

Exercice 1

CALCUL DES CARACTERISTIQUES DE L'ÉCOULEMENT

Soit un bassin versant d'une superficie de 5000 km² sur lequel une station pluviométrique représentative est implantée (Tableau 1.1). On demande de calculer :

1. La précipitation annuelle P_a et la précipitation interannuelle P_o

Sachant que le coefficient d'écoulement C_e de ce bassin versant est de 25%, calculer les caractéristiques de l'écoulement moyen, à savoir :

2. La lame d'eau écoulee annuelle I_a et interannuelle I_o
3. L'apport moyen annuel A_a et interannuel A_o
4. Le débit moyen annuel Q_a et interannuel Q_o .
5. Le débit spécifique (module spécifique) moyen annuel M_a et interannuel M_o

Données

Tableau 1.1. Précipitation mensuelle P_i (mm)

Mois Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
1975/76	33,9	2,5	56,4	52	60,6	16,9	30	29,4	36,3	14	0	1,1
1976/77	6,6	80,7	33,5	3,7	104,2	26	45,4	53,6	41,2	18,9	3,1	0
1977/78	2,9	38,5	25,3	32,4	47,3	62,5	61,2	25,8	4,3	8,8	0	0
1978/79	54,8	60,7	143,8	147,5	63,8	115,9	11,4	0,2	6	2,4	7,7	2,5
1979/80	34	9,3	85,9	117,6	46,8	35,6	68,8	55,8	11,9	4,5	0	4,1
1980/81	32,3	4,6	57,4	36,7	88,7	0	59,6	38,1	25,2	0	6,8	9,3
1981/82	1	20,7	39,7	104,8	62,8	69,9	50,7	29,2	22,5	0,3	0,2	2,9
1982/83	94,4	121,6	46,5	25,9	82,9	62	79,5	13,9	0,2	21,3	10	1,5
1983/84	0	5,9	76,1	81,8	0	65	17,7	52	9,2	1,3	0	3,3
1984/85	11,3	10,3	24,5	11,7	80,9	21,8	2	4,5	6,5	0	2	2
1985/86	50,5	14,7	45,8	39	33,5	128,8	64,3	158,9	0	18,6	1,4	11,1
1986/87	39,8	35,5	5,3	42,7	27,2	34,2	9,8	48,9	15,7	0	0,1	1,7
1987/88	12	30	87,4	38,1	14,3	32,8	29,1	42,7	131,2	0,2	0	4
1988/89	16,2	25,3	108,4	49,2	87,9	126,8	52,4	13,1	2,8	0,6	0	2,5
1989/90	25	13,3	197,6	268	15,2	2,3	28,6	16,7	17,7	1,6	0	2,1
1990/91	50,5	14,7	45,8	39	33,5	128,8	64,3	158,9	0	18,6	1,4	11,1
1991/92	39,8	35,5	5,3	42,7	27,2	34,2	9,8	48,9	15,7	0	0,1	1,7
1992/93	12	30	87,4	38,1	14,3	32,8	29,1	42,7	131,2	0,2	0	4
1993/94	50,5	14,7	45,8	39	33,5	128,8	64,3	158,9	0	18,6	1,4	11,1
1994/95	25	13,3	197,6	268	15,2	2,3	28,6	16,7	17,7	1,6	0	2,1

Corrigé :

Avant de faire les calculs, définissons les termes utilisés. Ces derniers sont présentés dans le tableau 1.2.

Tableau 1.2. Terminologie

P_i	Précipitation enregistrée par un pluviomètre au niveau de la station pluviométrique	mm
P_a	Précipitation enregistrée pendant l'année (Somme des précipitations journalières ou mensuelles)	mm
P_o	Précipitations annuelles rapportée au nombre d'années d'observations	mm
I_a	Lame d'eau écoulée annuelle (mm).	
I_o	Lame d'eau écoulée moyenne interannuelle	mm
C_e	Coefficient d'écoulement représente la lame d'eau écoulée I _o rapportée à la précipitation durant la même période d'observations.	%
A_a	Apport annuel représente la lame d'eau écoulée multipliée la surface du bassin (I _a . S) pendant une année	m ³
A_o	Apport moyen interannuel représentant la lame d'eau écoulée multiplié par la surface (I _o . S) rapporté au nombre d'années d'observations	m ³
Q_a	Débit moyen annuel représentant l'apport annuel rapporté à l'unité de temps en seconde (journalier, mensuel ou annuel)	m ³ /s
Q_o	Débit moyen interannuel représentant le débit moyen annuel rapportée au nombre d'année d'observations	m ³ /s
M_a	Module spécifique moyen annuel représente le débit moyen annuel rapporté à la surface du bassin	l/s.Km ²
M_o	Module spécifique moyen interannuel représente le débit moyen annuel rapporté à la surface du bassin	l/s.Km ²

1. Précipitations annuelle P_a et interannuelle P_o (mm)

La précipitation annuelle **P_a** est la somme des précipitations mensuelles (ou journalières) enregistrées à une station pluviométrique (Tableau 1.3).

$$\mathbf{P_a} = \sum_{i=1}^{12} \mathbf{P_i} \quad (1.1)$$

La précipitation interannuelle **P_o** est la somme des précipitations annuelles rapportée au nombre d'année d'observations **n** (Tableau 1.3).

$$\mathbf{P_o} = \frac{\sum_{i=1}^n \mathbf{P_a}}{n} \quad (1.2)$$

2. Lame d'eau écoulée annuelle l_a et interannuelle l_a (mm)

La lame d'eau écoulée annuelle l_a ou interannuelle l_o est calculée en tenant compte du coefficient d'écoulement C_e . Celui-ci correspondant à la lame d'eau écoulée rapportée à la lame d'eau précipitée (Tableau 1.4) pour la même période d'observation.

$$C_e = \frac{l_i}{P_i} \quad \text{soit} \quad l_i = C_e \cdot P_i \quad (1.3)$$

$$\text{Donc,} \quad l_a = C_e \cdot P_a \quad \text{et} \quad l_o = \frac{\sum_{i=1}^n l_a}{n} \quad (1.4)$$

3. Apport annuel A_a et moyen interannuel A_o (Mm^3)

L'apport annuel A_a représente le volume apporté par un bassin versant durant une année T en seconde et A_o est la somme des apports annuels rapportée au nombre d'années d'observation. C'est la lame d'eau écoulée correspondante multiplié par la surface du bassin versant S (Tableau 1.5).

$$A_i = l_i \cdot S \quad (1.5)$$

$$\text{Donc} \quad A_a = \sum_{i=1}^{12} A_i \quad \text{et} \quad A_o = \frac{\sum_{i=1}^n A_a}{n} \quad (1.6)$$

4. Débit annuel moyen Q_a et interannuel Q_o (m^3/s)

Il est calculé à partir des apports rapportés à l'unité de temps en seconde. Il peut être calculé respectivement pour une année Q_a ou sur une période d'observations n soit Q_o . (Tableau 1.6).

$$Q_i = \frac{A_i}{T} \quad (1.7)$$

$$\text{Et,} \quad T \text{ (une année en secondes)} = 31,536 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$\text{Donc,} \quad Q_a = \frac{A_o}{T} \quad \text{et} \quad Q_o = \frac{\sum_{i=1}^n Q_a}{n} \quad (1.8)$$

5. Débit spécifique moyen annuel M_a et interannuel M_o (l/s/km²)

Le débit spécifique moyen annuel M_a ou interannuel M_o représente respectivement le débit moyen annuel ou le débit moyen interannuel rapporté à la surface du bassin S (km²) (Tableau 1.7).

$$M_i = \frac{Q_i}{S} \quad (1.9)$$

$$\text{Donc, } M_a = \frac{Q_a}{S} \quad \text{et} \quad M_o = \frac{\sum_{i=1}^n M_a}{n} \quad (1.10)$$

Les caractéristiques moyennes interannuelles calculées sont reportées dans le tableau suivant.

Récapitulatif : Caractéristiques moyennes interannuelles

$P_o = 434,48$ mm	$A_o = 543,09$ Mm³
$l_o = 108,62$ mm	$Q_o = 17,29$ m³/s
$M_o = 3,46$ l/s/Km²	

Tableau 1.3. Précipitations annuelle P_a et interannuelle P_o (mm)

Mois Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	P_a
1975/76	33,90	2,50	56,40	52,00	60,60	16,90	30,00	29,40	36,30	14,00	0,00	1,10	333,10
1976/77	6,60	80,70	33,50	3,70	104,20	26,00	45,40	53,60	41,20	18,90	3,10	0,00	416,90
1977/78	2,90	38,50	25,30	32,40	47,30	62,50	61,20	25,80	4,30	8,80	0,00	0,00	309,00
1978/79	54,80	60,70	143,80	147,50	63,80	115,90	11,40	0,20	6,00	2,40	7,70	2,50	616,70
1979/80	34,00	9,30	85,90	117,60	46,80	35,60	68,80	55,80	11,90	4,50	0,00	4,10	474,30
1980/81	32,30	4,60	57,40	36,70	88,70	0,00	59,60	38,10	25,20	0,00	6,80	9,30	358,70
1981/82	1,00	20,70	39,70	104,80	62,80	69,90	50,70	29,20	22,50	0,30	0,20	2,90	404,70
1982/83	94,40	121,60	46,50	25,90	82,90	62,00	79,50	13,90	0,20	21,30	10,00	1,50	559,70
1983/84	0,00	5,90	76,10	81,80	0,00	65,00	17,70	52,00	9,20	1,30	0,00	3,30	312,30
1984/85	11,30	10,30	24,50	11,70	80,90	21,80	2,00	4,50	6,50	0,00	2,00	2,00	177,50
1985/86	50,50	14,70	45,80	39,00	33,50	128,80	64,30	158,90	0,00	18,60	1,40	11,10	566,60
1986/87	39,80	35,50	5,30	42,70	27,20	34,20	9,80	48,90	15,70	0,00	0,10	1,70	260,90
1987/88	12,00	30,00	87,40	38,10	14,30	32,80	29,10	42,70	131,20	0,20	0,00	4,00	421,80
1988/89	16,20	25,30	108,40	49,20	87,90	126,80	52,40	13,10	2,80	0,60	0,00	2,50	485,20
1989/90	25,00	13,30	197,60	268,00	15,20	2,30	28,60	16,70	17,70	1,60	0,00	2,10	588,10
1990/91	50,50	14,70	45,80	39,00	33,50	128,80	64,30	158,90	0,00	18,60	1,40	11,10	566,60
1991/92	39,80	35,50	5,30	42,70	27,20	34,20	9,80	48,90	15,70	0,00	0,10	1,70	260,90
1992/93	12,00	30,00	87,40	38,10	14,30	32,80	29,10	42,70	131,20	0,20	0,00	4,00	421,80
1993/94	50,50	14,70	45,80	39,00	33,50	128,80	64,30	158,90	0,00	18,60	1,40	11,10	566,60
1994/95	25,00	13,30	197,60	268,00	15,20	2,30	28,60	16,70	17,70	1,60	0,00	2,10	588,10
P_o	29,63	29,09	70,78	73,90	46,99	56,37	40,33	50,45	24,77	6,58	1,71	3,91	434,48

Tableau 1.4. Lames d'eau écoulee annuelle I_a et interannuelle I_o (mm)

Mois Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	I_a
1975/76	8,48	0,63	14,10	13,00	15,15	4,23	7,50	7,35	9,08	3,50	0,00	0,28	83,28
1976/77	1,65	20,18	8,38	0,93	26,05	6,50	11,35	13,40	10,30	4,73	0,78	0,00	104,23
1977/78	0,73	9,63	6,33	8,10	11,83	15,63	15,30	6,45	1,08	2,20	0,00	0,00	77,25
1978/79	13,70	15,18	35,95	36,88	15,95	28,98	2,85	0,05	1,50	0,60	1,93	0,63	154,18
1979/80	8,50	2,33	21,48	29,40	11,70	8,90	17,20	13,95	2,98	1,13	0,00	1,03	118,58
1980/81	8,08	1,15	14,35	9,18	22,18	0,00	14,90	9,53	6,30	0,00	1,70	2,33	89,68
1981/82	0,25	5,18	9,93	26,20	15,70	17,48	12,68	7,30	5,63	0,08	0,05	0,73	101,18
1982/83	23,60	30,40	11,63	6,48	20,73	15,50	19,88	3,48	0,05	5,33	2,50	0,38	139,93
1983/84	0,00	1,48	19,03	20,45	0,00	16,25	4,43	13,00	2,30	0,33	0,00	0,83	78,08
1984/85	2,83	2,58	6,13	2,93	20,23	5,45	0,50	1,13	1,63	0,00	0,50	0,50	44,38
1985/86	12,63	3,68	11,45	9,75	8,38	32,20	16,08	39,73	0,00	4,65	0,35	2,78	141,65
1986/87	9,95	8,88	1,33	10,68	6,80	8,55	2,45	12,23	3,93	0,00	0,03	0,43	65,23
1987/88	3,00	7,50	21,85	9,53	3,58	8,20	7,28	10,68	32,80	0,05	0,00	1,00	105,45
1988/89	4,05	6,33	27,10	12,30	21,98	31,70	13,10	3,28	0,70	0,15	0,00	0,63	121,30
1989/90	6,25	3,33	49,40	67,00	3,80	0,58	7,15	4,18	4,43	0,40	0,00	0,53	147,03
1990/91	12,63	3,68	11,45	9,75	8,38	32,20	16,08	39,73	0,00	4,65	0,35	2,78	141,65
1991/92	9,95	8,88	1,33	10,68	6,80	8,55	2,45	12,23	3,93	0,00	0,03	0,43	65,23
1992/93	3,00	7,50	21,85	9,53	3,58	8,20	7,28	10,68	32,80	0,05	0,00	1,00	105,45
1993/94	12,63	3,68	11,45	9,75	8,38	32,20	16,08	39,73	0,00	4,65	0,35	2,78	141,65
1994/95	6,25	3,33	49,40	67,00	3,80	0,58	7,15	4,18	4,43	0,40	0,00	0,53	147,03
I_o	7,41	7,27	17,69	18,47	11,75	14,09	10,08	12,61	6,19	1,64	0,43	0,98	108,62

Tableau 1.5. Apports moyens annuel et interannuel (Mm³)

Mois Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	A _o Annuel
1975/76	42,38	3,13	70,50	65,00	75,75	21,13	37,50	36,75	45,38	17,50	0	1,375	416,38
1976/77	8,25	100,88	41,88	4,63	130,25	32,5	56,75	67,00	51,50	23,63	3,88	0	521,13
1977/78	3,63	48,13	31,63	40,50	59,13	78,13	76,5	32,25	5,38	11,00	0	0	386,25
1978/79	68,50	75,88	179,75	184,38	79,75	144,90	14,25	0,25	7,50	3,00	9,63	3,13	770,88
1979/80	42,50	11,63	107,38	147,00	58,50	44,5	86	69,75	14,875	5,63	0	5,13	592,88
1980/81	40,38	5,75	71,75	45,875	110,88	0	74,5	47,63	31,50	0	8,5	11,63	448,38
1981/82	1,25	25,88	49,63	131,00	78,5	87,38	63,38	36,5	28,125	0,38	0,25	3,63	505,88
1982/83	118,00	152,00	58,13	32,38	103,63	77,5	99,38	17,38	0,25	26,63	12,5	1,88	699,63
1983/84	0	7,38	95,13	102,25	0	81,25	22,13	65,00	11,50	1,63	0	4,13	390,38
1984/85	14,13	12,88	30,63	14,63	101,13	27,25	2,5	5,625	8,13	0	2,5	2,50	221,88
1985/86	63,13	18,38	57,25	48,75	41,88	161,00	80,38	198,60	0	23,25	1,75	13,88	708,25
1986/87	49,75	44,38	6,625	53,38	34	42,75	12,25	61,13	19,63	0	0,13	2,13	326,13
1987/88	15,00	37,50	109,25	47,625	17,88	41,00	36,38	53,38	164,00	0,25	0	5,00	527,25
1988/89	20,25	31,63	135,50	61,50	109,88	158,5	65,5	16,38	3,50	0,75	0	3,13	606,50
1989/90	31,25	16,63	247,00	335,00	19,00	2,875	35,75	20,88	22,13	2,00	0	2,63	735,13
1990/91	63,13	18,38	57,25	48,75	41,88	161,00	80,38	198,60	0	23,25	1,75	13,88	708,25
1991/92	49,75	44,375	6,63	53,375	34,00	42,75	12,25	61,13	19,63	0	0,13	2,13	326,13
1992/93	15,00	37,50	109,25	47,625	17,88	41,00	36,38	53,38	164,00	0,25	0	5,00	527,25
1993/94	63,13	18,38	57,25	48,75	41,88	161,00	80,38	198,6	0	23,25	1,75	13,88	708,25
1994/95	31,25	16,63	247,00	335,00	19,00	2,88	35,75	20,88	22,13	2,00	0	2,63	735,13
A_o	37,03	36,36	88,47	92,37	58,74	70,46	50,41	63,06	30,96	8,22	2,14	4,88	543,09

Tableau 1.6. Débits moyens annuel et interannuel (m³/s)

Mois Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Q _a
1975/76	15,82	1,21	27,20	24,27	28,28	8,43	14,00	14,18	16,94	6,75	0,00	0,51	13,13
1976/77	3,18	38,92	16,16	1,73	48,63	12,97	21,19	25,85	19,23	9,11	1,45	0,00	16,53
1977/78	1,40	18,57	12,20	15,12	22,07	31,18	28,56	12,44	2,01	4,24	0,00	0,00	12,32
1978/79	26,43	29,27	69,35	68,84	29,78	57,82	5,32	0,10	2,80	1,16	3,59	1,17	24,63
1979/80	16,40	4,48	41,43	54,88	21,84	17,76	32,11	26,91	5,55	2,17	0,00	1,91	18,79
1980/81	15,58	2,22	27,68	17,13	41,40	0,00	27,82	18,37	11,76	0,00	3,17	4,34	14,12
1981/82	0,48	9,98	19,15	48,91	29,31	34,87	23,66	14,08	10,50	0,14	0,09	1,35	16,04
1982/83	45,52	58,64	22,42	12,09	38,69	30,93	37,10	6,70	0,09	10,27	4,67	0,70	22,32
1983/84	0,00	2,85	36,70	38,18	0,00	32,43	8,26	25,08	4,29	0,63	0,00	1,54	12,50
1984/85	5,45	4,97	11,82	5,46	37,76	10,88	0,93	2,17	3,03	0,00	0,93	0,93	7,03
1985/86	24,35	7,09	22,09	18,20	15,63	64,26	30,01	76,63	0,00	8,97	0,65	5,18	22,76
1986/87	19,19	17,12	2,56	19,93	12,69	17,06	4,57	23,58	7,33	0,00	0,05	0,79	10,41
1987/88	5,79	14,47	42,15	17,78	6,67	16,36	13,58	20,59	61,23	0,10	0,00	1,87	16,72
1988/89	7,81	12,20	52,28	22,96	41,02	63,26	24,45	6,32	1,31	0,29	0,00	1,17	19,42
1989/90	12,06	6,41	95,29	125,07	7,09	1,15	13,35	8,05	8,26	0,77	0,00	0,98	23,21
1990/91	24,35	7,09	22,09	18,20	15,63	64,26	30,01	76,63	0,00	8,97	0,65	5,18	22,76
1991/92	19,19	17,12	2,56	19,93	12,69	17,06	4,57	23,58	7,33	0,00	0,05	0,79	10,41
1992/93	5,79	14,47	42,15	17,78	6,67	16,36	13,58	20,59	61,23	0,10	0,00	1,87	16,72
1993/94	24,35	7,09	22,09	18,20	15,63	64,26	30,01	76,63	0,00	8,97	0,65	5,18	22,76
1994/95	12,06	6,41	95,29	125,07	7,09	1,15	13,35	8,05	8,26	0,77	0,00	0,98	23,21
Q_o	14,26	14,03	34,13	34,49	21,93	28,12	18,82	24,33	11,56	3,17	0,80	1,82	17,29

Tableau 1.7. Modules spécifiques annuel et interannuel (l/s/Km²)

Mois Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	M _a
1975/76	3,16	0,24	5,44	4,85	5,66	1,69	2,80	2,84	3,39	1,35	0,00	0,10	2,63
1976/77	0,64	7,78	3,23	0,35	9,73	2,59	4,24	5,17	3,85	1,82	0,29	0,00	3,31
1977/78	0,28	3,71	2,44	3,02	4,41	6,24	5,71	2,49	0,40	0,85	0,00	0,00	2,46
1978/79	5,29	5,85	13,87	13,77	5,96	11,56	1,06	0,02	0,56	0,23	0,72	0,23	4,93
1979/80	3,28	0,90	8,29	10,98	4,37	3,55	6,42	5,38	1,11	0,43	0,00	0,38	3,76
1980/81	3,12	0,44	5,54	3,43	8,28	0,00	5,56	3,67	2,35	0,00	0,63	0,87	2,82
1981/82	0,10	2,00	3,83	9,78	5,86	6,97	4,73	2,82	2,10	0,03	0,02	0,27	3,21
1982/83	9,10	11,73	4,48	2,42	7,74	6,19	7,42	1,34	0,02	2,05	0,93	0,14	4,46
1983/84	0,00	0,57	7,34	7,64	0,00	6,49	1,65	5,02	0,86	0,13	0,00	0,31	2,50
1984/85	1,09	0,99	2,36	1,09	7,55	2,18	0,19	0,43	0,61	0,00	0,19	0,19	1,41
1985/86	4,87	1,42	4,42	3,64	3,13	12,85	6,00	15,33	0,00	1,79	0,13	1,04	4,55
1986/87	3,84	3,42	0,51	3,99	2,54	3,41	0,91	4,72	1,47	0,00	0,01	0,16	2,08
1987/88	1,16	2,89	8,43	3,56	1,33	3,27	2,72	4,12	12,25	0,02	0,00	0,37	3,34
1988/89	1,56	2,44	10,46	4,59	8,20	12,65	4,89	1,26	0,26	0,06	0,00	0,23	3,88
1989/90	2,41	1,28	19,06	25,01	1,42	0,23	2,67	1,61	1,65	0,15	0,00	0,20	4,64
1990/91	4,87	1,42	4,42	3,64	3,13	12,85	6,00	15,33	0,00	1,79	0,13	1,04	4,55
1991/92	3,84	3,42	0,51	3,99	2,54	3,41	0,91	4,72	1,47	0,00	0,01	0,16	2,08
1992/93	1,16	2,89	8,43	3,56	1,33	3,27	2,72	4,12	12,25	0,02	0,00	0,37	3,34
1993/94	4,87	1,42	4,42	3,64	3,13	12,85	6,00	15,33	0,00	1,79	0,13	1,04	4,55
1994/95	2,41	1,28	19,06	25,01	1,42	0,23	2,67	1,61	1,65	0,15	0,00	0,20	4,64
M_o	2,85	2,81	6,83	6,90	4,39	5,62	3,76	4,87	2,31	0,63	0,16	0,36	3,46

&&&&