



Examen "Aménagements hydrauliques (2^B Hydraulique)" 2025-2026

- 1- Citer et expliquer brièvement différents modes de transport solide dans les cours d'eau ?
- 2- Quels sont les différents types de confortement des berges
- 3- Les eaux de refroidissement d'une centrale thermique est évacué par un aménagement comprenant : - un canal (1) en béton, à section rectangulaire, de largeur b , de longueur 10 km, de coefficient de Strickler $K_1 = 80$ et de pente I_1 , avec une dénivelée de 2 m ; - un canal (2) en terre à section rectangulaire, de même largeur b , de longueur 10 km, de coefficient de Strickler $K_2 = 40$ et de pente I_2 , avec une dénivelée de 1 m ; - un déversoir D de longueur égale à la largeur des canaux b .

Le débit d'eau est $Q = 64,5 \text{ m}^3/\text{s}$, sachant que pour des raisons techniques la profondeur d'eau en (2) est de $1/5$ de la largeur du canal ($h_2 = b/5$) et la profondeur d'eau en (1) est de $1/10$ de la largeur du canal ($h_1 = b/10$).

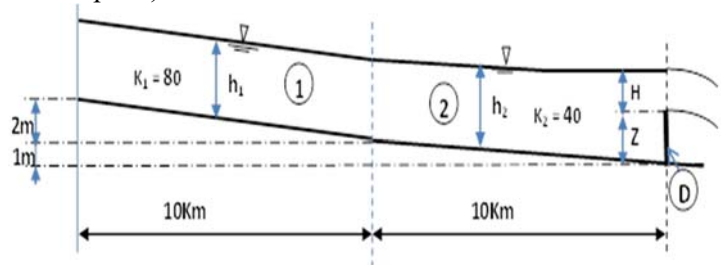
Le régime dans les deux canaux est uniforme.

- a) Quelles est la profondeur de l'eau h_2 en (2), la largeur des canaux b et la profondeur de l'eau h_1 en (1) ?
- b) calculez la charge sur le déversoir H sachant que le débit à travers un déversoir est donné par :

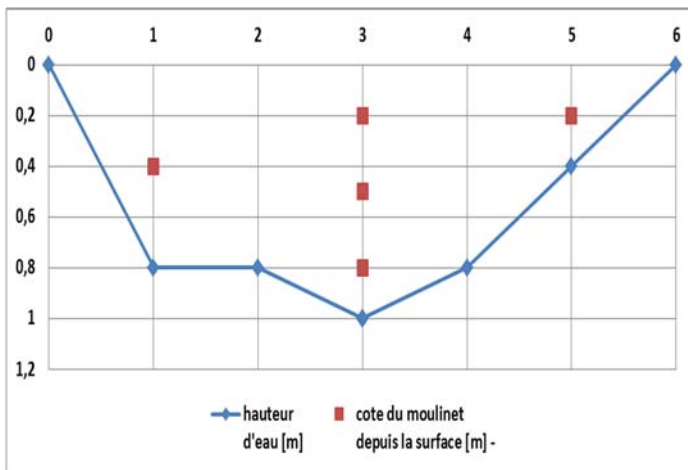
$$Q = 1,82 \cdot b \cdot H^{3/2}$$

- c) Déduire la hauteur de la crête de déversoir (hauteur de pelle) Z

d) Pour des raisons techniques on doit maintenir la profondeur d'eau au canal (2) à $h_2 = 3\text{m}$, pour ce faire il a été décidé de revêtir ce canal par un revêtement spécial sans changer les caractéristiques topographiques de l'ouvrage, pour ce cas que devra être le coefficient de Strickler K_2 des parois du canal (1) ?



- 4- Un jaugeage au moulinet effectué sur une section transversale d'un cours d'eau (figure ci-dessous) a été effectué sur une rivière a donné les résultats du tableau ci-dessous, calculer le débit de cette rivière. La droite d'étalonnage du moulinet est déterminée par : $V = 2N$, avec V la vitesse du courant (m/s) et N le nombre de tours de l'hélice par seconde.

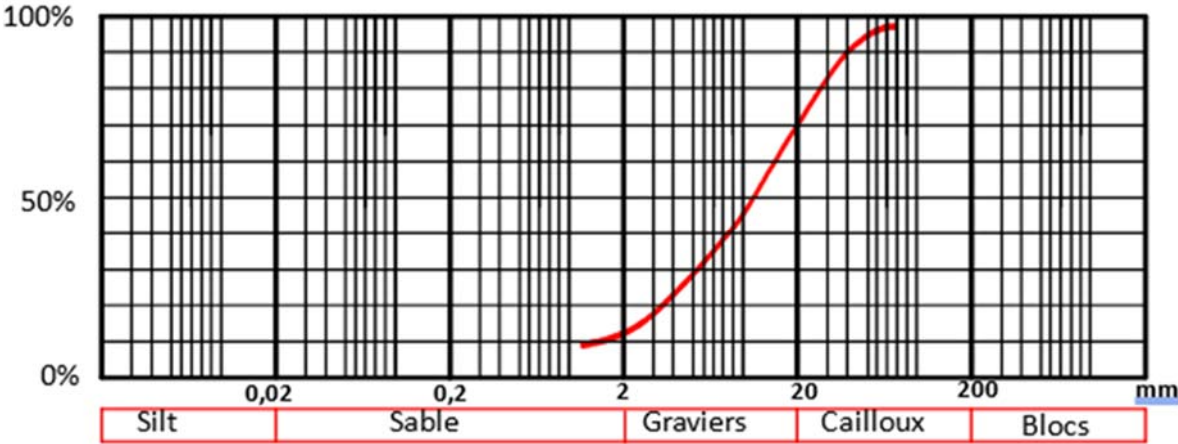


identifiant verticale	nombre de points de mesure	distance depuis la rive gauche	Hauteur d'eau	cote du moulinet depuis la surface	nombre de tours du moulinet	durée de la mesure
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[s]
0	-	0	0	-	-	-
1	1	1	0,8	0,4	25	100
2	3	3	1	0,2	20	50
				0,5	15	50
				0,8	10	50
3	1	5	0,4	0,2	20	100
4	-	6	0	-	-	-

identifiant verticale	nb tours par seconde	vitesse	vitesse moyenne	surface attribuée	Débit surfaces intermédiaires	Débit Total
	[#/s]	[m/s]	[m/s]	[m ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]

- 5- Une rivière de débit $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$, considéré comme rectangulaire très large ($b \gg h$), de largeur $b = 10\text{m}$, de pente longitudinal $I = 0,1\%$, de rugosité de Manning $n = 0,020$. La granulométrie des sédiments est représentée par la courbe granulométrique ci-dessous et $\rho_s = 2700 \text{ Kg/m}^3$. ($d = \phi$)

- a) Que représentent les paramètres : $\alpha = \rho g \cdot R_h \cdot I$; $\beta = \frac{\rho \cdot R_h \cdot I}{(\rho_s - \rho) \cdot d}$; $\delta = 0,25$ et $\theta = 0,047$.
- b) Déterminer le tirant d'eau de cette rivière y et la force tractrice τ_0
- c) Quelle est la plage de granulométrie concernée par le transport par suspension
- d) Quelle est la plage de granulométrie concernée par le transport par charriage



(Barème : 1: 1.5pts ; 2: 1.5pts ; 3: 6pts ; 4: 6pts ; 5 :6pts)

1. le charriage et la suspension, sont les deux types principaux du transport solide.

- ✓ Le charriage concerne les plus gros éléments qui contribuent à formation et à l'équilibre du lit, principalement la pente. Ces éléments sont transportés sur le fond par roulement, glissement et par saltation
- ✓ Le transport par suspension concerne les éléments fins, qui progressent dans le sens du courant au sein même du liquide. Ces éléments fins du transport solide sont maintenus en suspensions par la turbulence et la quantité de ces matériaux dépend essentiellement des éléments fins

2. les différents types de confortement des berges :

- Enrochement
- Gabion
- Palplanche
- Matelas gabion

3/

a) Quelles sont les profondeurs d'eau h_1 et h_2 , la largeur b et les vitesses moyennes V_1 et V_2 dans les canaux ?

- h_2 :

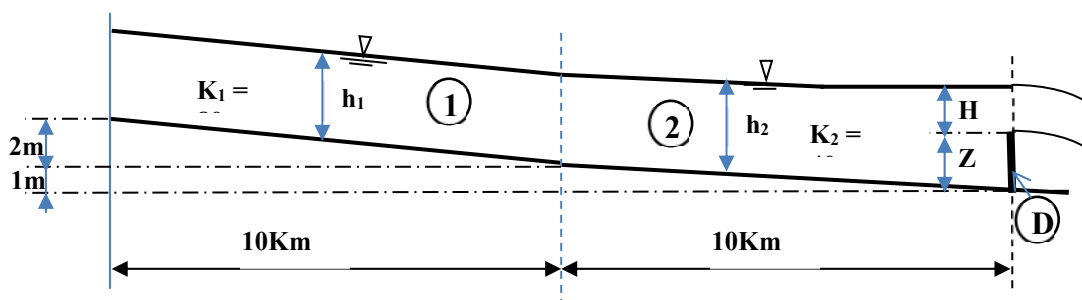
$$I_2 = \frac{1}{10000} = 10^{-4} m/m ; \quad \frac{b}{h_2} = 5 \Rightarrow b = 5h_2 ;$$

$$S_{m2} = b \cdot h_2 = 5h_2^2 ; \quad P_{m2} = b + 2h_2 = 7h_2 ; \quad R_{h2} = \frac{S_{m2}}{P_{m2}} = \frac{5h_2^2}{7h_2} = 0,714h_2$$

Le débit est donné par la formule de Strickler :

$$Q = K_2 R_{h2}^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I_2} \cdot S_{m2} = K_2 \cdot \left(\frac{5}{7}h_2\right)^{\frac{2}{3}} \sqrt{I_2} \cdot 5h_2^2 = 5 \left(\frac{5}{7}\right)^{\frac{2}{3}} K_2 \cdot \sqrt{I_2} \cdot h_2^{\frac{8}{3}} = 4K_2 \cdot \sqrt{I_2} \cdot h_2^{\frac{8}{3}}$$

$$\Rightarrow h_2 = \left(\frac{Q}{4K_2 \cdot \sqrt{I_2}}\right)^{\frac{3}{8}} = \left(\frac{64,5}{4 \cdot 40 \cdot \sqrt{0.0001}}\right)^{\frac{3}{8}} = 4 \text{ m}$$



- $b = 5h_2 = 20\text{m}$

- h_1 :

$$I_2 = \frac{2}{10000} = 2 \cdot 10^{-4} m/m ; \quad b = 10h_1$$

$$S_{m1} = b \cdot h_1 = 10h_1^2 ; \quad P_{m1} = b + 2h_1 = 12h_1 ; \quad R_{h2} = \frac{S_{m1}}{P_{m1}} = \frac{10h_1^2}{12h_1} = \frac{5}{6}h_2$$

Le débit est donné par la formule de Strickler :

$$Q = K_1 R_{h1}^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \cdot S_{m1} = K_1 \cdot \left(\frac{5}{6} h_1\right)^{\frac{2}{3}} \sqrt{I} \cdot 10 h_1^2 = 10 \left(\frac{5}{6}\right)^{\frac{2}{3}} K_1 \cdot \sqrt{I_1} \cdot h_1^{\frac{8}{3}} = 8.855 K_1 \cdot \sqrt{I_1} \cdot h_1^{\frac{8}{3}}$$

$$\Rightarrow h_1 = \left(\frac{Q}{8.855 K_1 \cdot \sqrt{I_1}}\right)^{\frac{3}{8}} = \left(\frac{64,5}{8.855 \cdot 80 \cdot \sqrt{0.0002}}\right)^{\frac{3}{8}} = 2.01 \approx 2 \text{ m}$$

b) la charge sur le déversoir H:

$$Q = 1,82 \cdot b \cdot H^{\frac{3}{2}} \Rightarrow H = \left(\frac{Q}{1,82 \cdot b}\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{64,5}{1,82 \cdot 20}\right)^{\frac{2}{3}} = 1,46 \text{ m}$$

c) la hauteur de la crête de déversoir (hauteur de pelle) Z :

$$\Rightarrow Z = h_2 - H = 4 - 1,46 = 2,74 \text{ m}$$

d) K_2 pour $h_2=3\text{m}$

$$S_{m2} = b \cdot h_2 = 60 \text{ m}^2 ;$$

$$P_{m2} = b + 2h_2 = 26 \text{ m} ;$$

$$R_{h2} = \frac{60}{26} = 2,31 \text{ m}$$

Le débit est donné par la formule de Manning :

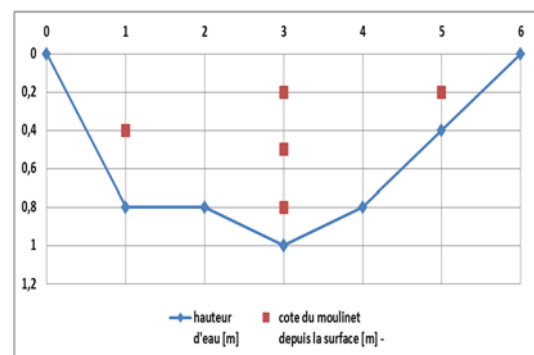
$$Q = K_2 R_{h2}^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I_2} \cdot S_{m2} \Rightarrow K_2 = \frac{Q}{R_{h2}^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I_2} \cdot S_{m2}} = \frac{64,5}{2,31^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0,0001} \cdot 60} = 61,52$$

4. Un jaugeage au moulinet

identifiant verticale	nombre de points de mesure	distance depuis la rive gauche	hauteur d'eau	cote du moulinet depuis la surface	nombre de tours du moulinet	durée de la mesure	nb tours par seconde	vitesse	vitesse moyenne	surface attribuée	Débit surfaces intermédiaires	Débit Total
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[s]	[#/s]	[m/s]	[m/s]	[m ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1	1	0,8	0,4	25	100	0,25	0,5	0,5	1,2	0,6	2
2	2	3	1	0,2	20	50	0,4	0,8	0,6	1,8	1,08	
				0,5	15	50	0,3	0,6				
				0,8	10	50	0,2	0,4				
3	1	5	0,4	0,2	20	100	0,2	0,4	0,4	0,8	0,32	-
		6	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nb : La vitesse dans la section 2 est :

$$V_2 = 0,2 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 0,6 + 0,2 \cdot 0,4 = 0,6 \text{ m/s}$$



5- Rivière très large donc $R_h=y$

1. Que représente les paramètres :

a) $\alpha = \rho g \cdot R_h \cdot I = \tau_o$ La force tractrice

$$\beta = \frac{\rho \cdot R_h \cdot I}{(\rho_s - \rho) \cdot d} = \tau^* \text{ parametre de Shild;}$$

$\delta = 0,25$ Limite de début de suspension

et $\theta = 0,047$ Limite de début de charriage

b) 1. Le tirant D'eau y

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \cdot S = \frac{1}{n} \cdot h^{\frac{2}{3}} \sqrt{I} \cdot b \cdot h = \frac{1}{n} \cdot b \cdot \sqrt{I} \cdot h^{\frac{5}{3}}$$

$$\Rightarrow h = \left(\frac{n \cdot Q}{b \cdot \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{5}} = \left(\frac{0,02 \cdot 150}{10 \cdot \sqrt{0,001}} \right)^{\frac{3}{5}} \approx \mathbf{3,86 \text{ m}}$$

2. la force tractrice de l'écoulement est

$$\tau_o = \rho \cdot g \cdot R_h \cdot I = \rho \cdot g \cdot y \cdot I = 10^3 \cdot 9,81 \cdot 3,86 \cdot 0,001 = \mathbf{37,87 \text{ N/m}^2}$$

c) Plage de granulométrie concernée par le transport par suspension

$$\tau^* = \frac{\tau_o}{(\rho_s - \rho) \cdot d} = \frac{\rho \cdot R_h \cdot I}{(\rho_s - \rho) \cdot d} = \frac{\rho \cdot y \cdot I}{(\rho_s - \rho) \cdot d} = \frac{10^3 \cdot y \cdot I}{(2700 - 1000) \cdot d} = \frac{y \cdot I}{1,7 \cdot d}$$

$$\tau^* = \frac{y \cdot I}{1,7 \cdot d} = \frac{3,86 \cdot 0,001}{1,7 \cdot d} = \frac{2,27 \cdot 10^{-3}}{d}$$

Pour le qu'il y ait transport par suspension il faut que $\tau^* \geq 0,25$

$$\tau^* = \frac{y \cdot I}{1,6 \cdot d} \geq 0,25 \Rightarrow \frac{2,27 \cdot 10^{-3}}{d} \geq 0,25$$

$$\Rightarrow d \leq \frac{2,27 \cdot 10^{-3}}{0,25} = 0,009 \text{ m} = 9 \text{ mm}$$

Donc tous les sédiments de diamètre $d \leq 9 \text{ mm}$ seront transportés en suspension

d) Plage de granulométrie concernée par le transport par charriage

Pour le qu'il y ait transport par suspension il faut que $\tau^* \geq 0,047$

$$\tau^* = \frac{y \cdot I}{1,6 \cdot d} \geq 0,047 \Rightarrow 2,27 \cdot 10^{-3} / d \geq 0,047$$

$$\Rightarrow d \leq \frac{2,27 \cdot 10^{-3}}{0,047} = 0,048 \text{ m} = 4,8 \text{ cm}$$

Donc tous les sédiments de diamètre $0,9 \text{ cm} < d \leq 4,8 \text{ cm}$ seront transportés par charriage.