EXERCICES OUVRAGES HYDRAULIQUES

EX 1 :

Par planimétrie la courbe Hauteur-Surface est représentée par les données suivantes :

Cotes (m)	800	804	806	808	810	812	814	816	818
Surfaces 10^3 m^2	0	9.2	13.2	36.0	65.2	116.0	169.6	264.0	382.0

Déterminer la courbe Hauteur-volume et en déduire par ajustement la formule la caractérisant.

Solution :

On calcule le volume d'eau compris entre 2 élévations successives de la façon suivante :

$$\Delta V_{i,i-1} = \frac{S_i + S_{i-1}}{2} \cdot \Delta H$$

$$V_i = \sum_{1}^{i} \Delta V_{i,i-1}$$

Et on remplit le tableau suivant :

Cotes [m]	Surfaces [m²]	Hauteur [m]	Hauteur Cumulée [m]	Surface Moyenne [m²]	Volume Partiel [m³]	Volume Total [m³]
800	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
804	9200.0	4.0	4.0	4600.0	18400.0	18400.0
806	13200.0	2.0	6.0	11200.0	22400.0	40800.0
808	36000.0	2.0	8.0	24600.0	49200.0	90000.0
810	65200.0	2.0	10.0	50600.0	101200.0	191200.0
812	116000.0	2.0	12.0	90600.0	181200.0	372400.0
814	169600.0	2.0	14.0	142800.0	285600.0	658000.0
816	264000.0	2.0	16.0	216800.0	433600.0	1091600.0
818	382000.0	2.0	18.0	323000.0	646000.0	1737600.0

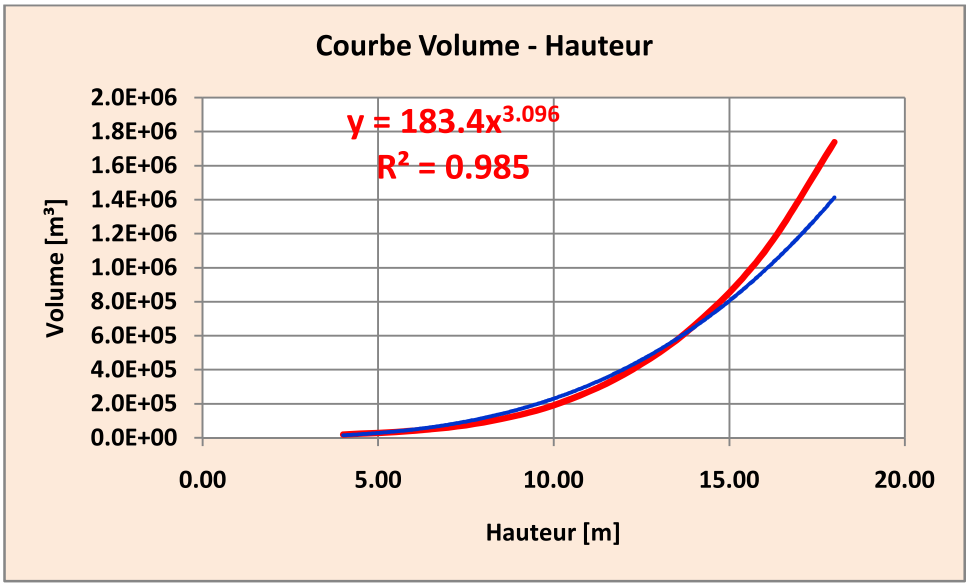
En utilisant les formules de l’ajustement puissance on obtient :

$$b = \frac{\sum (LnH_i)(LnV_i) - \frac{\sum LnH_i \cdot \sum LnV_i}{n}}{\sum (LnH_i)^2 - \frac{\left(\sum LnH_i\right)^2}{n}} \qquad a = \exp\left[\frac{\sum LnV_i}{n} - b\,\frac{\sum LnH_i}{n}\right]$$

$$r^2 = \frac{\left[\sum(\mathrm{LnH_i})(\mathrm{LnV_i}) - \frac{\sum \mathrm{LnH_i} \cdot \sum \mathrm{LnV_i}}{n}\right]^2}{\left[\sum(\mathrm{LnH_i})^2 - \frac{(\sum \mathrm{LnH_i})^2}{n}\right]\left[\sum(\mathrm{LnV_i})^2 - \frac{(\sum \mathrm{LnV_i})^2}{n}\right]}$$

	Cote [m]	H [m]	Surface [m^2]	Stock [m^3]	Ln(S) [-]	Ln(H) [-]	Produit	$(Ln(H))^2$	$(Ln(S))^2$
Sommes		8			98.5010	18.3470	231.6666	43.9391	1230.9341
	800	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000			
	804	4.00	9200.00	18400.00	9.8201	1.3863			
	806	6.00	13200.00	40800.00	10.6164	1.7918			
	808	8.00	36000.00	90000.00	11.4076	2.0794			
	810	10.00	65200.00	191200.00	12.1611	2.3026			
	812	12.00	116000.00	372400.00	12.8277	2.4849			
	814	14.00	169600.00	658000.00	13.3970	2.6391			
	816	16.00	264000.00	1091600.00	13.9032	2.7726			
	818	18.00	382000.00	1737600.00	14.3680	2.8904			

b	=	3.0962
a	=	183.4226
r^2	=	0.9850



EX 2 :

La pluviométrie moyenne annuelle d'un bassin versant d'une superficie S = 11,50 Km^2 est P_a = 410,00 mm.

Calculer l'écoulement moyen annuel par la formule de **Samie 1955b** et **Saidi 1990**.

Solution :

- **Samie 1955b**

E (mm) = (293 -2,2 * racine (S))*(Pa/1000) ^2 avec S en Km^2 et P_a en mm

On aura :

E = 48,00 mm ; q = 1,52 l/s/Km^2 et A = 0.55 Hm^3

- **Saidi 1990**

E = 55,13 mm ; q = 1,75 l/s/Km^2 et A = 0.63 Hm^3

EX 3 :

En utilisant la formule de Tixeront, calculer le volume mort d'un barrage sur une durée d'exploitation de 20 ans si l'écoulement moyen annuel est 48 mm et le poids spécifique des sédiments est 1.60 t/m^3.

Solution :

Le taux d'abrasion est : T_a = 207,42 t/Km^2/an

Le volume mort sera : V_m = 0,03 hm^3

EX 4 :

La pluie moyenne annuelle d'un bassin versant est P_a = 410,0 mm, son temps de concentration est t_c = 174,45 min, le coefficient de variation des apports est C_V =0,49 et le coefficient de ruissellement est C_r = 0,80.

En utilisant la formule de Turazza calculer les dédits de crue de période de retour 10, 50, 100 et 1000 ans.

Solution :

La formule de **Body** donne :

$$\mathrm{P_{Jmax}} = 0{,}0525 \cdot \mathrm{P_{an}} + 18{,}6 = 40{,}125 \text{ mm}$$

Les pluies de différentes fréquences sont calculées par la méthode simplifiée de **Galton**

$$P_{Jmax\%} = \frac{P_{Jmax}}{\sqrt{C_{vq}^2 + 1}} \cdot Exp\left[u \cdot \sqrt{Ln(C_{vq}^2 + 1)}\right]$$

Avec : $\mathrm{P_{Jmax\%}}$ = Pluie journalière maximale d'une fréquence donnée

u = Variable réduite de Gauss correspondant à la fréquence

$\mathrm{C_{vq}}$ = Coefficient de variation du débit

La pluie fréquentielle de durée égale à t_c est donnée par la formule de **Montanari**

$$P_{tc\,\%} = P_{j\,\max\%}\left(\frac{t_c}{24}\right)^b$$

t_c = temps de concentration en heure

$$b = \frac{Ln\left(\frac{P_{J\,max}}{24}\right) - Ln(25)}{Ln(24) - Ln(0.5)} + 1$$

Les calcules sont regroupés au tableau suivant :

Période de retour	10	50	100	1000
Fréquence	0.10	0.020	0.010	0.001
Variable de Gauss	1.280	1.750	2.330	3.100
PJ max % [mm]	65.47	81.58	107.03	153.47
Ptc % [mm]	34.66	43.19	56.67	81.25
Q [m³/s]	**30.47**	**37.97**	**49.81**	**71.42**

EX 5 :

On demande de faire la régularisation afin de déterminer le NNR d'un barrage. On donne pour cela :

- Un apport moyen annuel de **552.10^3 m^3** dont la répartition mensuelle est :

Mois	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.
Répartition %	8.90	9.00	9.10	10.00	11.50	15.00	13.00	11.00	4.70	0.00	0.00	7.80

- L'évaporation mensuelle suivante :

Mois	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.
E[m]	0.06	0.023	0.025	0.028	0.036	0.06	0.08	0.109	0.14	0.165	0.142	0.094

- Une infiltration mensuelle estimée égale à 1% de la capacité de la retenue
- La consommation suivante pour l'irrigation de **45 ha**.

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.
Module m3/Ha	360	600	2000	2000	2400	1720

- Le volume mort est **$30,00 .10^3$ m^3**.
- La courbe Hauteur-Volume est donnée par l'équation aH^b ; **a = 183,423 et b = 3,096**

Solution :

Mois	Début du mois		Apport du mois	Evaporation		Infiltration	Besoins	Capacité fin de mois	Hauteur
	Capacité 10^3 [m^3]	Surface [m^2]	10^3 [m^3]	[m]	10^3 [m^3]	10^3 [m^3]	10^3 [m^3]	10^3 [m^3]	[m]
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6=5×2**	**7=2×1%**	**8**	**9 =2+4-6-7-8**	**11**
OCT	30.00	17906.12	49.13	0.060	1.07	0.30	0.0	77.75	7.06
NOV	77.75	34120.58	49.68	0.023	0.78	0.78	0.0	125.87	8.24
DEC	125.87	47277.44	50.23	0.025	1.18	1.26	0.0	173.66	9.15
JAN	173.66	58787.94	55.20	0.028	1.65	1.74	0.0	225.48	9.95
FEV	225.48	70155.86	63.48	0.036	2.53	2.25	0.0	284.18	10.72
MAR	284.18	82053.07	82.80	0.060	4.92	2.84	0.0	359.21	11.57
AVR	359.21	96158.95	71.76	0.080	7.69	3.59	16.2	403.48	12.01
MAI	403.48	104031.47	60.72	0.109	11.34	4.03	27.0	421.83	**12.18**
JUIN	421.83	107210.68	25.94	0.140	15.01	4.22	90.0	338.54	11.35
JUIL	338.54	92377.86	0.00	0.165	15.24	3.39	90.0	229.92	10.01
AOUT	229.92	71087.98	0.00	0.142	10.09	2.30	108.0	109.52	7.88
SEP	109.52	43027.64	43.06	0.094	4.04	1.10	77.4	70.04	6.82

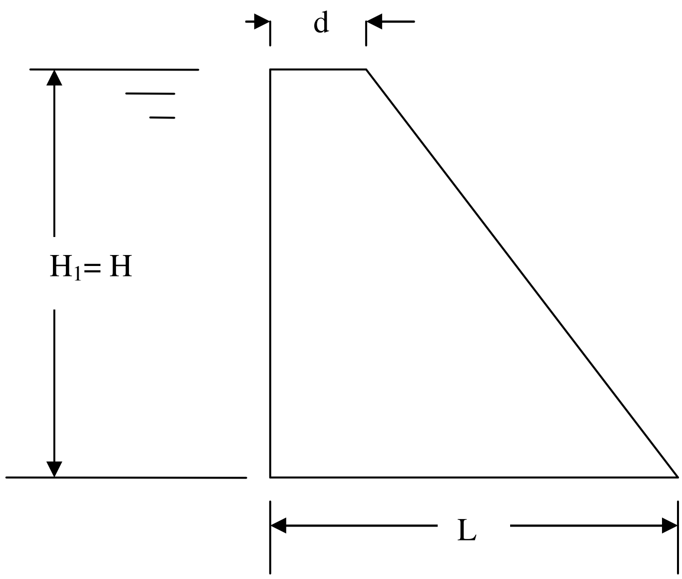
EX 6 :

Pour le barrage en béton de la figure de largeur unité et en supposant une répartition linéaire des sous pressions :

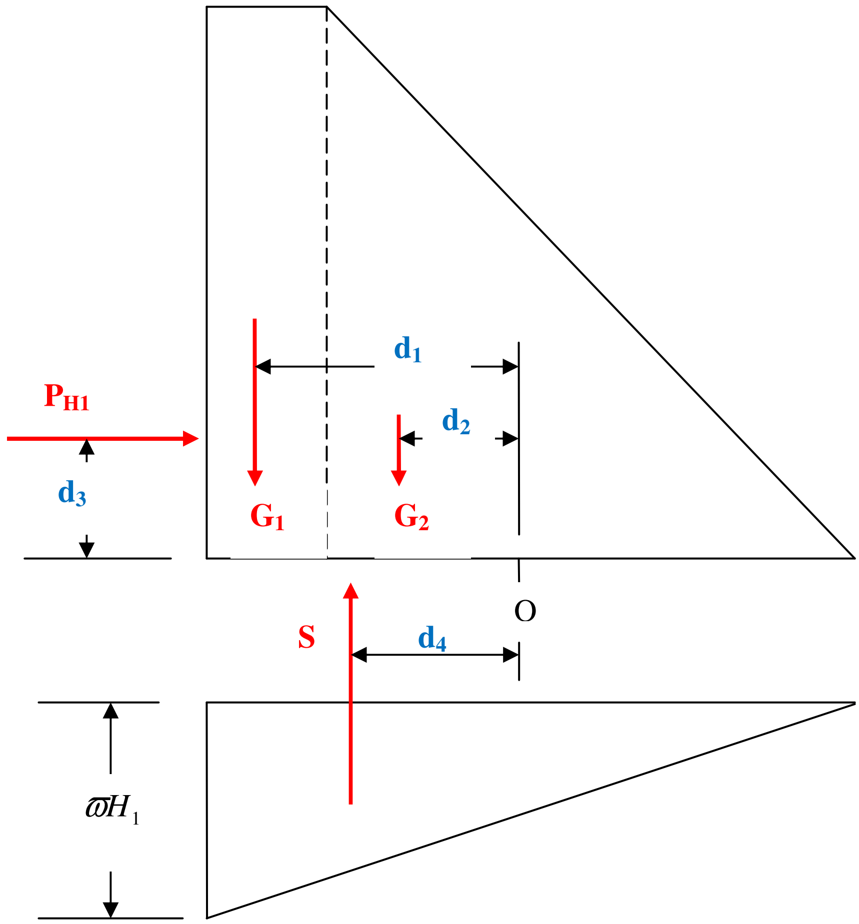
1. Calculer les forces et leurs bras de levier par rapport au centre de gravité de la base.
2. trouver le coefficient de sécurité au glissement si le coefficient de frottement béton - roche est **f = 0.70**
3. trouver le coefficient de sécurité au renversement.
4. Calculer les contraintes amont et aval.

A N : **d = 4.0 m ; H_1 = H = 34.0 m ; $\rho_{béton}$= 2400 Kg/m³ ; L= 26,0 m**

$\varpi = 9.81\ KN/m^3$; **g = 9.81 m/s² ; W = 1.0 m**



Solution :



1°)

Poids propre : $G_1 = W \ \rho \ g \ d \ H_1 = 1 \cdot 2400 \cdot 9{,}81 \cdot 4 \cdot 34 = 3201{,}984 \quad KN$

$$G_2 = \frac{1}{2} \cdot W \ \rho \ g \ (L-d) \ H_1 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2400 \cdot 9{,}81 \cdot 22 \cdot 34 = 8805{,}456 \quad KN$$

Ou :

$$G = \frac{1}{2} W \ \rho \ g \ (d+L) \ H_1 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2400 \cdot 9{,}81 \cdot 30 \cdot 34 = 12007{,}440 \quad KN$$

Bras de levier :

$$d_1 = \frac{L}{2} - \frac{d}{2} = \frac{26}{2} - \frac{4}{2} = 11{,}00 \ m$$

$$d_2 = \frac{L}{2} - \frac{1}{3}(2d + L) = \frac{26}{2} - \frac{1}{3}(2 \cdot 4 + 26) = 1{,}67 \ m$$

Poussées de l'eau :

$P_{H1} = \frac{1}{2} W \varpi H_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 9{,}81 \cdot 34^2 = 5670{,}180\ KN$ Bras de levier :

$d_3 = \frac{1}{3} H_1 = \frac{1}{3} \cdot 34 = 11{,}333\ m$

Sous pressions :

$S = \frac{1}{2} \cdot W \cdot \varpi \cdot H_1 \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 9{,}81 \cdot 34 \cdot 26 = 4336{,}020\ KN$ Bras de levier :

$d_4 = \frac{L}{2} - \frac{L}{3} = 4{,}333\ m$

2°)

$S_g = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} = 0{,}975$ **avec:** $\sum V = G_1 + G_2 - S = 7671{,}420\ \ KN$

$$\sum H = P_{H1} = 5670{,}180\ KN$$

3°)

$$\sum \mathrm{M_{St}} = \mathrm{G_1} * 24.0 + \mathrm{G_2} * 14.67 = 139386.366\ \mathrm{KN.m}$$

$$\sum \mathrm{M_{DS}} = \mathrm{S} * 17.33 + \mathrm{P_{H1}} * 11.33 = 206023.656\ \mathrm{KN.m}$$

$$\mathrm{S_r} = \frac{\sum \mathrm{M_{St}}}{\sum \mathrm{M_{Ds}}} = 1.478$$

4°)

$$\sum M = M = G_1 \cdot d_1 + G_2 \cdot d_2 - P_{H1} \cdot \frac{H_1}{3} - S \cdot (\frac{L}{2} - \frac{L}{3}) = 33153{,}876\ KN - m$$

$U = \frac{M}{N} = 4{,}322\ m$

$\sigma_{aval}^{amont} = \frac{N}{A}(1 \mp \frac{6 \cdot U}{A})$ $\sigma_{amont} = 0{,}789\ KPa$ $\sigma_{aval} = 589{,}32\ KPa$

EX 7 :

Le débit maximal à évacuer par un déversoir standard est **$Q = 200\ m^3/s$**. quelle est la largeur **B** du déversoir, en admettant que la hauteur d'eau maximale au dessus de la crête est **2 m**, et si deux piliers **($K_p = 0,025$)** d'une largeur **b = 1m** divisent le déversoir en trois passes identiques ?

Solution :

Afin d'éviter l'apparition d'une cavitation, la **Fig. 5-12** permet de choisir le rapport

$H/H_d = 1,7$

Donc la hauteur de dimensionnement est : $H_d = \frac{2}{1,7} = 1,18 \simeq 1,20$ m

La **Fig. 5-11** donne $C_d = 0,525$

L'équation **5-1** donne la largeur totale effective du déversoir, soit :

$$B_{e,tot} = Q/(C_d \cdot (2 \cdot g \cdot H^3)^{1/2}) = \frac{200}{[0,525 \cdot (2 \cdot 9,81 \cdot 2^3)^{1/2}]} = 30,4 \text{ m}$$

Pour une passe du déversoir on aura :

$$B_e = \frac{B_{e,tot}}{3} \simeq 10,15 \text{ m}$$

L'équation **5-3** donne la largeur géométrique entre deux piliers suivante :

$$B = B_e + 2 \cdot K_p \cdot H = 10,15 + 2 \cdot 0,025 \cdot 2 = 10,25 \text{ m}$$

La largeur totale du déversoir serait :

$$B_{tot} = 3 \cdot 10,25 + 2 \cdot 1 = 32,75 \text{ m}$$

La géométrie du déversoir est déterminée à partir de la **figure 5-13** et **tableau 5-1**.

EX 8 :

Un dessableur situé à l'aval de la prise d'eau de débit équipé **Q_e = 1 m^3/s**. Il doit permettre la décantation des matériaux de diamètre **d > 0.2 mm** (grains de sable). La situation topographique permet de le construire avec une profondeur maximale de décantation de **h = 3 m**.

En admettant une vitesse de translation dans le dessableur de **Vt = 0.18 m/s**, calculez les dimensions principales nécessaires de ce dessableur.

Quelle est la vitesse critique de translation dans le dessableur si **k = 60 $m^{1/3}$ s^{-1}** ? La comparé avec la vitesse horizontale admise pour le calcul **(Vt = 0.18 m/s).**

Solution :

1. Dimensionnement du dessableur

d : diamètre du grain de dimensionnement, **d = 0.2 mm**

h : profondeur du dessableur, **h = 3.0 m**

Vt : vitesse de translation maximale dans le dessableur, **Vt = 0.18 m/s**

- Largeur du dessableur, B :

$$B = \frac{Q}{V_t \cdot h} = 1.85 \text{ m}$$

- ·Longueur du dessableur L

$$L \geq \frac{Q}{V_D \cdot B}$$

Avec :

V_d : Vitesse de décantation dans l'eau agitée

Pour déterminer V_{d0}, la vitesse de décantation en eau calme, en pratique on utilise la formule de Zanke :

$$V_{D0} = \frac{100}{9 \cdot d}\left(\sqrt{1 + 1{,}57 \cdot 10^2 \cdot d^3} - 1\right)$$

V_{d0} = 27.9 mm/s = 0.0279 m/s pour d = 0.2 mm

$$V_D = V_{D0} - \alpha \cdot V_T \;\; \geq 0$$

Avec :

α : facteur de réduction

et $\alpha = \frac{0.132}{\sqrt{h}} = 0.0076$ avec $B \leq 2\ h = 6$ m

donc :

$V_D = 0.014$ m/s

Et avec : $L \geq Q/(V_D \cdot B)$

$L \geq 38.6$ m

Contrôle de la largeur maximale: $B = 1.85\ m \leq L/8 = 4.72$ m

2. Vitesse critique

La vitesse critique de translation est obtenue par la théorie du charriage en utilisant la condition pour le début de mouvement. On aura :

$$V_{cr} = k \cdot R^{1/6} \left[0.03 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right) d\right]^{1/2}$$

Avec :

$\theta_{cr} = 0.03$ et $\frac{\rho_s}{\rho} = 2.65$ on aura :

$$V_{cr} = 13.35 * R_h^{1/6} * d^{1/2} = 13.35 * (\frac{B \cdot h}{B + 2 \cdot h})^{1/6} * 0.0002^{1/2}$$

$V_{cr} = 0.178$ m/s << V_t $\rightarrow$ les dimensions proposées sont acceptables