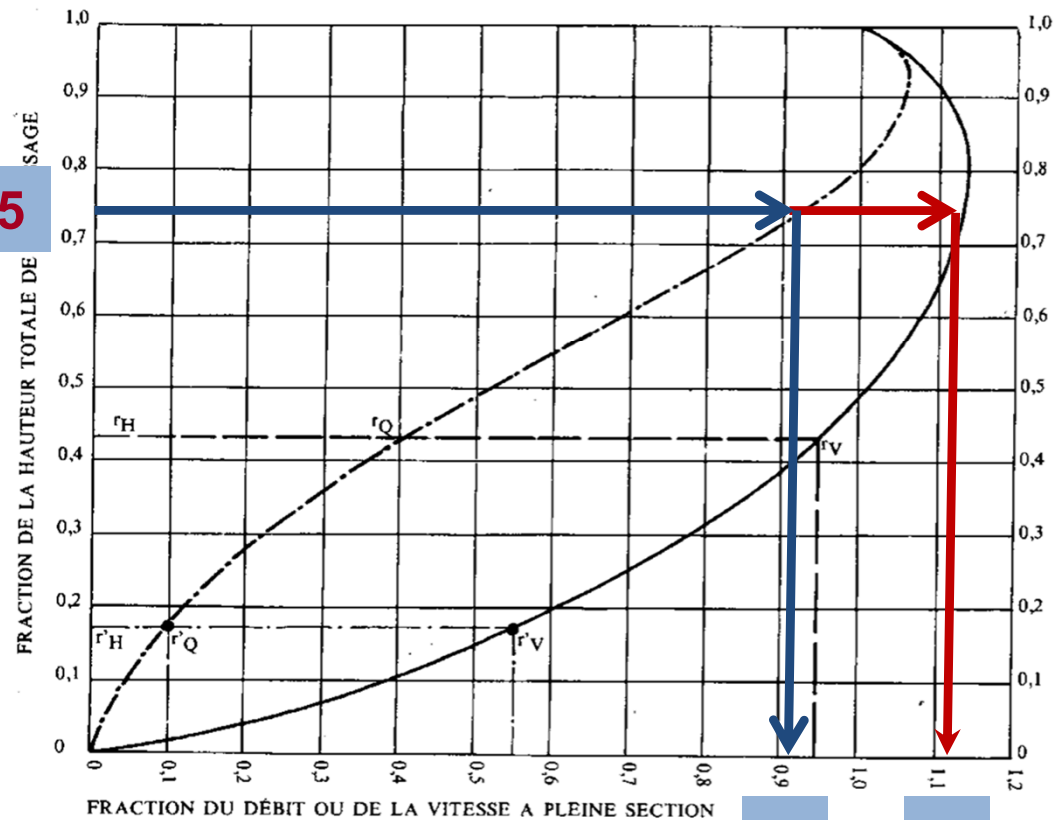
$$Q = r_Q \cdot Q_{ps} = 0,70 \text{ m}^3/\text{s}$$

3. La vitesse dans la conduite

$$V = r_V \cdot V_{ps} = 1,09 \text{ m/s}$$

VARIATIONS DES DÉBITS ET DES VITESSES EN FONCTION DU REMPLISSAGE

a) Ouvrages circulaires



$r_Q = 0.92$

$r_V = 1.13$

Quel est le débit s'écoulant dans une conduite circulaire en béton de $\varnothing = 1000$ mm ayant une pente de 0.1 %? La hauteur normale observée est de 75 cm.

1. Solution analytique:

$$\beta + \theta = 360^\circ$$

$$S = \frac{r^2}{2} (\beta - \sin(\beta)) \text{ et } p = r \beta$$

$$S = \frac{r^2}{2} \cdot \beta + 2 \cdot \frac{1}{2} (e \cdot l) =$$

$$(e^2 + l^2) = r^2$$

$$\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = l/r \Rightarrow l = r \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

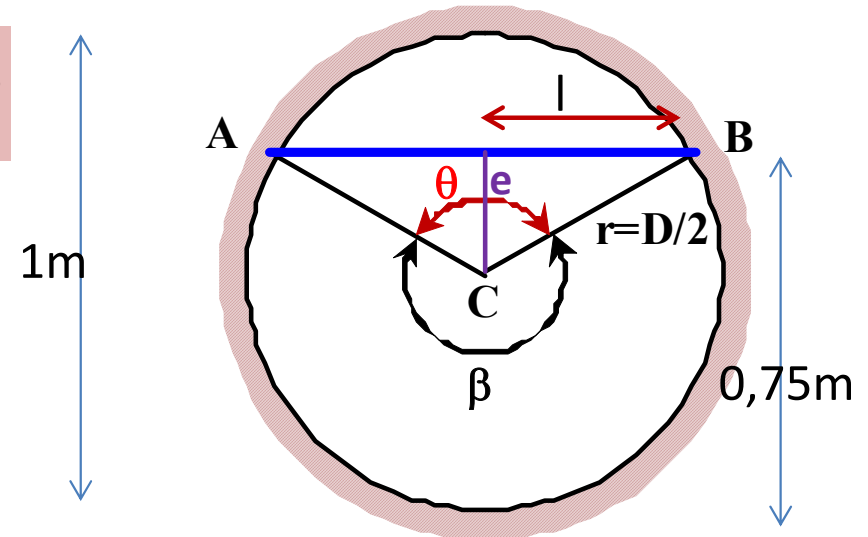
$$\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = e/r \Rightarrow e = r \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$\Rightarrow S = \frac{r^2}{2} \cdot \beta + (e \cdot l) = \frac{r^2}{2} \cdot \beta + r^2 \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$\text{avec } \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = 1/2 \cdot \sin \theta = -\frac{1}{2} \sin \beta$$

$$S = \frac{r^2}{2} \cdot \beta + (e \cdot l) = \frac{r^2}{2} \cdot \beta - \frac{r^2}{2} \sin \beta = \frac{r^2}{2} (\beta - \sin(\beta))$$

$$\beta? \quad S = \frac{r^2}{2} (\beta - \sin(\beta)) \quad \text{et } p = r \beta$$



$$\sin(A + B) = \sin A \cdot \cos B + \cos A \cdot \sin B$$

$$S = \frac{r^2}{2} (\beta - \sin(\beta)) \quad \text{et} \quad p = r \beta$$

$\beta?$

$$e = 0,75 - r = 0,25m$$

$$\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{e}{r} = \frac{0,25}{0,5} = 0,5 \Rightarrow \frac{\theta}{2} = 60^\circ \Rightarrow \theta = 120^\circ$$

$$\beta = 360 - \theta = 240^\circ = 4,19rad$$

$$S = \frac{0,5^2}{2} (4,19 - \sin(240)) = 0,63m^2$$

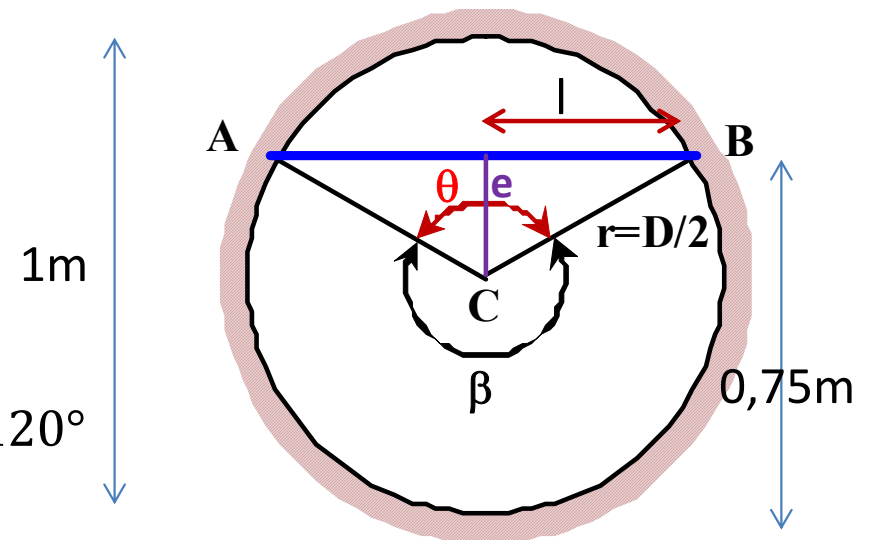
$$\text{et } p = r \beta = 0,5 \cdot 4,19 = 2,095 \approx 2,1m$$

$$\Rightarrow R_h = \frac{S}{P} = \frac{0,63}{2,1} = 0,3m$$

Conduite en béton donc $n=0,013$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \cdot S = \frac{1}{0,013} \cdot 0,3^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0,001} \cdot 0,63 = 0,69 m^3/s$$

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,69}{0,63} = 1,09m/s$$



Dimensionnement des conduites circulaire

Pour un débit " Q_p " donné et pour une pente motrice " I " connue (généralement ; la pente de terrain naturel) que sera le diamètre " ϕ " de la conduite qui supportera ce débit?

Connaissant le débit à évacuer et la pente de hydraulique,

1. Calculer le diamètre approximatif D:

Le diamètre approximatif de la conduite sera déduit de la formule d'écoulement adoptée

$$Q_p = \frac{0,3117}{n} \cdot D^{\frac{8}{3}} \cdot \sqrt{I}$$

$$D = \left[\frac{n}{0,3117} \cdot \frac{Q_p}{\sqrt{I}} \right]^{3/8}$$

Q_p : Débit de pointe calculé en m³/s
 I : Pente hydraulique de la conduite
 D : diamètre approximatif en m
et n : Coef de Manning

2. Fixer le diamètre commercial (normalisé) ϕ :

Les dimensions des canalisations varient compte tenu des diamètres courants de fabrication « ϕ » **qui correspond à la valeur « D » arrondi au diamètre commercial immédiatement supérieure**, ce qui apporte de ce fait, une capacité supplémentaire d'écoulement

ϕ (mm) commercial: ..., 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2500, ...

3. Calculer les caractéristiques à plein section:

$$Q_{ps} = \frac{0,3117}{n} \cdot \Phi^{8/3} \cdot \sqrt{I}$$

et

$$V_{ps} = \frac{4 \cdot Q_{ps}}{\pi \cdot \Phi^2}$$

4. Effectuer le rapport (fraction du débit):

$$r_Q = \frac{Q_P}{Q_{ps}}$$

5. Lire sur nomogramme les valeurs r_V et r_H et évaluer la vitesse effective ainsi que la hauteur de remplissage dans la conduite

$$V = r_V \cdot V_{ps}$$

et

$$H = r_H \cdot \Phi$$

6. Vérifier les conditions de sécurité hydraulique

$$\text{Avec: } V \leq V_{\max} \quad \text{et} \quad H \leq 0,8 \Phi$$

7. Si les conditions de sécurité ne sont pas vérifiées, choisir un diamètre plus grand et reprendre la procédure

Exercice 8

Un collecteur d'eau usée circulaire en béton doit évacuer un débit de 30l/s si sa pente est de 0,002 m/m.

Dimensionner ce collecteur et déterminer ces caractéristiques d'écoulement.

1. Calculer le diamètre approximatif:

Le diamètre approximatif de la conduite sera déduit de la formule d'écoulement adoptée

$$D = \left[\frac{n}{K} \cdot \frac{Q_P}{\sqrt{I}} \right]^{3/8} = \left[\frac{0,013}{0,3117} \cdot \frac{30 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{0,002}} \right]^{3/8} = \mathbf{0,261m}$$

Q_P : Débit de pointe calculé en m^3/s
 K : Coefficient d'homogénéité des unités, $K=0,3117$
 I : Pente hydraulique de la conduite
et n : Coef de Manning

2. On Fixe le diamètre commercial (normalisé) immédiatement supérieur à $D=261mm$; $\phi=300mm$

3. Calculer les caractéristiques à plein section:

$$Q_{ps} = \frac{K}{n} \cdot \Phi^{8/3} \cdot \sqrt{I} = \frac{0,3117}{0,013} \cdot 0,3^{8/3} \cdot \sqrt{0,002} = \mathbf{0,043 m^3/s}$$

$$V_{ps} = \frac{4 \cdot Q_{ps}}{\pi \cdot \Phi^2} = \frac{4 \cdot 0,043}{3,14 \cdot 0,3^2} = 0,609 \approx \mathbf{0,61m/s}$$

$$r_Q = \frac{Q_P}{Q_{ps}} = \frac{0,03}{0,043} = 0,698 \approx 0,70$$

Nomogramme $r_H = 0,62$
 $r_V = 1,08$

$$H = r_H \cdot \Phi = 0,62 \cdot 0,30$$

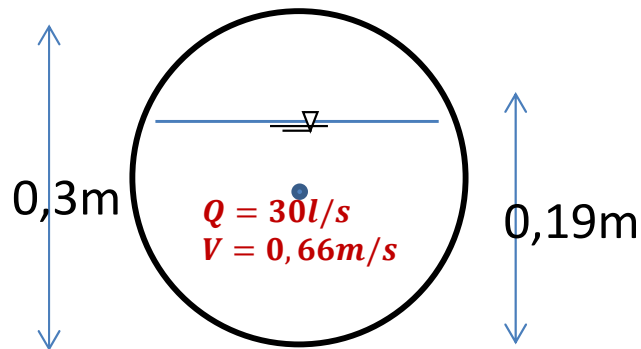
$$H = 0,189m \approx 19cm$$

$$V = r_V \cdot V_{ps} = 1,08 \cdot 0,61$$

$$V = 0,66m/s$$

La vitesse est acceptable car:
 $0,6m/s < V = 0,66 < 3m/s$

Donc le diamètre du collecteur sera
 $\Phi = 300mm$

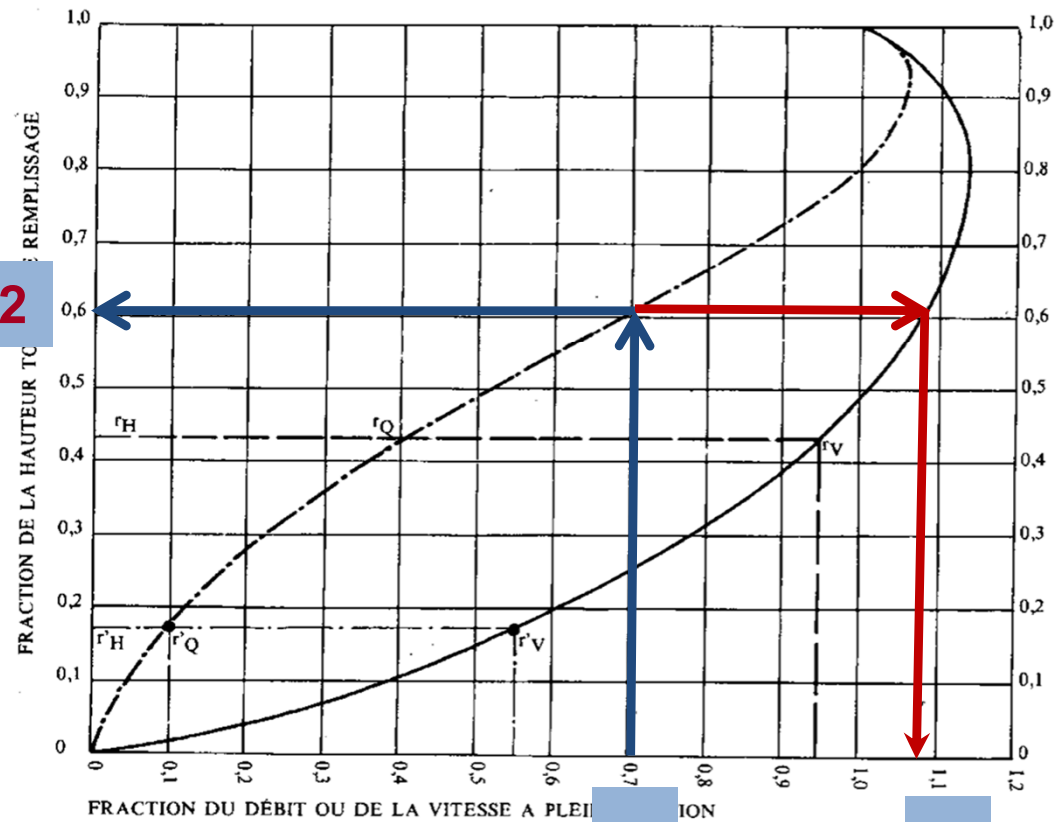


ABAQUE Ab. 5

Ab. 5 (a)

VARIATIONS DES DÉBITS ET DES VITESSES EN FONCTION DU REMPLISSAGE

a) Ouvrages circulaires



$r_H = 0.62$

$r_Q = 0.70$

$r_V = 1.08$