

RÉPUBLIQUE UNIE
DU CAMEROUN

HYDROLOGIE D'UN BASSIN
DE ZONE URBAINE

LE BASSIN VERSANT DE YAOUNDE

KIET SRANG

D8
KIE



OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER

REPUBLIQUE UNIE
DU
CAMEROUN

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE YAOUNDE

SECTION D'HYDROLOGIE

HYDROLOGIE D'UN BASSIN DE ZONE URBAINE

LE BASSIN VERSANT DE YAOUNDE

D8
KIE

14 NOV. 1973



KIET Srang

1972

12061

R E S U M E

Le bassin versant du MFOUNDI à la station de M'BALA couvre une superficie de près de 40 km², entièrement située en zone urbaine ou suburbaine dense. Les mesures qui ont été effectuées au cours des années 1969, 1970 et 1971 concernent la pluviométrie du bassin et l'hydrométrie du cours d'eau.

Le présent rapport rend compte, en plus des résultats obtenus au point de vue du bilan hydrologique :

- d'une étude statistique de la pluviométrie, effectuée d'après quatorze années d'observations journalières, qui conduit à une estimation des averses exceptionnelles ;
- d'une analyse des facteurs du ruissellement qui permet par la méthode de l'hydrogramme unitaire, l'estimation des crues exceptionnelles.

A B S T R A C T

The MFOUNDI catchment area at the M'BALA station covers approximately 40 sq.km., which are entirely in the urban or dense suburban area. The measurements, which were taken during 1969, 1970 and 1971, concern the rainfall of the basin and the hydrometry of the watercourse.

In addition to the results relating to the hydrological balance, the paper reports on :

- a statistical rainfall study based on fourteen years' daily observations, providing an estimate of exceptional precipitation ;
- an analysis of the run-off factors, from which exceptional spates can be estimated by the unitary hydrogram method.

Le présent rapport fait office de mémoire rédigé à l'issue d'un stage de deux années au sein du Service Hydrologique de l'ORSTOM.

Les résultats qui y sont consignés se déduisent de travaux sur le terrain, effectués par la section hydrologique du Centre ORSTOM de YAOUNDE, au cours des années 1969, 1970 et 1971.

S O M M A I R E

1. HYDROLOGIE DU GRAND BASSIN VERSANT DE YAOUNDE

1.1. Caractéristiques physiques et morphologiques

1.2. Equipement du bassin

1.3. Etalonnage de la station de MBALA

1.4. Bilan hydrologique.

2. ETUDE STATISTIQUE DE LA PLUVIOMETRIE

2.1. Pluviométrie annuelle

2.2. Pluviométrie journalière

3. ETUDE DU RUISSELLEMENT

3.1. Les données

3.2. Terminologie et nomenclature

3.3. Analyse des facteurs de ruissellement

3.4. Construction de l'hydrogramme type

3.5. Estimation des crues exceptionnelles

GRAND BASSIN VERSANT DE YAOUNDÉ

ÉCHELLE: 1/30000



- ▼ Pluviomètre
- ▽ Pluviographe
- Echelle

1. HYDROLOGIE DU GRAND BASSIN VERSANT DE YAOUNDE

1.1. Caractéristiques physiques et morphologiques

Généralités

Le bassin versant du MFOUNDI à la station de MBALA (graphique 1) a une superficie de $38,8 \text{ km}^2$; l'altitude de l'exutoire est d'environ 695 m tandis que les crêtes du haut bassin culminent à 1075 m.

Les caractéristiques de forme ont été déterminées d'après la carte au 1/10.000ème publiée par l'Institut Géographique National en 1964 :

Superficie $A = 38,8 \text{ km}^2$

Périmètre $P = 28,4 \text{ km}$

Coefficient de compacité ($C = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$) $C = 1,28$

Rectangle équivalent (graphique 2) - longueur $L = 10,5 \text{ km}$

- largeur $l = 3,7 \text{ km}$

Hypsométrie

La répartition en pourcentage de la superficie totale du bassin, par tranches d'altitudes, s'établit comme indiqué dans le tableau I. Le graphique 3 représente la courbe hypsométrique correspondante.

Caractéristiques de pente et de relief.

Celles-ci peuvent s'exprimer à l'aide des valeurs des paramètres suivants :

Indice de pente $I_p = 0,126$

Indice de pente global $I_G = 9,5 \text{ m/km}$

Classification du relief R_4

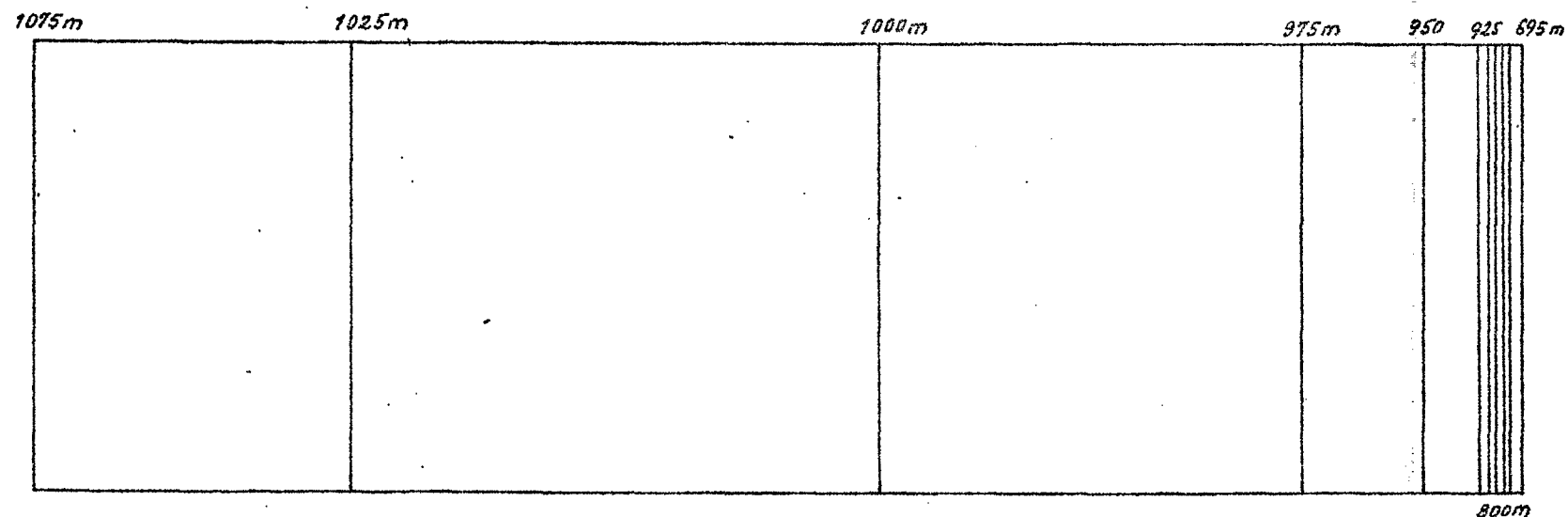
Dénivelée spécifique $D_S = 57 \text{ m}$

Réseau hydrographique

Le graphique 4 représente le profil en long des principaux tributaires du MFOUNDI. L'étude du chevelu hydrologique n'a pas été exécutée en raison du drainage artificiel important.

Gr. 2

RECTANGLE EQUIVALENT



Echelle : 1/50.000

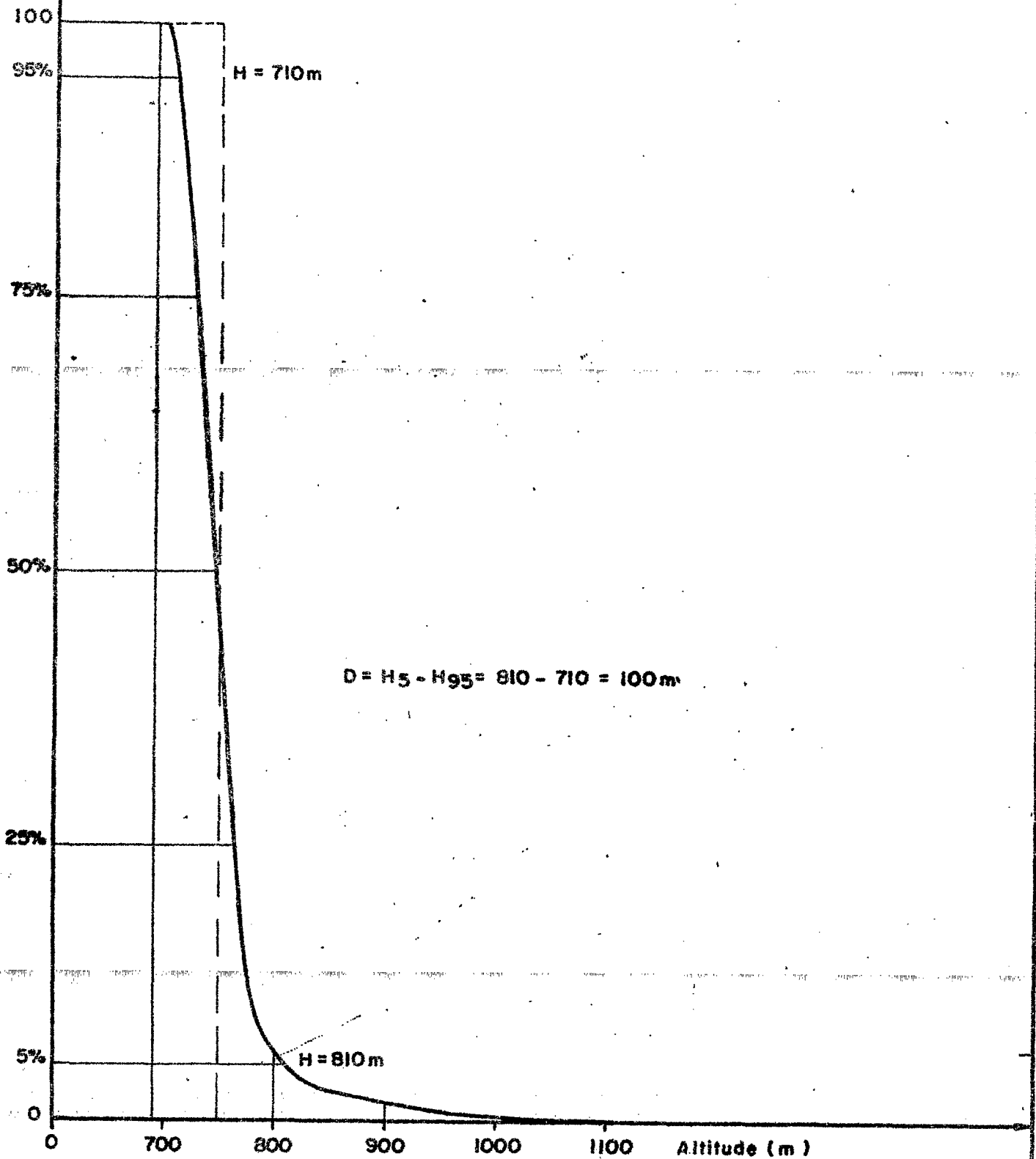
Tableau I

HYPSONETRIE

Altitude (m)	Superficie cumulée en km ²	%
> 695 (exu- toire)	38,8	100
> 700	38,5	99,8
> 725	30,3	78,5
> 750	16,6	42,9
> 775	5,7	14,7
> 800	2,5	6,5
> 825	1,5	3,9
> 850	1,1	3,0
> 875	0,9	2,2
> 900	0,7	1,7
> 925	0,5	1,3
> 950	0,4	0,9
> 975	0,2	0,6
> 1000	0,1	0,4
> 1025	0,07	0,2
> 1050	0,03	0,08
> 1075	0,01	0,03

Courbe Hypsométrique

Surface cumulée en pourcentage

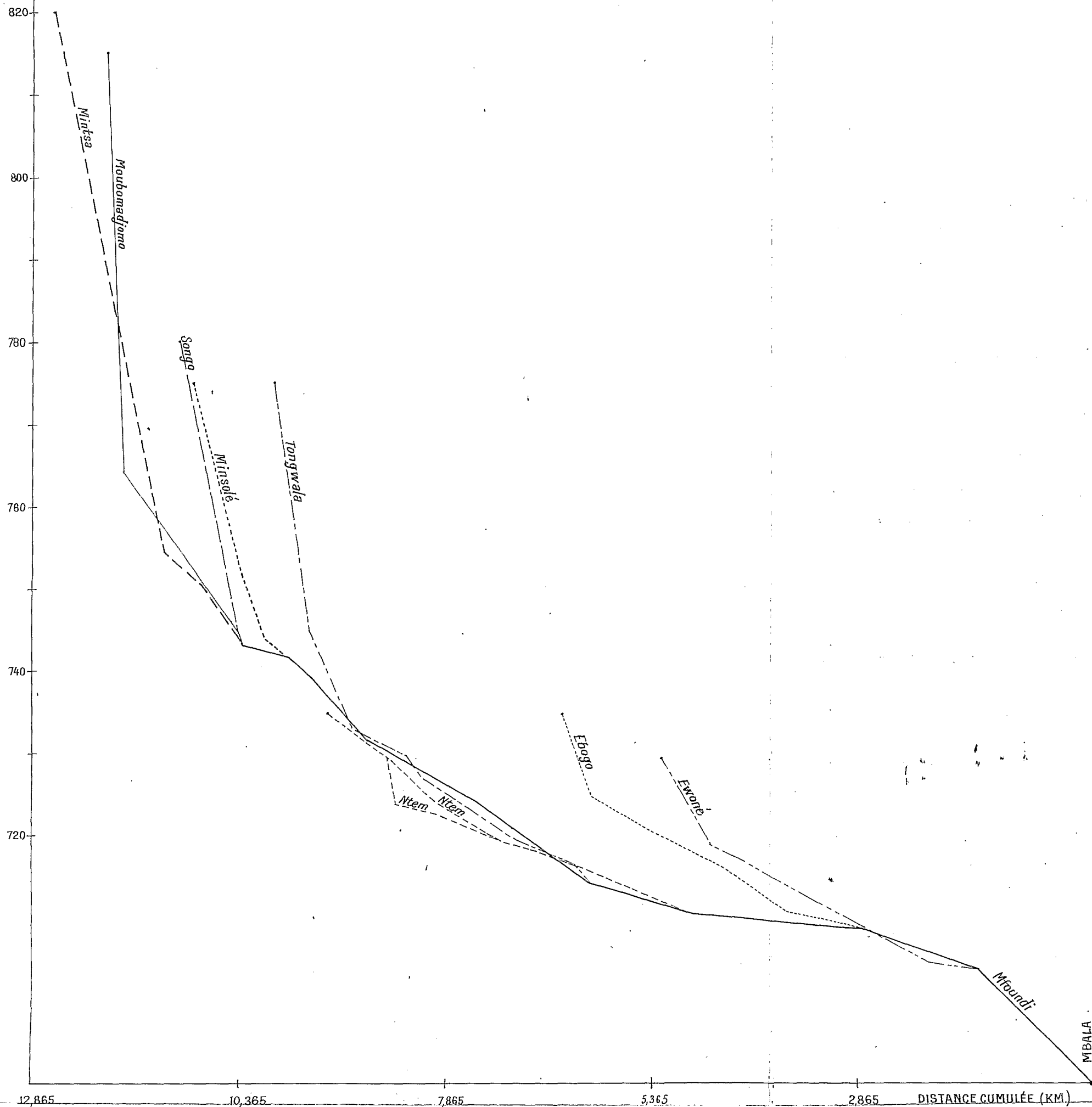


$$D = H_5 - H_{95} = 810 - 710 = 100m$$

ALTITUDE
(M.)

PROFIL EN LONG

Gr. 4



1.2. Equipement du bassin versant

Pluviométrie

Le réseau pluviométrique du bassin comprend 10 pluviomètres et 6 pluviographes longue durée (graphique 1). Ceux-ci ont été installés au début du mois de mai 1969.

Hydrométrie

La station de MBALA sur le MFOUNDI est équipée d'une échelle limnimétrique de 3 mètres d'amplitude et d'un limnigraphe type OTT XX depuis le 16 juin 1969.

La cote du zéro de l'échelle est de 695,07 m.

1.3. Etalonnage de la station de MBALA

Les mesures de débit au moulinet sont effectuées à gué pour de faibles hauteurs à l'échelle, sur le pont situé à l'amont de la station pour les hautes eaux.

La rapidité des crues du MFOUNDI conduit à adopter, pour les jaugeages correspondants, la méthode dite du "jaugeage en continu".

Les nombreux jaugeages (tableau II) ont permis d'étalonner la station de MBALA sur une gamme étendue. Le graphique V représente la courbe de tarage correspondante.

1.4. Bilan hydrologique

Pluviométrie moyenne sur le bassin

La pluviométrie moyenne sur le bassin a été calculée, pour les trois années étudiées, en utilisant la méthode des coefficients de Thiessen. Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux III, IV et V.

A l'examen des totaux annuels on peut constater que l'année 1970 (1899mm) a bénéficié d'une pluviométrie légèrement supérieure (10 % environ) à celle de 1971 (1658mm) qui correspond sensiblement à la moyenne longue période.

On trouvera en annexe (graphique 20) le tracé des isohyètes annuelles sur le bassin pour l'année 1970.

Tableau II
MFOUNDI A MBALA
Liste des jaugeages

N°	H om	Q m ³ /s
1	77 - 89	2,36
2	30	0,43
3	26	0,39
4	25	0,41
5	41 - 39	0,66
6	39	0,60
7	90 -110	3,8
8	68 - 71	1,77
9	104 -120	4,3
10	36	0,80
11	28	0,66
12	17	0,31
13	34	0,75
14	167 -168	12,1
15	31	0,45
16	167 -177	13,2
17	60	1,60
18	80	2,60
19	100	3,7
20	120	5,7
21	140	8,1
22	160	11,3
23	180	14,6
24	200	18,7

} jaugeage continu

MFOUNDI à MBALA

Courbe de tarage

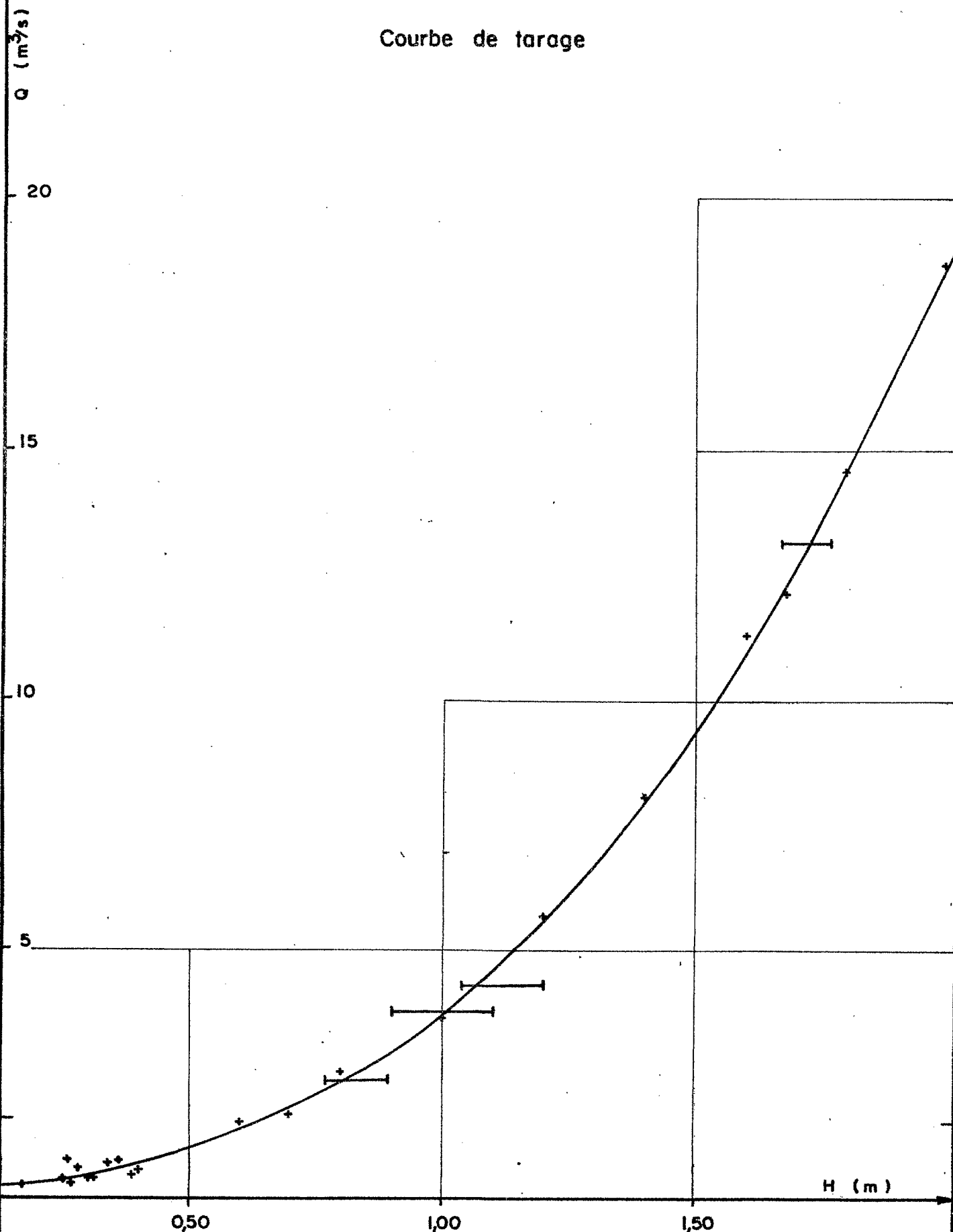


Tableau III

BASSIN VERSANT DE YAOUNDE

Pluviométrie moyenne journalière 1969

N°	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1					Instal-	5,4	6,3	18,3	4,1	11,9	27,9	2,8
2					lation	2,5			4,2	3,3		
3						2,5			29,8		79,9	
4										2,8	11,6	
5						2,2				1,3	12,2	
6												
7					0,9	10,7				49,5		
8						0,5	1,7		20,9			1,8
9						2,5	6,8		25,1		5,4	
10							2,1		11,9	10,6	10,0	
11						4,5			1,7		9,2	3,1
12												
13					7,3	1,6	1,3			6,7	45,8	12,8
14					7,8					34,1		
15					5,9		6,9		2,7	0,4	11,7	5,3
16					11,6	1,0	1,5		4,6	13,7		
17					1,1		3,4		6,1	3,3	0,7	
18												
19					11,4		2,6	1,0	2,7	2,2		
20					1,3		0,3	5,7	7,8			
21					3,9		0,6	4,5	18,7	8,5		
22					17,3	1,8		12,0	9,8	16,4		
23					26,2	5,4	1,8	8,1	8,0			
24												
25					8,6	2,7	4,0		5,8	13,8		
26					3,7	15,0	6,9		29,3	7,7		
27					29,9	0,9						
28					21,7			17,7				
29					10,1	2,8	1,6	4,3	1,4	9,9		
30												
31						11,2	1,1	1,3	4,1	3,9		
TOT.m					3,1		0,4	6,8	37,9	10,2		
					0,8		0,7		28,2	15,6		
					1,0		25,0	1,5	3,0	27,1		
					0,9	1,3			6,8			
					11,4		1,2	17,3		4,4		
					185,9	74,5	76,2	98,5	274,6	257,3	214,4	25,8

Tableau IV
BASSIN VERSANT DE YAOUNDE
Pluviométrie moyenne journalière 1970

N°	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1						11,4	16,5		21,5	3,2	38,0	
2				2,4	15,9			2,0	30,4	1,5	1,3	
3				6,9					23,3	11,1		
4					3,0	22,6	3,2	17,6		37,4		
5					1,6	1,3			4,0	62,8	5,2	
6				12,5	11,8	1,0	6,3		18,5	0,3		
7			40,5			8,0	9,0	0,8	19,5	1,0		
8					17,0		9,7	10,6	0,3	1,8		
9						15,4	1,3	1,6	3,6	0,6		
10				17,7	5,1		0,6	1,0	5,7	39,4		
11			4,1	19,1		12,3	0,5	23,9		15,7		
12			14,3	19,8	6,5	0,8		0,2	6,4	4,7	15,3	
13				26,0	5,6			0,9	6,8	32,8		
14			2,1		6,4			0,6	7,2	4,2		
15			41,7	5,4	10,7				4,9	11,1	26,4	
16				5,8	10,2		0,5	3,2	11,2	2,0	0,7	
17			26,9	13,3	3,6		1,2	0,3	12,0	2,4	3,7	
18						4,7	2,0	10,6	24,0	8,0	4,1	
19		17,3			1,1	1,0		0,9	2,6	1,4		
20				13,6	32,9	0,5	3,3	8,2	12,8	17,0		
21	13,7		13,1	0,5	4,7	17,5	1,0	1,3	19,5	2,3		
22						3,3		1,2	18,8			
23			20,2		51,5				2,2	30,0		12,5
24		1,6	2,4		1,9	9,3		0,3	3,2	1,5		
25			1,9	3,1	0,7				15,3	47,6	0,4	
26			23,7	6,0	1,9		0,7			3,8		
27				9,3	37,9		2,2		0,6	13,7		
28				31,8	10,3	8,0	0,5		30,2	4,8		
29				31,4	6,5	20,3				12,7		
30				14,9	7,3	19,3		33,5	15,0	4,8		
31							0,6	32,1		8,2		0,4
T. men	13,7	18,9	190,9	239,5	254,1	156,7	59,1	150,8	319,5	387,8	95,1	12,9

Tableau V

BASSIN VERSANT DE YAOUNDE

Pluviométrie moyenne journalière 1971

N°	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1					3,5	5,9	15,1	10,9	1,4	2,3	1,1	1,2
2				5,5	3,4	19,3			0,6	24,3		
3				6,5					3,9	5,5		27,4
4			36,7	2,9		0,8	0,9		13,9	69,1		
5			1,8		18,6	10,2		0,8		0,6		
6												
7				9,5	41,2			0,4		2,4		19,9
8				6,8	11,8				4,5	3,4	0,5	
9					15,3	2,4	1,6	4,9				6,2
10				11,5			1,6			1,8	0,4	0,4
11				1,3	19,9	3,9	1,4		18,4	42,4		
12			23,9			66,6	0,4	0,7				
13				12,9				1,0	17,2	19,3		
14	3,1	1,8	27,8		9,6	10,8			19,0	20,2		
15		0,5	1,7		15,2	4,5			9,8	8,9		
16									2,8	0,4		
17			8,3	11,3	0,7	12,2	0,5			7,6		
18					1,7				49,0	23,9		
19			6,5	10,5	7,5	65,6	12,7					
20		0,9	18,3			3,4	22,6					
21			27,7		11,1			1,6	13,4	3,0	16,7	
22		0,6										
23		5,5		3,3	15,2	5,1			1,9	6,9	4,3	
24		2,7	31,6			11,8		0,7	3,9	8,2		
25		0,7		16,1		0,8		16,2	1,6	3,0		
26		22,9			14,9		1,2	3,8	7,0	55,6		0,5
27										1,2		
28		27,1				3,7		2,2	14,3	3,1		
29			12,3	4,1		7,8			11,1	13,0		
30					5,5				21,5	15,5	2,2	
31				15,5		3,5		6,2	22,3	5,0	3,7	
T.mens.	3,1	62,7	196,6	112,2	213,2	252,5	58,0	60,0	242,0	359,9	41,8	55,6

Débits moyens journaliers

De la courbe de tarage du MFOUNDI à MBALA on peut déduire le barème d'étalonnage ci-dessous qui permet de traduire en débits les hauteurs limnigraphiques. Les tableaux VI, VII et VIII présentent les débits moyens journaliers obtenus, qui figurent par ailleurs sur les graphiques 6, 7 et 8.

MFOUNDI A MBALA
Barème d'étalonnage

<u>H cm</u>	<u>Q m³/s</u>	<u>H cm</u>	<u>Q m³/s</u>	<u>H cm</u>	<u>Q m³/s</u>
20	0,36	80	2,38	140	8,0
30	0,52	90	2,96	150	9,4
40	0,73	100	3,7	160	10,9
50	1,05	110	4,6	170	12,6
60	1,45	120	5,6	180	14,6
70	1,88	130	6,75	190	16,7

Bilan

On trouvera dans le tableau ci-après les valeurs calculées du déficit d'écoulement D à partir de la pluviométrie moyenne P et de la lame d'eau écoulée He, pour chacun des mois qui ont donné lieu à des observations complètes.

Toutes les valeurs qui y figurent sont exprimées en millimètre .

Calcul du déficit d'écoulement mensuel

Mois	Année 1969			Année 1970			Année 1971			Moyenne		
	P	He	D	P	He	D	P	He	D	P	He	D
J	-	-	-	13,7	26,9	-13,2	3,1	33,1	-30,0	8,4	(30,0)	(-21,6)
F	-	-	-	18,9	20,0	-1,1	62,7	30,1	+32,6	40,8	(25,0)	(+15,8)
M	-	-	-	190,9	55,0	+135,9	196,6	55,2	+141,4	193,8	(55,1)	(+138,7)
A	-	-	-	239,5	45,8	+193,7	112,2	33,8	+78,4	175,8	(39,8)	(+136,0)
M	(185,9)	-	-	254,1	90,0	+164,1	213,2	61,1	+152,1	217,7	(75,5)	(+158,1)
J	74,5	-	-	156,7	80,0	+76,7	252,5	92,1	+160,4	161,2	(86,0)	(+118,6)
J	76,2	31,4	+44,8	59,1	34,0	+25,1	58,0	34,0	+24,0	64,4	(32,7)	(+31,7)
A	98,5	36,3	+63,2	150,8	80,0	+70,8	60,0	30,0	+30,0	103,1	(55,0)	(+50,4)
S	274,6	54,6	+210,0	319,1	112,0	+207,1	242,0	28,8	+213,2	278,6	68,4	+210,2
O	257,3	62,4	+194,9	387,8	120,0	+167,8	359,9	120,0	+239,9	335,0	(120,0)	(+203,9)
N	214,4	73,4	+141,0	95,1	59,2	+35,9	41,8	18,4	+23,4	117,1	50,4	+66,7
D	25,8	30,4	-4,6	12,9	36,3	-23,4	55,6	17,7	+37,9	31,4	28,1	+3,3

On aboutit de cette façon, aux déficits d'écoulement annuels suivants :

1070 mm pour 1970 (hauteur pluviométrique de 1900 mm)

1100 mm pour 1971 (hauteur pluviométrique de 1660 mm)

1110 mm pour l'ensemble de la période d'observation.

Ces valeurs sont celles que l'on obtient généralement dans ces régions et montrent ainsi que l'écoulement total annuel est peu perturbé en zone urbaine.

Tableau VI
MFOUNDI A MBALA
ANNEE 1969
Débits moyens journaliers en l/s

N°	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1							518	977	542	870	1183	467
2							440	553	450	590	2466	445
3							425	445	1904	495	6839	440
4							420	420	830	480	1791	440
5							415	402	505	460	1241	440
6												
7							410	392	445	2057	1158	440
8							410	390	2016	1774	760	448
9							427	390	1775	766	640	443
10							453	385	1008	891	825	435
							417	380	615	542	816	443
11												
12							407	380	485	516	2299	639
13							397	380	440	2082	2766	500
14							563	380	464	1441	1349	541
15							403	377	427	725	775	455
							403	380	442	916	645	447
16												
17							412	380	423	650	597	440
18						440	395	380	480	550	557	433
19						420	390	407	750	608	540	428
20						430	390	1900	802	1058	525	423
						430	397	508	588	675	510	420
21												
22						435	400	450	603	608	500	420
23						435	497	410	750	925	490	415
24						985	450	395	1658	610	485	415
25						470	420	842	820	530	470	415
						467	410	568	635	900	455	410
26												
27						467	390	502	580	525	450	407
28						703	390	443	3565	600	450	405
29						480	390	430	2949	858	450	405
30						450	900	410	1187	2432	450	405
						440	632	395	866	1124	445	405
31							457	783		766		405
Moyen.						(504)	456	511	967	904	1098	441

Gr. 6

Débit en m³/s

4

2

0

J F M A M J J A S O N D

MFOUNDI à MBALA

Débits moyens journaliers en 1969

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date	des.	
------	------	--

Tableau VII
MFOUNDI A MBALA
ANNEE 1970
Débits moyens journaliers en l/s

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	405			410	540		935		4700		1415	540
2	405			360	915		(600)		3150		2630	530
3	400			386	510		480		1830		1490	520
4	400			369	480		475		2070		1160	530
5	400	317		343			450		740		1065	530
6	(400)			392			495	400	1330		1030	520
7	(400)			430			890	690	2410		930	520
8	(400)			370			1190	445	950	1160	880	510
9	(400)			360		485	545	425	600	920	810	520
10	(400)			422		940	460	410	720	4980	810	530
11	(400)			910	(510)	570	450	1190	620	3135	740	520
12	(400)			1000	465	680	440	660	880	1755	800	520
13	(400)	317		480	435	520	430	485	840	1180	1030	520
14	(400)			1570	460	490	430	450	740	5820	790	520
15	(400)			590	620	470	425	435	720	1460		510
16	(400)			536	945	460	420	435	760	1720		510
17	(400)			450	470	445	415	420	1350	1170	1010	510
18	(400)			722	430	450	420	530	2150	1060	800	510
19	(400)	440		440	425	455	425	460	1740	1000	810	510
20	(400)	320		475	1095	430	425	480	1310	1990	710	520
21	495			703		660	430	485	2790	1140	650	510
22	400			420		605	420	460	2980	950	630	520
23	370			400		515	415	430	1460	1340	610	780
24	360			385		620	410	415	1120	2840	600	570
25	350	328	485	375		490	405	410	1310		600	520
26	(350)		1635	365		460	400	400	1130		590	520
27	(350)		690	595		450	415	400	920		570	520
28	(350)		450	2560		780	400	390	5630		560	510
29	(350)		430	2760		1580	400	390	2130		550	490
30	(350)		420	960		1260	395	2260	1220		540	490
31	(350)		420				395	1230		1325		490
Moyen.	(390)			685			493		1677		(886)	526

Gr. 7

Débit en m³/s

4

3

2

1

0

J

F

M

A

M

J

J

A

S

O

N

D

MFOUNDI à MBALA

Débits moyens journaliers en 1970

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

Tableau VIII
MFOUNDI A MBALA

ANNEE 1971

Débits moyens journaliers en l/s

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	500	458	483	442	450	825			183	1075	342	217
2	500	450	475	450	458	2720			175	658	342	550
3	500	442	483	450	417	900			267		308	504
4	492	442	2460	425	467	1250			333	5070	292	458
5	492	408	833	417	2160	742			200		300	650
6	492	392	492	492	3680	583			192		300	383
7	492	433	442	567	2075	575			200		292	283
8	492	425	433	458	1092	600			192		292	367
9	492	392	458	817	633	517			458	1860	258	283
10	500	425	725	508	933	558			250	867	250	192
11	500	383	1233	467	675	5690			175		250	217
12	500	400	508	450	525	1570			308		225	217
13	492	483	600	725	717	1880			533		233	200
14	483	400	1967	458	558	1125		183	383		217	200
15	517	375	533	425	1625	1120		175	283		208	200
16	475	383	742	608	575	1000		175	208		225	200
17	475	383	483	625	658	1950		175	2630		233	200
18	475	408	517	500	667	6220		(175)	342		408	192
19	458	458	2080	425	792	1370		(175)	233		492	192
20	458	458	833	433	575	825		(175)	367		250	192
21	458	442	525	425	467	692		183	250		217	192
22	458	408	450	467	1142	633		183	300		217	192
23	458	400	1533	425	583	1390		183	208	533	217	192
24	458	558	700	733	508	767		358	250	3250	217	192
25	475	842	500	483	950	583		268	500	508	208	183
26	467	1408	492	450	608	542		200	542	425	225	175
27	467	617	1580	442	533	617		175	317	617	233	183
28	458	458	775	433	558			200	1030	508	500	192
29	458		508	557	500			192	1090	533	242	183
30	458		467	625	475			250	525	442	(229)	183
31	467		475		1375			233				183
Moyen	479	483	800	506	885	(1379)			431		276	256

Gr. 8

5.07

5.59
6.22

Débit en m³/s

m

0

J F M A M J J A S O N D

MFOUNDI à MBALA

Débits moyens journaliers en 1971

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

2. ETUDE STATISTIQUE DE LA PLUVIOMETRIE.

2.1. Etude statistique du module interannuel.

2.1.1. Les données.

Les caractéristiques géographiques de la station de YAOUNDE (Météorologie Nationale) sont les suivantes :

Latitude	03°50'N
Longitude	11°32'E
Altitude	783 m

Nous utiliserons les données (tableau IX) en pluviométrie mensuelle hydrologique, qui ont été homogénéisées sur la période 1er avril 1930 au 31 mars 1970 par le Bureau Central du Service Hydrologique de l'ORSTOM, telles qu'elles figurent dans la première partie de la MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE DE LA SANAGA (ORSTOM 1971 par J. GUISCAFRE et J.F. NOUVELOT).

Le hyétogramme moyen mensuel, représenté sur le graphique 9, montre la répartition dans le temps de la pluviométrie du type équatoriale de transition. L'évolution à long terme (tracée sur le graphique 10) ne permet de déceler, dans la période d'observations, aucune série noire.

2.1.2. Ajustement statistique.

Nous obtenons, avec ces 41 années d'observations :

- pour la moyenne : 1670 mm avec un intervalle de confiance à 95 % qui s'étend de 1510 à 1730 mm.
- pour l'écart type : 190 mm avec un intervalle de confiance à 95 % qui s'étend de 148 à 232 mm ;
- pour le coefficient de variation $C_v = 0,114$.

Le graphique 11 montre l'ajustement à une loi normale pour laquelle nous avons calculé, avec une répartition en 7 classes, un X^2 de 3,88 nettement inférieur à la valeur correspondant au seuil de 5 % (9,49). Un essai d'ajustement sur une loi log-normale n'a pas donné lieu à de meilleurs résultats, le X^2 obtenu dans les mêmes conditions étant alors de 4,65.

HYETOGRAMME MOYEN MENSUEL
SUR LA PERIODE 1930 - 1970

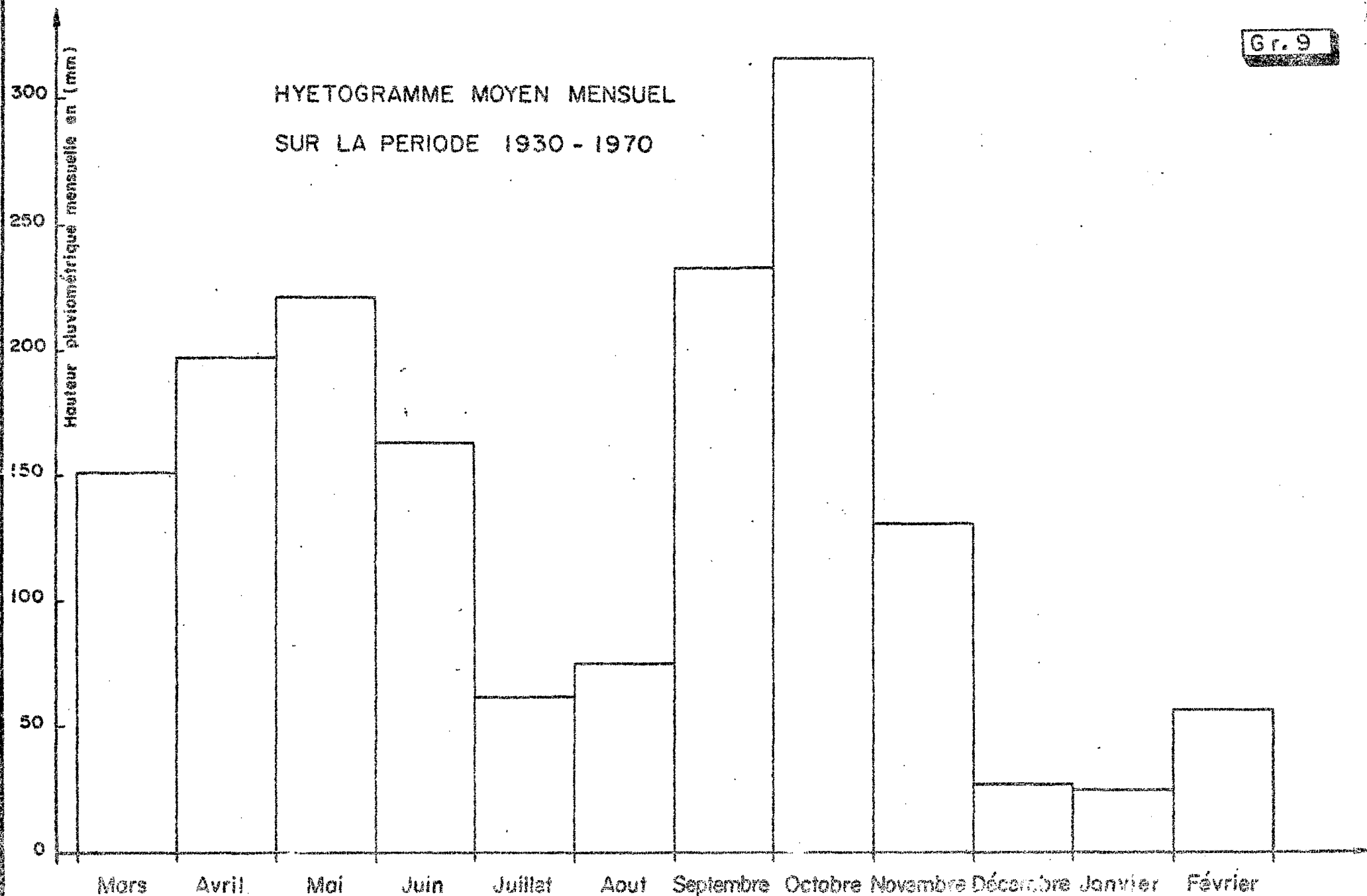


Tableau IX

MODULES PLUVIOMETRIQUES ANNUELS (en mm)

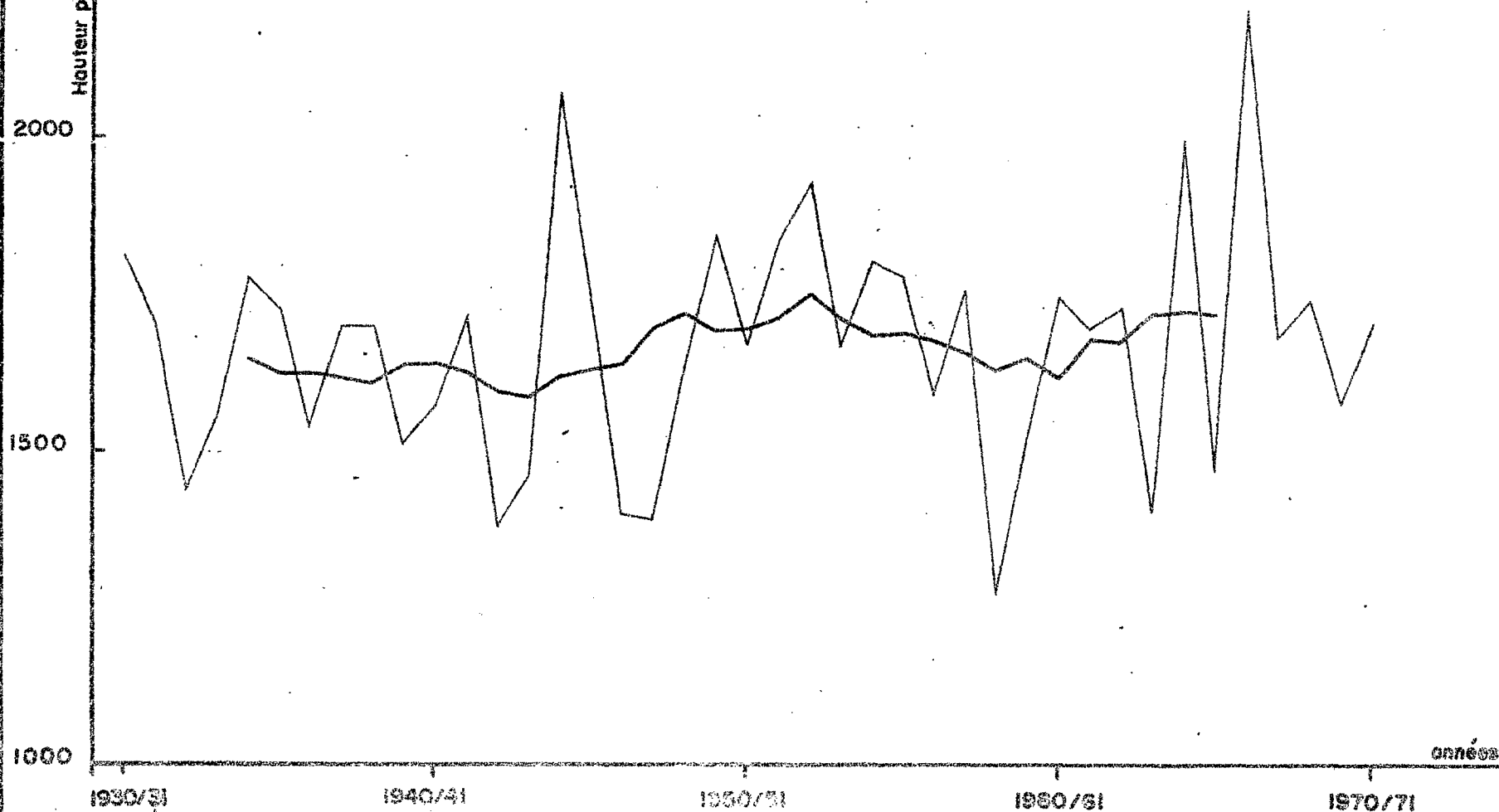
!	Année	!	module	!	Année	!	module	!
!	1930/31	!	1809	!	1950/51	!	1673	!
!	1931/32	!	1705	!	1951/52	!	1839	!
!	1932/33	!	1434	!	1952/53	!	1929	!
!	1933/34	!	1553	!	1953/54	!	1671	!
!	1934/35	!	1774	!	1954/55	!	1803	!
!	1935/36	!	1727	!	1955/56	!	1780	!
!	1936/37	!	1535	!	1956/57	!	1593	!
!	1937/38	!	1698	!	1957/58	!	1756	!
!	1938/39	!	1701	!	1958/59	!	1274	!
!	1939/40	!	1511	!	1959/60	!	1530	!
!	1940/41	!	1568	!	1960/61	!	1748	!
!	1941/42	!	1714	!	1961/62	!	1697	!
!	1942/43	!	1379	!	1962/63	!	1729	!
!	1943/44	!	1463	!	1963/64	!	1405	!
!	1944/45	!	2070	!	1964/65	!	1994	!
!	1945/46	!	1739	!	1965/66	!	1472	!
!	1946/47	!	1399	!	1966/67	!	2210	!
!	1947/48	!	1391	!	1967/68	!	1687	!
!	1948/49	!	1633	!	1968/69	!	1742	!
!	1949/50	!	1843	!	1969/70	!	1580	!
!		!		!	1970/71	!	1709	!

Hauteur pluviométrique annuelle en mm

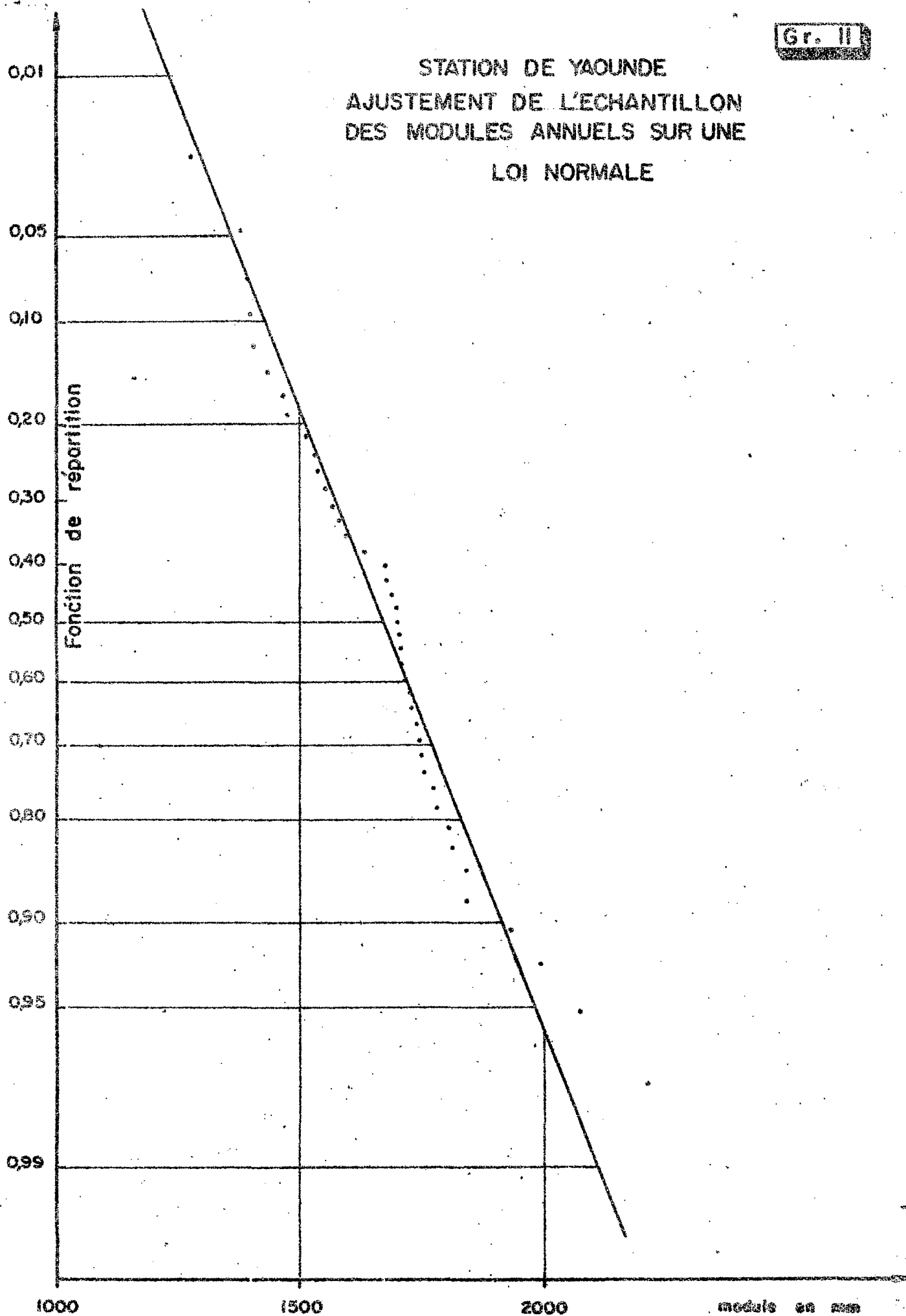
Gr. 10

EVOLUTION DE LA HAUTEUR PLUVIOMETRIQUE ANNUELLE
A YAOUNDE (Météorologie nationale)

— Evolution annuelle
— Moyennes mobiles sur 10 ans



STATION DE YAOUNDE
AJUSTEMENT DE L'ECHANTILLON
DES MODULES ANNUELS SUR UNE
LOI NORMALE



2.1.3. Valeurs extrêmes.

Il apparaît, à l'examen du graphique d'ajustement, que pour les valeurs maximales, les points représentatifs adoptent un alignement assez nettement hypergaussique.

En conséquence, on se limitera aux résultats suivants pour les valeurs extrêmes :

Module pluviométrique centenaire d'année sèche :	1230 mm
Module pluviométrique décennal d'année sèche :	1430 mm
Module pluviométrique décennal d'année humide :	1915 mm

2.2. Pluviométrie journalière.

2.2.1. Les données.

En pluviométrie journalière nous ne disposons que de 14 années d'observations qui correspondent à la période 1946 à 1969.

De ces observations on peut déduire les caractéristiques suivantes :

Hauteur pluviométrique totale des quatorze années:	23601,4 mm
Hauteur pluviométrique moyenne annuelle	: 1685,8 mm
Nombre total de jours de pluie (observés)	: 2174 jours
Nombre moyen annuel de jours de pluie (observés)	: 155,2 jours
Nombre total de jours de pluie de hauteur supérieure à 10 mm	: 792 jours
Nombre moyen annuel de jours de pluie de hauteur supérieure à 10 mm	: 56,6 jours.

2.2.2. Ajustement de la pluviométrie journalière suivant une loi de Pearson III.

Pour réaliser cet ajustement nous avons suivi une méthode décrite par M. BRUNET-MORET.

On trouvera dans le tableau X ci-après le classement des averses par ordre décroissant. En désignant par r_0 et r_1 les rangs respectivement associés aux observations de hauteur A et $A + 10$, on peut constater sur le graphique 12 que le rapport $\frac{r_1}{r_0}$ subit deux discontinuités pour prendre successivement les valeurs voisines de

0,31 du rang 1 au rang 25
0,52 du rang 25 au rang 740
0,36 après le rang 740

Les calculs conduisent aux valeurs suivantes des paramètres de la loi :

$$\frac{1}{a} = 15,9 \text{ mm}$$

$M = 163$ est le nombre théorique de jours de pluie par an légèrement supérieur au nombre observé correspondant.

En calculant le nombre de jours de pluie supérieur à 10mm (56,7) on peut constater que la divergence entre le nombre observé de jours de pluie et le nombre calculé est à imputer à la classe 0 - 10mm des faibles pluies, toujours mal connues.

Le test du X^2 n'est pas très favorable : la relative abondance des pluies dont la hauteur est comprise entre 70 et 80mm en est pratiquement l'unique raison.

On obtient ainsi pour les hauteurs pluviométriques des averses dont la période de retour est :

1 an	67 mm
2 ans	77 mm
5 ans	91 mm
10 ans	101 mm

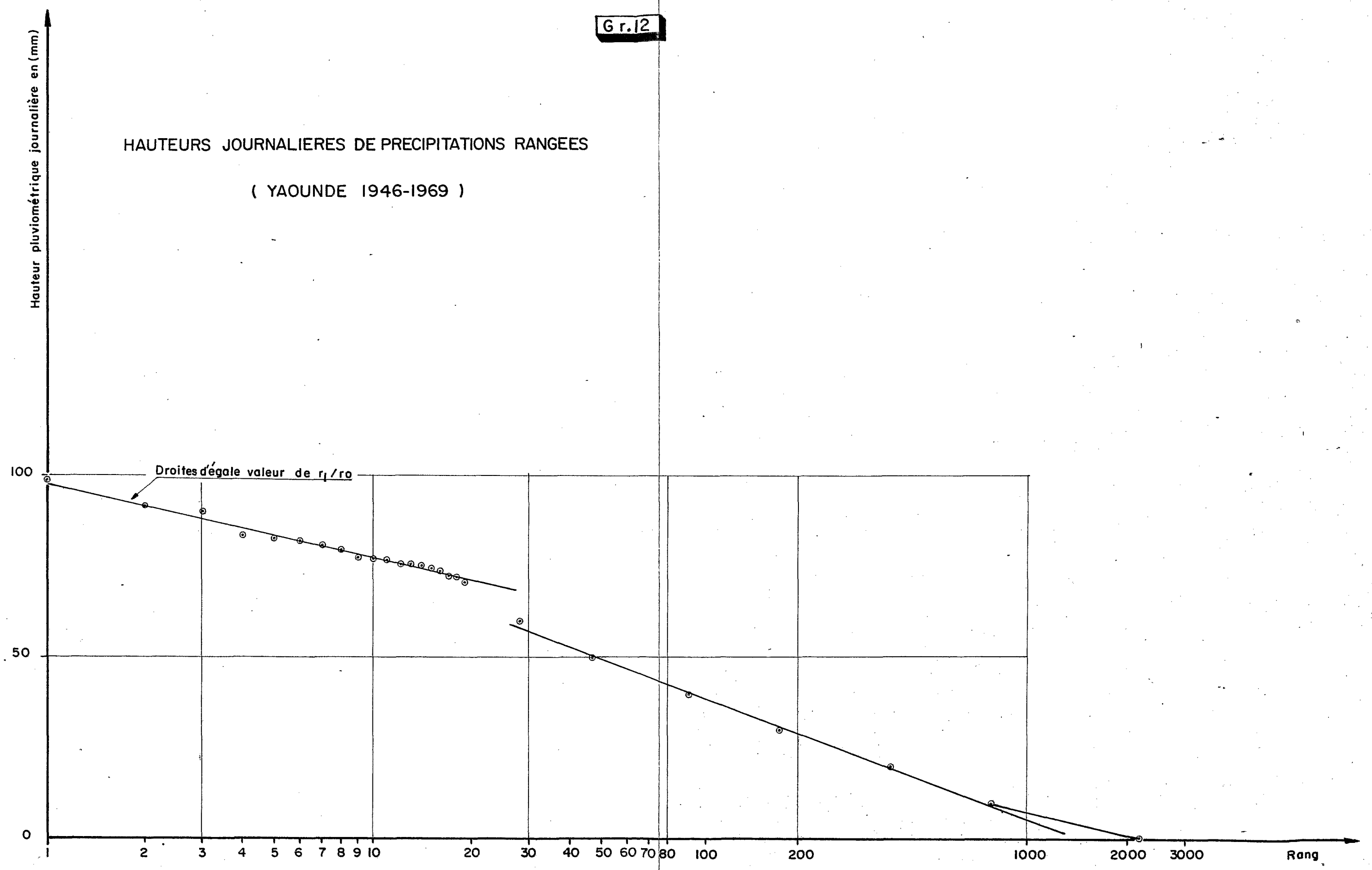
Remarque : Un essai d'ajustement des hauteurs pluviométriques journalières sur une loi de GOODRICH tronquée, bien qu'il conduise à des résultats très peu différents des précédents, n'a pas été retenu après application du test du χ^2 .

Tableau X

Classement des totaux pluviométriques journaliers

! Hauteur pluviométrique !	! rang correspondant !
! en mm !	
! 98,6 !	! 1 !
! 91,7 !	! 2 !
! 90,0 !	! 3 !
! 83,5 !	! 4 !
! 82,7 !	! 5 !
! 81,9 !	! 6 !
! 80,5 !	! 7 !
! 79,7 !	! 8 !
! 77,3 !	! 9 !
! 77,3 !	! 10 !
! 76,9 !	! 11 !
! 75,8 !	! 12 !
! 75,7 !	! 13 !
! 75,4 !	! 14 !
! 74,3 !	! 15 !
! 73,9 !	! 16 !
! 72,7 !	! 17 !
! 72,3 !	! 18 !
! 70,7 !	! 19 !
! 60,1 !	! 28 !
! 50,1 !	! 47 !
! 40,1 !	! 93 !
! 30,1 !	! 177 !
! 20,1 !	! 386 !
! 10,1 !	! 792 !
! 0,1 !	! 2174 !

HAUTEURS JOURNALIERES DE PRECIPITATIONS RANGEES
(YAOUNDE 1946-1969)



3. ETUDE DU RUISSELLEMENT.

3.1. Les données.

Pour la mise en oeuvre de la méthode de l'hydrogramme unitaire nous avons sélectionné un total de 42 crues sur les trois années d'étude. Celles-ci sont rassemblées sur les tableaux XI, XII, XIII et XIV ci-après.

3.2. Terminologie et nomenclature.

Pour chacune de ces crues nous avons calculé les valeurs des paramètres suivants :

- Q_{max} est le débit de pointe de la crue (en m^3/s).
- V_a est le volume de la crue correspondant au ruissellement pur (en m^3), après séparation avec l'écoulement de base et le ruissellement hypodermique.
- T_m est le temps de montée : c'est l'intervalle de temps (en heures) qui s'écoule entre le début de l'arrivée à l'exutoire du ruissellement apparent et le maximum de l'hydrogramme de ruissellement.
- T_B est le temps de base (en heures) pendant la durée duquel on peut observer le ruissellement.
- H_R est la lame d'eau ruisselée (en mm), obtenue en faisant le rapport du volume ruisselé à la superficie du bassin versant.
- P_m est la pluviométrie moyenne (en mm) reçue par le bassin au cours de l'averse qui précède la crue considérée. Nous l'avons obtenue en opérant la moyenne arithmétique des hauteurs pluviométriques observées aux différents points de mesure.
- P_u est la hauteur de pluie utile (en mm), c'est à dire la hauteur pluviométrique du corps de l'averse ayant pu raisonnablement donner lieu à un ruissellement. L'examen des intensités pluviométriques qui correspondent aux différentes crues retenues, conduit à proposer 12mm/h environ comme intensité de la pluie utile.
- T_{pu} est la durée de la pluie utile (en heures).
- P_c est la pluviométrie antérieure cumulée (en mm).
- T_S est le temps de sécheresse (en heures) c'est à dire l'intervalle de temps qui sépare l'instant de début de la crue considéré de l'instant du précédent maximum de crue.
- K_{ru} est le coefficient de ruissellement utile (en %) obtenu par le rapport H_R/P_u
- K_r est le coefficient de ruissellement global (en %) obtenu par le rapport H_R/P_m .

Caractéristiques des Crues et Averses 1969

Tableau XI

Date	Q max. (m ³ /s)	V _r (m ³)	T _m (h.et min.)	T _B (h.et min.)	H _R (mm)	P _m (mm)	P _u (mm)	T _{pu} (h.et min.)	T _S (h)	P _C (mm)	K _{ru} (%)	K _r (%)
3.9.69	6,3	80784	2,30	9,18	2,1	29,8	10,5	0,30	32	261,9	19,9	7,0
7.9.69	10,0	139680	2,15	11,15	3,6	20,9	13,0	0,30	30	280,0	27,8	17,2
27.9.69	13,9	209520	3,24	10,30	5,4	33,0	20,0	1,42	72	380,0	27,0	16,4
6.10.69	10,0	133020	6,0	15,00	3,5	49,5	35,0	1,12	120	468,0	10,0	7,0
29.10.69	9,0	125280	4,24	13,42	3,3	27,1	21,0	0,54	90	598,5	15,5	12,1
3.11.69	16,7	309960	4,30	14,30	8,0	43,5	38,0	1,18	20	638,9	21,1	18,4
11.11.69	13,3	235080	1,30	13,30	6,1	45,8	42,0	0,50	80	712,8	14,5	13,3

Caractéristiques des Crues et Averses 1970

Tableau XII

Date	Q max. (m ³ /s)	V _r (m ³)	T _m (h. et min)	T _B (h. et min.)	H _r (mm)	P _m (mm)	P _u (mm)	T _{pu} (h. et min.)	T _S (h)	P _C (mm)	K _{ru} (%)	K _r (%)
27.5.70	10,0	185166	2,45	13,45	4,8	36,6	36,0	0,54	90	459,0	13,3	13,1
30.8.70	10,6	198882	2,48	9,24	4,0	33,3	29,0	0,35	140	836,5	12,9	12,0
31.8.70	9,7	109728	4,18	9,30	2,8	32,1	19,0	1,36	20	864,5	14,7	8,7
1.9.70	9,7	109728	1,30	10,0	2,8	21,5	17,5	1,02	30	876,0	16,0	13,0
3.9.70	9,4	116586	4,24	12,0	3,0	23,3	21,0	0,36	29	900,5	14,3	12,9
6.9.70	4,8	48006	4,00	9,30	1,2	18,0	15,0	0,44	67	938,0	8,0	6,7
7.9.70	6,1	61722	3,30	12,30	1,6	19,0	4,6	0,20	9	963,0	34,6	8,4
18.9.70	6,7	75438	4,40	12,30	2,0	21,0	8,5	0,30	20	1008,0	23,5	10,0
21.9.70	8,3	102870	2,42	10,42	2,7	19,3	18,0	0,45	25	1055,0	15,0	13,9
22.9.70	11,6	89154	1,36	9,0	2,3	18,8	7,0	0,26	22	1169,5	32,9	12,2
2.11.70	14,2	178308	4,42	15,00	4,6	35,0	19,0	0,46	9	1596,0	24,2	13,1

Caractéristiques des Crues et Averses 1971

Tableau XIII

Date	Q max. (m ³ /s)	V _r (m ³)	T _m (h.et min)	T _B (h.et min)	H _r (mm)	P _m (mm)	P _u (mm)	T _{pu} (h.et min.)	T _S (h)	P _C (mm)	K _{ru} (%)	K _r (%)
27.2.71	6,0	48006	1,42	8,48	1,2	21,5	10,0	0,33	15	50,0	12,0	5,6
4.3.71	9,4	109728	4,12	10,00	2,8	21,5	18,3	0,21	90	82,0	15,3	13,0
14.3.71	7,5	75438	2,00	8,00	2,0	24,8	16,0	0,40	39	171,5	12,5	8,1
20.3.71	8,2	102870	2,48	13,48	2,7	29,0	20,0	0,51	17	182,0	13,5	9,3
6.5.71	9,1	89154	3,54	8,30	2,3	38,0	22,0	0,15	120	336,5	10,5	6,1
6.5.71	12,8	171450	4,42	12,0	4,4	32,0	21,0	0,36	15	340,0	21,0	13,8
15.5.71	8,5	75438	1,42	7,12	2,0	15,0	10,8	0,20	28	439,5	18,5	13,3
22.5.71	4,5	27432	1,36	7,18	0,7	11,5	8,2	0,25	60	470,5	8,5	6,1
2.6.71	10,0	123444	3,18	16,00	3,2	22,8	15,0	0,50	35	540,0	21,3	14,0
4.5.71	4,9	34290	1,00	7,30	0,9	10,5	4,0	0,14	40	550,0	22,5	8,6
11.6.71	17,2	322326	2,00	11,30	8,5	58,0	35,0	1,09	60	600,0	24,3	14,7
13.6.71	8,5	75438	1,30	12,30	2,0	11,5	10,3	0,35	39	617,5	19,4	17,4
18.6.71	19,7	301752	3,24	16,42	7,8	63,5	32,0	1,16	23	698,0	24,4	12,3
23.6.71	5,7	48006	1,00	13,42	1,2	15,5	12,0	0,18	92	726,0	10,0	7,7
10.9.71	4,5	27432	2,00	8,30	0,7	18,5	5,8	0,32	4	882,0	12,1	4,0
13.9.71	4,1	20574	1,00	7,30	0,5	19,0	5,0	0,22	20	914,0	10,0	3,0

Caractéristiques des Crues et Averses 1971

Tableau XIV

Date	Q max. (m ³ /s)	V _R (m3)	T _m (h. et min)	T _B (h. et min)	H _R (mm)	P _m (mm)	P _u (mm)	T _{pu} (h. et min.)	T _s (h)	P _C (mm)	K _{ru} (%)	K _r (%)
17.9.71	23,9	418338	4,30	17,00	10,8	49,2	44,0	1,08	50	925,0	24,5	21,9
26.9.71	6,5	61722	3,00	14,00	1,6	14,0	5,0	0,26	20	935,0	32,0	11,4
29.9.71	6,0	54864	4,00	16,00	1,4	19,0	4,0	0,20	16	979,5	35,0	7,4
2.10.71	10,5	157734	4,00	14,00	4,1	24,3	21,4	0,55	46	1000,5	19,2	16,9
10.10.71	16,2	281178	2,50	11,20	6,7	38,4	35,0	0,40	16	1153,0	19,1	17,5
24.10.71	23,9	514350	4,00	21,30	11,3	55,0	52,0	1,20	56	1307,0	21,2	20,5
20.11.71	4,4	34290	2,00	7,30	0,9	15,7	10,0	0,17	9	1347,0	9,0	5,7
6.12.71	6,1	54864	1,48	11,00	1,4	18,6	8,3	0,20	25	1430,0	16,8	7,5

3.3. Analyse des facteurs du ruissellement.

L'importance du ruissellement consécutif à une averse dépend à la fois des caractéristiques de l'averse et de l'état d'humectation du sol.

Le graphique 13, où l'on a porté, pour chacune des averses, les points représentatifs des couples (H_R, P_u) , laisse apparaître une importante dispersion. Le tracé de la courbe limite montre toutefois que les points qui en sont les plus voisins sont afférents à des crues de fin de saison des pluies, pour lesquelles les conditions de ruissellement sont les plus favorables.

Ceci suggère donc de prendre en compte l'état d'humidité du sol, que nous représentons par les deux paramètres T_s et P_c , comme facteur correctif.

On a porté sur le graphique 14 la correspondance entre les écarts a_1 des points du graphique 13 (par rapport à la droite limite du sol saturé) en regard du temps de sécheresse correspondant, T_s , exprimé en heure. Le tracé d'une courbe moyenne donne lieu à un nouvel arrangement des points représentatifs des couples (P_u, H_R) d'où une nouvelle courbe limite et de nouveaux écarts a_2 .

Nous avons itéré l'opération en fonction de la pluviométrie antérieure cumulée P_c , ce qui permet d'aboutir à la droite du graphique 15 qui représente alors la lame ruisselée afférente à une averse, de pluie utile donnée, survenant dans les conditions optimales de saturation du sol.

On remarquera que le léger décalage de cette dernière droite par rapport à l'origine prouve que nous avons un peu sous-estimé le seuil fixé pour la pluie utile. L'équation de la droite finalement obtenue est :

$$H_R = 0,245 P_u - 0,25$$

Toutes valeurs étant exprimées en millimètre .

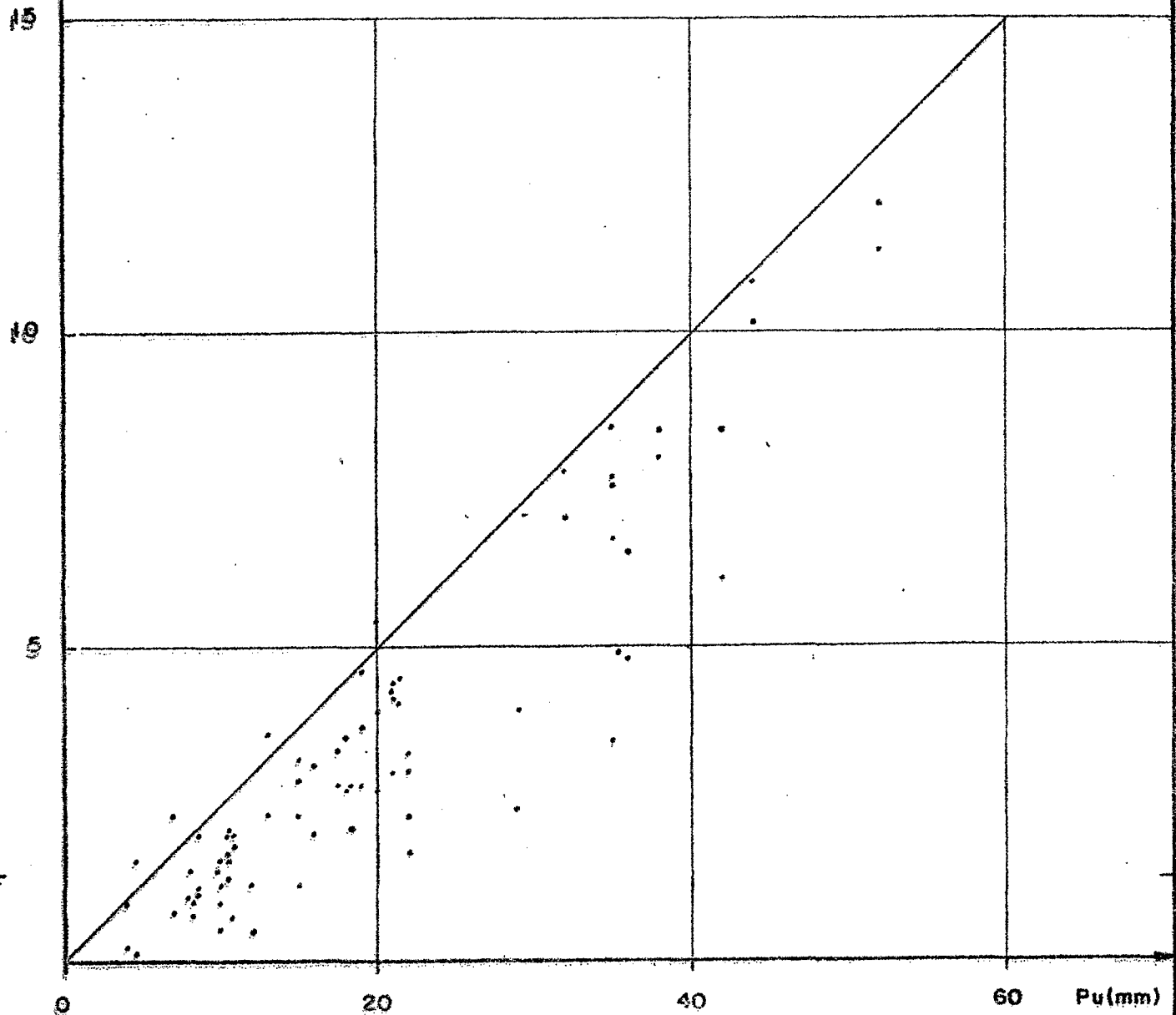
3.4. Construction de l'hydrogramme-type.

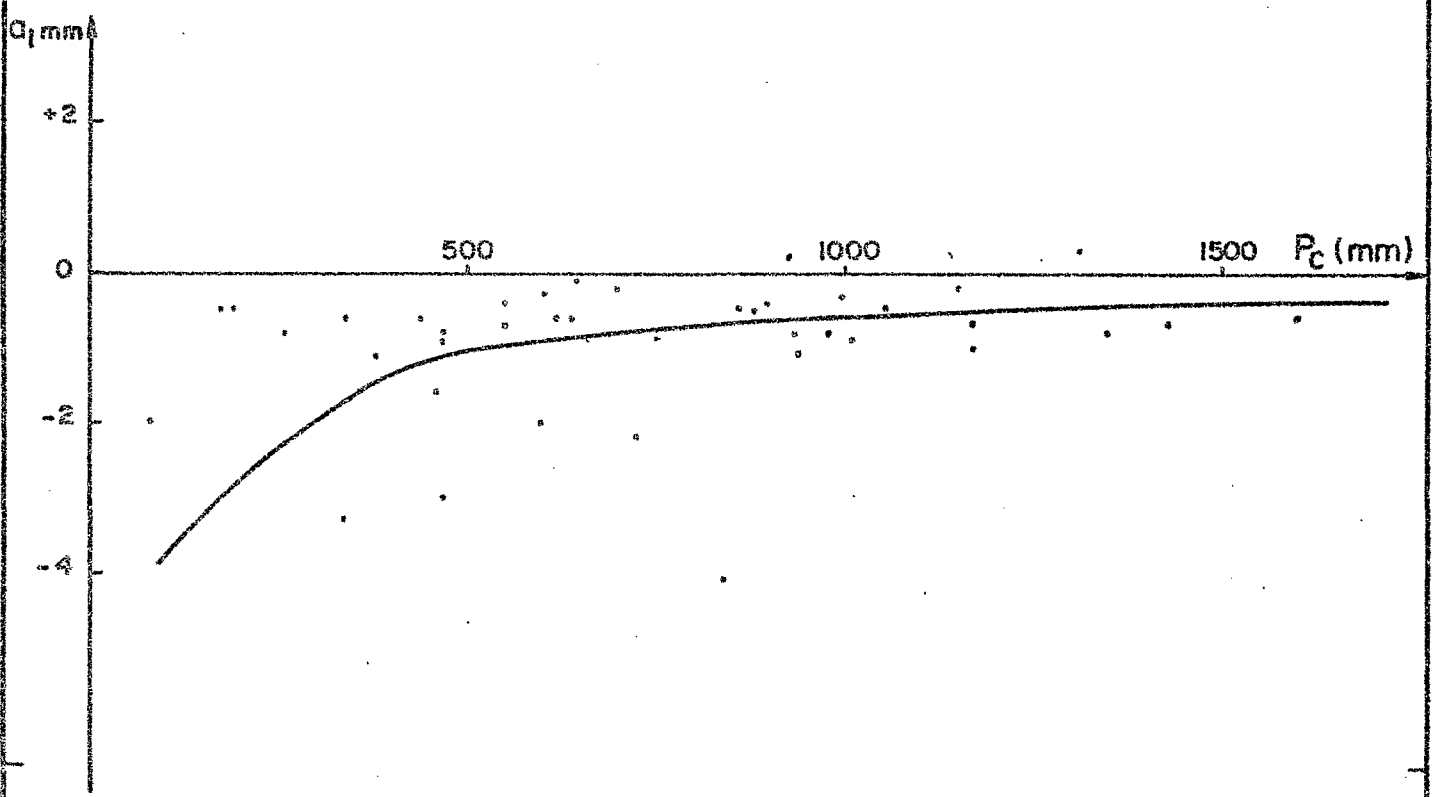
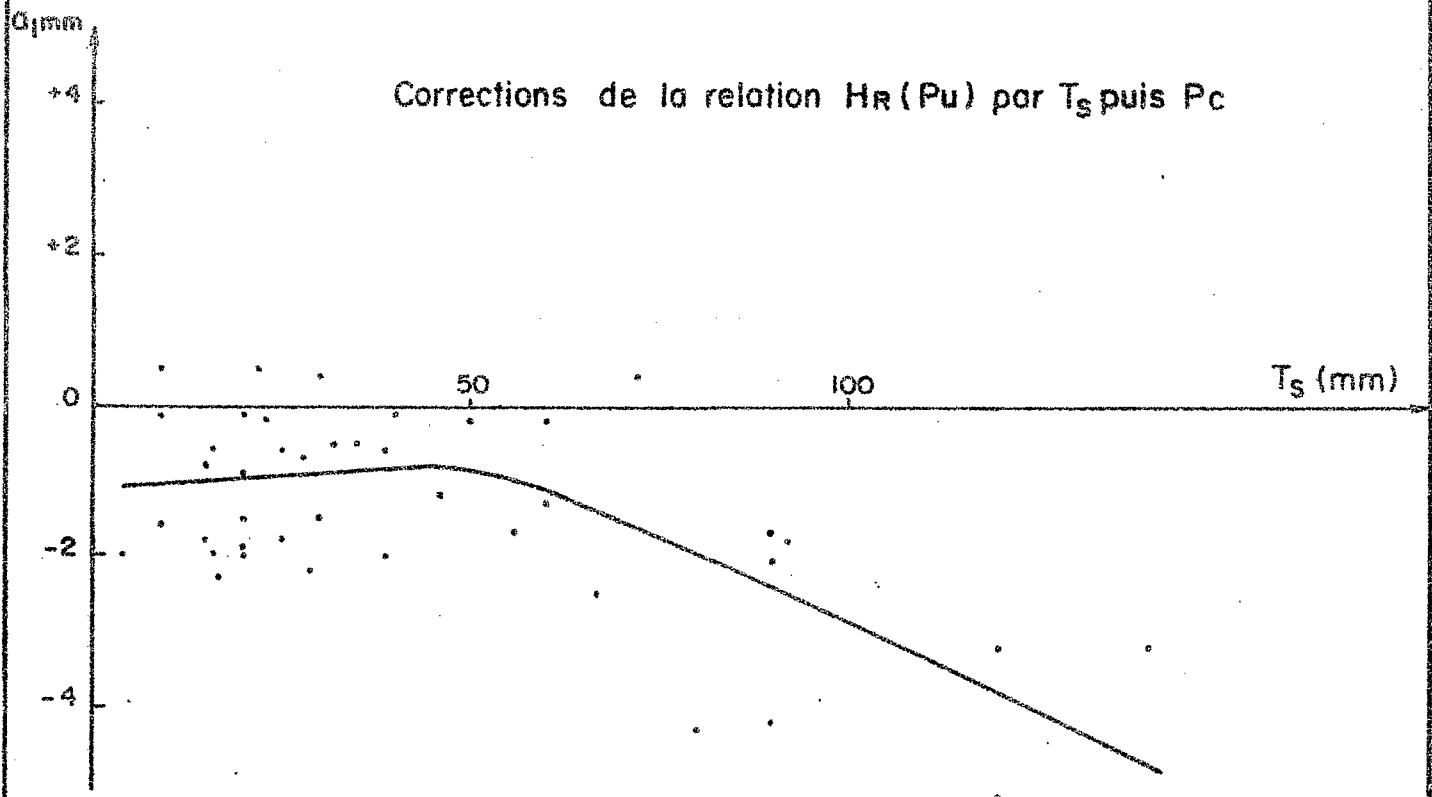
Pour effectuer ces calculs, trois crues ont été retenues (graphiques 16, 17 et 18) selon le critère d'homogénéité sur le bassin des averses correspondantes, l'hydrogramme-type étant alors obtenu en rapportant, par affinité, les hydrogrammes à une lame ruisselée de 1mm.

Sur le tableau XV ci-après nous avons reporté le débit obtenu pour chaque crue, en fonction du temps; l'instant correspondant au débit maximal étant pris pour origine.

HR(mm)

Correspondance lame ruisselée - Pluie utile
Courbe limite correspondant au sol saturé





Correspondance lame ruisselée - pluie utile
après corrections afférentes d'humidité du sol

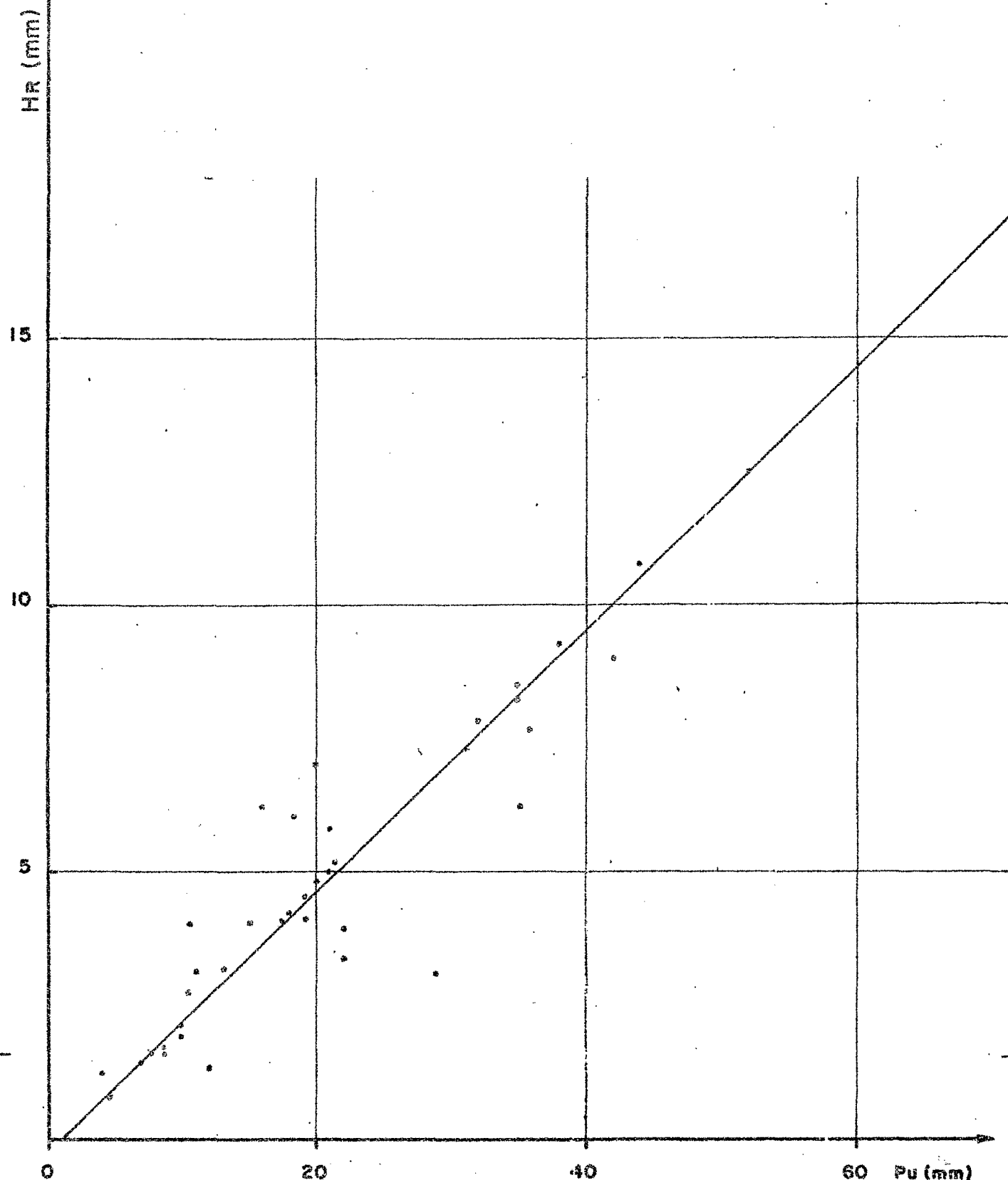
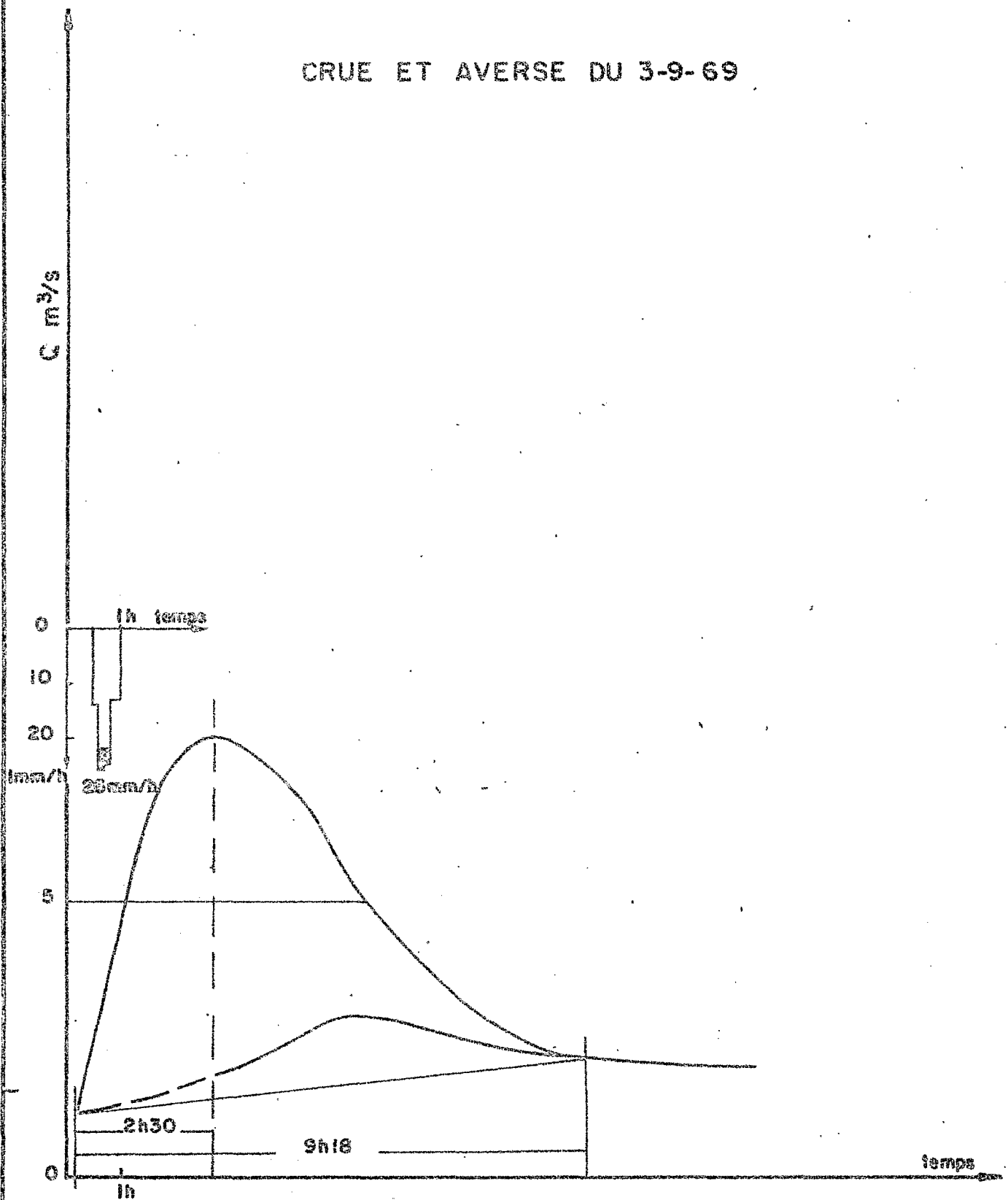


Tableau XV

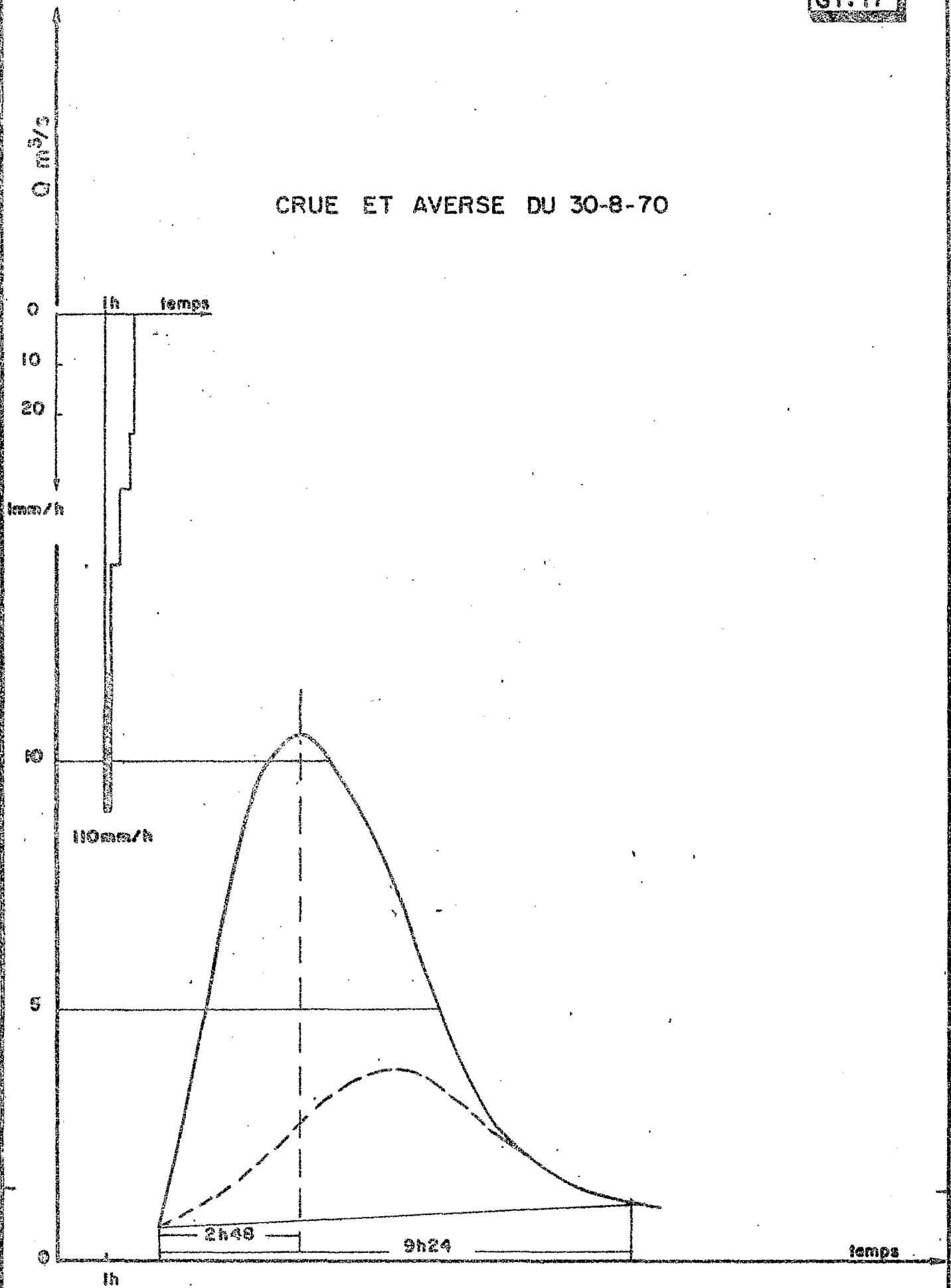
Calcul de l'Hydrogramme-type

t mm	-168	-150	-120	-90	-60	-30	0	+30	+60	+90	+120	+150	+180	+210	+240	+270	+300	+330	+360	+372
Date																				
3.9.69	0	0,46	1,08	1,82	2,24	2,36	2,40	2,20	2,03	1,80	1,44	1,16	0,94	0,78	0,58	0,42	0,27	0,14	0,05	0
30.8.70	0	0,42	1,06	1,66	2,15	2,36	2,44	2,33	2,16	1,90	1,48	1,16	0,93	0,68	0,46	0,30	0,20	0,10	0,01	0
10.10.71	0	0,78	1,40	1,84	2,06	2,22	2,26	2,16	1,98	1,74	1,52	1,30	1,08	0,94	0,78	0,60	0,48	0,36	0,25	0
Hyd-type	0	0,49	1,13	1,82	2,15	2,31	2,35	2,23	2,06	1,81	1,48	1,21	0,98	0,80	0,61	0,45	0,31	0,19	0,08	0

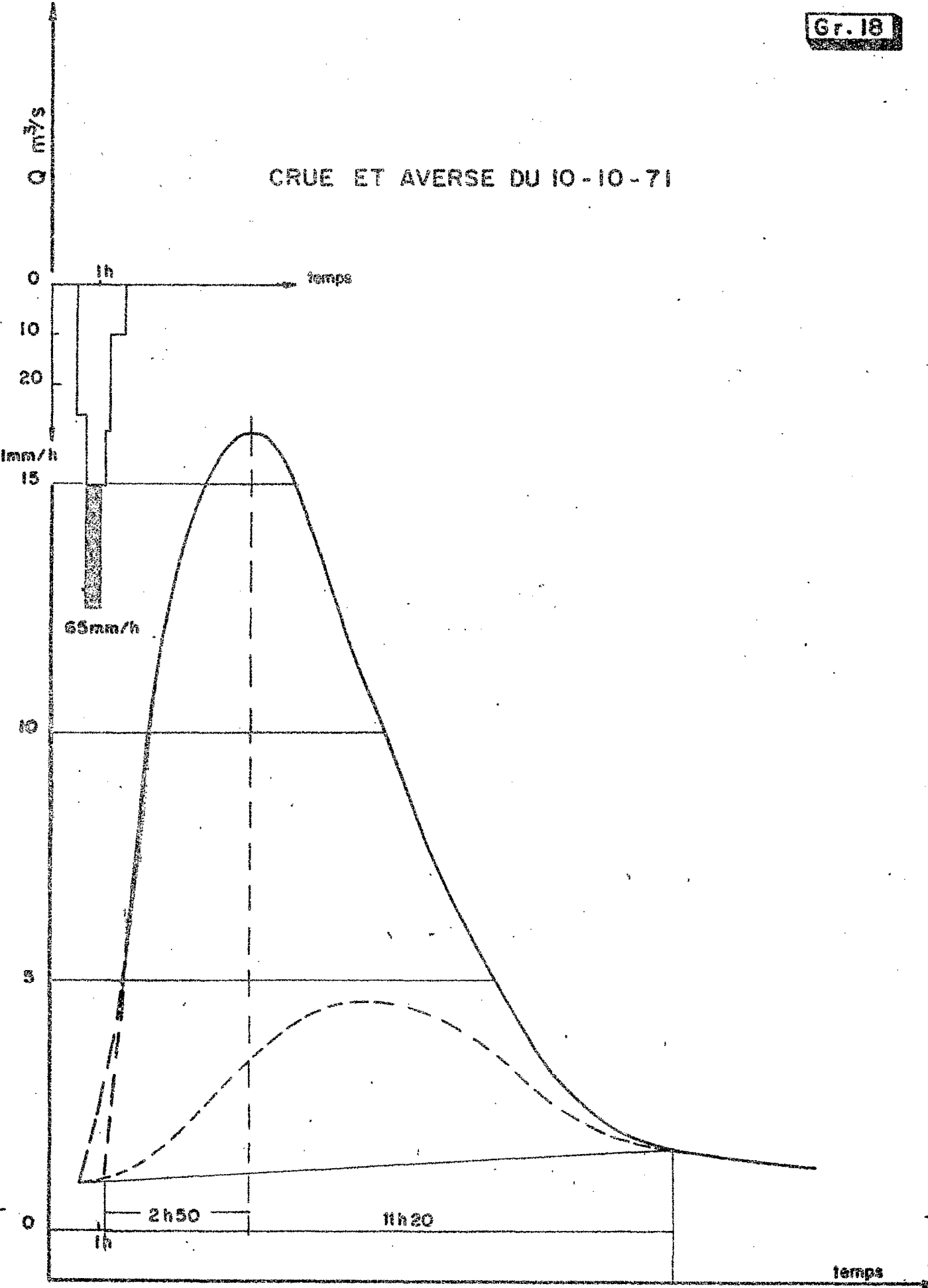
CRUE ET AVERSE DU 3-9-69



CRUE ET AVERSE DU 30-8-70



CRUE ET AVERSE DU 10-10-71



L'hydrogramme-type obtenu en opérant la moyenne de ces hydrogrammes est représenté sur le graphique 19. Ces principales caractéristiques sont les suivantes :

temps de base	: 9h54 mn
temps de montée	: 2h48 mn
débit maximal	: 2,34 m ³ /s

3.5. Estimation des crues exceptionnelles.

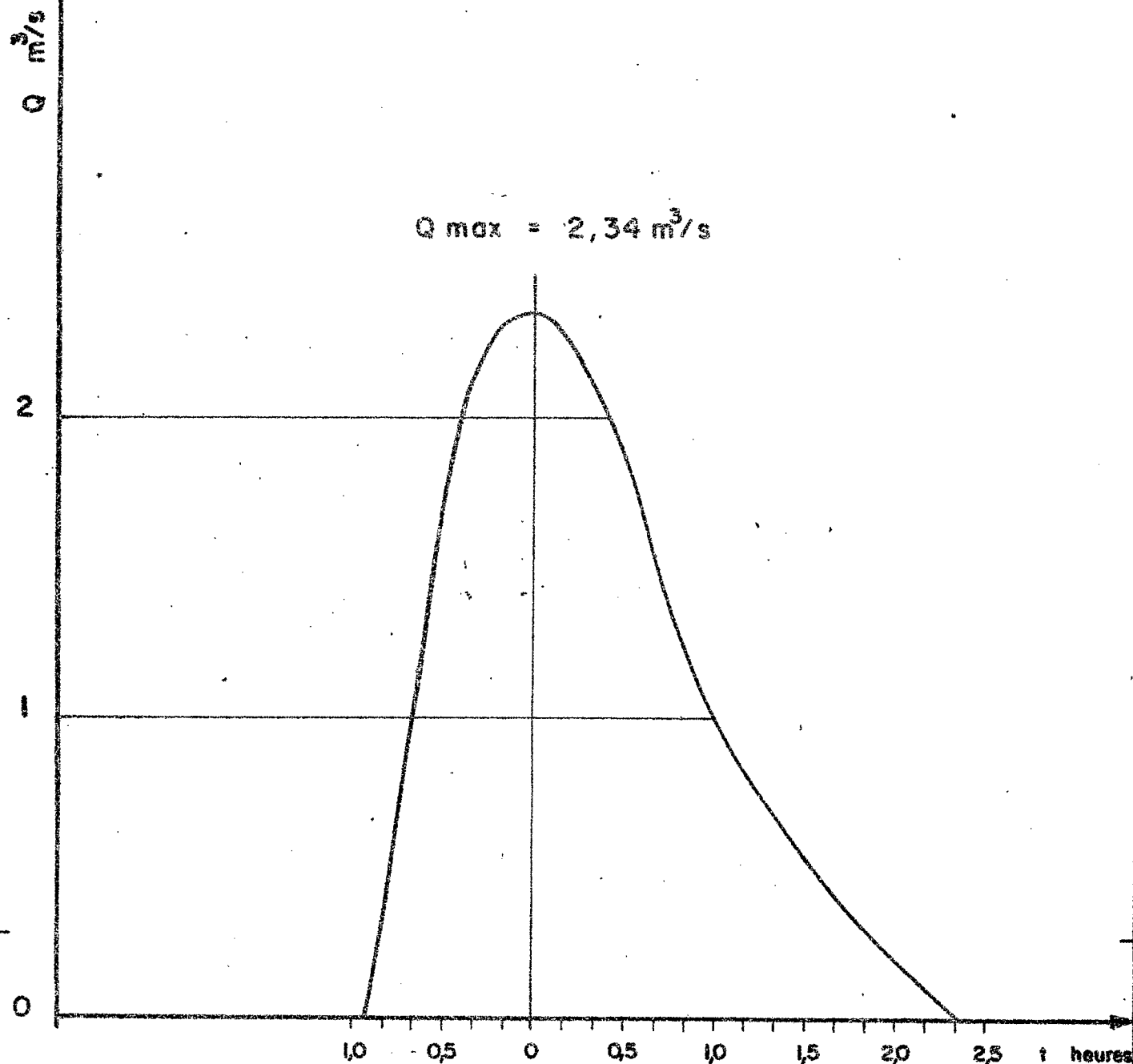
On peut admettre, en première approximation, qu'une crue exceptionnelle de fréquence donnée est provoquée par l'averse dont l'intensité moyenne sur le bassin est de même fréquence.

Pour passer de la pluviométrie ponctuelle P, qui résulte des études statistiques entreprises au chapitre 2, à la pluviométrie moyenne P_m sur le bassin, il est nécessaire de prendre en compte un "coefficient d'abattement".

Estimation de la crue décennale :

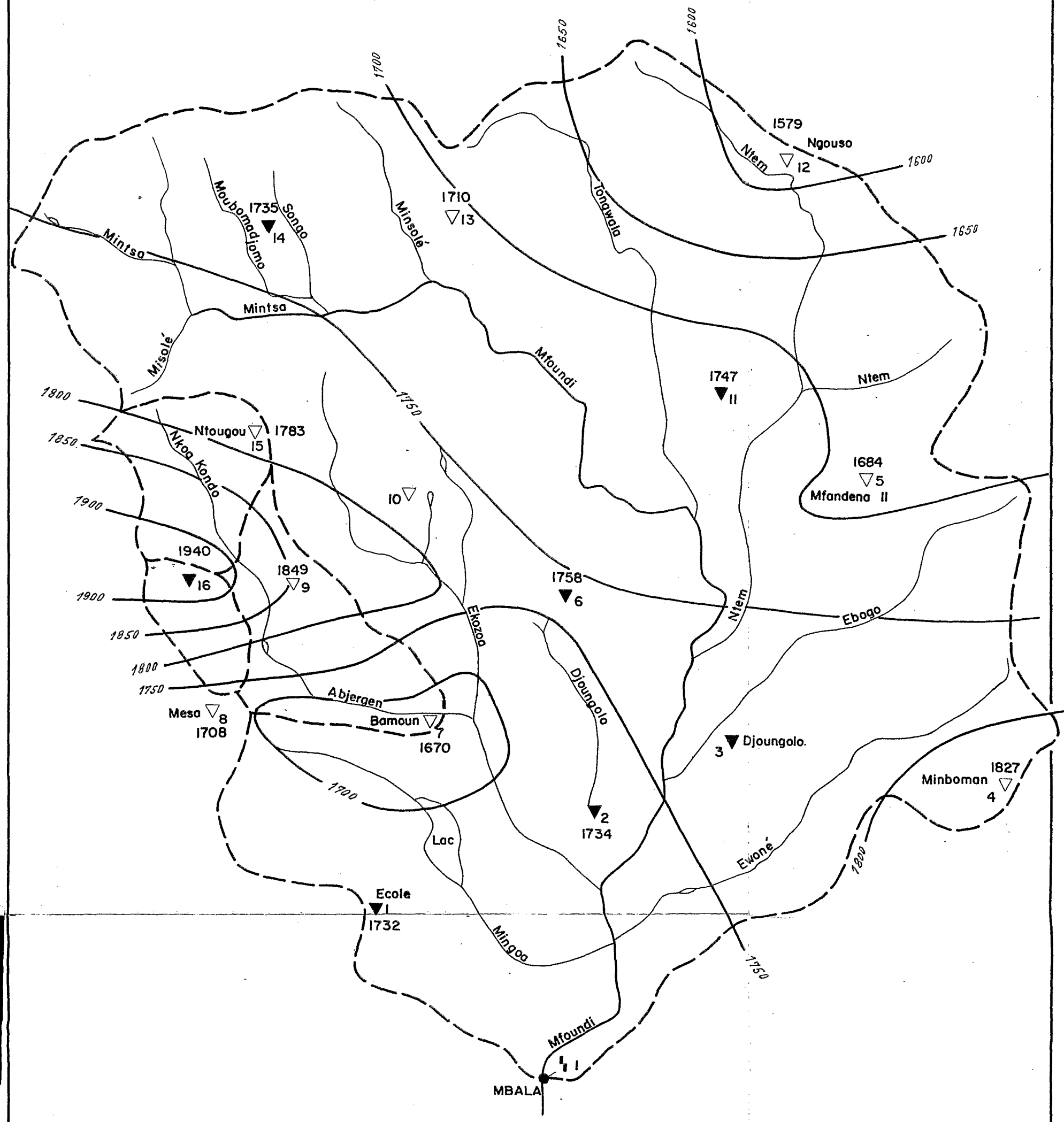
Valeurs de la pluie ponctuelle décennale	: 101 mm
Coefficient d'abattement estimé	: 0,90
Valeur de la pluie moyenne décennale	: 91 mm
Valeur de la pluie utile correspondante	: 68 mm
Lame ruisselée (d'après graphique 15)	: 16,4 mm
Coefficient de ruissellement K _R	: 18,0 %
Coefficient de ruissellement utile K _{Ru}	: 24,1 %
Débit maximal de ruissellement	: 38,4 m ³ /s
Débit maximal de crue total	: 42 m ³ /s (en prenant en
compte le débit correspondant au ruissellement retardé).	
Débit spécifique correspondant	: 1080 l/s/km ² .

Hydrogramme - type
ramené à une lame ruisselée de 1mm



GRAND BASSIN VERSANT DE YAOUNDE

ISOHYETES ANNUELLES 1970



ORSTOM

Direction générale :

24, rue Bayard, PARIS 8^e

Centre ORSTOM de Yaoundé :

B.P. 193 - YAOUNDE

République Unie du Cameroun

