République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès
Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Filière Hydraulique	Concours de Doctorat 2020/2021	Options :
	03/04/2021	Hydraulique Urbaine Ouvrages Hydrauliques Ressources en Eaux
Epreuve 1 : Hydraulique Générale		Durée : 1H30

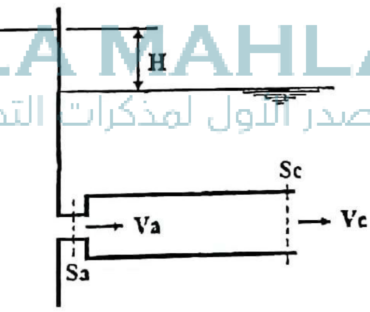
EXERCICE 01: (7pts)

Pour augmenter le débit d'un ajutage de section S_a et de coefficient de contraction unité pratiqué sur la paroi commune de deux réservoirs communiquant, on lui ajoute une conduite de section $S_C = n\ S_a$ assez longue pour obtenir le recollement du fluide avant la sortie (voir fig. ci-dessous).

En admettant que les seules pertes de charge sont dues uniquement aux deux élargissements brusques (entrée et sortie de la conduite additionnelle), calculer la valeur de "n" donnant le débit maximal.

N.B : Lorsque la section S_1 d'une conduite s'élargit brusquement à S_2, le coefficient de perte de charge locale se calcule par l'expression :

$$\xi_r = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2$$



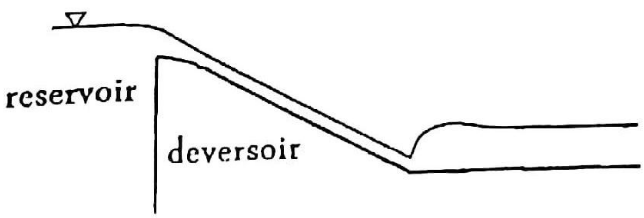
EXERCICE 02: (7pts)

Un déversoir sous forme d'un canal rectangulaire de largeur L=4 m et de pente 1/20. Le coefficient de Manning égale à 0.012 $s/m^{-1/3}$. Apres une crue, la lame déversée au dessus de la crête atteint 0.5m.

1. En supposant un régime critique à la crête du déversoir, calculer le débit.
2. Calculer la profondeur normale dans le canal déversoir et déduire le régime d'écoulement.

Le déversoir mène à un canal de même section et de même rugosité mais de pente 1/1000.

3. Calculer la profondeur normale dans le canal aval et déduire le régime d'écoulement.



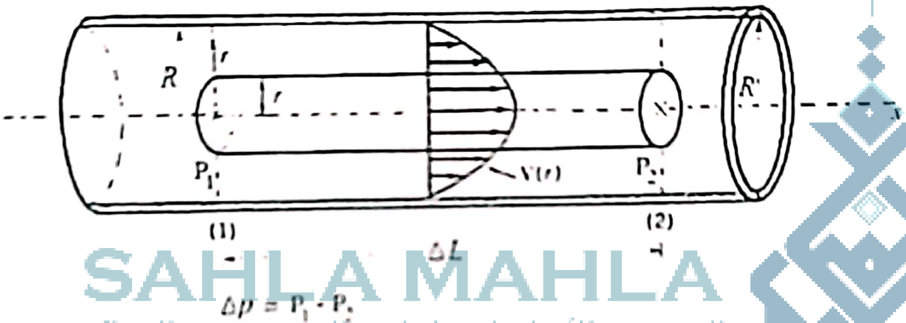
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès
Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Filière Hydraulique	Concours de Doctorat 2020/2021 03/04/2021	Options. Hydraulique Urbaine Ouvrages Hydrauliques Ressources en Eaux

Epreuve 1 . Hydraulique Générale	Durée. 1H30

EXERCICE 03: (6pts)

On considère l'écoulement, d'un fluide incompressible et visqueux dans une conduite cylindrique horizontale de rayon R en régime stationnaire. (voir la Figure ci-dessous). La masse volumique du fluide, supposé Newtonien, est ρ et sa viscosité dynamique est μ. On suppose que l'écoulement, induit par les forces de pressions et visqueuses, est laminaire et entièrement développé. Les pressions sont uniformes le long des lignes (1) et (2).



En développant les calculs pour un élément (voir Figure) de rayon r et de longueur ΔL, trouvez en fonction de Δp et ΔL :

1- l'expression réduite du profil des vitesses $V(r)$.
2- l'expression réduite de la contrainte de cisaillement (due au frottement visqueux) τ à une distance $r=0.5R$ du centre de la conduite.
3- l'expression réduite de la vitesse moyenne Vmoy à travers la conduite.
4- si le coefficient de frottement de surface est défini comme

$$C_f = \frac{\tau_w}{0.5\rho V_{moy}^2}$$

tel que τ_w est la contrainte de cisaillement à la paroi de la conduite, trouvez l'expression réduite de C_f en fonction du nombre de Reynolds

Notes :

1- La contrainte de cisaillement est définie comme $\tau = -\mu \frac{dV(r)}{dr}$

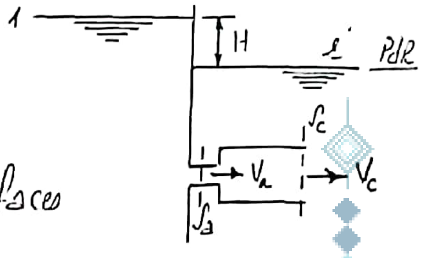
2- Le nombre de Reynolds de l'écoulement est défini comme $Re = \frac{\rho V_{moy} D}{\mu} = \frac{\rho V_{moy}(2R)}{\mu}$.

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes
Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Filière.	Concours de Doctorat 2020/2021	Option.
Hydraulique	03/04/2021	Hydraulique Urbaine Ouvrages Hydrauliques Ressources en Eaux

Epreuve 1 . Hydraulique Générale	Corrigé type & Barème

Exercice 1 (7pts)



Exo. n°2 (Solution)

En appliquant l'équation de BERNOULLI entre les 2 surfaces libres (1 et 2), on obtient :

$$\boxed{\frac{P_1^{eff}}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2^{eff}}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \Delta H_{1-2}}$$ (01)

$P_1^{eff} = P_2^{eff} = 0$ (Liquide en contact avec l'atmosphère)

$\left.\begin{array}{l} V_1 \simeq 0 \\ V_2 \simeq 0 \end{array}\right\}$ Réservoirs supposés de grandes dimensions

$z_1 = H$ et $z_2 = 0$; $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.

ΔH_{1-2} - Perte de charge totale (somme des 2 pertes de charge locales dues aux élargissements brusques à l'entrée et à la sortie de la conduite additionnelle)

Ainsi, l'éq. de BERNOULLI simplifiée s'écrit :

$$\boxed{H = \Delta H_{1-2} = \zeta_a \frac{V_a^2}{2g} + \zeta_c \frac{V_c^2}{2g}}$$ (01)

tel que : $\zeta_a = \left(1 - \frac{S_a}{S_c}\right)^2 = \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2$

avec $n = \frac{S_c}{S_a}$

Filière. Hydraulique	Concours de Doctorat 2020/2021 — 03/04/2021	Option. Hydraulique Urbaine, Ouvrages Hydrauliques, Ressources en Eaux

Epreuve 1 . Hydraulique Générale	Corrigé type & Barème

$\frac{\varsigma}{\varsigma_c} = 1$ (La section du réservoir est supposée être assez large devant la section de la conduite).

En outre, l'équation de continuité permet d'écrire :

$$V_a S_a = V_c S_c \Rightarrow \boxed{V_c = V_a \cdot \frac{S_a}{S_c} = \frac{V_a}{n}} \quad 01$$

En remplaçant V_c par $\frac{V_a}{n}$; l'expression de la perte de charge ΔH_{1-2}, équivalente à la hauteur de chute H devient :

$$01 \quad \boxed{H = \Delta H_{1-2} = \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2 \cdot \frac{V_a^2}{2g} + \frac{V_a^2}{n^2} = \frac{V_a^2}{2g}\left[\left(1-\frac{1}{n}\right)^2 + \frac{1}{n^2}\right]}$$

Le débit sera maximal si ΔH_{1-2} est minimale, c.à.d. si l'expression entre crochets est minimale.

$$\left(1 - \frac{1}{n}\right)^2 + \frac{1}{n^2} = \frac{n^2 - 2n + 2}{n^2}$$

La valeur de "n" pour laquelle le rapport $\frac{n^2-2n+2}{n^2}$ est minimale s'obtient en recherchant les zéros de sa dérivée (dérivée du rapport $\frac{n^2-2n+2}{n^2}$).

Ainsi $\left(\frac{n^2-2n+2}{n^2}\right)' = \frac{2n^2 - 4n}{n^4} = \frac{2(n-2)}{n^3} = 0$

$\Rightarrow \boxed{n = 2}$ 03

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes
Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Filière: Hydraulique	Concours de Doctorat 2020/2021 03/04/2021	Option: Hydraulique Urbaine Ouvrages Hydrauliques Ressources en Eaux

Epreuve 1 : Hydraulique Générale	Corrigé type & Barème

Exercice 2 (7pts)

EX02

(1) Calcul du débit

Pour un regime critique on a

$$H = \frac{3}{2} h_c$$

$$\Rightarrow \quad h_c = \frac{2}{3} H = \frac{2}{3} \times 0.5 = 0.3333 \text{ m} \quad \textbf{(1pts)}$$

et on a aussi

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$$

$$\Rightarrow \quad q = g^{1/2} h_c^{3/2} = 9.81^{1/2} \times 0.3333^{3/2} = 0.6027 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$\Rightarrow \quad Q = qb = 0.6027 \times 4 \ \boxed{= 2.411 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}} \quad \textbf{(1pts)}$$

(3) Calcul de la profondeur normale (canal aval)

$S = 0.001$

$$h = \left(\frac{nQ}{b\sqrt{S}}\right)^{3/5} (1 + 2h/b)^{2/5}$$

$h = 0.4127(1 + 0.5h)^{2/5}$ **(1pts)**

l'iteration donne $\boxed{h_n = 0.4474 \text{ m}}$ **(1pts)**

$h_n > h_c \Rightarrow$ régime fluvial **(0.5pts)**

(2) Calcul de la profondeur normale (déversoir)

$b = 4$ m
$S = 0.05$
$n = 0.012 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
$Q = 2.411 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

$Q = VA$

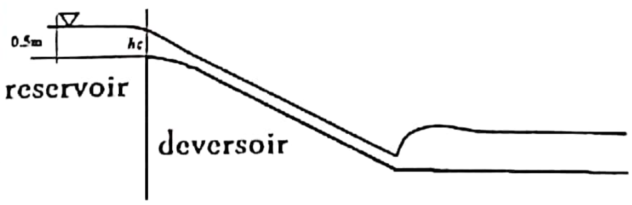
$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}, \quad A = bh, \quad R_h = \frac{bh}{b + 2h} = \frac{h}{1 + 2h/b}$$

$$Q = \frac{1}{n} \frac{bh^{5/3}}{(1 + 2h/b)^{2/3}} S^{1/2}$$

$$h = \left(\frac{nQ}{b\sqrt{S}}\right)^{3/5} (1 + 2h/b)^{2/5} \quad \text{où} \quad h = 0.1276(1 + 0.5h)^{2/5} \quad \textbf{(1pts)}$$

l'iteration donne $\boxed{h_n = 0.1309 \text{ m}}$ **(1pts)**

$h_n < h_c \Rightarrow$ régime torrentiel **(0.5pts)**

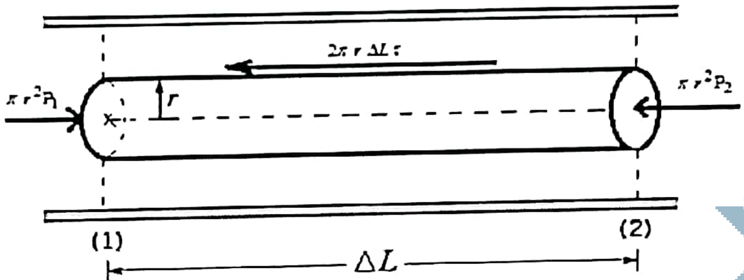


Filière. Hydraulique	Concours de Doctorat 2020/2021	Option. Hydraulique Urbaine, Ouvrages Hydrauliques, Ressources en Eaux
	03/04/2021	

Epreuve 1 . Hydraulique Générale	Corrigé type & Barème

Exercice 3 (6pts)

1 Si on prend un élément de fluide de rayon r et de longueur ΔL (voir Figure) et on prend suivant l'axe x le budget des forces de pressions et visqueuses on aura :



$$\Delta p = P_1 - P_2$$

$$F_{(P1)} - F_{(P2)} - F_{(\tau)} = 0$$

$$\pi\, r^2 P_1 - \pi\, r^2 P_2 - 2\pi\, r\, \Delta L \tau = 0$$

$$r \cdot (P_1 - P_2) - 2\Delta L \cdot \tau = 0$$

$$\Rightarrow \frac{(P_1 - P_2)}{\Delta L} = \frac{2\tau}{r}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta p}{\Delta L} = \frac{2\,\tau}{r}$$

$$\tau = -\mu \frac{dV(r)}{dr}$$

$$\frac{dV(r)}{dr} = -\frac{\tau}{\mu}$$

$$\frac{dV(r)}{dr} = -\frac{1}{2\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right) \cdot r$$

En intégrant, on obtient :

$$V(r) = -\frac{1}{4\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right) \cdot r^2 + C_1$$

La constante C_1 est déduite en posant que pour un fluide visqueux, la vitesse est nulle à la paroi, telle que pour $r = R$, $V(R)=0$. En remplaçant :

$$C_1 = \frac{1}{4\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right) \cdot R^2$$

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes
Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Filière. Hydraulique	Concours de Doctorat 2020/2021	Option. Hydraulique Urbaine, Ouvrages Hydrauliques, Ressources en Eaux
	03/04/2021	

Epreuve 1 . Hydraulique Générale	Corrigé type & Barème

$$\boxed{\Rightarrow V(r)=\frac{1}{4\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)\cdot(R^2-r^2)=\frac{R^2}{4\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)\cdot\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right]}$$ **1.5 Points**

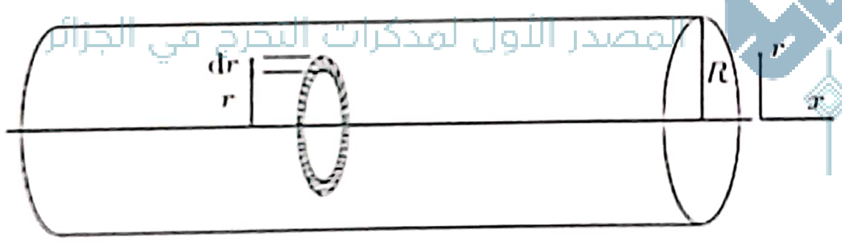
2 La contrainte de cisaillement à $r=0.5R$ est :

$$\tau\big|_{r=0.5R}=-\mu\frac{dV(r)}{dr}\bigg|_{r=0.5R}=-\mu\frac{R^2}{4\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)\cdot\left(-\frac{2r}{R^2}\right)\bigg|_{r=0.5R}$$

$$\tau\big|_{r=0.5R}=-\mu\frac{R^2}{4\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)\cdot\left(-\frac{2.(0.5R)}{R^2}\right)$$

$$\boxed{\Rightarrow \tau\big|_{r=0.5R}=\frac{R}{4}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)}$$ **1.5 Points**

3 Le débit volumique est obtenu par intégration du profile des vitesses à travers la conduite sur un élément de surface $dA=2\pi\, r.dr$ (voir Figure) :



$$Q=\int_A V(r).dA=\int_0^R V(r).2\pi\, r.dr \quad Q=2\pi\frac{R^2}{4\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)\cdot\int_0^R\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right].r.dr=2\pi\frac{R^2}{4\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)\cdot\left[\frac{r^2}{2}-\frac{r^4}{4R^2}\right]_0^R$$

$$Q=2\pi\frac{R^2}{4\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)\cdot\left[\frac{R^2}{2}-\frac{R^4}{4R^2}\right]=2\pi\frac{R^2}{4\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)\cdot\left[\frac{R^2}{4}\right]=\frac{2\pi R^4}{4}\frac{1}{4\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)$$

$$Q=\frac{\pi R^4}{8\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)$$

Par définition

$$V_{moy}=\frac{Q}{A}=\frac{Q}{\pi R^2}$$

$$\boxed{V_{moy}=\frac{R^2}{8\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)}$$ **1.5 Points**

4 Le coefficient de frottement de surface est :

$$C_f = \frac{\tau_w}{0.5\rho V_{moy}^2} = \frac{\tau_w}{0.5\rho V_{moy} \cdot V_{moy}}$$

On a déjà vu que :

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = \frac{2\tau}{r}$$

A la paroi de la conduite ($r = R$) :

$$\Rightarrow \tau_w = \frac{R}{2}\frac{\Delta p}{\Delta L}$$

$$\Rightarrow C_f = \frac{\frac{R}{2}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)}{\frac{1}{2}\rho V_{moy} \cdot \frac{R^2}{8\mu}\left(\frac{\Delta p}{\Delta L}\right)} = \frac{1}{\rho V_{moy} \cdot \frac{R}{8\mu}} = \frac{1}{\rho V_{moy} \frac{2R}{16\mu}} = \frac{16}{\frac{\rho V_{moy}(2R)}{\mu}}$$

Sachant que le nombre de Reynolds est définit comme :

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V_{moy} D}{\mu} = \frac{\rho V_{moy}(2R)}{\mu}$$

$$\boxed{\Rightarrow C_f = \frac{16}{\mathrm{Re}}}$$ **1.5 Points**

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes
Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Filière Hydraulique	Concours de Doctorat 2020/2021	Options: Hydraulique Urbaine, Ouvrages Hydrauliques, Ressources en Eaux
	03/04/2021	

Epreuve 2 : Analyse et Modélisation Hydrologique	Durée: 2H00

Exercice 1 : 7 points

1. $P(z)=\int_{-\infty}^{0} f(z)dz=$?
2. $Si\ FND(z=1) == 0.84$; $\int_{z}^{+\infty} f(z)dz =?$
3. $\int_{-\infty}^{-1.96} f(z)\,dz + \int_{1.96}^{+\infty} f(z)dz ==?$ (FND(1.96)=0.975)
4. $moyenne(Pi) = 680\ mm$; $ecart\_type(Pi) = 30\ mm$; $N = 60$ l'échantillon suit une loi Gauss
   FND(650mm<P< 740mm) == ? ; [FD(z=2) = 0.0228 ; FD(z=1) = 0.1587]
5. Si $moyenne(Pi) = 583.1\ mm$; $ecart\_type\ (Pi) = 155.3\ mm$; $N = 60$ l'échantillon suit une loi Gumbel calculer :
   a. FND(P< 500mm)
   b. Période de retour de P= 700 mm
   c. P_{20ans} = ?

Exercice 2 (7pts): Analyse statistique de la série des débits maximaux enregistrés par une station hydrométrique montre que cette série suit la distribution de la loi de Gumbel.

1. Calculer les paramètres de la loi de Gumbel (a et b) en appliquant la méthode des moments
2. Donner l'équation linéaire de la loi de Gumbel
3. Calculer les variables réduites de Gumbel correspondantes aux périodes de retours : 10 ans, 50 ans et 100 ans
4. Calculer les quantiles de ces périodes

Données : Moyenne= 113.3 m^3/s et Ecart type= 65.16 m^3/s

Exercice 3 (6 points):

Le tableau ci-dessous donne les séries temporelles de pluies et débits d'un bassin versant A.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes
Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Filière,	Concours de Doctoral 2020/2021	Options,
Hydraulique	03/04/2021	Hydraulique Urbaine Ouvrages Hydrauliques Ressources en Eaux

Epreuve 2 , Analyse et Modélisation Hydrologique	Durée, 2H00

Année	Pluie (mm)	Débit (mm)	Mois	Pluie (mm)	Débit (mm)
1976	518,86	88,36	1989	673,71	135,37
1977	921,79	228,49	1990	771,58	129,03
1978	822,20	280,55	1991	642,80	150,85
1979	946,27	286,11	1992	757,96	144,94
1980	820,32	236,08	1993	840,56	163,67
1981	1037,36	334,64	1994	921,69	290,28
1982	858,45	288,07	1995	907,16	310,73
1983	836,03	311,17	1996	~~695,58~~	
1984	894,43	218,59	1997	798,51	171,97
1985	633,10	171,21	1998	~~818,42~~	
1986	879,91	209,63	1999	997,26	277,85
1987	882,09	240,45	2000	~~986,73~~	
1988	949,52	314,87	2001	1069,79	378,67

1) Déterminer les coefficients de la droite de régression par les formules statistiques.
2) Calculer le coefficient de corrélation R.
3) Commentez les résultats obtenus uniquement par la mention « satisfaisant » ou « non satisfaisant ».

   a/ Dans le cas « satisfaisant », estimez les débits manquants dans le tableau.

   b/ Dans le cas « non satisfaisant » donnez une conclusion.

4) En supposons que les débits réels observés sont :

   Q_{1996}=164.68 mm Q_{1998}= 212.31 mm Q_{2000} =321.19 mm

   Calculer l'erreur relative par rapport aux trois débits estimés à la question 3) a/.

Correction du sujet choisi pour l'épreuve Analyse et Modélisation Hydrologique

Concours Formation doctorale 3ème cycle hydraulique 2020/2021

Exercice 1 : (7 pts)

1. $P(z)=\int_{-\infty}^{0} f(z)\,dz=$ **0.5 ou 50%** (1pts)
2. $si\ PND(z=1) == 0.84\ ;\ \int_{z}^{\infty} f(z) =?$ = 1-0.84 = **0.16 ou 16%** (1pts)
3. $\int_{-\infty}^{-1.96} f(z) + \int_{-1.96}^{+\infty} f(z) ==?$ = **0.05 ou 5%** (1pts)
4. PND(650mm<P< 740mm) == **0.8185 ou 81.87%** (1pts)
5.
   a. FND(P< 500mm) = **32.78%** (1pts)
   b. Période de retour de P= 700 mm= **80.72%** (1pts)
   c. P_{20ans} = **873 mm** (1pts)

Exercice 2 : (7pts)

1. Les paramètres de la loi de Gumbel (a et b)

$$b = \frac{\sqrt{6}}{\pi}.\sigma = \frac{\sqrt{6}}{\pi}.65.16 = 50.83$$ (1pts)

$$a = \mu - b.\gamma = 113.3 - 50.83 \times 0.5772 = 83.96$$ (1pts)

2. L'équation linéaire de la loi de Gumbel

$$x_q = a + bu_q = 83.96 + 50.83 \times u_q$$ (0.5pts)

3. Les variables réduites de Gumbel correspondant à ces périodes

- Pour T=10ans=>u= -ln(-ln(0.9))=2.25 (0.5pts)
- Pour T=50ans=> u= -ln(-ln(0.98))=3.9 (0.5pts
- Pour T=100ans=>u= -ln(-ln(0.99))=4.6 (0.5pts)

4. Estimer les quantiles de ces périodes

- Pour T=10ans=>Q_T= 83.96+50.83×2.25=198.33 m^3/s (1pts)
- Pour T=50ans=> Q_T= 83.96+50.83×3.9=282.2 m^3/s (1pts)
- Pour T=100ans=>Q_T= 83.96+50.83×4.6=317.8 m^3/s (1pts)

Exercice 3: (6pts)

CORRIGE TYPE

Exercice n°3 :(6 points)

1. (2 points)

La droite de régrésion $y = a \times x + b$

$$a = \frac{(N \times \sum_{i=1}^{N} x \times y) - (\sum_{i=1}^{N} x) \times (\sum_{i=1}^{N} y)}{(N \times \sum_{i=1}^{N} x^2) - (\sum_{i=1}^{N} x)^2}; \quad b = \frac{(\sum_{i=1}^{N} y) \times (\sum_{i=1}^{N} x^2) - (\sum_{i=1}^{N} x) \times (\sum_{i=1}^{N} x \times y)}{(N \times \sum_{i=1}^{N} x^2) - (\sum_{i=1}^{N} x)^2}$$

$\sum_{i=1}^{N} x = 16515{,}79$; $(\sum_{i=1}^{N} y) = 4536{,}72$; $\sum_{i=1}^{N} x \times y = 3892021{,}99$; $\sum x^2 = 13915917{,}63$; $(\sum_{i=1}^{N} x)^2 = 272771319{,}32$;

x:Pluviométrie; y:débits

$$a = \frac{(20 \times 3892021{,}99) - (16515{,}79 \times 4536{,}72)}{(20 \times 13915917{,}63) - 272771319{,}32} = 0.47 \quad \text{(1 points)}$$

$$b = \frac{(4536{,}72 \times 13915917{,}63) - (16515{,}79 \times 3892021{,}99)}{(20 \times 13915917{,}63 - 272771319{,}32)} = -164.49 \quad \text{(1 points)}$$

$$y = 0.47 \times x - 164.49$$

2 (1 points)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X - \overline{X}) \times (Y - \overline{Y})}{\left[\sum_{i=1}^{N}(X - \overline{X})^2 \times \sum_{i=1}^{N}(Y - \overline{Y})^2\right]^{0.5}}$$

$\overline{X} = 825{,}79$

$\overline{Y} = 226{,}84$

$$R = \frac{145646{,}71}{[307351{,}66 \times 104013{,}69]^{0.5}} = 0.815 \quad \text{(0.5points)}$$

Résultats satisfaisant (0.5points)

3 (1.5 points)

$$Q = 0.47 \bullet P - 164.49$$

$$Q_{1996} = 0.47 \bullet 695.58 - 164.49 = 162.43 \text{ mm (0.5points)}$$

$$Q_{1998} = 0.47 \bullet 818.42 - 164.49 = 220.16 \text{ mm (0.5points)}$$

$$Q_{2000} = 0.47 \bullet 986.73 - 164.49 = 299.27 \text{ mm (0.5points)}$$

4 (1.5 points)