

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
Service Hydrologique

Étude de ruissellement en zone urbaine
à BRAZZAVILLE



Le bassin du MAKÉLÉKÉLÉ

par

J. HERBAUD

PARIS - mars 1966

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

Service Hydrologique

ETUDE de RUISSELLEMENT
en ZONE URBAINE à BRAZZAVILLE

Le BASSIN du MAKELEKELE

par

Jacques HERBAUD



11 AVR. 1966

D8
HER

PARIS, Mars 1966

8961

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
<u>CHAPITRE I</u> - DESCRIPTION PHYSIQUE	1
1.1. - Situation et forme du bassin	1
1.2. - Substratum géologique et aptitude générale au ruissellement	1
1.3. - Pluviométrie	2
<u>CHAPITRE II</u> - EQUIPEMENT HYDRO-PLUVIOMETRIQUE	7
2.1. - Equipement hydrométrique	7
2.2. - Equipement pluviométrique	7
<u>CHAPITRE III</u> - PLUVIOSITE des ANNEES 1955-56 et 1956-57 ...	8
<u>CHAPITRE IV</u> - PRINCIPALES AVERSES et CRUES OBSERVEES ...	10
<u>CHAPITRE V</u> - COEFFICIENT de RUISSELLEMENT et INTENSITE des AVERSES	16
<u>CHAPITRE VI</u> - INFLUENCE de LA REPARTITION SPATIALE de la PLUIE sur le RUISSELLEMENT	18
6.1. - Premier indice d'hétérogénéité du ruissellement fourni par l'analyse ...	18
6.2. - Définition d'un paramètre représentant la répartition spatiale de la pluie ..	18
6.3. - Essai de classement des averses observées en deux catégories	18
6.4. - Recherche d'un rapport constant α entre l'aptitude au ruissellement des différentes zones du bassin	21
6.4.1. - Première hypothèse adoptée ..	21
6.4.2. - Deuxième hypothèse adoptée ..	22
6.4.3. - Conclusion provisoire	23

	<u>Page</u>
6.5. - Utilisation de l'étude de la forme de certains hydrogrammes	23
6.5.1. - Décomposition des hydro- grammes en deux ondes et étude des volumes de chacune d'elles	23
6.5.2. - Comparaison de la forme des deux ondes	23
6.5.3. - Conclusions	24
<u>CHAPITRE VII</u> - INFLUENCE de la SATURATION INITIALE du SOL sur le RUISSELLEMENT et CONSIDERATION de l'ENSEMBLE des FACTEURS du RUISSELLEMENT	26
7.1. - Définition d'un indice de saturation initiale (T_s)	26
7.2. - Cas des averses ayant intéressé plus particulièrement la zone C	29
7.3. - Cas des averses ayant intéressé plus particulièrement les zones A et B	29
<u>CHAPITRE VIII</u> - ESSAI de PREDETERMINATION des CRUES EXCEP- TIONNELLES	31
8.1. - Crue décennale du MAKELEKELE, l'urba- nisation étant supposée stoppée à l'état où elle se trouvait en 1957 ..	31
8.1.1. - Hauteur de précipitation moyenne sur le bassin de fréquence décennale P_{10}	31
8.1.2. - Coefficient de ruissellement $K_{P_{10}}$	32
8.1.3. - Débit maximal de ruissellement $Q_{R \max 10}$	33
8.2. - Augmentation du débit maximal de crue en fonction de l'urbanisation du bassin	35

E R R A T A

Page 1 , 4ème alinéa , 6ème ligne : périmètre 8,76 km
" ; 7ème " : Gravelius est 1,40
" ; 8ème " : l = 0,88 km

Graph. 2, dessin du haut : l = 0,88 km
indice de pente de ROCHE : Ip = = 0,068

Page 6, dernière ligne : plus rare que décennale

Page 7, 3ème ligne : et une section aménagée par la
construction d'un canal venturi
sous un ponceau

Page 16, 8ème ligne (en face de I_G, I_M, I_S) : intensités maxi-
males de 30 minu-
tes.

C H A P I T R E I

DESCRIPTION PHYSIQUE

1.1. - SITUATION et FORME du BASSIN

Le MAKELEKELE est un ruisseau canalisé qui sert de collecteur d'égouts et d'eaux pluviales dans le quartier de BACONGO à BRAZZAVILLE.

Il est situé dans la zone équatoriale par $4^{\circ}18'$ de latitude Sud.

Son bassin est de forme moyennement allongée, et le sens de l'écoulement se fait suivant le grand axe, de l'Est vers l'Ouest, parallèlement à la berge du fleuve CONGO dans lequel il aboutit.

Il est sans intérêt de calculer un coefficient de forme par une formule quelconque car le bassin défini par ses limites topographiques est en fait très hétérogène au point de vue de la ramification de son réseau hydrographique, mais ce calcul devait être fait pour aboutir aux indices de pente classiques : la superficie étant $3,08 \text{ km}^2$ et le périmètre 9 km , le coefficient de compacité de Gravelius est $1,39$, et le rectangle équivalent a pour côtés $L = 3,5$ et $l = 0,87 \text{ km}$.

L'altitude moyenne est 305 m et les indices de pente dont la définition est rappelée sur le graphique 2 sont $4,3 \text{ m/km}$ pour "l'indice global" et $0,068$ pour l'indice de ROCHE.

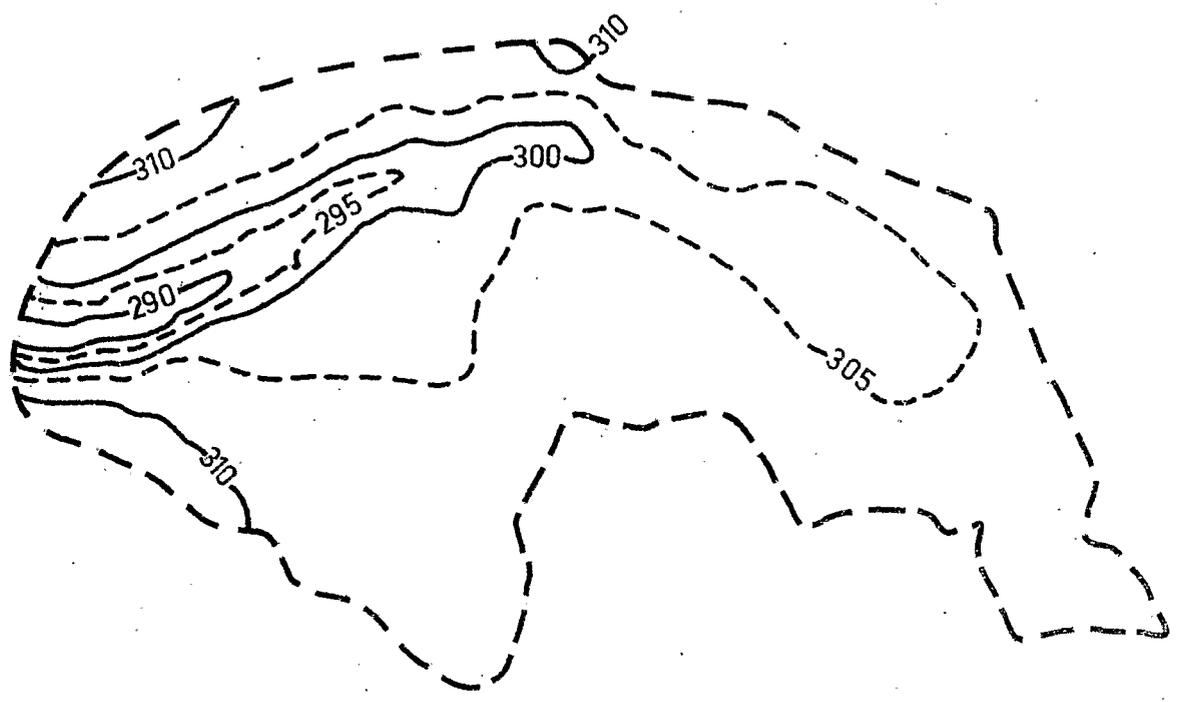
Il faut noter cependant que les fortes pentes sont localisées exclusivement à proximité du thalweg principal sur la moitié aval de son cours (voir graphique 1).

1.2. - SUBSTRATUM GEOLOGIQUE et APTITUDE GENERALE au RUISSELLEMENT

Le bassin repose sur la série du STANLEY POOL, formée de grès tendres très perméables.

B.V. DU MAKÉLÉKÉLÉ

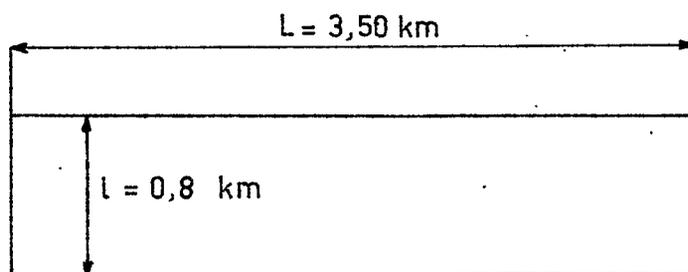
Carte hypsométrique



Échelle: 1/20 000

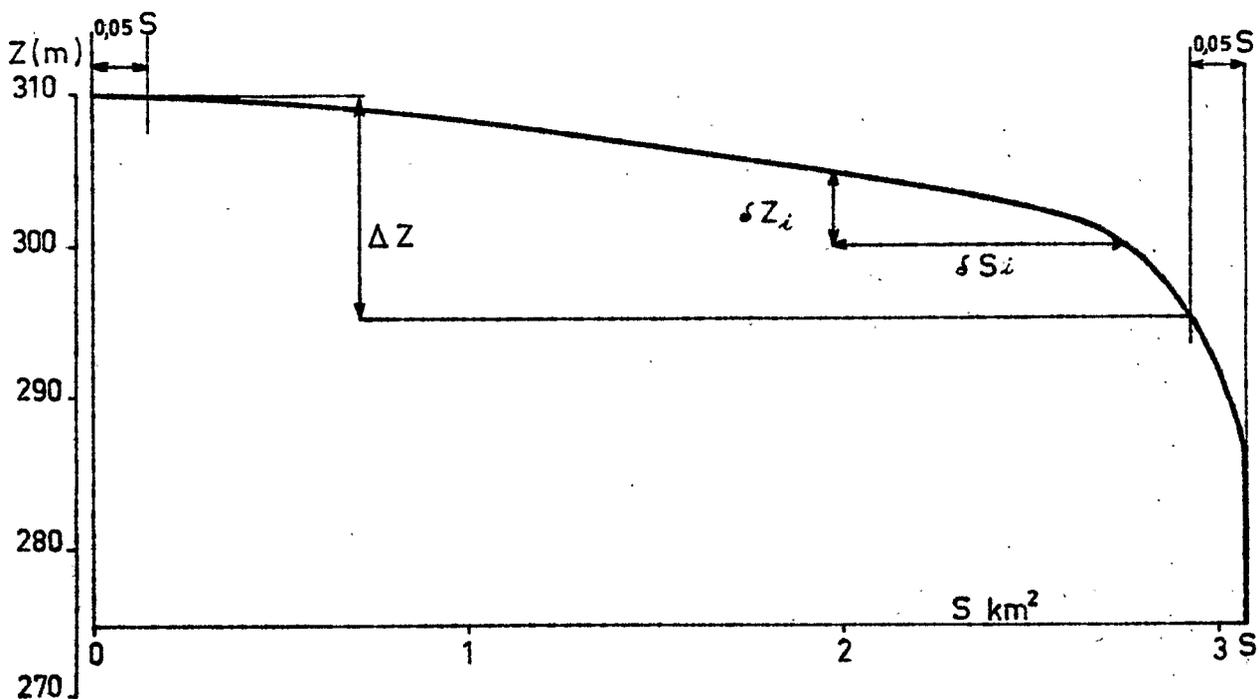
B. V. DU MAKÉLÉKÉLÉ

Rectangle équivalent et courbe hypsométrique



$$\text{Indice global de pente} = I_{GP} = \frac{\Delta Z}{L} = 4,3 \text{ m/km}$$

$$\text{Indice de pente de ROCHE} = I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{\delta Z_i \frac{\delta S_i}{S}} = 0,071$$



Le sol est plus ou moins transformé par tassement ou même masqué suivant qu'il est ou non occupé par les rues et les maisons, ce qui réduit en partie la perméabilité moyenne du bassin. A l'époque où les études ont été effectuées, la zone urbanisée a pu être évaluée aux 2/3 environ de la superficie totale.

On pouvait alors distinguer trois zones délimitées sur les graphiques 3 et 4 :

- a) à l'extrémité Ouest du bassin, une zone non urbanisée qui se trouve à faible distance de l'exutoire (zone A = 1,10 km²) et avec une certaine pente.
- b) au centre une zone urbanisée mais où le réseau d'égouts est réduit au collecteur principal longeant cette zone sans la traverser (zone B = 1,34 km²), la pente y est faible.
- c) à l'extrémité Est du bassin, une zone urbanisée et traversée par un réseau serré de collecteurs secondaires et tertiaires (zone C = 0,64 km²), où la pente est très faible.

On peut conclure de cette description que l'aptitude générale au ruissellement est très différente d'une zone à l'autre, bien que le sort commun de toutes les eaux ayant commencé à s'infiltrer soit de participer à l'écoulement de la nappe rapidement drainée vers le fleuve à travers les grès perméables.

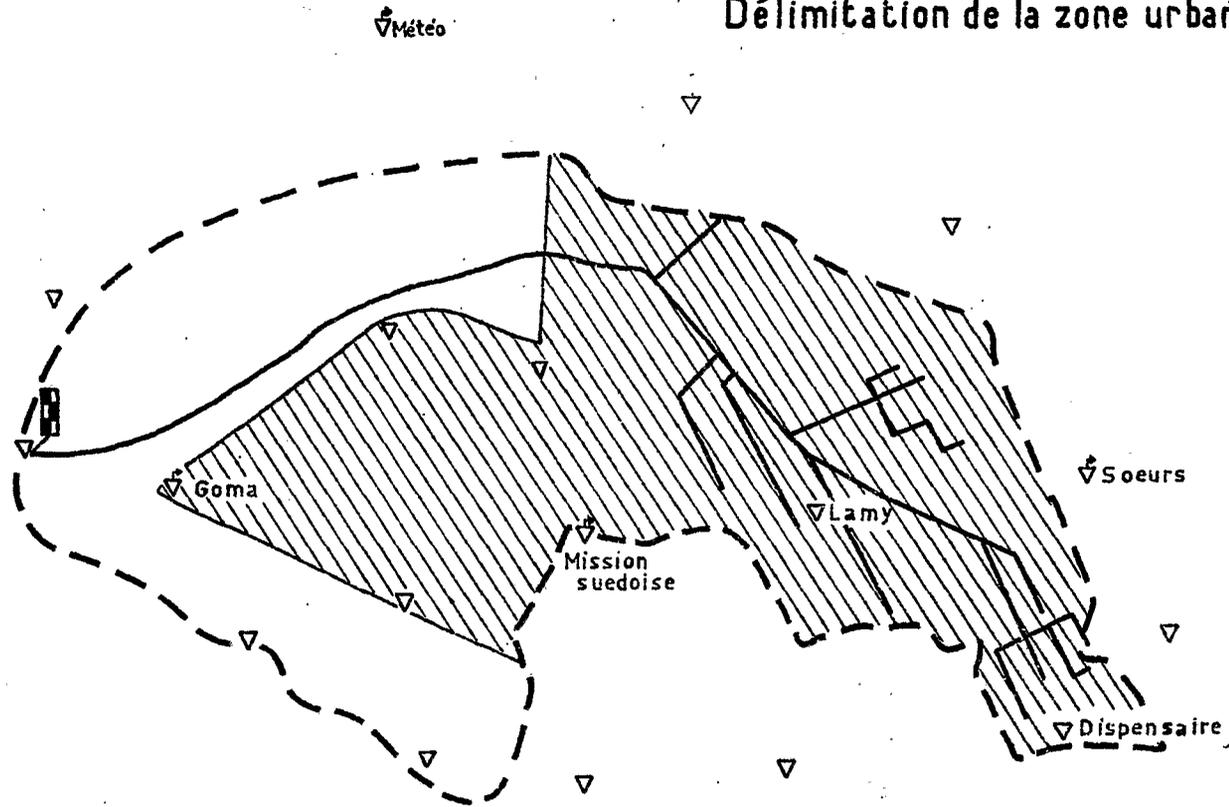
1.3. - PLUVIOMETRIE

Le climat de BRAZZAVILLE est dit "équatorial de transition austral", c'est-à-dire à une saison sèche bien marquée en Juillet-Août et une diminution bien moins sensible du rythme des pluies en Janvier-Février.

Les observations de BRAZZAVILLE - BACONGO pour la période 1932-1961 permettent de calculer les paramètres suivants pour les totaux mensuels et annuels (en mm) :

B.V. DU MAKÉLÉKÉLÉ

Délimitation de la zone urbanisée



▽ Pluviomètre

⚡ Pluvigraphe

■ Station de jaugeages

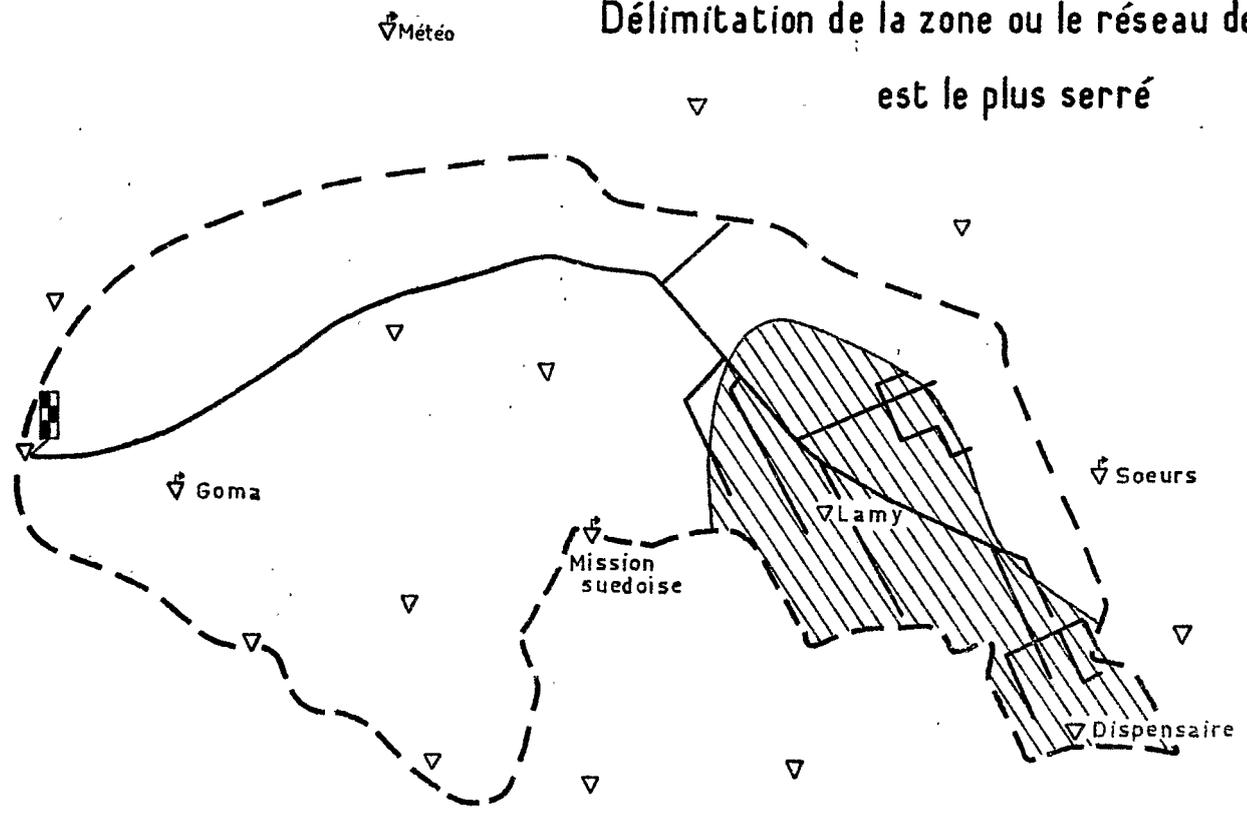
▨ Zone urbanisée (Ensemble des zones B et C)

⌋ Réseau des collecteurs

ÉCHELLE : 1/20 000

B.V. DU MAKÉLÉKÉLÉ

Délimitation de la zone où le réseau des collecteurs est le plus serré



- ▽ Pluviomètre
- ▽ Pluviographe
- ▭ Station de jaugeages
- ▨ Zone C
- Réseau des collecteurs

ÉCHELLE : 1/20 000

- STATION de BRAZZAVILLE - BACONGO -

Pluviométrie moyenne interannuelle

Période 1932-1961

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
moyenne	138,0	134,6	163,0	214,8	122,7	6,6	1,5	3,6	38,3	139,9	208,4	172,5	1344
"													
écart-type	61,5	64,6	69,4	86,8	61,6	14,8	4,7	7,1	33,3	68,6	60,3	64,0	211
minimum observé	28,8	21,3	58,8	69,7	12,0	0	0	0	0,5	36,3	69,0	44,8	823
maximum observé	267,8	277,8	348,1	492,6	257,3	64,0	23,7	25,7	112,5	282,6	326,2	283,1	1910

Une étude statistique avait été faite par l'ASECNA avec les données du même poste en ajustant la série des hauteurs de pluie annuelle à une loi de GAUSS et la série des maximums annuels de précipitations journalières à une loi de GUMBEL. On en avait déduit les valeurs de fréquences remarquables suivantes :

Probabilité théorique du dépassement	Hauteur de pluie annuelle (mm)	Maximum annuel de précipitation jour- nalière (mm)
0,01	1887	162
0,02	1835	149
0,05	1758	132
0,10	1691	119
0,20	1614	106
0,80	1074	66
0,90	997	62
0,95	930	57
0,98	853	52
0,99	801	42

Il ne faut pas confondre les résultats de la 2ème colonne avec une table de fréquences de l'ensemble des pluies journalières. Le maximum observé en 30 ans est 182 mm et c'est évidemment, parmi les données exploitées dans l'étude citée, la seule dont la fréquence soit connue pour un classement exhaustif des pluies journalières.

On peut disposer heureusement des données journalières complètes de 33 années, et leur répartition statistique a été étudiée de la façon suivante : on a étudié séparément deux ensembles, dans un premier temps.

- a) 1932 et 1933, 1944 à 1948 et Octobre 1954 à Septembre 1959 (12 années en 3 périodes , ensemble A)
- b) 1934 à 1938, 1939 à 1943 et 1949 à 1953 (15 années, en 3 périodes, ensemble B).

L'ensemble A a été distingué de B par le fait que les faibles pluies paraissent avoir été plus correctement observées, les mentions "traces" et "gouttes" étant relativement fréquentes. Cette remarque laissait penser que la totalité des pluies était mieux observée pour A, et effectivement le classement des pluies de 5 en 5 mm effectué séparément pour chacune des 3 périodes de A et des 3 périodes de B montre que les premières présentent une répartition plus régulière. Cependant, l'observateur a peut être été trop zélé pendant les années du groupe A, en comptant comme jours de pluie, avec la mention "traces", des jours de rosée.

On a considéré, dans un deuxième temps, l'ensemble des dernières années d'observation : Octobre 1959 à Septembre 1965 (6 années en 1 période, ensemble C).

C'est le critère de régularité de la répartition qui a permis de rapprocher les ensembles A et C, qui tous deux paraissent présenter des données de meilleure qualité que l'ensemble B. En effet, si l'on classe les pluies journalières de 5 en 5 millimètres et si l'on considère les 8 classes C_5 à C_{40} inférieures à 40 mm, on peut décompter pour chaque période le nombre n de cas où l'une des classes C_i est plus abondante que la classe C_{i-5} : ce nombre n ne peut être différent de 0 que si la période est assez courte. Or, les 2 périodes de 5 ans de l'ensemble A et la période de 6 ans de l'ensemble C sont toutes caractérisées par $n = 0$, tandis que dans l'ensemble B on note pour les trois périodes de 5 ans :

- $n = 2$ (1934 à 1938)
- $n = 1,5$ (1939 à 1943 : C_{40} plus abondante que C_{35} et C_{30} aussi abondante que C_{25})
- $n = 2$ (1949 à 1953).

On a représenté graphiquement la répartition des pluies journalières (classées dans le tableau 0) en portant en ordonnées la limite supérieure de la classe ou la valeur de la pluie journalière observée pour celles qui sont supérieures à 100 mm, et en abscisses le logarithme de la fréquence expérimentale : si l'on peut faire passer une droite au milieu des points obtenus, c'est que la répartition des pluies journalières obéit à une loi de PEARSON III avec $\chi = 1,0$. Un tel ajustement est peu satisfaisant si on considère les données

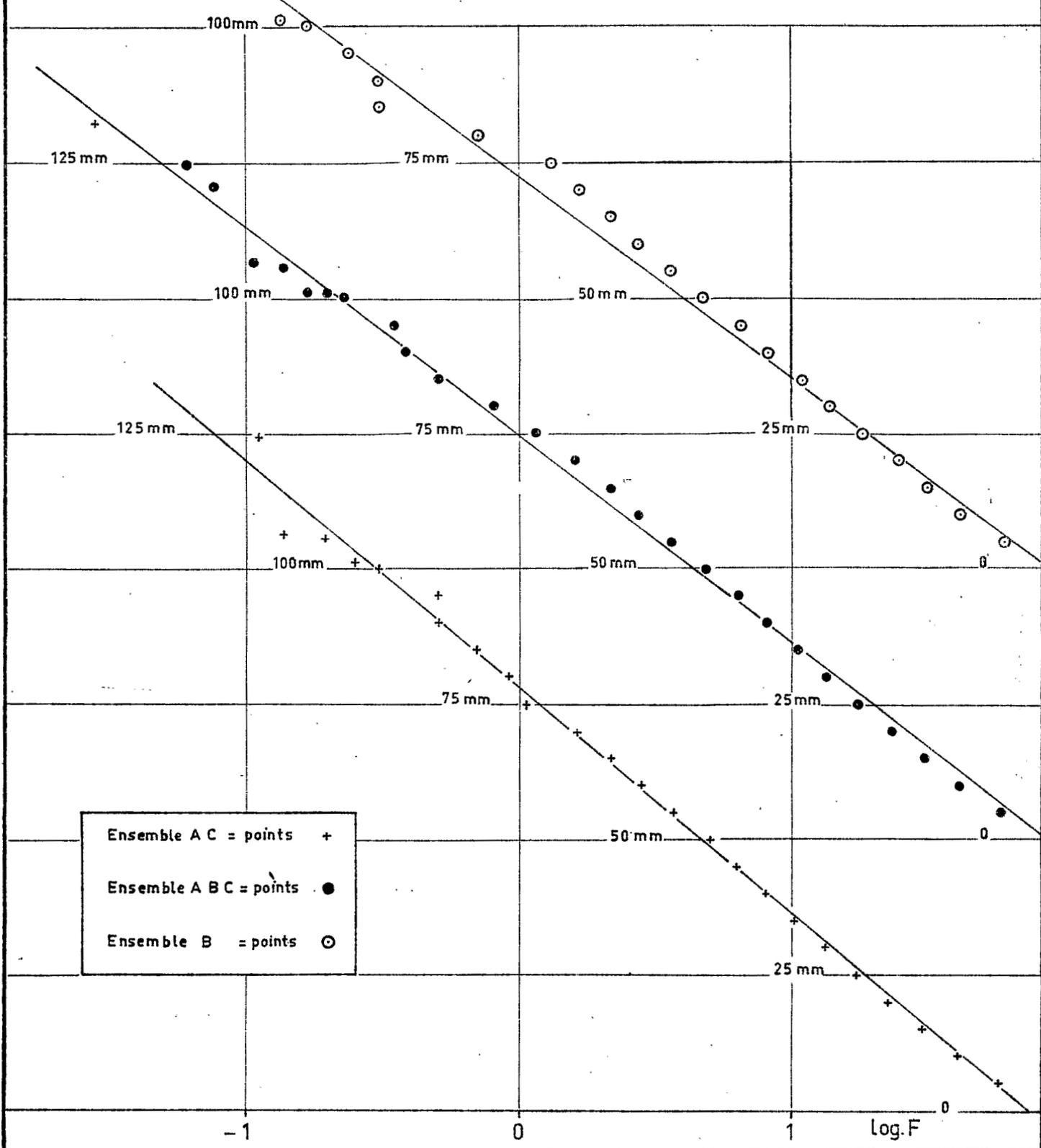
TABLEAU n° 0

CLASSEMENT des PLUIES JOURNALIERES

Ensembles A, B et C réunis (N = 33 ans)				Ensemble B (N = 15 ans)				Ensembles A et C réunis (N = 18 ans)			
P (mm)	r (rang)	$\log(r-\frac{1}{2})$	$\log F$ (x)	P (mm)	r	$\log(r-\frac{1}{2})$	$\log F$	P (mm)	r	$\log(r-\frac{1}{2})$	$\log F$
182,1	1	- 0,301	- 1,819	120,5	1	- 0,301	- 1,477	182,1	1	- 0,301	- 1,556
124,3	2	0,301	- 1,217	101,0	2	0,301	- 0,875	124,3	2	0,301	- 0,954
120,5	3	0,398	- 1,120	100	3	0,398	- 0,778	106,5	3	0,398	- 0,857
106,5	4	0,544	- 0,974	95	4	0,544	- 0,632	105,5	4	0,544	- 0,711
105,5	5	0,653	- 0,865	90	5	0,653	- 0,523	101,0	5	0,653	- 0,602
101,1	6	0,740	- 0,778	85	5	0,653	- 0,523	100	6	0,740	- 0,515
101,0	7	0,813	- 0,705	80	11	1,021	- 0,155	95	9	0,954	- 0,301
100	8	0,875	- 0,643	75	20	1,290	0,114	90	9	0,954	- 0,301
95	12	1,061	- 0,457	70	25	1,389	0,213	85	13	1,097	- 0,158
90	13	1,097	- 0,421	65	33	1,512	0,336	80	17	1,217	- 0,038
85	17	1,217	- 0,301	60	41	1,607	0,431	75	19	1,279	0,024
80	27	1,423	- 0,095	55	54	1,728	0,552	70	29	1,462	0,207
75	38	1,574	0,056	50	70	1,842	0,666	65	39	1,591	0,336
70	53	1,720	0,202	45	97	1,985	0,809	60	50	1,699	0,444
65	71	1,848	0,330	40	121	2,081	0,905	55	66	1,820	0,565
60	90	1,952	0,434	35	162	2,208	1,032	50	89	1,949	0,694
55	119	2,074	0,556	30	204	2,309	1,133	45	112	2,047	0,792
50	158	2,197	0,679	25	267	2,426	1,250	40	142	2,151	0,896
45	208	2,317	0,799	20	362	2,558	1,382	35	181	2,256	1,001
40	262	2,417	0,899	15	465	2,667	1,491	30	235	2,370	1,115
35	342	2,533	1,015	10	608	2,784	1,608	25	307	2,486	1,231
30	438	2,641	1,123	5	882	2,945	1,769	20	398	2,599	1,344
25	573	2,758	1,240					15	531	2,725	1,470
20	759	2,880	1,362					10	717	2,855	1,600
15	995	2,998	1,480					5	1010	3,004	1,749
10	1324	3,122	1,604								
5	1891	3,277	1,759								

(x) $\log F = \log(r - \frac{1}{2}) - \log N$

Pluviométrie journalière de la station de BRAZAVILLE-BACONGO



Ensemble A C = points +
 Ensemble A B C = points ●
 Ensemble B = points ⊙

des ensembles A, B et C réunis (33 ans), et ceci est encore plus net si on considère l'ensemble B seul (15 ans). Par contre, cet ajustement est meilleur si on considère seulement les données des ensembles A et C réunis (18 ans), à condition de ne pas tenir compte du point représentant l'averse de 182,1 mm du 10/4/1961, qui correspond à un temps de retour bien plus long que la période observée.

La lecture du graphique 5 peut donner une estimation des pluies journalières de fréquence remarquable :

- fréquence annuelle ($\log F = 0$) $P = 78$ mm
- fréquence décennale ($\log F = - 1$) $P = 120$ mm

La précipitation maximale observée, 182,1 mm, serait de fréquence bien plus rare que centenaire.

C H A P I T R E II

EQUIPEMENT HYDRO-PLUVIOMETRIQUE

2.1. - EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE

Le bassin du MAKELEKELE a été équipé d'une seule station hydrométrique, commandant la superficie totale de 3,08 km², et qui comporte un limnigraphe et une section stabilisée sous un ponceau.

Les mesures de débits ont cependant été difficiles à cause de la quantité de matériaux en suspension de tous calibres qui provenaient de la zone urbanisée.

2.2. - EQUIPEMENT PLUVIOMETRIQUE

La pluie a été mesurée en 18 emplacements répartis sur le bassin et à proximité immédiate, les appareils comprenant 14 pluviomètres et 4 pluviographes dont celui de la station du Service Météorologique.

Seuls les 3 pluviographes, installés spécialement pour les besoins de l'étude, ont été utilisés pour évaluer l'intensité des précipitations, car celui du Service Météo se trouve trop éloigné des limites du bassin.

C H A P I T R E III

PLUVIOSITE des ANNEES 1955-56 et 1956-57

L'année hydrologique étant prise du 1er/9. au 31/8, on peut dire que la pluviométrie moyenne interannuelle sur cette période est la même que celle calculée avec les totaux des années calendaires. La pluviosité des années 1955-56 et 1956-57 peut être évaluée pour la station du Service Météorologique :

- 1955-56 est déficitaire (1110,5 mm soit 83 % de la moyenne)
- 1956-57 est légèrement excédentaire (1428,1 mm soit 106 % de la moyenne).

La pluviosité ainsi calculée est bien représentative du bassin, car pour la période d'observations complètes du réseau du bassin, on trouve des totaux mensuels et saisonniers en bonne corrélation pour la moyenne sur le bassin (P_{BV}) et pour la station du Service Météorologique (P_{SM}) :

	1955			1956					1955/1956
	O	N	D	J	F	M	A	M	Oct. à Mai
P. BV	132,2	190,7	183,4	199,0	103,1	128,7	135,4	95,1	1167,6
P. SM	126,7	191,0	161,4	181,6	92,2	132,1	142,9	74,8	1102,7
	1956			1957					1956/1957
	N	D	J	F	M	A	M	Nov. à Mai	
P. BV	210,1	256,7	184,6	106,0	152,6	262,7	178,2	1350,9	
P. SM	225,3	283,1	129,6	122,8	153,6	250,0	175,6	1340,0	

L'examen de ces données permet de préciser l'appréciation de la pluviosité : en 1955-56 tous les mois sont déficitaires sauf Janvier, et en 1956-57 tous les mois ne sont pas excédentaires et le seul qui le soit très fortement est Décembre (maximum observé sur 30 ans pour P_{SM})

C H A P I T R E IV

PRINCIPALES AVERSES et CRUES OBSERVEES

Les crues ayant fait l'objet d'un dépouillement complet sont décrites dans le tableau 1 qui rassemble les caractéristiques suivantes :

- \bar{P} Pluie moyenne sur le bassin
- P_{max} Pluie ponctuelle maximale observée sur le bassin
- $K = \frac{\bar{P}}{P_{max}}$ Coefficient d'abattement de la pluie maximale
- P_{min} Pluie ponctuelle minimale observée sur le bassin
- t_a Nombre de jours sans pluie ayant précédé la crue
- Q_0 Débit de base
- V_R Volume ruisselé
- K_R Coefficient de ruissellement
- T_m Temps de montée
- T_p Temps de réponse
- T_b Temps de base
- Q_{max} Débit de pointe

Certaines valeurs de T_m , T_p et T_b sont indiquées entre parenthèses : l'explication en est donnée plus loin.

TABLEAU n° 1

BASSIN VERSANT du MAKELEKELE - S = 3,08 km²

Averses et crues entièrement dépouillées en 1955-56

Date	n°	P mm	Pmax mm	K %	Pmin mm	t ^a j ^a	Qo l/s	Vr milliers de m ³	K _R %	Tm h - mn	Tp h - mn	Tb h - mn	Qmax l/s
12-10-55	1x	44,0	54,0	81	36,0	-	40	4	3	(1 --)	(0-55)	3 --	1650
2-11-55	8x	58,3	65,7	88	49,0	4	160	18	10	0-52	0-40	3 --	4960
3-12-55	18x	25,2	30,0	84	14,0	2,5	200	4,34	5,6	0-25	0-20	2 --	1880
22-12-55	24x	41,4	60,0	69	30,0	5	130	4,9	4	0-40	0-25	3 --	1930
29-12-55	27x	39,6	46,0	86	35,0	2	140	8,25	7	0-37	0-37	(3 --)	2930
16- 1-56	33x	50,7	62,0	81	45,0	0,5	80	19,5	12,5	1-10	1 --	(5 --)	3870
22- 1-56	37x	45,6	62,0	73	35,0	1	150	26,3	19	0-50	0-50	3 --	7645
6- 2-56	40x	33,1	45,7	72	22,0	3	20	9,9	9,7	0-50	0-40	1-30	3480
7- 2-56	41x	29,9	48,0	62	19,4	0,5	90	13,1	14	0-40	0-25	(4 --)	3800
24- 3-56	53x	41,6	51,7	80	31,7	0,5	70	16,6	13	0-50	0-35	2-30	5240
8- 4-56	57x	32,1	56,1	57	14,6	2	100	3,07	3,1	(0-50)	(1 --)	2-50	880
30- 4-56	63x	38,9	43,7	89	30,0	5	100	6	5	0-42	0-40	(3 --)	2580
2- 5-56	64/1x	21,4	28,3	76	16,6	1,5	30	3,3	5	0-14	0-12	2 --	1680
3- 5-56	64/2x	48,6	66,5	73	34,9	0,17	120	11,4	8			(3-30)	1890

x - les numéros des crues de 1955-56 seront toujours suivis d'un x pour les distinguer de ceux des crues de 1956-57.

TABLEAU n° 1 - (suite)

Averses et crues entièrement dépouillées en 1956-57

Date	n°	\bar{P}	Pmax	K	Pmin	ta	Q ₀	V _r	K _R	Tm	Tp	Tb	Q _{max}
11-11-56	12	59,4	68,8	86	42,2	6	30	9,4	5	0-35	0-25	(3-30)	3360
20-11-56	17	57,4	62,0	92	44,7	2	120	20,6	12	0-52	0-30	(4 --)	6130
28-11-56	19	39,2	47,5	82	36,0	5	180	9,4	8	0-52	0-35	(3-30)	3550
3-12-56	21	45,7	58,0	78	21,5	5	50	24,5	17	0-52	0-35	2-30	7640
12-12-56	23	24,6	30,3	81	18,0	4	100	4,8	6,3	0-30	0-20	1-40	2855
16-12-56	25	26,1	31,9	81	23,6	1	70	8,14	10,1	0-25	0-35	2 --	3550
18-12-56	27	38,9	51,0	76	23,9	0,33	120	18,9	16	0-50	0-30	2-30	6920
28-12-56	30	54,0	62,8	86	44,7	8	160	24,5	15	(1-23)	0-40	(3-10)	5390
1-1-57	32	61,0	69,0	88	55,0								
	32/1	16			2		200	1,4	2,9	0-25	0-15	0-45	1360
	32/2	45			0,12		200	26,0	19	0-45	0-40	2-25	7950
6- 1-57	33	15,8	29,2	54	8,8	5	150	3,15	6	0-15	0-30	1-45	2035
11- 1-57	35	32,7	48,0	68	18,2	1	100	19,1	19	0-45	0-45	2-35	6240
20- 1-57	38	20,1	23,5	85	16,0	2	190	1,96	3,2	0-35	0-30	1-45	1210
31- 1-57	42	8,8	12,0	73	7,5	0,17	200	0,97	3,5	0-12	0-42	1 --	910
25- 2-57	47	22,2	24,7	90	19,0	2,5	150	1,97	2,9	(1-15)	0-25	(3 --)	970
6- 4-57	59	60,1	67,4	89	54,5	2	120	30,7	16,6	1 --	0-50	2-45	8160
23- 5-57	75	31,5	50,0	63	16,0	4	140	3,45	3,5	0-42	0-45	2-30	1250
27- 5-57	77	32,4	41,0	79	21,5	3,5	90	10,60	10,6	0-40	0-40	2 --	3870

- Crue n° 1x du 12-10-55

La forme de l'hydrogramme est très irrégulière mais il est difficile de trouver une explication à cela car on ne possède qu'un enregistrement pluviographique, celui de la Mission des Soeurs. Le temps de montée et le temps de réponse ne sont supérieurs à la normale que parce qu'ils sont relatifs à la 2ème pointe de crue, provenant probablement de la partie Est du bassin.

- Crue n° 27x du 29-12-55

La décrue est retardée par des intumescences liées à de petites recrudescences de la pluie. Si l'averse n'avait pas présenté de traîne, le temps de base aurait été de l'ordre de 2h au lieu de 3h.

- Crue n° 33x du 16-1-56

La remarque précédente s'applique aussi à cette crue. Si l'averse n'avait pas présenté de traîne, le temps de base aurait été de l'ordre de 2h30 à 3h au lieu de 5h.

- Crue n° 37x du 22-1-56

Malgré une homogénéité assez grande de l'averse et la forme ramassée des hyétogrammes, l'hydrogramme présente une montée irrégulière avec l'amorce d'un palier intermédiaire qui suggère l'hypothèse de la superposition de deux crues distinctes celle provenant de la partie aval arrivant la première à la station.

- Crue n° 40x du 6-2-56

La remarque précédente s'applique aussi à cette crue bien que l'on n'observe en réalité qu'une diminution de la vitesse de montée de la crue à partir d'une certaine heure.

- Crue n° 41x du 7-2-56

Le temps de base est de 4h à cause de la longue durée (2h) de la traîne de l'averse.

L'hydrogramme à deux pointes (correspondant à 2 pointes d'intensité de précipitation) ne permet pas de dire ce qu'aurait été le temps de base pour la même averse sans traîne.

- Crue n° 57x du 8-4-56

La remarque relative à la crue n° 1x est applicable à cette crue qui a un hydrogramme à deux pointes très étalé pour le faible volume qu'il représente. On ne peut pas dire si la 2ème pointe est due principalement à la crue de la partie amont ou à la crue du bassin total provoquée par la 2ème recrudescence de l'intensité de précipitation.

- Crue n° 63x du 30-4-56

La remarque relative à la crue n° 27x est applicable ici : le temps de base serait d'environ 1h30 au lieu de 3h.

- Crue n° 64/2x du 3-5-56

L'hydrogramme accuse deux ondes de crue successives mais le corps de l'averse étant formé de nombreuses pointes d'intensité échelonnées sur 2 heures, il est impossible à première vue d'analyser la correspondance des phénomènes.

- Crues n° 12 du 11-11-56, n° 17 du 20-11-56 et n° 19 du 28-11-56

La remarque relative à la crue n° 27x est applicable ici : le temps de base serait environ 1h30 au lieu de 3h30 pour la crue n° 12, 2h. à 2h30 au lieu de 4h. pour la crue n° 17, et 1h30 à 2h. au lieu de 3h30 pour la crue n° 19.

- Crues n° 21 du 3-12-56 et n° 27 du 18-12-56

La première peut faire l'objet de la même remarque que la crue n° 37x, et la deuxième est à rapprocher de la crue n° 40x.

- Crue n° 30 du 28-12-56

La remarque relative à la crue n° 64/2x est applicable ici bien que le rapport des volumes correspondant aux deux ondes de crues successives soit très différent. Le temps de montée de 1h23 mn n'a pas grande signification mais le temps de réponse peut être indiqué bien qu'il soit connu avec une précision

inférieure à la moyenne.

- Crue n° 32 du 1er-1-57

Cette crue en comporte en réalité deux successives, à 3h d'intervalle. Les averses ont été mesurées ensemble sauf aux pluviographes de GOMA et de la Mission des Soeurs.

	<u>GOMA</u>	<u>Mission des Soeurs</u>
1ère averse	25,5	4,0
2ème averse	43,6	55,5
Total	69,1	59,5

On a estimé la pluie moyenne de chaque averse sur le bassin par l'expression $0,6 P$ (GOMA) + $0,4 P$ (Soeurs) pondérée de sorte que la somme des deux averses soit égale à la pluie moyenne calculée par le réseau d'isohyètes.

- Crue n° 33 du 6-1-57

L'analyse des données de cette crue a été faite sans précautions spéciales malgré le fait que l'on ignore la forme et l'importance d'une première onde de crue sans doute peu abondante qui a succédé à la première partie de l'averse enregistrée au pluviographe Soeurs une heure avant la pluie généralisée.

- Crue n° 35 du 11-1-57

La remarque relative aux crues n° 40x et n° 27 est également applicable ici.

- Crue n° 47 du 25-2-57

L'averse a été longue d'au moins 3 heures dont une heure pour le corps et sans forte intensité. Il en est résulté une crue très étalée au début et à la fin mais présentant une pointe unique dont la montée est rapide et qui semble correspondre au même temps de réponse que les crues plus proches de la crue unitaire idéale.

C H A P I T R E V

COEFFICIENT de RUISSELLEMENT et INTENSITE des AVERSES

Il apparaît que la liaison est assez forte entre le coefficient de ruissellement et l'intensité des averses (α), et pour le montrer on a établi le tableau 2 où figurent :

- K_R coefficient de ruissellement
- I_{max} intensité maximale du hyétogramme moyen c'est-à-dire en général intensité maximale de 5 minutes dans le temps et dans l'espace

- I_G)
- I_M) Intensités maximales de 15 minutes respective-
- I_S) ment aux pluviographes "GOMA", "Mission Suédoise"

- I'_G)
- I'_M) Intensités maximales de 15 minutes respective-
- I'_S) ment aux 3 pluviographes.

Les crues ont été classées, dans ce tableau, par ordre de coefficients de ruissellement décroissants.

Ce tableau est lui-même assez parlant, mais le degré de liaison entre K_R et I a été mis en évidence graphiquement pour I_M , I_S , I'_M et I'_S (voir graphique 6).

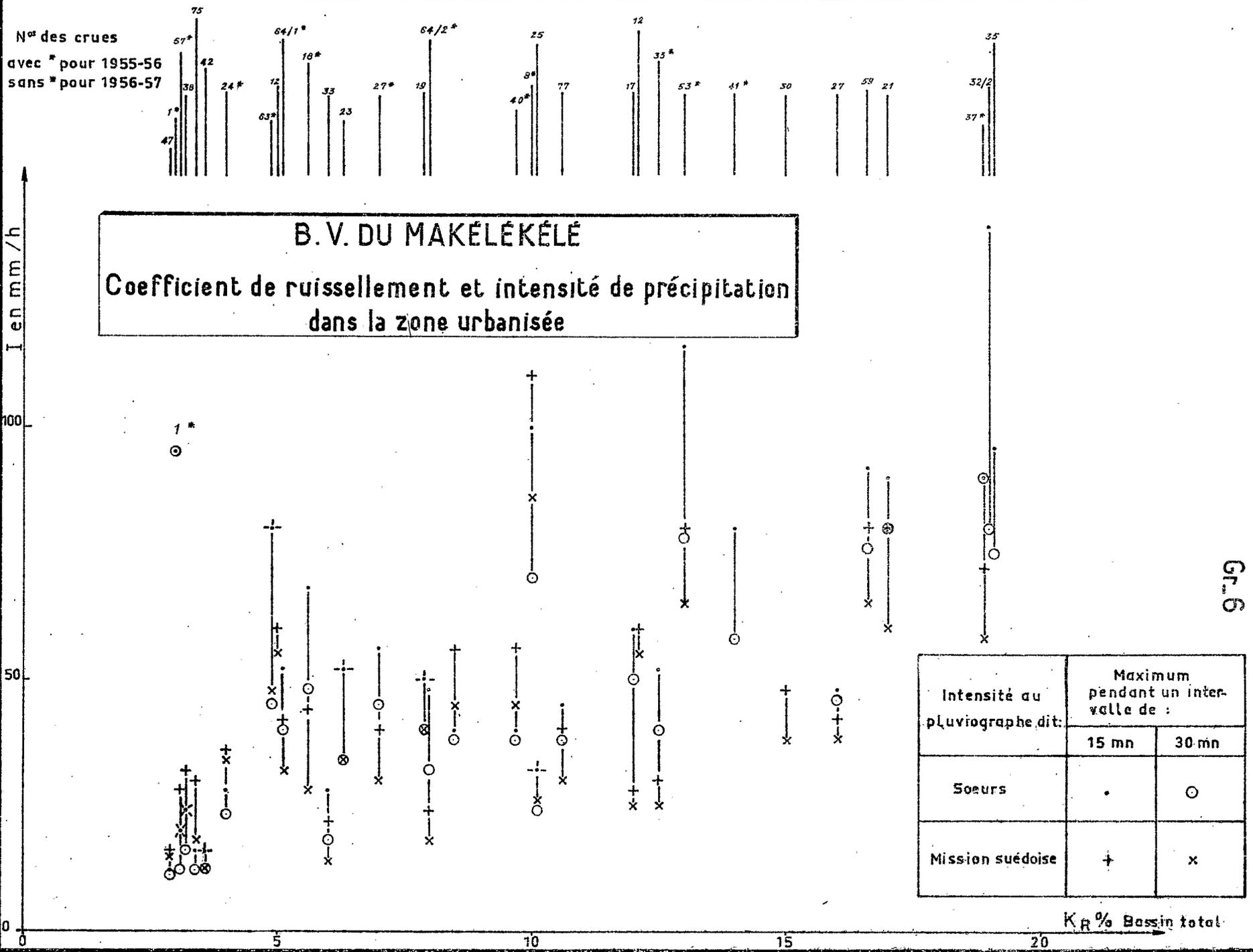
- (α) - L'intensité maximale en X minutes est l'intensité moyenne de la période de X minutes continues ayant reçu la précipitation la plus forte de toutes les périodes de X minutes continues, au cours de la pluie considérée.

TABLEAU n° 2

BASSIN VERSANT du MAKELEKELE - S = 3,08 km²

Coefficient de ruissellement et intensité des averses

N° des crues	K _R %	Intensité de précipitation en mm/h						
		I _{max}	I _G	I' _G	I _M	I' _M	I _S	I' _S
37 _x	19	130	65	92	58	72	90	90
32/2	19	155	60	96	-	-	80	140
35	19	110	30	36	-	-	75	96
21	17	100	55	76	60	80	80	90
59	16,6	92	70	80	65	80	76	92
27	16	92	60	66	38	42	46	48
30	15	50	48	48	38	48	-	-
41 _x	14	102	30	44	-	-	58	80
53 _x	13	145	-	-	65	80	78	116
33 _x	12,5	60	35	44	25	30	40	52
17	12	80	50	58	25	28	50	60
77	10,6	90	15	16	30	40	38	45
25	10,1	42	26	32	26	32	24	32
8 _x	10	150	30	30	86	110	70	100
40 _x	9,7	150	80	112	45	56	38	40
64/2 _x	8	50	42	44	18	24	32	48
19	8	72	50	60	40	50	40	50
27 _x	7	66	35	40	30	40	45	56
23	6,3	90	46	68	34	52	34	52
33	6	45	14	24	14	22	18	28
18 _x	5,6	90	30	44	28	44	48	68
63 _x	5	95	54	80	48	80	45	80
64/1 _x	5	72	15	17	32	42	40	52
12	5	100	44	52	55	60	-	-
24 _x	4	48	40	48	34	36	23	28
42	3,5	40	14	20	12	16	12	16
75	3,5	100	63	80	18	30	12	16
38	3,2	84	28	50	24	32	16	24
57 _x	3,1	72	54	68	20	28	12	20
1 _x	3	108	-	-	-	-	95	95
32/1	2,9	76	50	70	-	-	8	14
47	2,9	16	12	12	15	16	11	12



C H A P I T R E VI

INFLUENCE de la REPARTITION SPATIALE de la PLUIE SUR LE RUISSELLEMENT

Comme nous allons le voir, cette influence se manifeste par le fait qu'une pluie est d'autant plus efficace qu'elle intéresse plus spécialement les zones les plus aptes à ruisseler.

6.1. - PREMIER INDICE d'HETEROGENEITE du RUISSELLEMENT FOURNI PAR l'ANALYSE

L'examen du graphique 6 présenté au chapitre 5 montre que les expressions de l'intensité de la précipitation les plus nettement liées au coefficient de ruissellement global du bassin sont l'intensité I_S et à un moindre degré I'_S : c'est donc la zone orientale du bassin, définie et appelée zone C au paragraphe 1.2., qui doit ruisseler le plus, comme on pouvait l'imaginer a priori.

6.2. - DEFINITION d'UN PARAMETRE REPRESENTANT la REPARTITION SPATIALE de la PLUIE

On a choisi pour paramètre le rapport de la pluie moyenne P_C sur la zone C à la pluie moyenne \bar{P} sur l'ensemble du bassin.

La pluie P_C a été calculée en faisant la moyenne arithmétique des observations aux pluviomètres "Lamy" et "Dispensaire". La position de ces appareils est telle que ce mode de calcul donne une approximation suffisante, du même ordre que celle fournie par le réseau des isohyètes pour l'ensemble du bassin.

6.3. - ESSAI de CLASSEMENT des AVERSES OBSERVEES en DEUX CATEGORIES

A l'aide du paramètre $\frac{P_C}{\bar{P}}$, on a cherché à définir deux

catégories d'averses ayant donné lieu, compte tenu de l'intensité moyenne de la pluie, à des ruissellements plus ou moins forts.

Afin de pouvoir prendre en considération le plus grand nombre possible d'averses, on a substitué à l'intensité moyenne sur le bassin, souvent mal connue si un ou deux pluviographes seulement ont fonctionné, l'intensité maximale observée dans le temps et dans l'espace : en général, en effet, le ou les pluviographes en panne n'étaient heureusement pas ceux où la hauteur totale de précipitation était la plus forte et où l'intensité maximale du bassin pouvait donc vraisemblablement être atteinte.

Le graphique 7 a donc été établi à l'aide des valeurs I_{\max} prises dans le tableau 2, et le graphique 8 à l'aide de la plus forte des trois valeurs I_G , I_M , I_S prises dans le même tableau.

Le seuil qu'il semble le plus intéressant d'adopter pour le paramètre $\frac{P_C}{\bar{P}}$ est voisin de 1. En fait, quand on prend

une valeur X et si l'on trace une courbe laissant d'un côté le plus possible de points d'averses pour lesquelles $\frac{P_C}{\bar{P}} < X$, de

l'autre le plus possible de points d'averses pour lesquelles $\frac{P_C}{\bar{P}} > X$, cette opération réussit bien si $X = 1,02$: on a alors

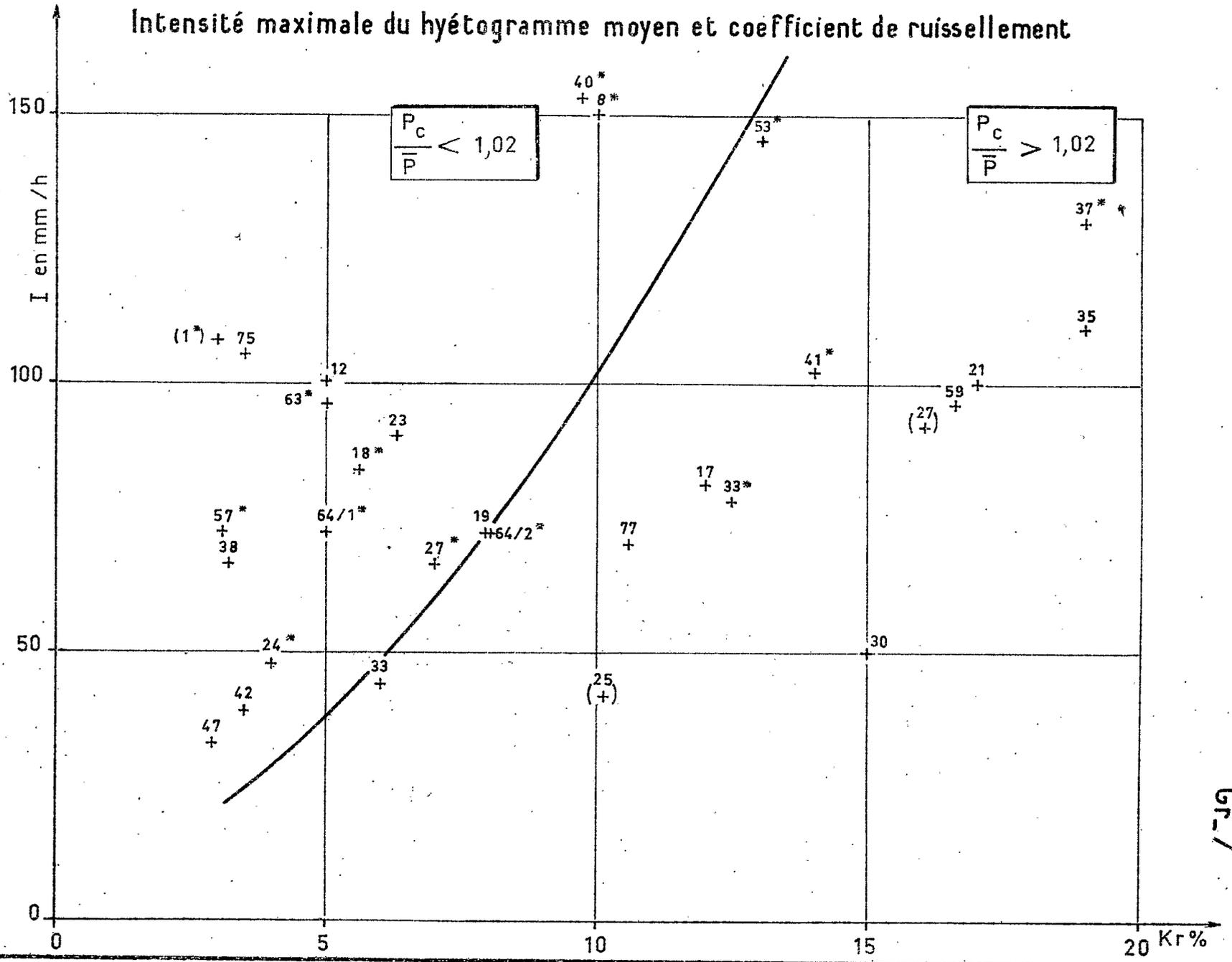
seulement trois points aberrants, ceux des averses n° 1x, n° 25 et n° 27 (encore doit-on rappeler que la crue n° 1x représente un cas très particulier). Le tableau 3 résume les éléments de calcul de $\frac{P_C}{\bar{P}}$.

La forme des courbes obtenues sur les graphiques 7 et 8 montre bien que la prise en considération du paramètre $\frac{P_C}{\bar{P}}$ est susceptible de faire progresser l'analyse des facteurs

du ruissellement, bien que le procédé consistant à définir deux catégories d'averses manque de finesse et soit un pis-aller.

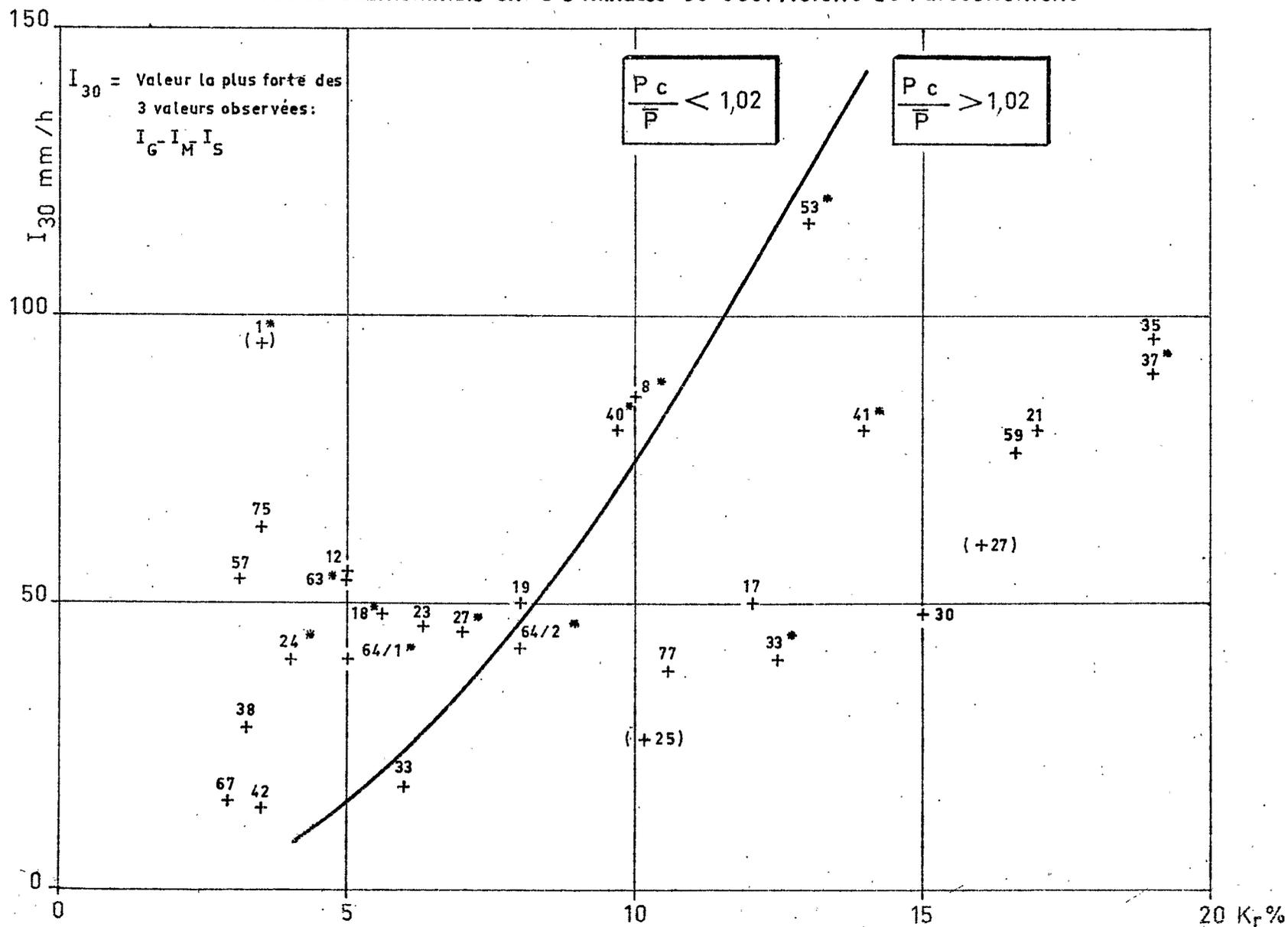
B. V. DU MAKÉLÉKÉLÉ

Intensité maximale du hyétogramme moyen et coefficient de ruissellement



B.V. DU MAKÉLÉKÉLÉ

Intensité maximale en 30 minutes et coefficient de ruissellement



TABIEAU n° 3

Eléments de calcul du paramètre "répartition spatiale de la pluie"

N°	\bar{P}	P (Lamy)	P (Disp.)	P_C	$\frac{P_C}{\bar{P}}$	N°	\bar{P}	P (Lamy)	P (Disp.)	P_C	$\frac{P_C}{\bar{P}}$
	mm	mm	mm	mm			mm	mm	mm	mm	
1x	44,0	49,2	54,2	51,7	1,17	12	59,4	68,8	63,7	66,2	0,96
8x	58,3	64,3	53,4	58,8	1,01	17	57,4	62,0	56,7	59,3	1,03
18x	25,2	21,7	14,4	18,0	0,71	19	39,2	37,5	39,5	38,5	0,98
24x	41,4	37,3	32,9	35,1	0,85	21	45,7	54,2	41,8	48,0	1,05
27x	39,6	35,0	40,5	37,7	0,95	23	24,6	22,5	25,2	23,8	0,97
33x	50,7	51,0	53,8	52,4	1,03	25	26,1	24,1	24,5	24,3	0,93
37x	45,6	47,2	58,3	52,7	1,16	27	38,9	36,0	23,9	29,9	0,77
40x	33,1	24,5	23,7	24,1	0,73	30	54,0	58,3	62,8	60,5	1,12
41x	29,9	34,5	47,5	41,0	1,37	33	15,8	23,9	29,2	26,5	1,68
53x	41,6	50,2	47,1	48,6	1,17	35	32,7	39,4	27,0	33,2	1,02
57x	32,1	-	-	-	<1	38	20,1	20,1	21,0	20,5	1,02
63x	38,9	38,0	31,0	34,5	0,89	42	8,8	9,3	7,6	8,4	0,95
64/1x	21,4	20,9	17,2	19,0	0,89	47	22,2	21,3	19,5	20,4	0,92
64/2x	48,6	51,6	48,3	49,9	1,03	59	60,1	66,1	67,4	66,7	1,11
						75	31,5	16,0	16,5	16,2	0,51
						77	32,4	39,6	26,7	33,1	1,02

6.4. - RECHERCHE d'un RAPPORT CONSTANT α ENTRE L'APTITUDE au RUISSELLEMENT des DIFFERENTES ZONES du BASSIN

On peut définir l'aptitude au ruissellement par un coefficient de la forme $\alpha = \frac{KR}{I}$ qui, à l'examen des graphiques 7 et 8, semble devoir être une variable aléatoire peu dispersée au sein de chacune des deux catégories d'averses déterminées par $\frac{PC}{P} \leq 1,02$.

Dès lors, il est possible de supposer qu'un tel coefficient α serait défini avec plus de précision en considérant séparément les diverses zones définies au paragraphe 1.2. Mais il faudrait pour cela connaître pour chaque crue la part de ruissellement venant de chacune de ces zones, et on doit donc opérer en faisant une hypothèse.

6.4.1. - Première hypothèse adoptée

Celle-ci consistera à dire que le "coefficient d'aptitude au ruissellement" α_{AB} (pour l'ensemble des zones A et B) est inférieur au coefficient α_C (pour la zone C), mais que le rapport $\alpha = \frac{\alpha_C}{\alpha_{AB}}$ est le même pour toutes les crues.

Si l'on appelle K_{AB} le coefficient de ruissellement de la zone AB, K_C celui de la zone C, S_{AB} et S_C les surfaces respectives de ces zones, P_{AB} et P_C les hauteurs moyennes de pluie sur ces zones, au cours d'une averse donnée, le volume de ruissellement sera :

$$V_R = K_{AB} P_{AB} S_{AB} + K_C P_C S_C$$

$$\text{Or : } K_{AB} = \alpha_{AB} I_{AB} \text{ et } K_C = \alpha_C I_C$$

L'expression la plus adéquate des intensités, compte tenu des résultats précédents et de la définition de α , est I_S pour I_C et $\frac{I_M + I_G}{2}$ pour I_{AB} .

D'autre part, d'après notre hypothèse : $\alpha_C = \alpha \alpha_{AB}$

Donc : $K_{AB} = \alpha_{AB} \times \frac{I_M + I_C}{2}$ et $K_C = \alpha \alpha_{AB} I_S$

$$V_R = \alpha_{AB} \left(\frac{I_M + I_G}{2} P_{AB} S_{AB} + \alpha I_S P_C S_C \right)$$

Cette formule montre qu'il est possible, pour chaque crue, de déterminer α_{AB} , et par suite K_{AB} et K_C si l'on se donne α a priori.

On a effectué cette opération en prenant successivement $\alpha = 1, 2, 3$ et 4 , et on a étudié graphiquement, chaque fois, la corrélation entre K_R et I , avec l'ensemble des points représentant :

a) K_{AB} en fonction de $\frac{I_M + I_G}{2}$

b) K_C en fonction de I_S .

Cette corrélation ne peut pas être améliorée de façon spectaculaire par le choix de la valeur de α , mais l'hypothèse $\alpha = 1$ paraît être la moins bonne et $\alpha = 4$ la meilleure.

6.4.2. - Deuxième hypothèse adoptée

En considérant maintenant d'une part la zone A et d'autre part l'ensemble des zones B et C, on établit la formule

$$V_R = \alpha_A \left(I_G P_A S_A + \alpha' \frac{I_M + I_S}{2} P_{BC} S_{BC} \right)$$

qui permet de calculer K_A pour la zone A et K_{BC} pour la zone BC.

Les corrélations entre K_A et I_G d'une part K_{BC} et $\frac{I_M + I_S}{2}$ d'autre part ne sont pratiquement pas améliorées quand on passe de l'hypothèse $\alpha' = 1$ à $\alpha' = 2$.

6.4.3. - Conclusion provisoire

Les essais effectués permettent seulement d'orienter les recherches en individualisant la zone C plutôt que la zone BC.

6.5. - UTILISATION de l'ETUDE de la FORME de CERTAINS HYDROGRAMMES

6.5.1. - Décomposition des hydrogrammes en deux ondes et étude des volumes de chacune d'elles

Les commentaires du chapitre 4, relatifs aux crues n° 37~~x~~, 40~~x~~, 21, 27 et 35 doivent être évoqués ici en précisant que la première onde de crue peut maintenant être imputée par hypothèse au ruissellement de la zone AB, et la deuxième onde au ruissellement de la zone C (dont les pentes sont les plus faibles).

On a, dans le cadre de cette hypothèse, calculé les coefficients de ruissellement par zone, K_{AB} et K_C , et le coefficient α défini au paragraphe 6.4.1. Les éléments de ce calcul sont rassemblés dans le tableau 4, où l'on voit que $\alpha = 1,2$ à $2,6$ c'est-à-dire $Q_C = 1,2$ à $2,6 Q_{AB}$.

Cette conclusion ne peut être très précise car,

- a) comme on vient de le voir, il n'est possible d'utiliser que 5 crues pour étudier un phénomène complexe qui n'est même vraiment bien visible que sur les hydrogrammes 37~~x~~ et 21.
- b) l'hypothèse selon laquelle ce sont les zones AB et C qui doivent être distinguées ne peut être vérifiée avec précision, comme le montre l'étude des paragraphes 6.4.1. et 6.4.2.

Mais les considérations qui suivent vont permettre de préciser cette conclusion.

6.5.2. - Comparaison de la forme des deux ondes

L'allure des hydrogrammes des crues n° 37~~x~~ et n° 21, formés chacun de deux ondes successives, semble indiquer que la première de ces ondes est plus amortie à partir de son maximum : il s'agit, plus que pour la 2ème onde, d'un ruissellement qui doit être en grande partie hypodermique, c'est-à-dire

TABLEAU n° 4

RAPPORT α des COEFFICIENTS d'APTITUDE au RUISSELLEMENT a_C et a_{AB}
des ZONES C et AB d'APRES l'ETUDE de CERTAINES CRUES

N°	V_R	P_{AB}	P_C	V_{AB}	V_C	$K_{AB} = \frac{V_{AB}}{P_{AB} S_{AB}}$	$K_C = \frac{V_C}{P_C S_C}$	I_{AB}	I_C	$\alpha = \frac{K_C I_{AB}}{K_{AB} I_C}$
	milliers de m ³	mm	mm	milliers de m ³	milliers de m ³	%	%	mm/h	mm/h	
37x	26,3	43,7	52,7	13,7	12,6	13	37	62	90	1,96
40x	9,9	35,5	24,1	8,7	1,2	10	8	62	38	1,30
21	24,5	45,1	48,0	11,8	12,7	11	41	57	80	2,64
27	18,9	41,2	29,9	14,7	4,2	15	22	49	46	1,56
35	19,1	32,6	33,2	11,9	7,2	15	34	(40)	75	(1,20)

transitant par la couche superficielle d'un sol perméable et gorgé d'eau, comme on peut en rencontrer dans la zone mal drainée AB.

6.5.3. - Conclusions

La remarque précédente vient appuyer le choix des crues n° 37x et n° 21 pour déterminer l'aptitude au ruissellement des deux zones AB et C.

De plus, un calcul analogue à celui qui est présenté dans le tableau 4, mais basé sur l'hypothèse que la première onde proviendrait de la zone A et la seconde, de la zone BC, aboutit à des valeurs de K_{BC} inférieures à la moitié des valeurs de K_A ce qui est absurde.

On peut donc penser que les résultats obtenus plus haut sont assez bien fondés, et que par analogie avec les crues n° 37x et n° 21 on doit avoir $\alpha \sim 2,3$ c'est-à-dire :

$$Q_C \sim 2,3 Q_{AB}$$

On ne peut toujours pas dire que l'estimation de α soit très bonne, mais cette imprécision est liée entre autres choses à une mauvaise délimitation de la zone C et à l'insuffisance du nombre de pluviographes pour représenter séparément les deux zones. D'ailleurs, sans ces imperfections, on aurait pu mettre en évidence une valeur optimale de α , entre 1 et 4, par les essais décrits au paragraphe 6.4.1., ce qui n'est pas le cas.

Pour terminer, et pour prévenir toute erreur d'interprétation ultérieure, il est bon de noter que pour les très fortes crues, le coefficient α doit être au plus égal à 2.

C H A P I T R E VII

INFLUENCE de la SATURATION INITIALE du SOL sur le RUISSELLEMENT et CONSIDERATION de l'ENSEMBLE des FACTEURS du RUISSELLEMENT

7.1. - DEFINITION d'un INDICE de SATURATION INITIALE (T_S)

L'indice T_S est le nombre de jours (ayant immédiatement précédé la crue^S) pendant lesquels le sol est théoriquement sec si on suppose que la totalité de l'eau des précipitations antérieures disparaît, d'une manière ou d'une autre (ruissellement, évaporation, infiltration profonde) au rythme de 10 mm par jour. Ce chiffre global est très arbitraire mais donne de bons résultats.

Les valeurs de T_S sont rassemblées dans le tableau n° 5.

Le décompte du nombre de jours T_S se fait en pratique de la façon suivante, dans quelques cas pris pour exemples :

a) crue n° 27* du 29/12/55 à 5 h 30
pluies précédentes le 22/12/55 à 7 h = 41,4 mm
le 27/12/55 5,3 mm

Le 26/12 à 10 h, la pluie du 22 n'humidifie plus théoriquement le sol.

Ne sachant pas à quelle heure a eu lieu l'averse du 27, on estime que c'est à 12 h. Son effet est terminé à 24 h.

TABLEAU n° 5

INDICE de SATURATION INITIALE du SOL (T_S) AVANT CHAQUE CRUE

Crues du groupe I		Crues du groupe II		Crues du groupe III	
N°	T_S en jours	N°	T_S en jours	N°	T_S en jours
1x	très grand	18x	0	8x	3,5
33x	0	27x	1	24x	4,5
37x	0	40x	0	57x	11
41x	0	64/1x	0	63x	4
53x	0	19	1	12	14,5
64/2x	0	23	0	38	6
17	0,5	25	0,5		
21	0,5	27	0		
30	5,5	32/1	0		
32/2	0	42	1		
33	0,5	47	1,5		
35	0	75	0		
59	0,5				
77	1				

N.B. - Les averses n° 32/1 et 32/2 ne sont pas bien connues séparément, mais il semble que la première soit centrée sur la zone A et la seconde sur la zone C.

Pour la crue n° 27~~x~~ on a donc $T_S = 1$ jour 5 heures $\frac{1}{2}$
D'où : valeur de T_S en jours, arrondie à la demi-journée : $T_S=1$

b) crue n° 57~~x~~ du 8/4/56 à 19 h.
pluies précédentes le 24/3 à 21 h. = 41,6 mm
le 31/3 à 12 h. (heure estimée) = 1,8 mm
le 2/4 " " = 0,5 mm
le 6/4 " " = 1,8 mm

Le 29/3 à 0 h, la pluie du 24/3 n'humidifie plus théoriquement le sol.

Les pluies du 31/3, du 2/4 et du 6/4 n'atteignant pas 5 mm ne sont pas prises en compte.

Pour la crue n° 57~~x~~, on a donc $T_S = 10$ j 19 h.

Valeur de T_S en jours, arrondie à la demi-journée :

$$T_S = 11.$$

c) crue n° 30 du 28/12/56 à 9 h.
pluies précédentes le 18/12 à 22 h. = 38,9 mm
le 19/12 à 18 h. = 1,6 mm
le 20/12 à 21 h. = 0,4 mm

Le 22/12 à 20 h., la pluie du 18/12 n'humidifie plus théoriquement le sol.

Les pluies du 19/12 et du 20/12 sont inférieures à 5 mm mais, tombant sur un sol non encore sec, sont prises en compte : le sol est donc théoriquement sec le 23/12 à 1 h.

Pour la crue n° 30, on a donc : $T_S = 5$ j 8 h.

Valeur de T_S en jours, arrondie à la demi-journée :

$$T_S = 5,5.$$

7.2. - CAS des AVERSES AYANT INTERESSE plus PARTICULIEREMENT
la ZONE C

Si on considère les averses pour lesquelles $\frac{P_C}{\bar{P}} > 1,02$, on constate qu'il est difficile de mettre en évidence l'influence de la saturation initiale du sol sur la valeur du coefficient de ruissellement. D'ailleurs, ce dernier est en corrélation étroite avec l'intensité des averses, et ce résultat montre que l'analyse ne peut être poussée beaucoup plus loin.

Le groupe I des 14 averses pour lesquelles $\frac{P_C}{\bar{P}} > 1,02$ diminué de l'averse n° 30 pour laquelle on ne connaît pas I_S permet de tracer une courbe moyenne représentant graphiquement la corrélation qui existe entre K_R et I_S (voir graphique 9, courbe I). Seul le point de l'averse n° 1x est aberrant, mais cela s'explique si l'on remarque que dans le groupe I toutes les averses sont caractérisées par un indice $T_S \leq 1$ jour sauf l'averse n° 1x survenue après une très longue période sèche.

Il est possible que le coefficient K_R de la crue n° 1x n'ait pas grande signification : l'écoulement de l'eau de pluie a peut-être été empêché en partie, artificiellement, pour satisfaire des besoins domestiques. Cependant, si le groupe I comprenait des averses survenues après un temps T_S de quelques jours, il est probable qu'à intensité égale ces averses correspondraient à des coefficients de ruissellement plus faibles.

7.3. - CAS des AVERSES AYANT INTERESSE plus PARTICULIEREMENT
les ZONES A et B

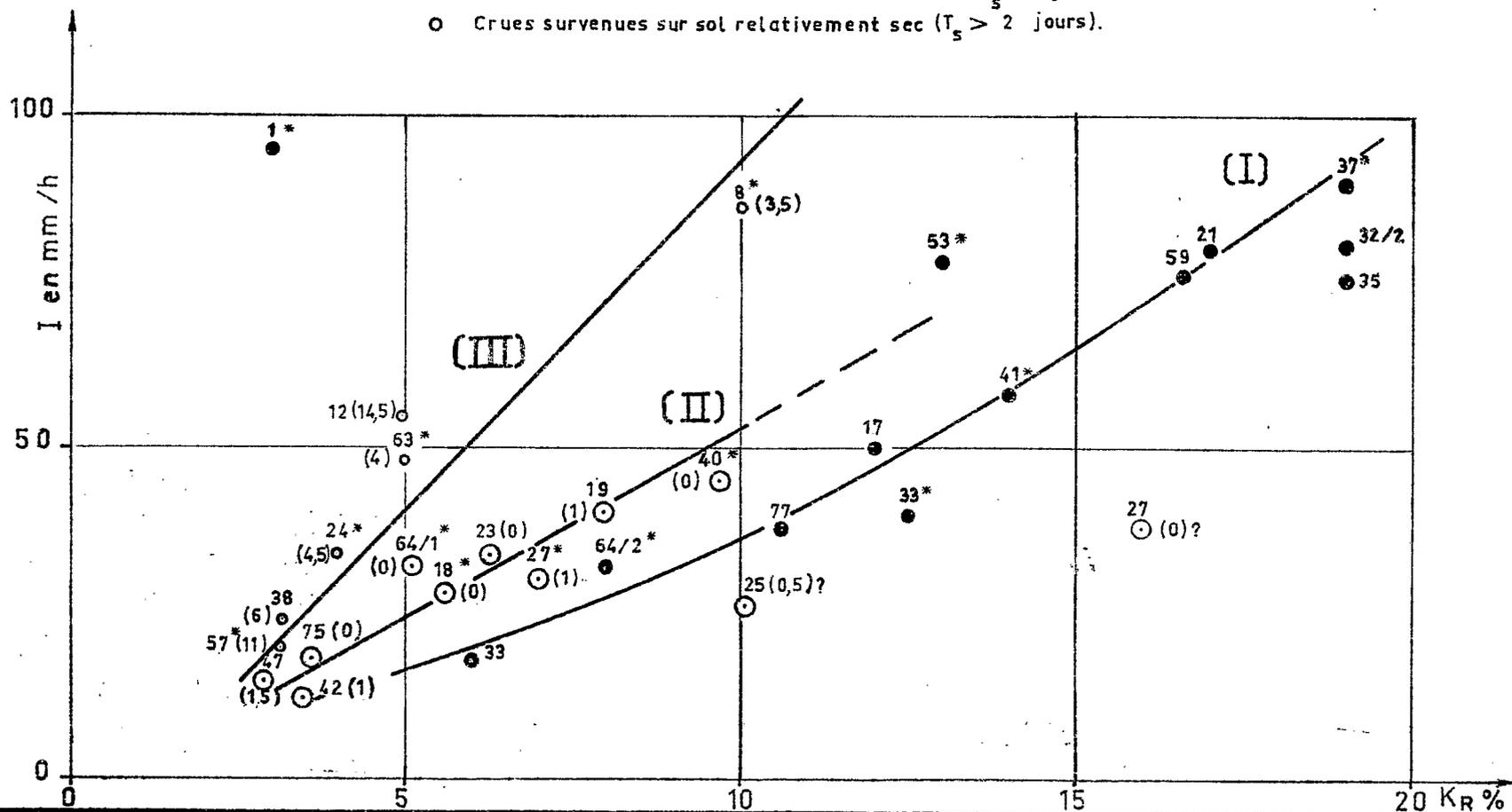
Si on considère les 18 averses pour lesquelles $\frac{P_C}{\bar{P}} < 1,02$, on peut les classer en deux groupes II et III suivant

que T_S est supérieur ou inférieur à 2 jours. Cette distinction permet, en effet, de mettre en évidence deux groupes de points dans les systèmes graphiques représentant une corrélation entre K_R et l'intensité des averses. Dans le graphique 9, on a représenté cette intensité par I_M car c'est ainsi, semble-t-il, que la corrélation est la plus serrée au sein de chaque groupe II et III, et que les courbes II et III, tracées à titre indicatif seulement, peuvent le mieux suggérer l'existence d'un gradient régulier en fonction de T_S .

B. V. DU MAKÉLÉKÉLÉ

Coefficient de ruissellement et intensité des précipitations

- Crues pour lesquelles $\frac{P_c}{P_{pl}} > 1,02$ avec leur n° (en ordonnée : intensité maximale I_{30} pendant un intervalle de 30 mn au pluviographe " Soeurs ")
- et ○ Crues pour lesquelles $\frac{P_c}{P_{pl}} < 1,02$ avec leur n° et entre parenthèses T_s en jours (en ordonnées : intensité I_{30} au pluviographe " Mission suédoise. ")
- ⊙ Crues survenues sur sol relativement humide ($T_s < 2$ jours)
- Crues survenues sur sol relativement sec ($T_s > 2$ jours).



Seuls, les coefficients de ruissellement des crues n° 25 et n° 27, comme on l'a vu plus haut, paraissent difficiles à expliquer : il est possible que les débits aient été mal estimés par suite d'un accident d'ordre hydraulique survenu à la station. L'averse n° 32/1 n'a pu être représentée car on ignore la valeur de I_M .

Enfin, reprenant la remarque faite à la fin du chapitre 6, on peut noter que l'écart relatif - en K_r % - entre les courbes I et II diminue pour les très fortes averses et le coefficient α est donc probablement inférieur à 2 dans ces circonstances.

C H A P I T R E VIII

ESSAI de PREDETERMINATION des CRUES EXCEPTIONNELLES

8.1. - CRUE DECENNALE du MAKELEKELE, L'URBANISATION ETANT SUPPOSEE STOPPEE à l'ETAT où ELLE SE TROUVAIT en 1957

En adoptant la méthode préconisée par MM. RODIER et AUVRAY dans la récente publication "Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique Occidentale" (Etude que nous citerons plus loin par la référence 1), on est amené à estimer successivement :

- a) la hauteur de précipitation moyenne sur le bassin, de fréquence décennale.
- b) le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale, et par suite la lame ruisselée, et le volume ruisselé
- c) le débit maximal de ruissellement correspondant à cette lame ruisselée
- d) le débit maximal obtenu en ajoutant le débit de base.

8.1.1. - Hauteur de précipitation moyenne sur le bassin de fréquence décennale \bar{P}_{10}

On a choisi pour l'averse décennale la hauteur ponctuelle de 120 mm (voir paragraphe 1.3.).

La superficie du bassin étant inférieure à 25 km², on peut admettre que le coefficient d'abattement à appliquer à cette hauteur est voisin de 1 et prendre : $P_{10} = 120$ mm.

8.1.2. - Coefficient de ruissellement K_{R10}

La nature semi-urbanisée du bassin rend la comparaison difficile avec l'ensemble des bassins expérimentaux étudiés par ailleurs. Cependant, on voit que T_b , le temps de ruissellement moyen des fortes crues à peu près unitaires étant 2 à 3 heures, et la perméabilité étant élevée (catégorie P4 ou P5 d'après les conventions de l'étude (1) précitée), l'urbanisation semble avoir le même effet qu'une augmentation de la pente qui classerait le bassin dans la catégorie R4. L'urbanisation intervient surtout par l'accroissement de la densité de drainage. Toujours d'après l'étude (1), et le bassin étant maintenant comparable à un bassin classé entre les catégories R4 P4 et R4 P5, en régime de pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 800 et 1600 mm, on peut voir que le coefficient de ruissellement K_{R10} doit être compris entre 20 et 30 %.

Ce chiffre peut cependant être précisé.

On a vu que les plus fortes averses surviennent pendant des périodes pluvieuses, ce qui autorise à estimer le coefficient K_{R10} par la lecture du graphique 9, sur les courbes I ou II.

C'est la courbe I qui est la mieux définie et qui sera utilisée.

D'après une étude de M. Michel ROBERT (contribution à l'étude des pluies intenses des régions intertropicales, Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer, 1951) les 5 plus forts maximums annuels de I_{30} (intensité maximale de 30 minutes), sur 15 ans, sont; 135, 127, 116, 108, 100 mm/h. Cette série doit être peu différente de la série des 5 plus fortes valeurs de I_{30} de la période, et il est raisonnable d'admettre que 130 mm/h correspond à une période de retour de 10 ans.

Cependant, il n'existe qu'un degré de liaison assez faible entre les valeurs observées de I_G , I_M et I_S et les hauteurs totales des averses correspondantes enregistrées aux trois pluviographes : le phénomène de conjonction de l'averse de hauteur décennale et de l'intensité I_{30} décennale correspond donc à une période de retour un peu supérieure à 10 ans.

On choisira donc la valeur $I_S = 120$ mm/h pour déterminer K_{R10} sur le graphique 9. On trouve : $K_{R10} = 22$ %, d'où une lame de ruissellement $H_{R10} = 27$ mm, c'est-à-dire sur une

surface de 3,08 km², un volume de ruissellement $V_{R10} = 83.10^3 m^3$.

8.1.3. - Débit maximal de ruissellement $Q_R \text{ max}$ 10

L'étude (1) préconise la détermination d'un coefficient sans dimension caractérisant la forme de l'hydrogramme :

$$K = \frac{Q_R \text{ max } T_b}{V_R} = \frac{Q_R \text{ max}}{M}$$

M étant le débit obtenu en divisant le volume ruisselé par le temps de ruissellement :

$$M = \frac{V_R}{T_b}$$

Or, si on représente graphiquement le rapport $\frac{Q_R \text{ max}}{V_R}$ en fonction de $1/T_b$, on peut déterminer deux droites-enveloppes qui expriment la constance relative de K pour les crues à peu près unitaires : le tableau 6 et le graphique 10 ont été établis avec les crues provoquées par des averses dont le corps d'intensité supérieure à 10 mm/h ne dure pas plus de 45 minutes (la crue n° 19 a été prise en compte en isolant la première pointe d'intensité de l'averse et l'onde principale de crue, qui se correspondent : P partielle = 20 mm, V_R partiel = 8200m³, $T_b = 2$ h). La limite inférieure de K est fortuitement assez faible car la crue n° 40x est un cas particulier où l'averse présente un maximum très marqué à l'extrémité aval du bassin. Cette crue n° 40x mise à part, le graphique 10 montre que le coefficient K varie en fonction du temps de base, et que son maximum est atteint pour $T_b = 2$ heures.

Les crues unitaires, si elles sont observables, doivent donc présenter des hydrogrammes affins de ceux des crues n° 64/1x et n° 23 ou du moins c'est la meilleure approximation que l'on peut donner. Ainsi, il apparaît trois catégories de crues susceptibles d'avoir un fort débit de pointe :

- a) les crues "pseudo-unitaires" comme les n° 64/1x et n° 23.
- b) les crues ayant un temps T_b bien plus faible, qui ne doivent pas correspondre à un ruissellement généralisé, comme les crues n° 32/1 et 42.
- c) les crues ayant pour type les n° 37x, 53x, (19), 32/2 et 35 et qui doivent être le résultat de la composition d'une ou

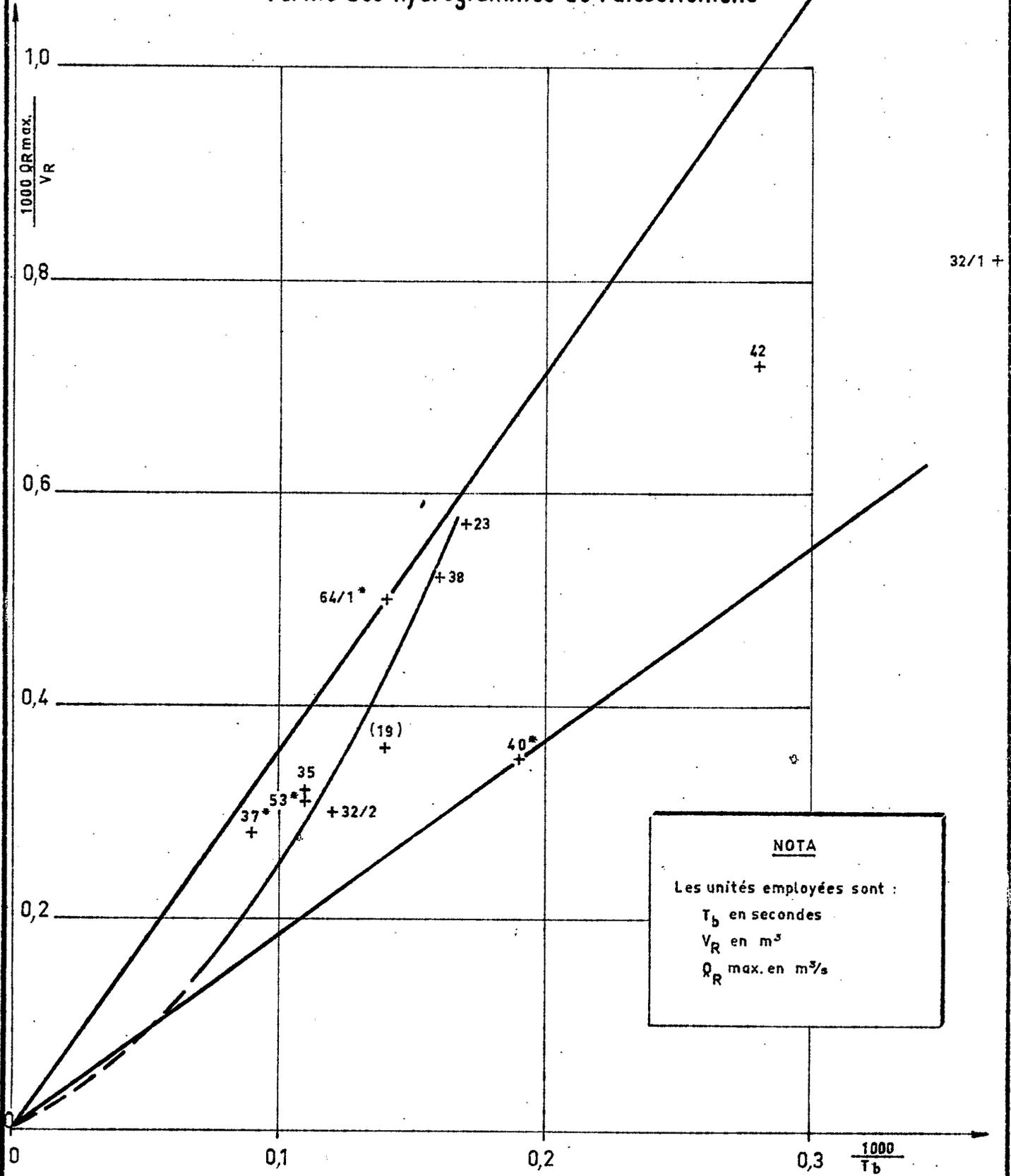
TABLEAU n° 6

CARACTERISTIQUES de FORME des HYDROGRAMMES de RUISSELLEMENT

N°	$\frac{1000}{T_b}$	V_R	Q_R max	$\frac{1000 Q_R \text{ max}}{V_R}$	$K = \frac{Q_R \text{ max } T_b}{V_R}$
	(T_b en secondes)	milliers de m ³	l/s	$(\frac{V_R}{Q_R \text{ max}}$ en secondes)	
37x	0,09	26,3	7455	0,28	3,1
40x	0,19	9,9	3430	0,35	1,8
53x	0,11	16,6	5130	0,31	2,8
64/1x	0,14	3,3	1650	0,50	3,6
19	0,14	9,4	3350	0,36	2,6
23	0,17	4,8	2740	0,57	3,4
32/1	0,37	1,4	1150	0,82	2,2
32/2	0,12	26,0	7740	0,30	2,5
35	0,11	19,1	6100	0,32	3,0
38	0,16	1,96	1010	0,52	3,2
42	0,28	0,97	700	0,72	2,6

B. V. DU MAKÉLÉKÉLÉ

Forme des hydrogrammes de ruissellement



NOTA
 Les unités employées sont :
 T_b en secondes
 V_R en m^3
 Q_R max. en m^3/s

plusieurs crues unitaires et d'un hydrogramme complémentaire intégrant le ruissellement non parvenu à certaines distances de l'exutoire dans les limites de temps caractéristiques de la crue unitaire.

En fait, les crues les plus fortes doivent appartenir à cette troisième catégorie et présenter même des valeurs encore plus faibles de K et des valeurs plus fortes de T_b .

Bien que l'extrapolation ne donne pas de grandes garanties à partir d'un échantillon aussi faible, on peut tracer la courbe théorique qui exprimerait, pour les crues des 1ère et 3ème catégories, la relation existant entre T_b et $Q_R \max$.

$$\frac{Q_R \max}{V_R}$$

Cette courbe doit en principe se rapprocher de l'origine sans l'atteindre.

Si on prend successivement pour la crue décennale des temps de ruissellement $T_b = 2 \text{ h } 30, 3 \text{ h}, 3 \text{ h } 30$, on obtient avec $V_R = 83 \text{ } 000 \text{ m}^3$ (valeur estimée plus haut) respectivement :

$$Q_R \max_{10} = 24,5 \text{ m}^3/\text{s}, 18,5 \text{ m}^3/\text{s}, 14,5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

On peut penser que le résultat médian, $18,5 \text{ m}^3/\text{s}$ est celui qui se rapproche le plus de la vraie valeur (il correspond à :

$$M = \frac{V_R}{T_b} = 7,7 \text{ m}^3/\text{s} \text{ et } K = \frac{Q_R \max}{M} = 2,4).$$

On admettra donc : $Q_R \max_{10} = 17 \text{ à } 20 \text{ m}^3/\text{s}$.

ou encore : $5500 \text{ à } 6500 \text{ l/s/km}^2$.

L'hydrogramme unitaire est difficile à définir vu que l'hétérogénéité des conditions de ruissellement sur les diverses parties du bassin apporte une grande variété dans la forme des hydrogrammes.

En ne conservant que les averses dont le corps d'intensité de plus de 10 mm/h est d'une durée égale ou inférieure à 30 minutes, et dont la répartition spatiale est la plus homogène

possible ($\frac{P_c}{\bar{P}}$ voisin de 1, et I_G, I_M, I_S peu différents entre eux), on est amené à considérer les crues n° 53 * d'une part, n° 63 * et 19 d'autre part, comme susceptibles de fournir un hydrogramme-type. Les deux dernières sont remarquables par la ressemblance étroite de leurs diagrammes de distribution (rapportés à un volume de 10 000 m³).

On peut supposer, par analogie avec les résultats trouvés en Afrique Occidentale, que l'averse décennale de 120 mm présente un corps de 90 mm durant 90 minutes. Si on assimile cette averse à 3 averses unitaires successives de 30 mm et 30 minutes chacune, donnant lieu à des crues dont les coefficients de ruissellement sont respectivement 18 %, 36 % et 36 %, l'hydrogramme-type n° 53 * conduit à un débit de pointe de 17,4 m³/s et l'hydrogramme-type n° 63 * conduit à 19,4 m³/s.

8.2. - AUGMENTATION du DEBIT MAXIMAL de CRUE en FONCTION de l'URBANISATION du BASSIN

En se reportant aux résultats acquis au paragraphe 6.5, on peut supposer que le coefficient de ruissellement est susceptible d'augmenter au maximum dans le rapport de 1,86 à 3,08 car :

- a) - 3,08 représente la surface totale du bassin $S_{AB} + S_C$
- b) - 1,86 représente la somme $0,5 S_{AB} + S_C$ où le coefficient de pondération 0,5 exprime que l'aptitude au ruissellement de la zone AB serait moitié de celle de la zone C ($\alpha = 2$, hypothèse pessimiste dans l'optique de présent calcul).

Après généralisation sur le bassin des aménagements urbains et du réseau de collecteurs de la zone C, il est donc

possible que :

$$K_{R10} = 36 \%$$

Il serait sans doute exagéré de supposer en outre que la déformation de l'hydrogramme doit être calculée en comparant, d'après l'analyse des crues n° 37 et n° 21 au paragraphe 6.5, l'hydrogramme total et la deuxième onde bien individualisée :

a) crue n° 37

- zone C

$$(Q_R \text{ max} = 4700 \text{ l/s}) \quad T_b = 1 \text{ h } 30 ; K = 2 ; \frac{T_b}{K} = 2700 \text{ s.}$$

- bassin total

$$T_b = 3 \text{ h} ; K = 3,1 ; \frac{T_b}{K} = 3500 \text{ s.}$$

b) crue n° 21

- zone C

$$(Q_R \text{ max} = 5000 \text{ l/s}) \quad T_b = 1 \text{ h } 20 ; K = 1,9 ; \frac{T_b}{K} = 2500 \text{ s.}$$

- bassin total

$$T_b = 2 \text{ h } 30 ; K = 2,8 ; \frac{T_b}{K} = 3200 \text{ s.}$$

En moyenne le rapport $\frac{T_b}{K}$ semble passer de 3350 s à 2600 s quand on passe du bassin total à la zone C. La crue du bassin total, une fois urbanisé comme la zone C, restera en réalité plus éloignée du schéma unitaire que ne l'est la crue de la zone C seule : le rapport $\frac{T_b}{K}$ doit donc passer seule-

ment de 3350 à 3000 environ, soit, à volume de ruissellement égal, une augmentation du débit de pointe de 10 %.

Le débit maximal de crue qu'on obtiendrait alors à partir de la limite supérieure 20 m³/s estimée au paragraphe 8.1. serait :

$$Q_R \max_{10} = 20 \times \frac{36}{22} \times 1,10 = 36 \text{ m}^3/\text{s}.$$

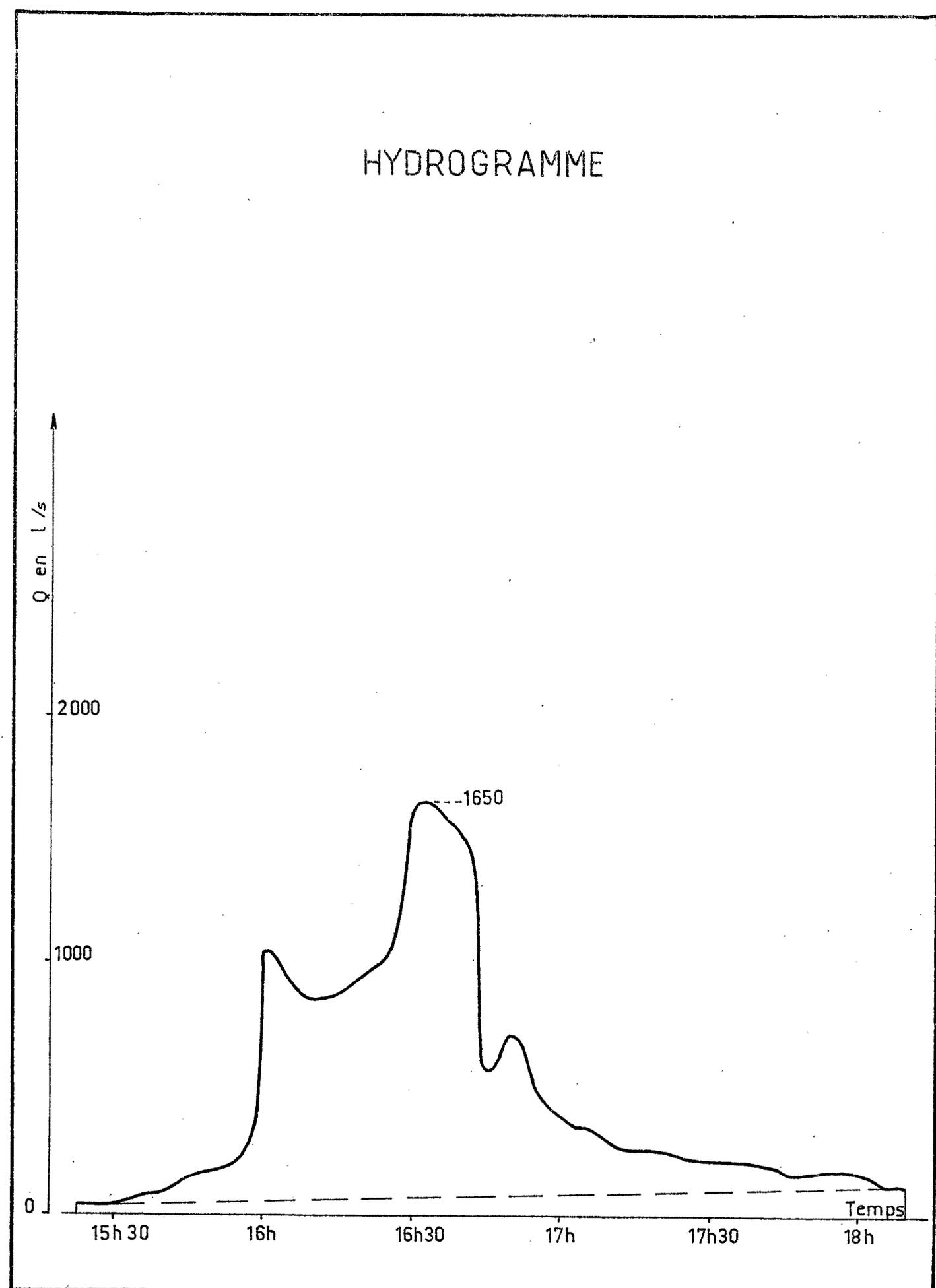
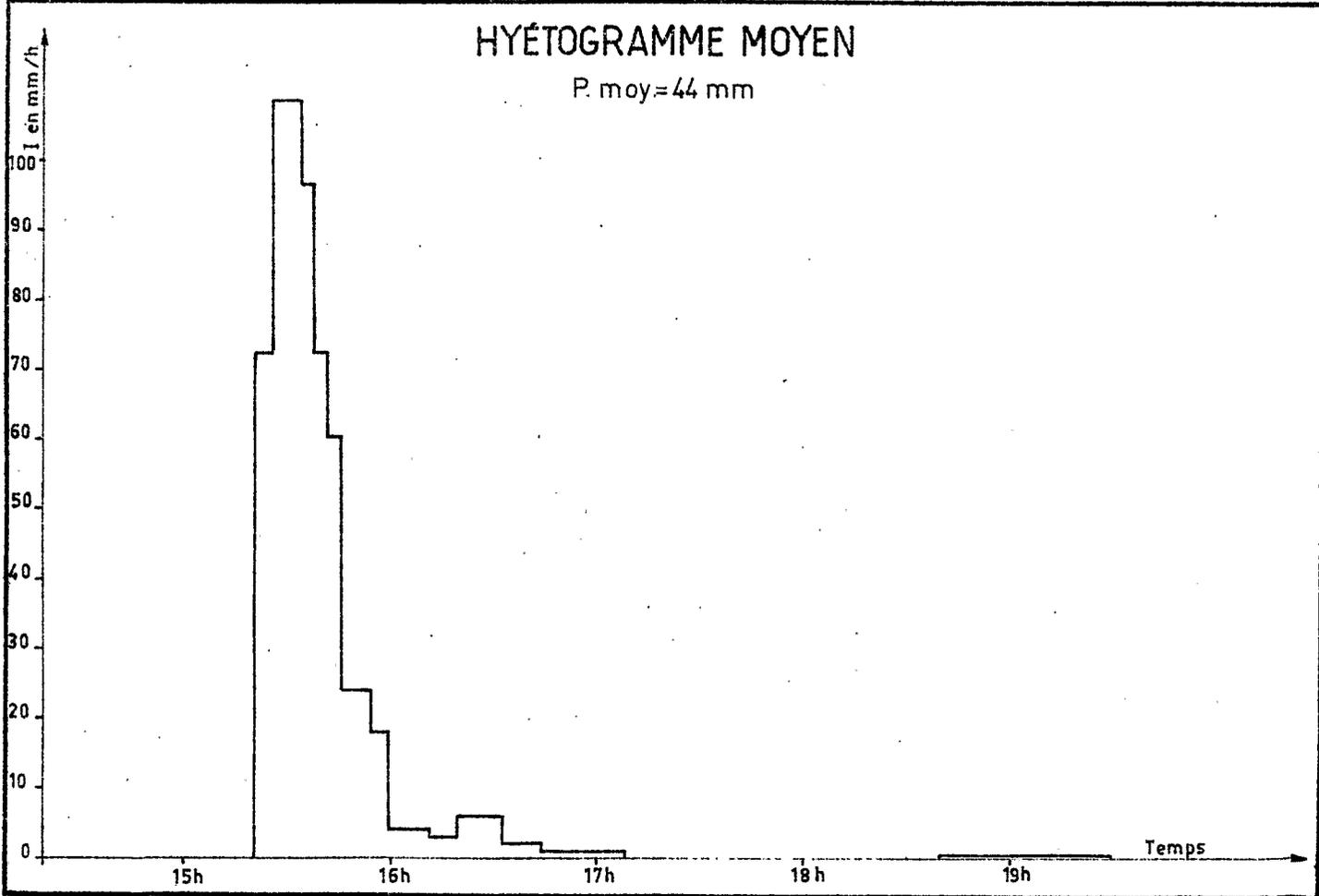
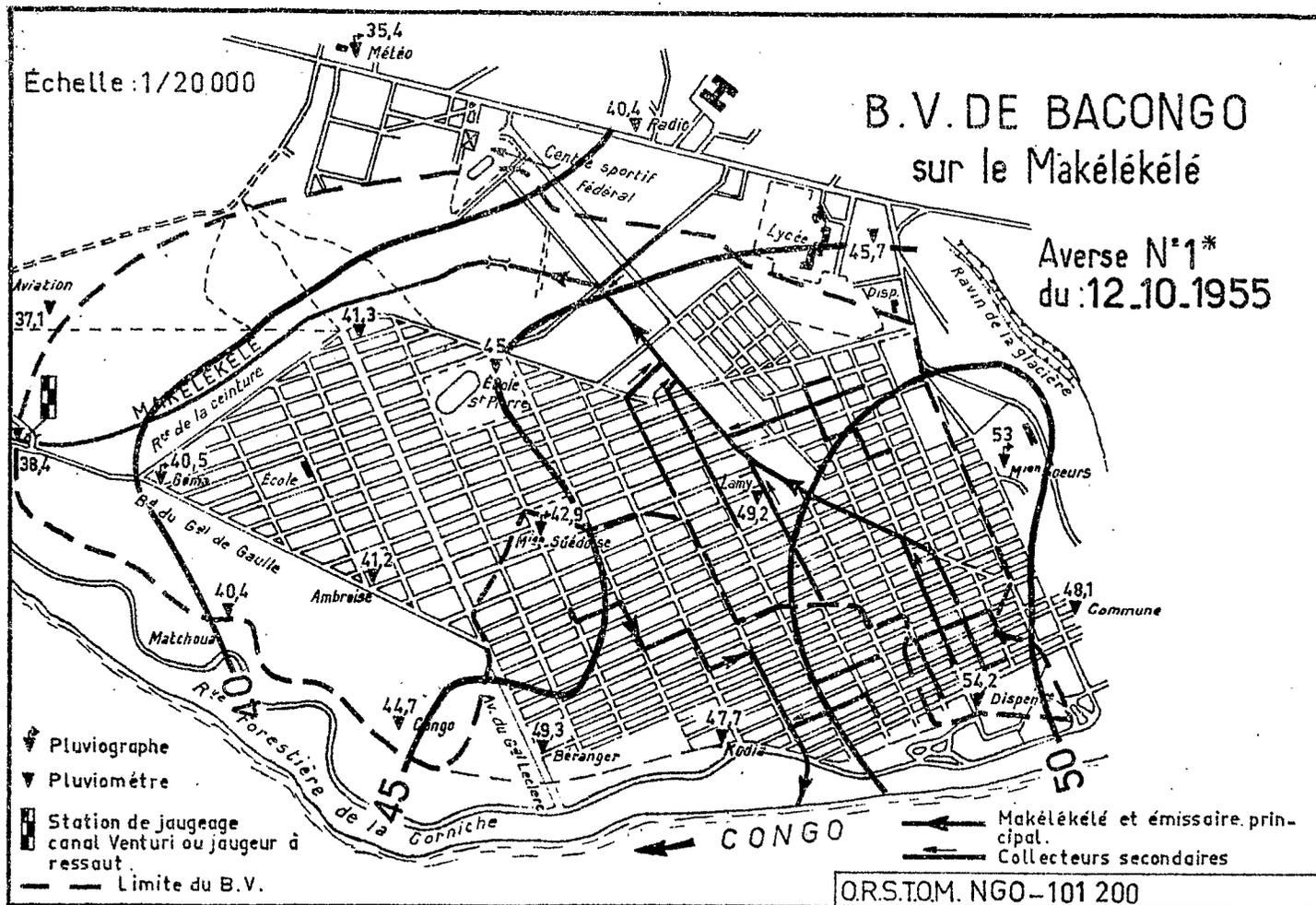
ou encore : 11 500 l/s/km².

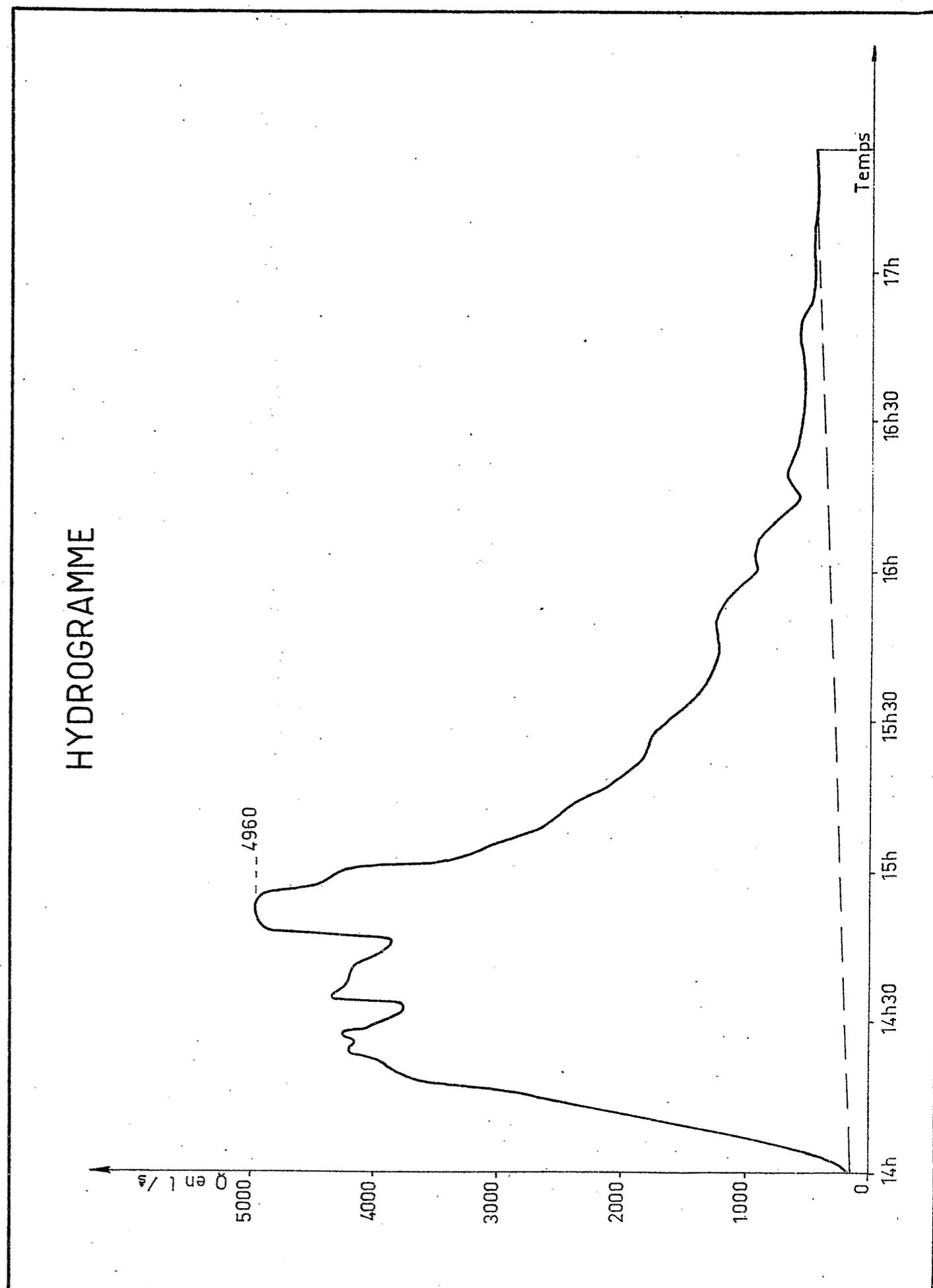
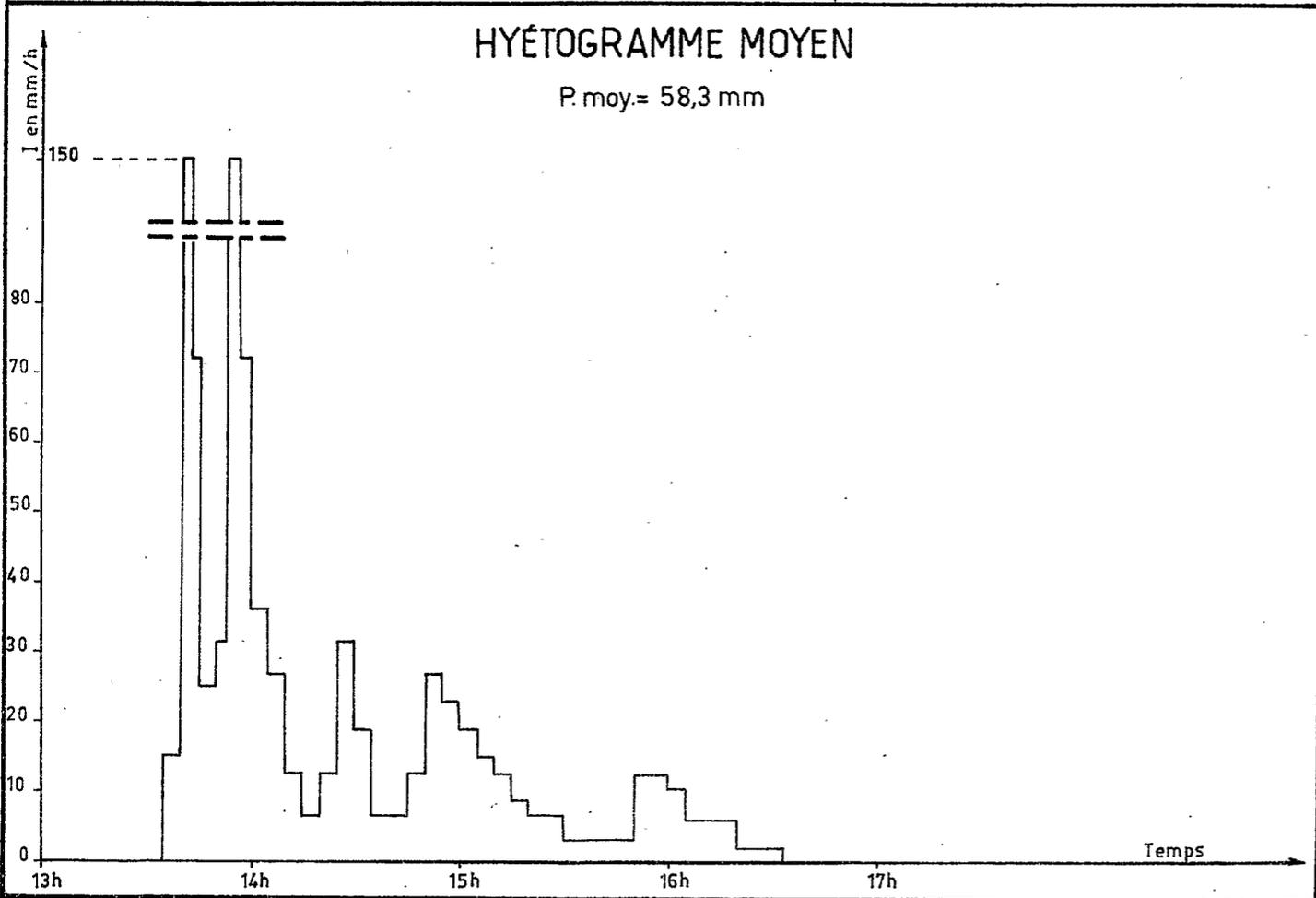
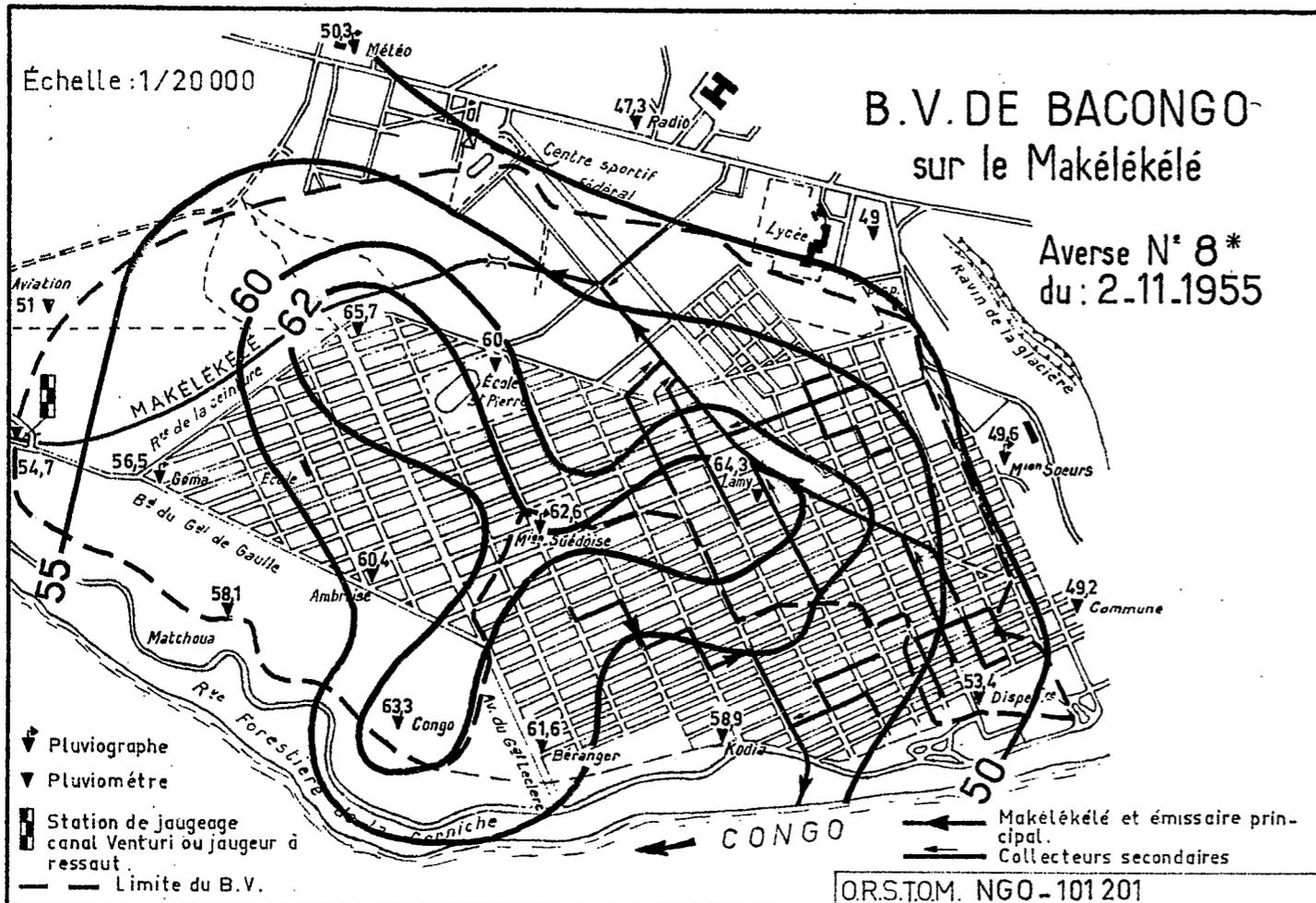
Ce chiffre étant obtenu après cumul des hypothèses les plus pessimistes des paragraphes 8.1. et 6.5, il devrait correspondre à un temps de retour bien supérieur à 10 ans.

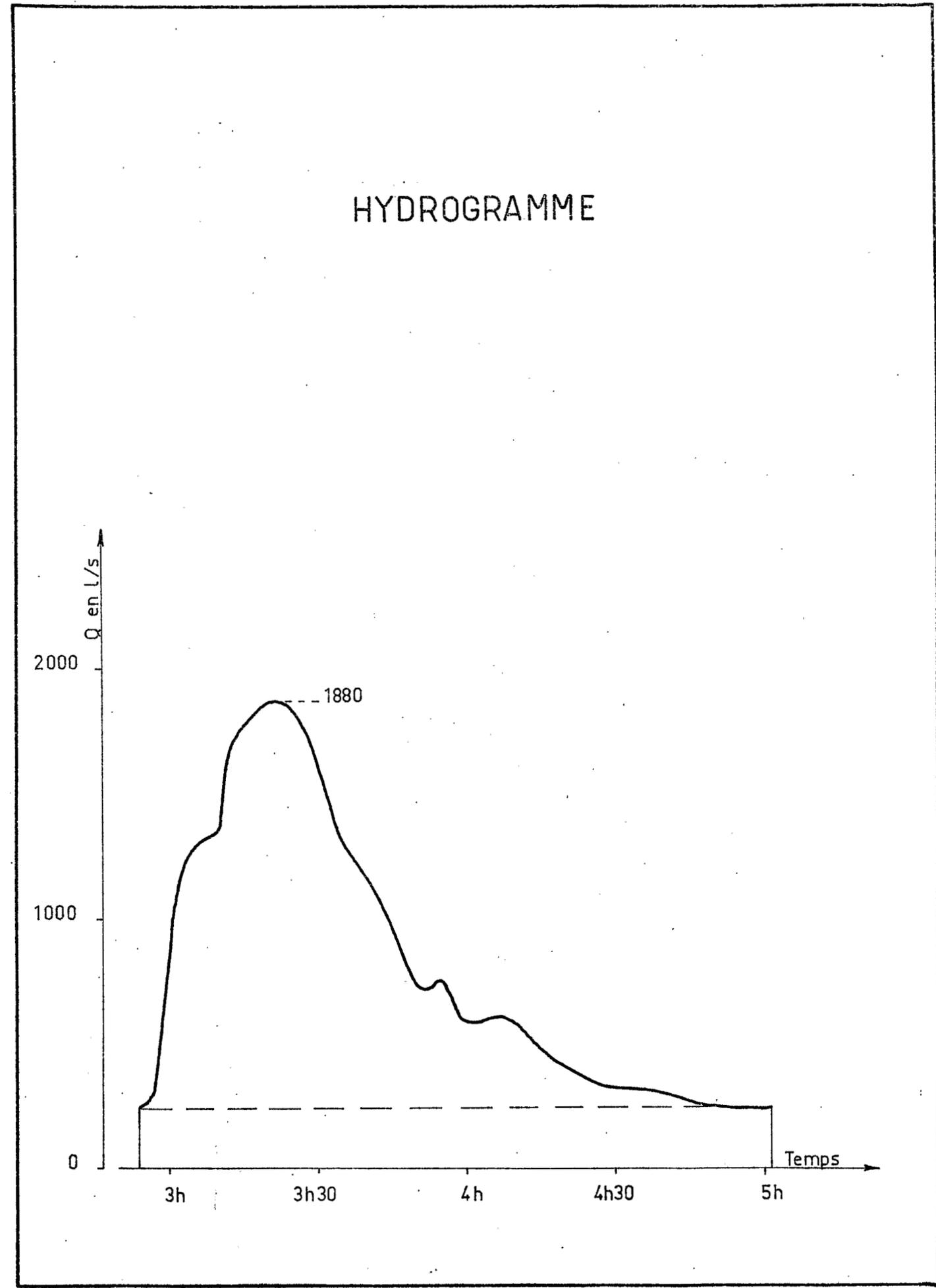
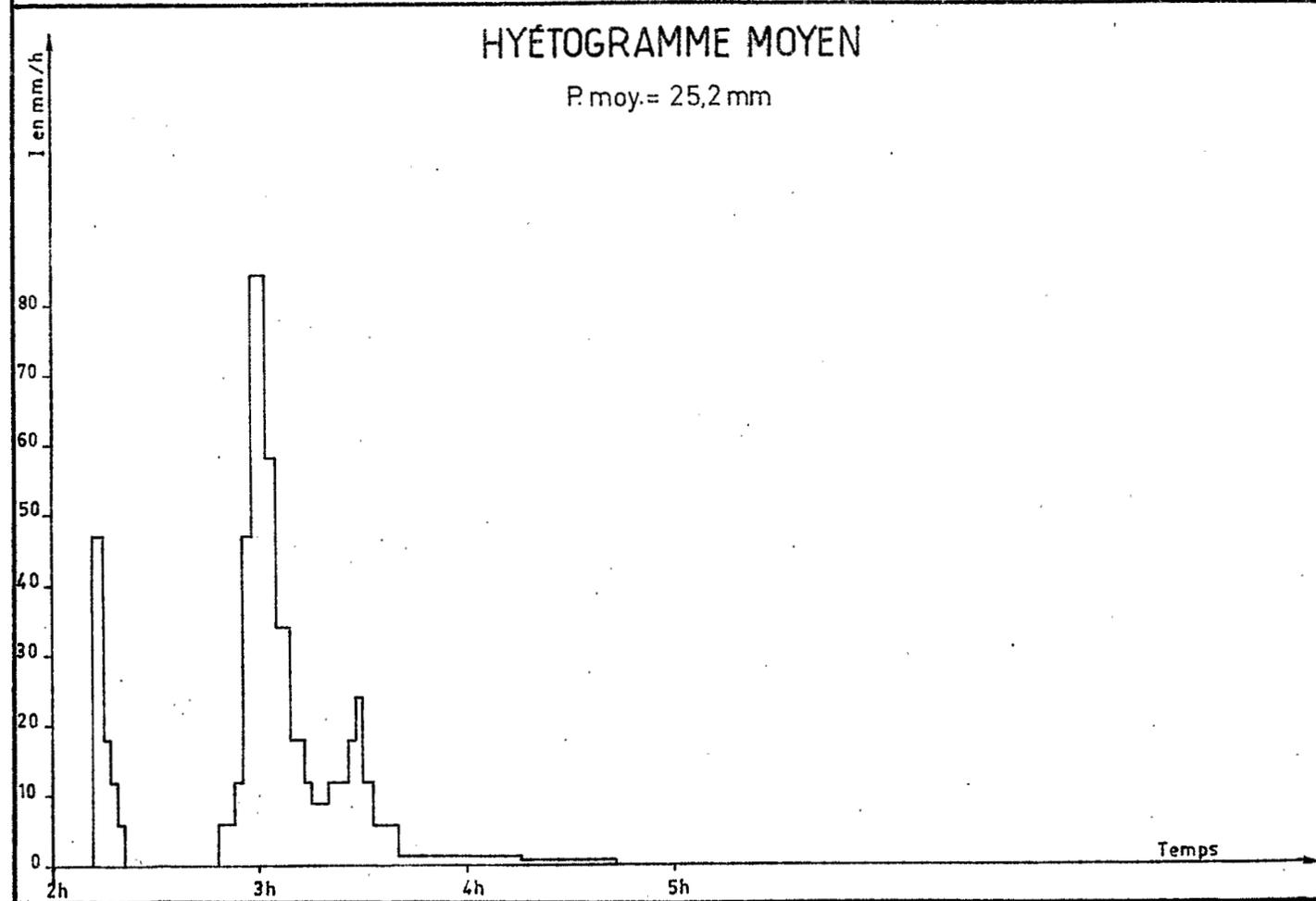
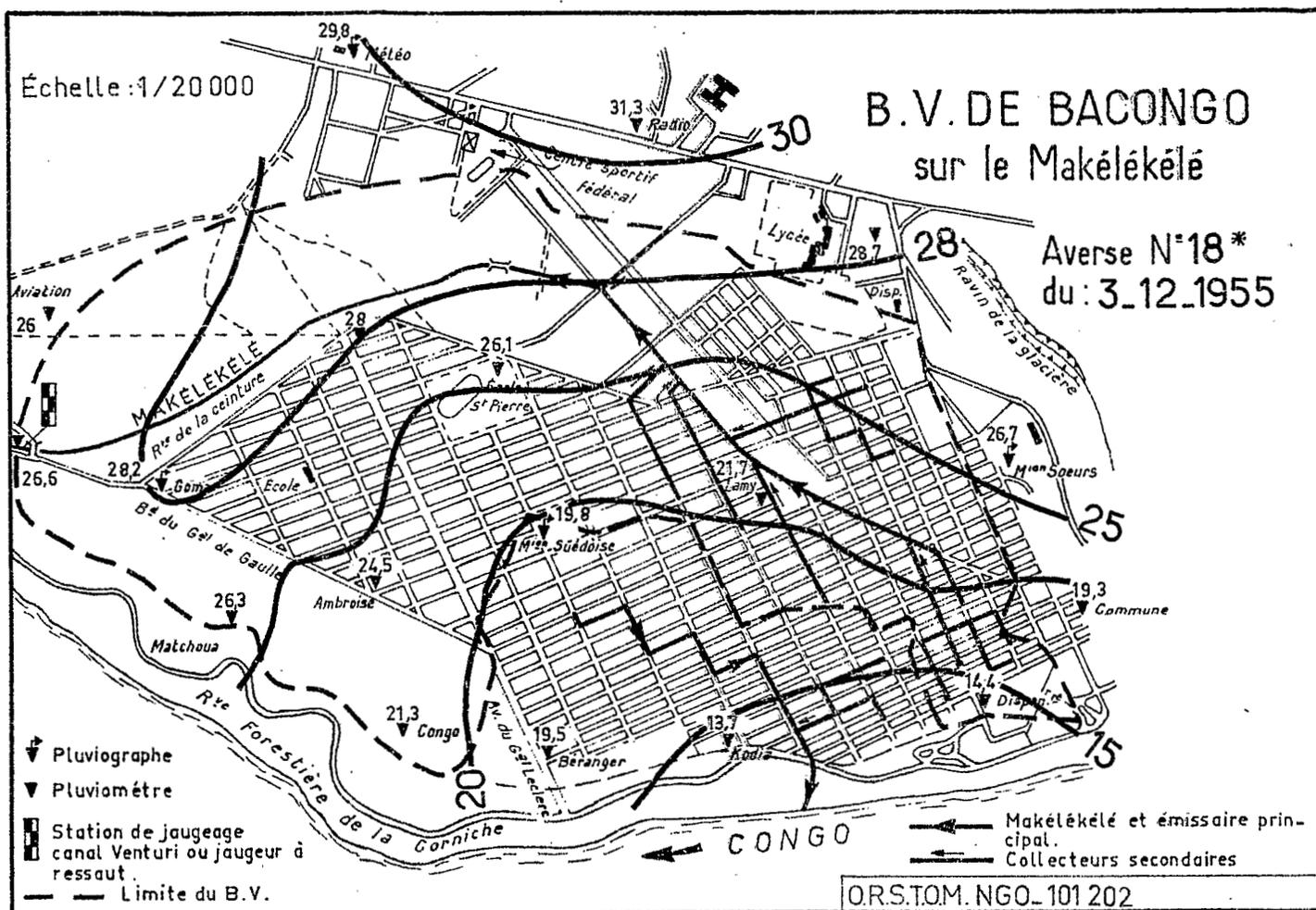
Bien entendu, les calculs faits dans ce paragraphe supposent que l'on est en présence d'un aménagement du bassin total exactement comparable à ce qui existait pour la zone C de 1955 à 1957. Il est probable qu'on devra tenir compte de certaines hétérogénéités si l'on veut estimer les crues exceptionnelles à un stade bien précis de l'urbanisation mais pour simplifier les opérations, on pourra toujours évaluer le degré d'urbanisation par le pourcentage du bassin total comparable à ce qui est ici la zone C : zone urbanisée où le réseau de collecteurs d'égouts est déjà installé.

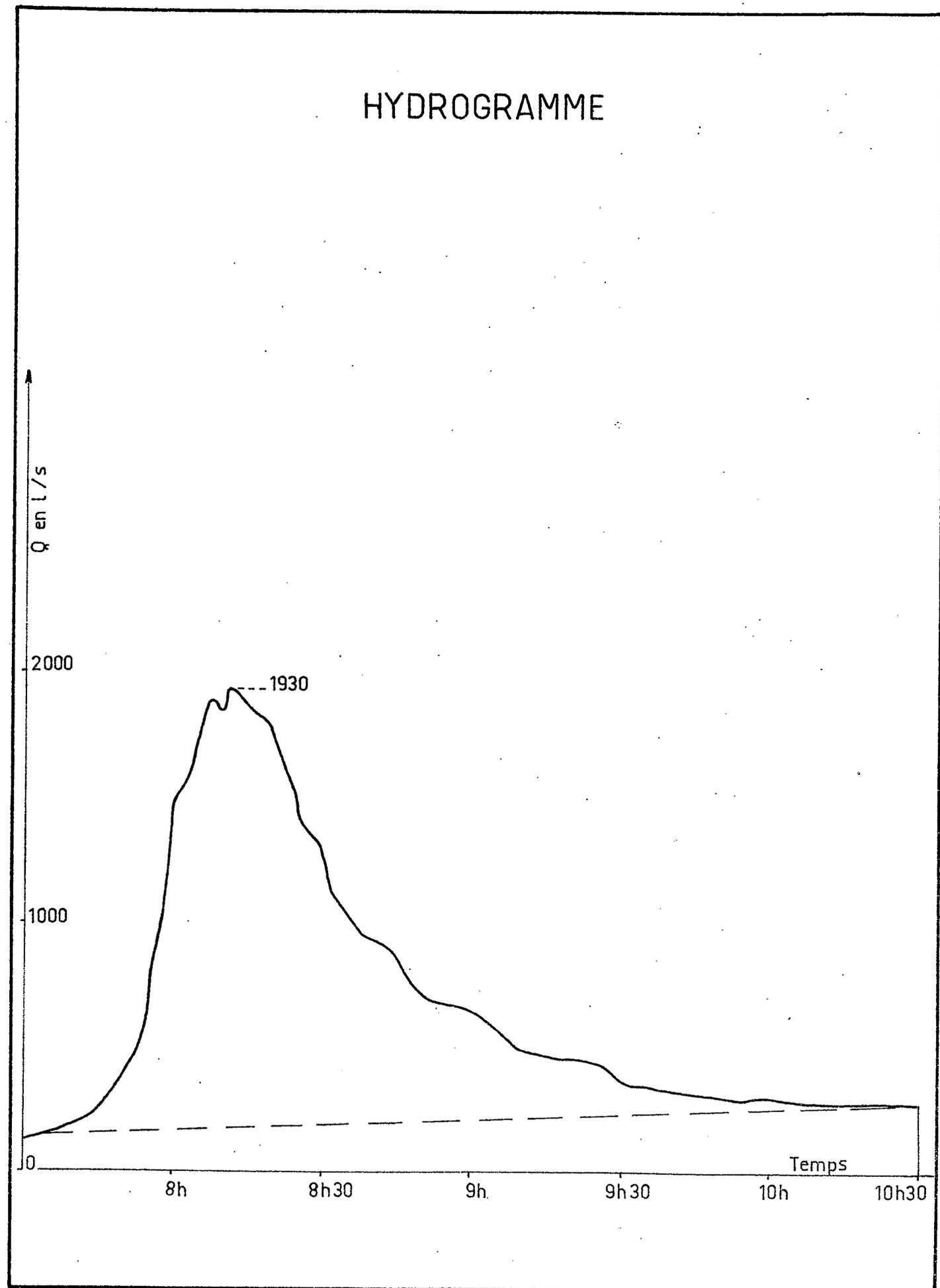
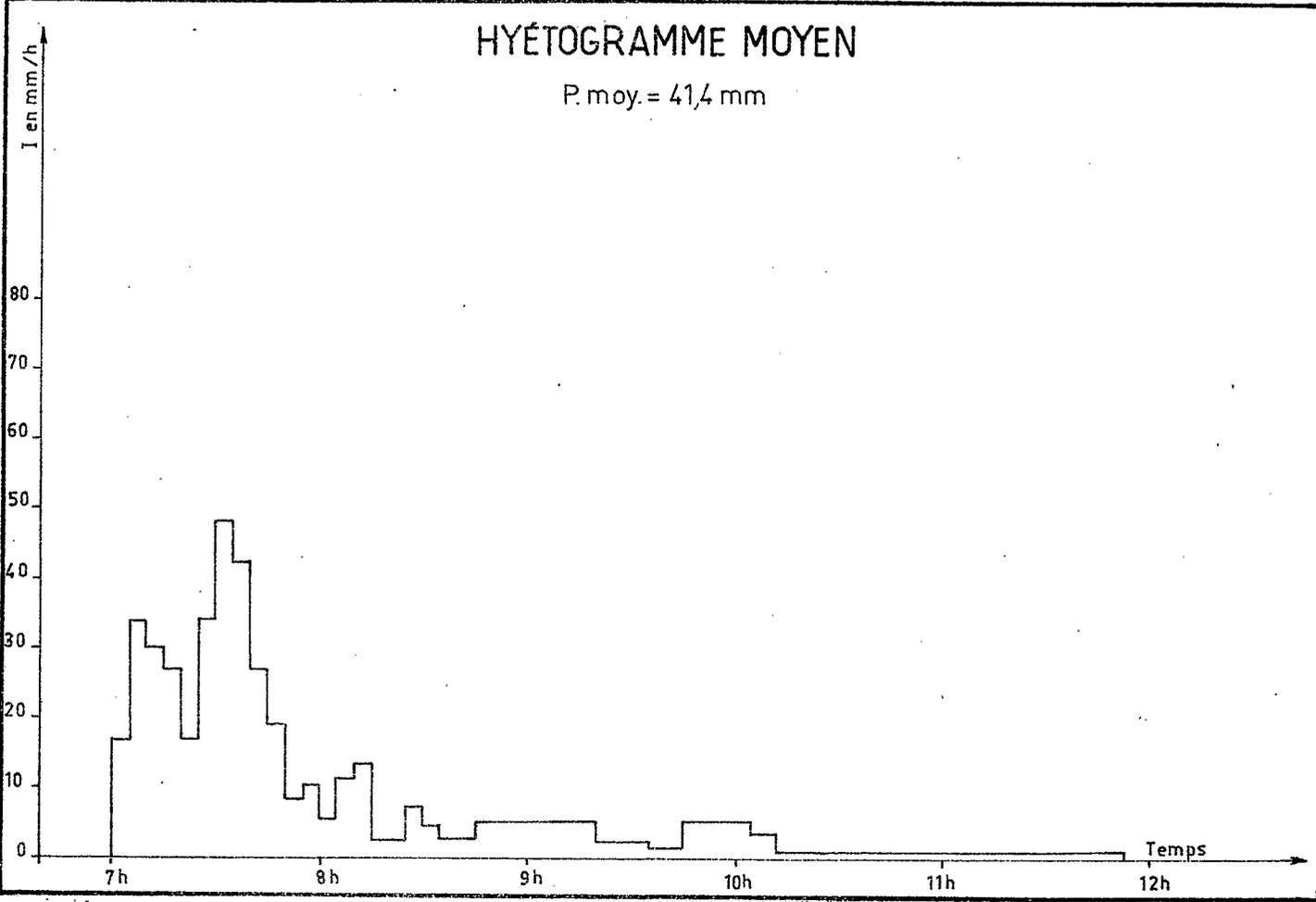
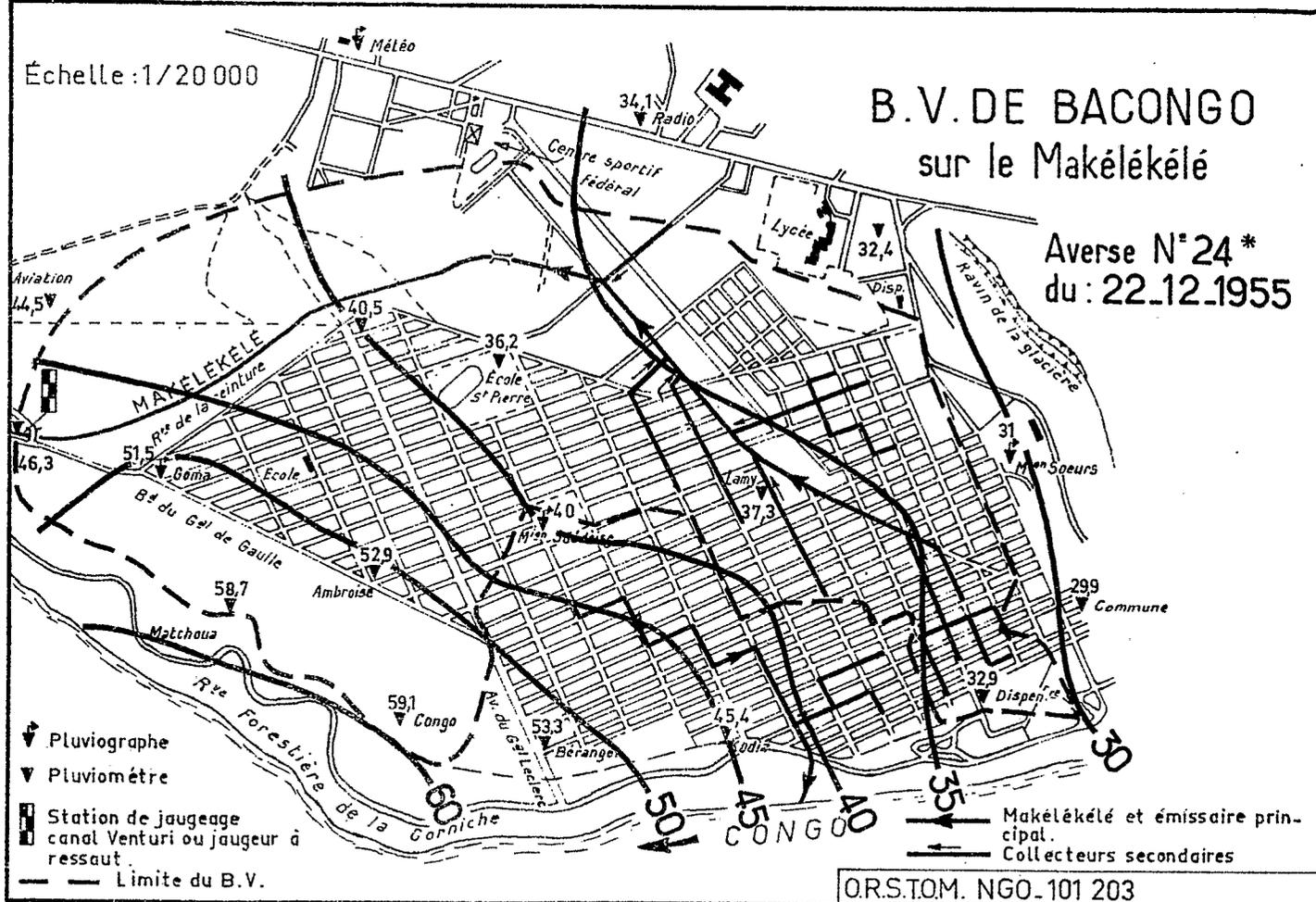
On notera également que la correction du débit de base n'a pas été ajoutée aux débits estimés pour $Q_R \max_{10}$, afin d'éviter qu'on s'illusionne sur la précision des calculs.

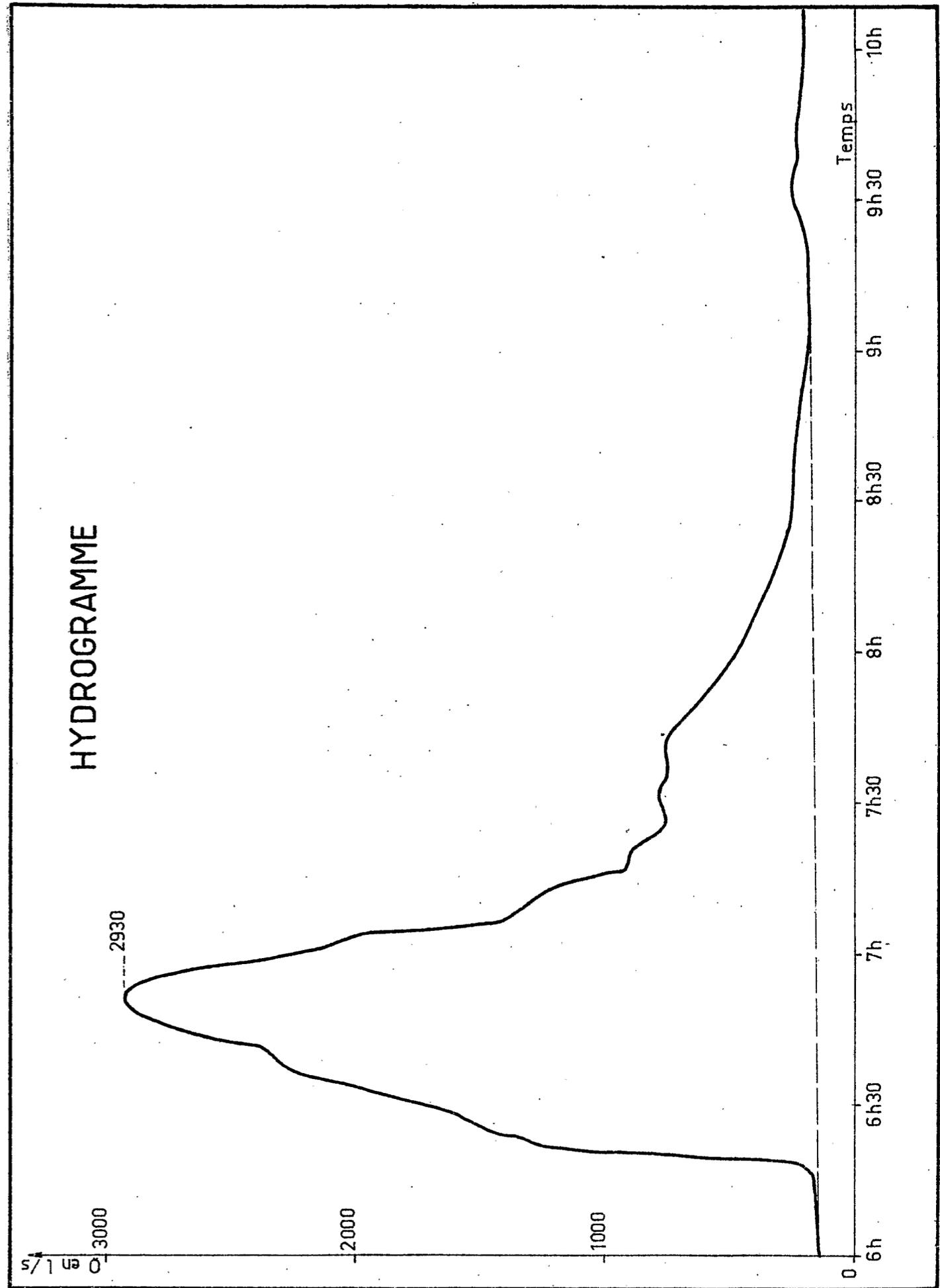
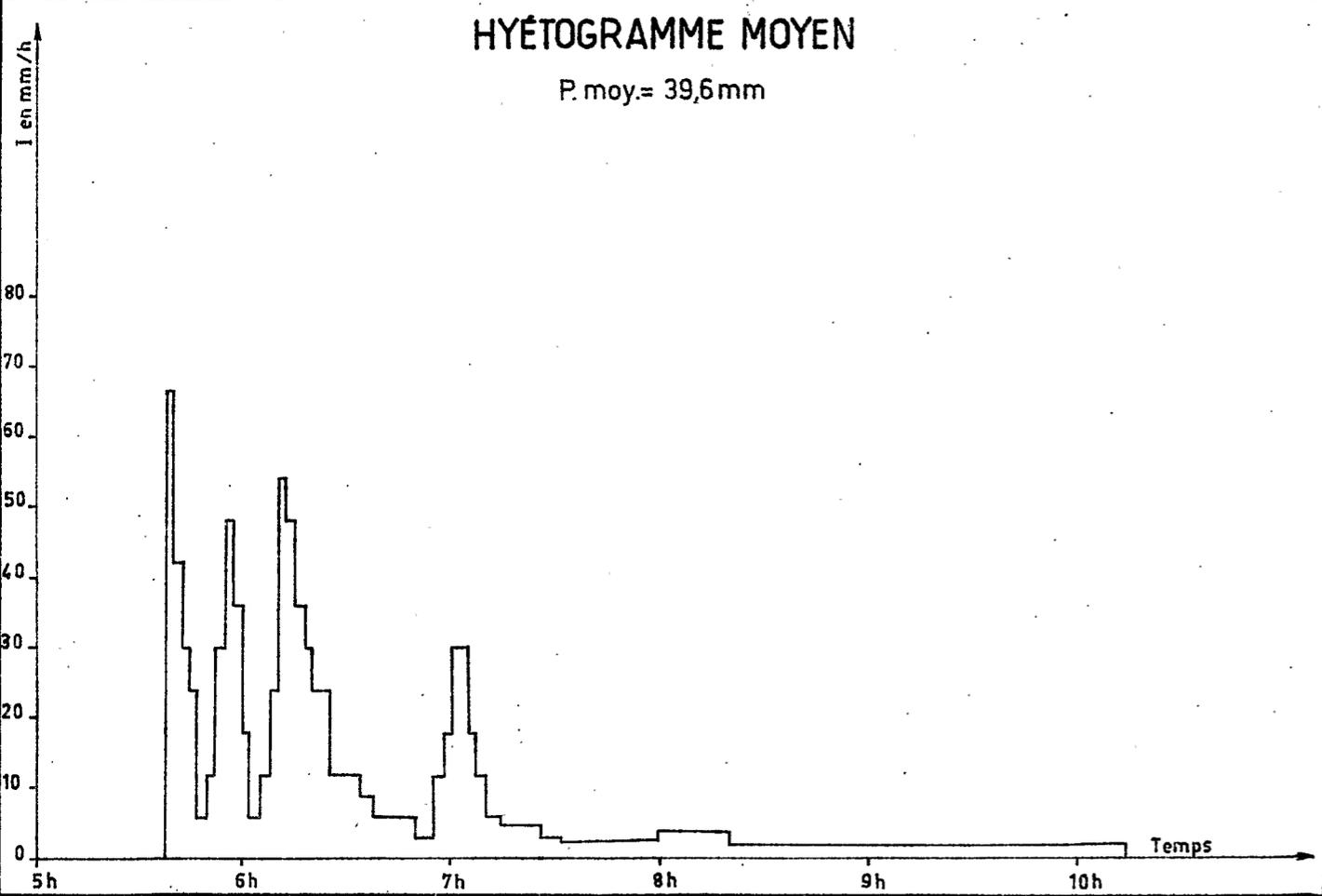
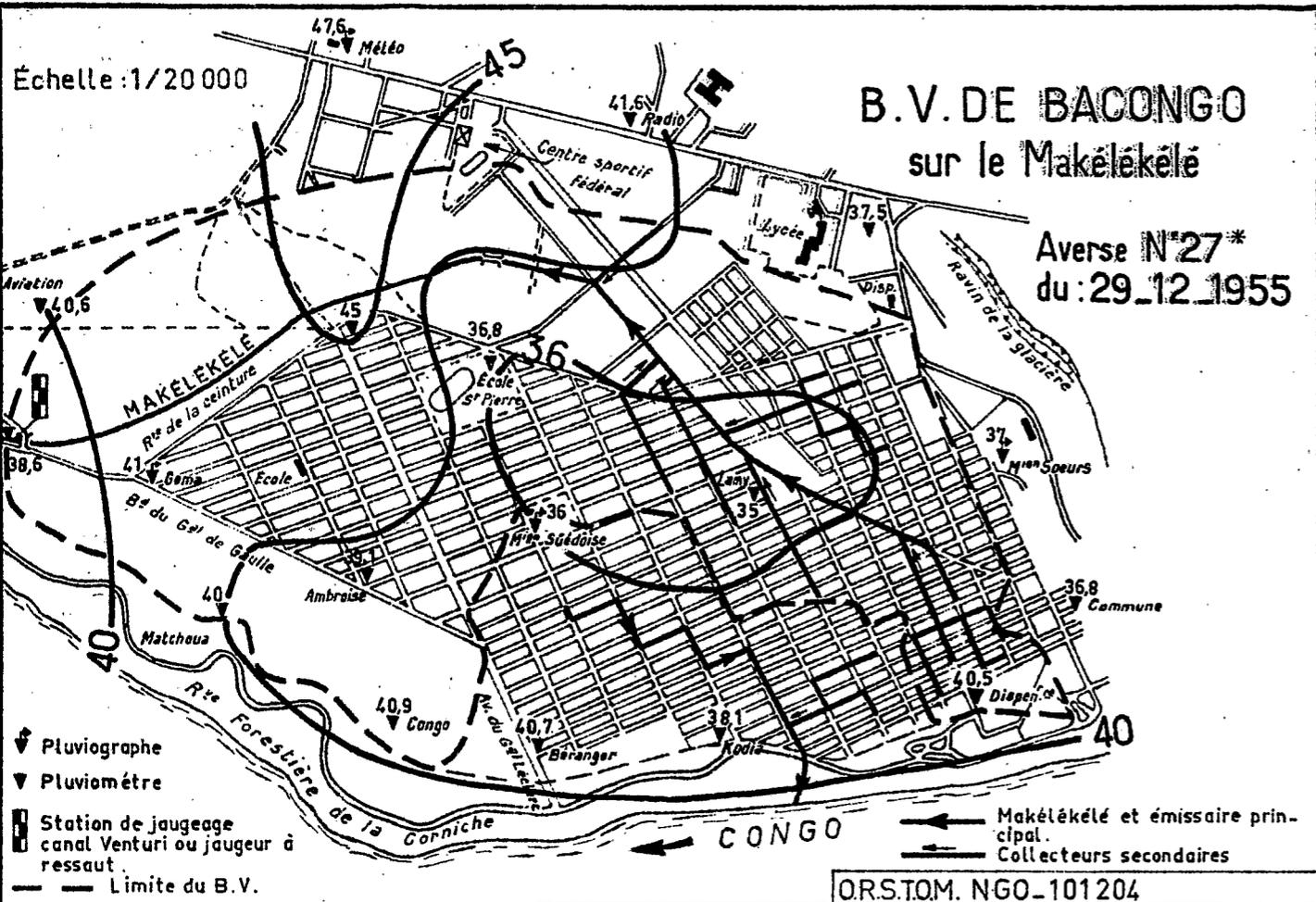
ANNEXES

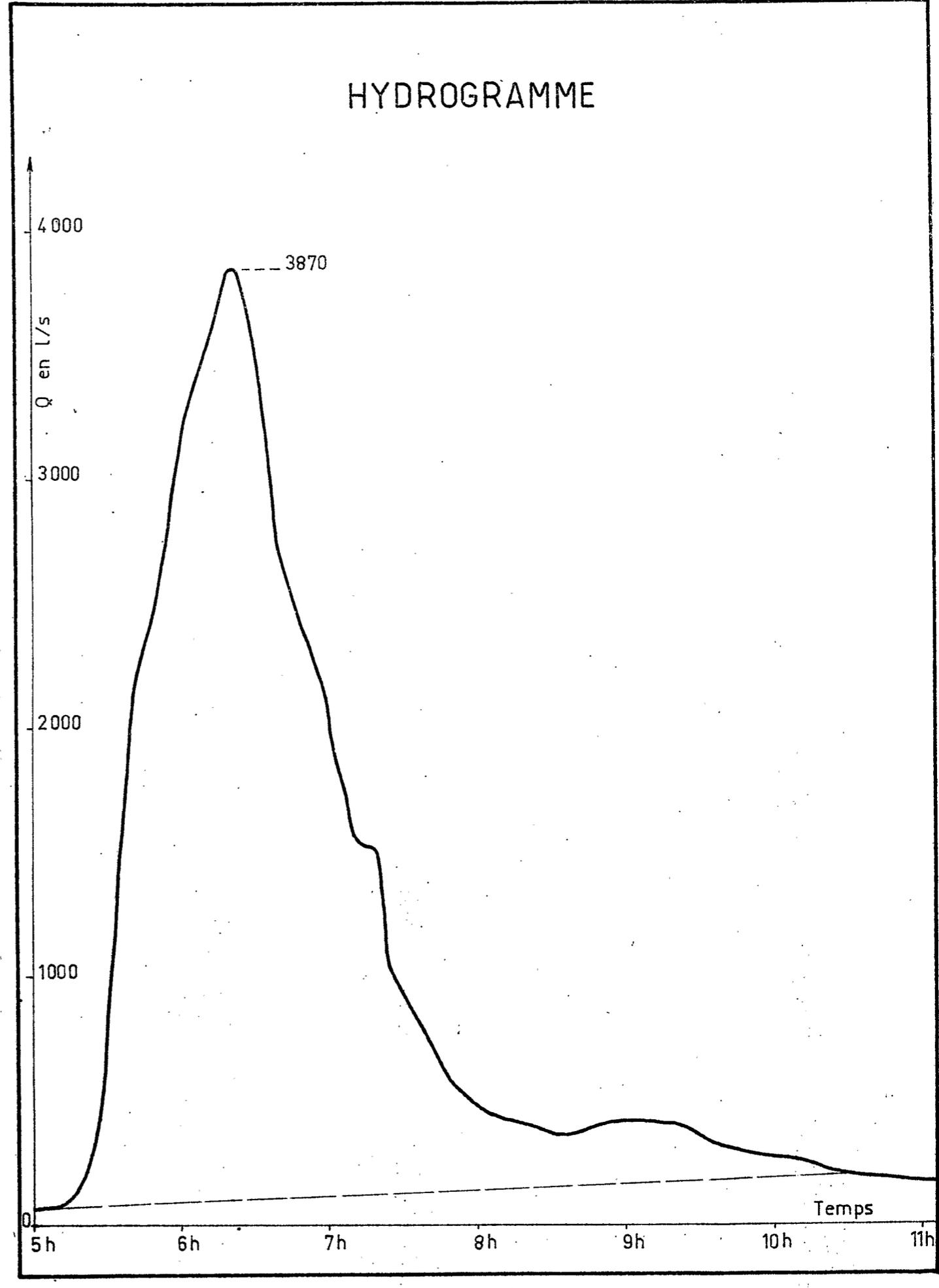
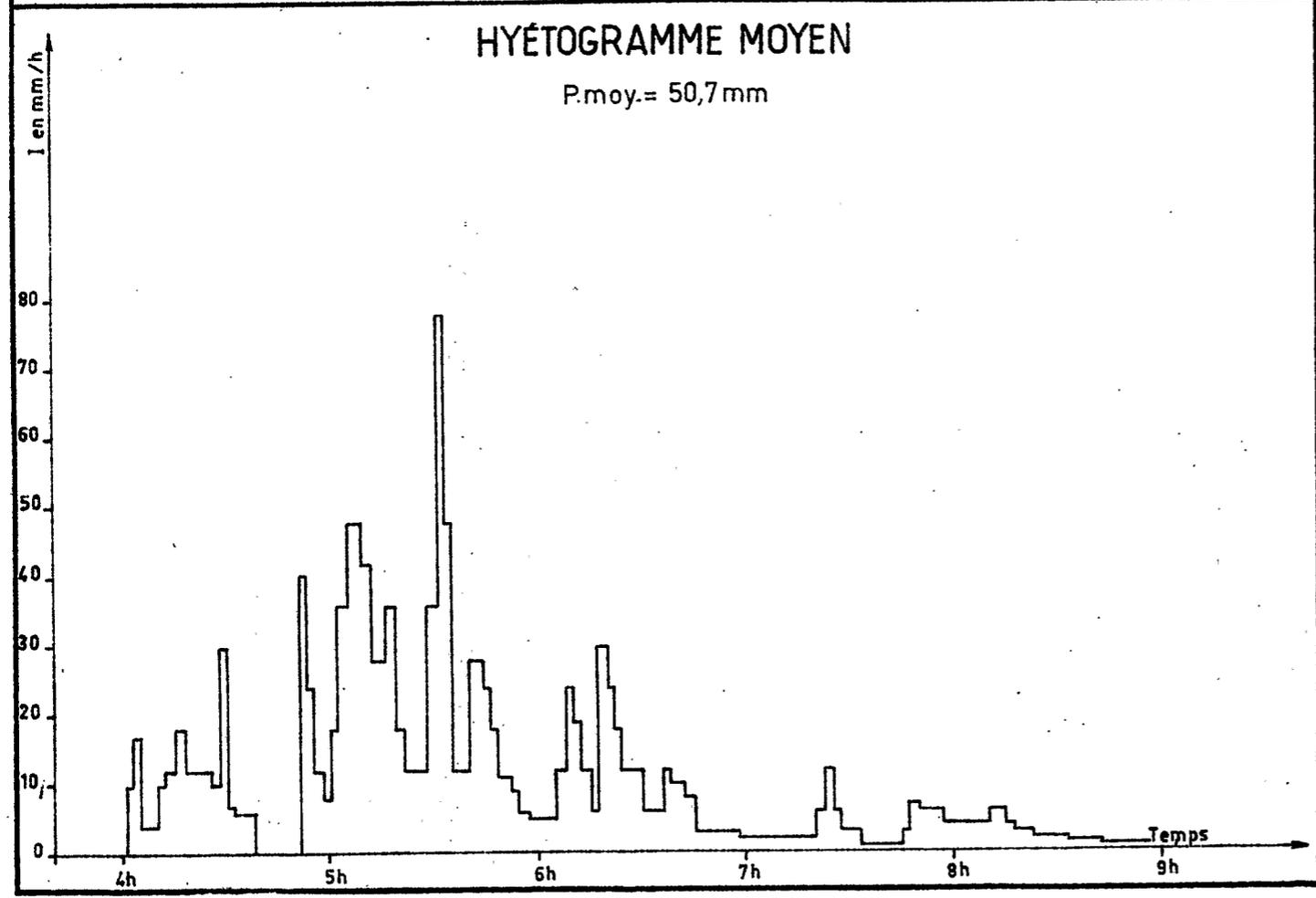
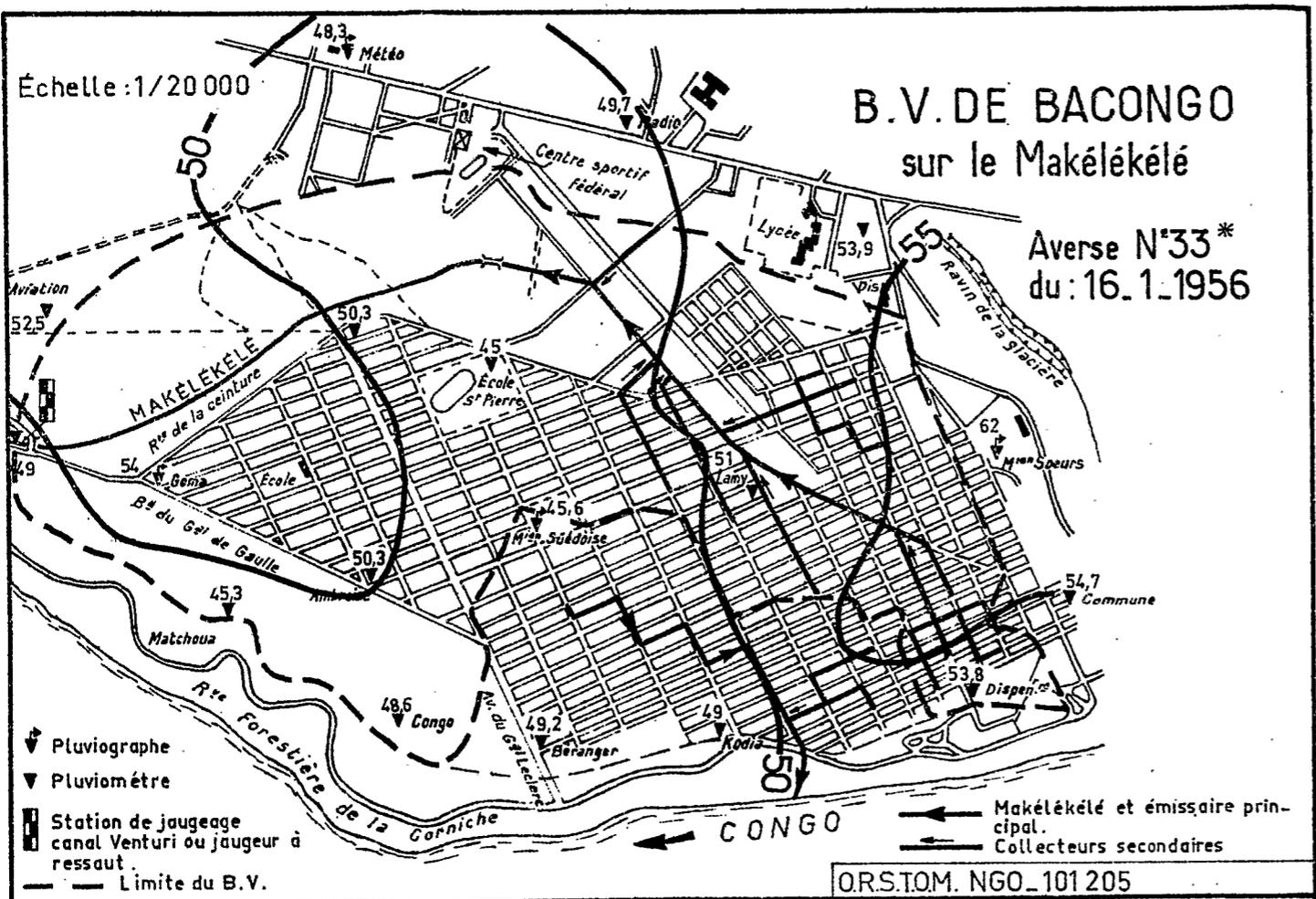


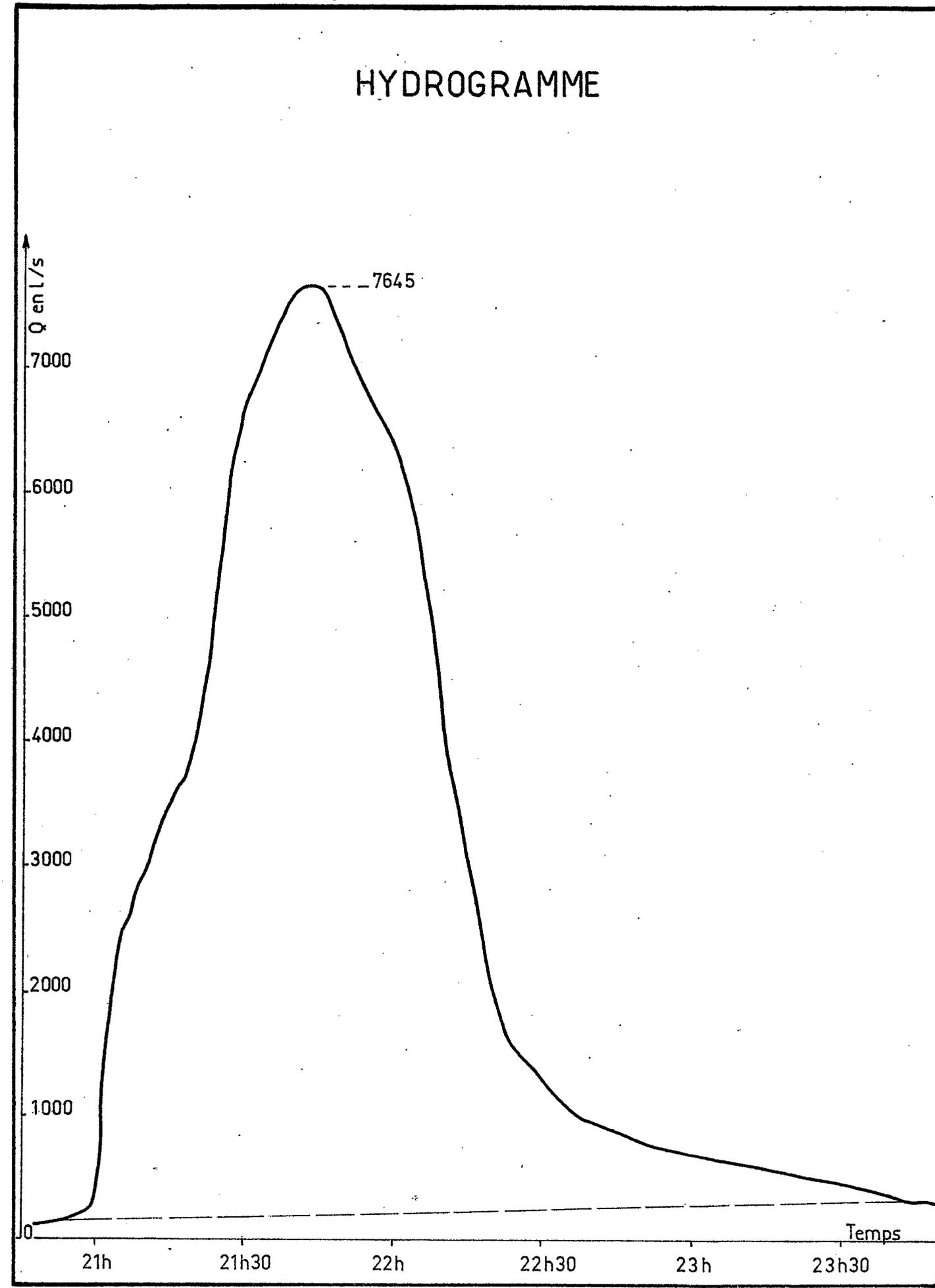
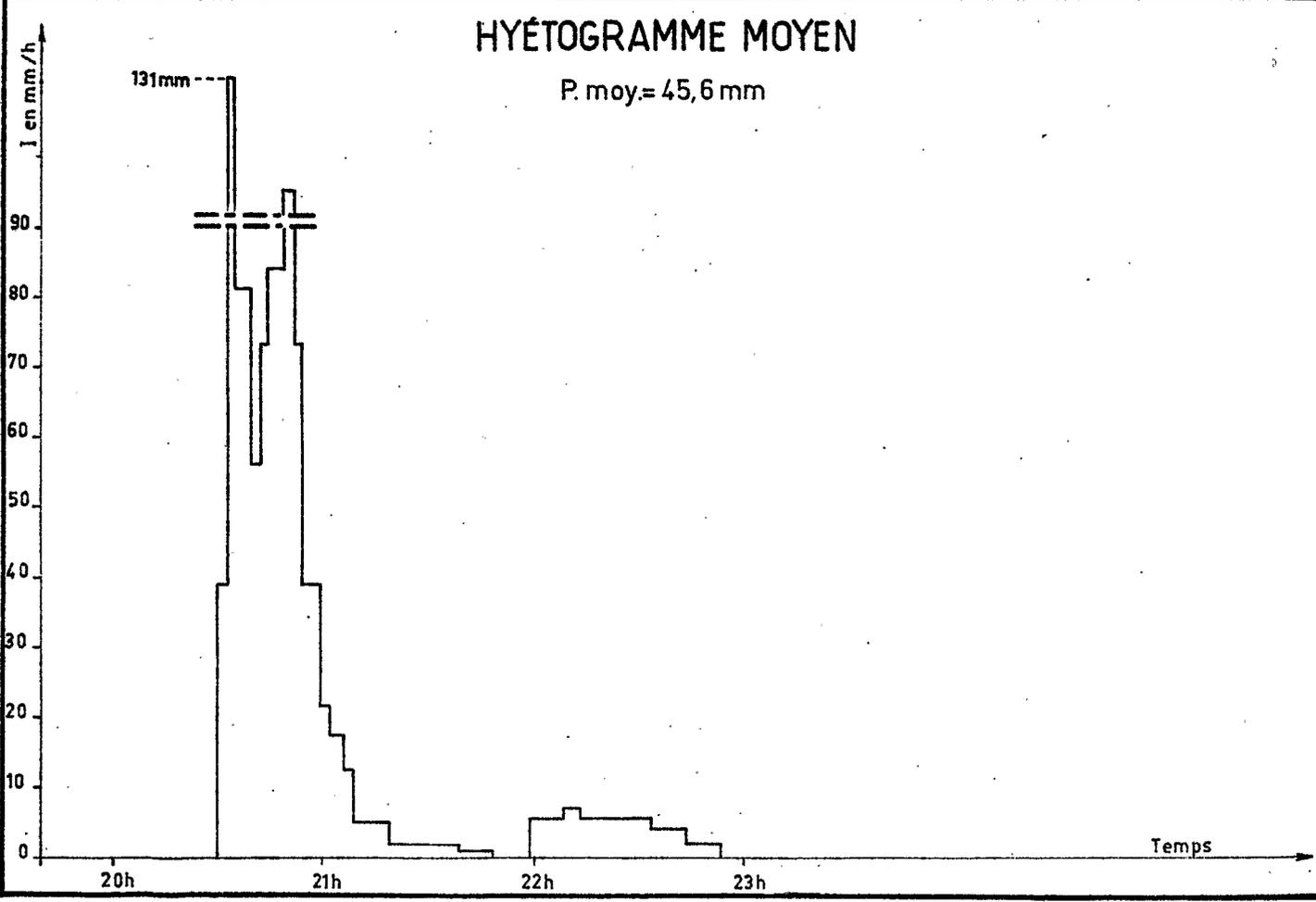
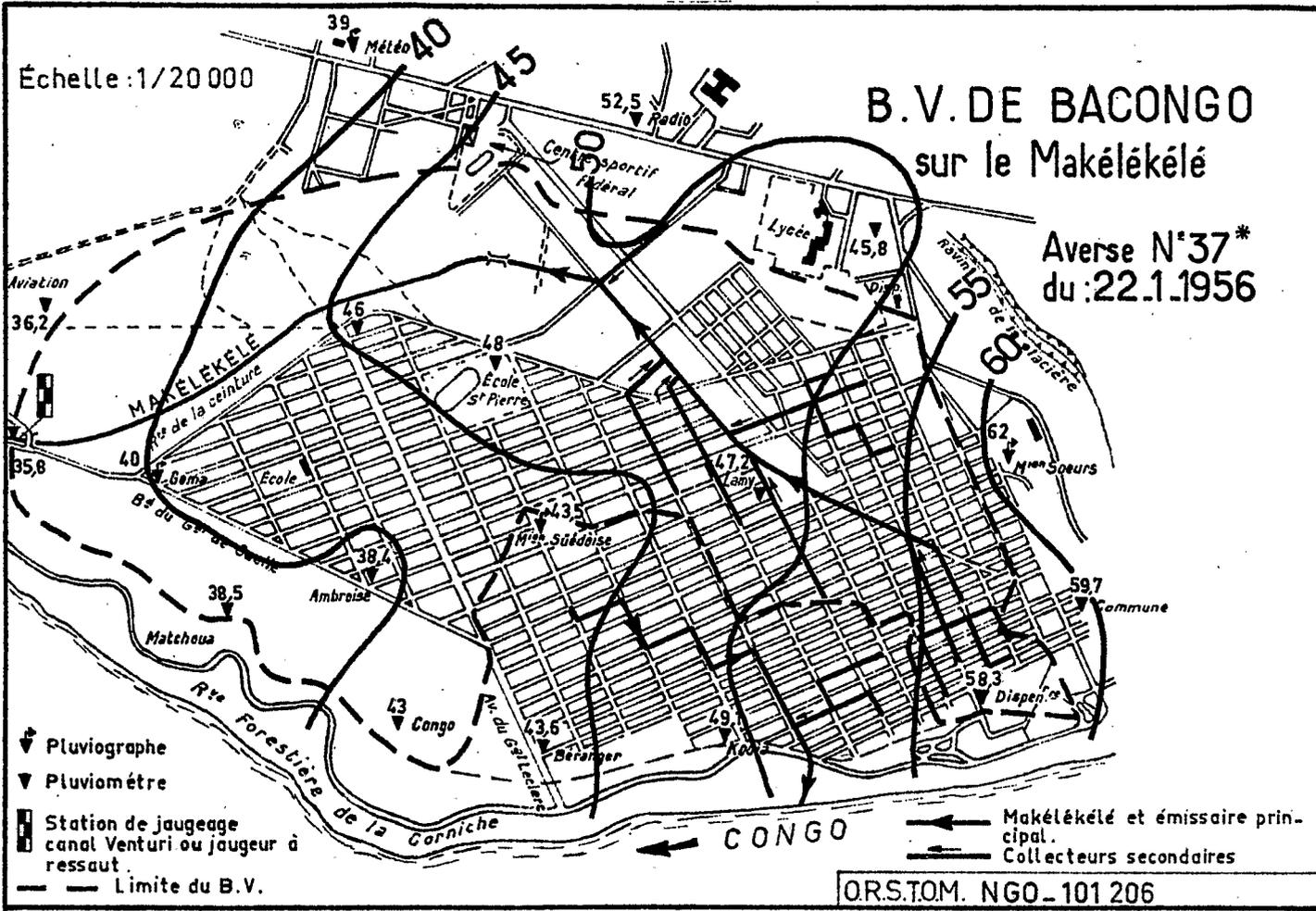




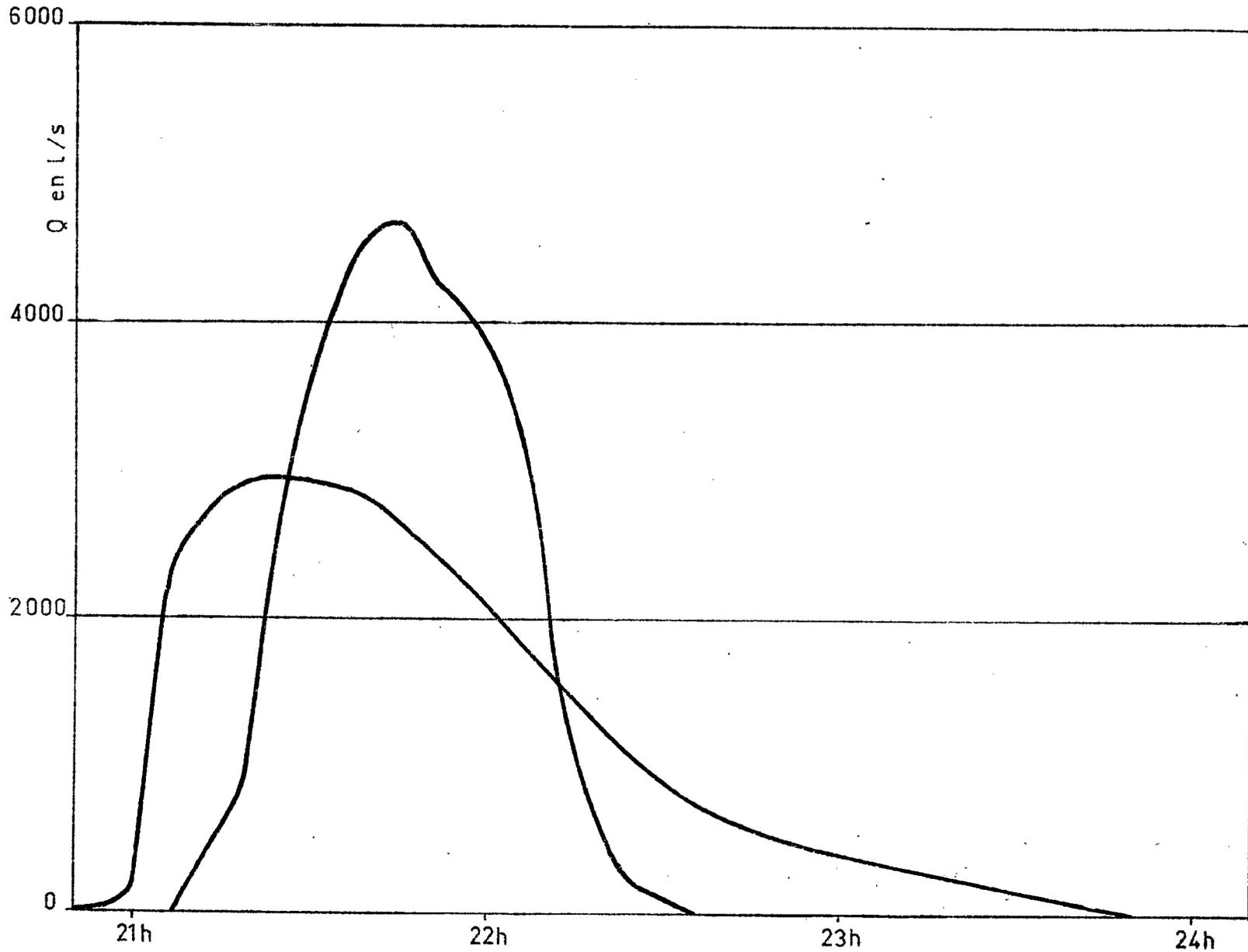




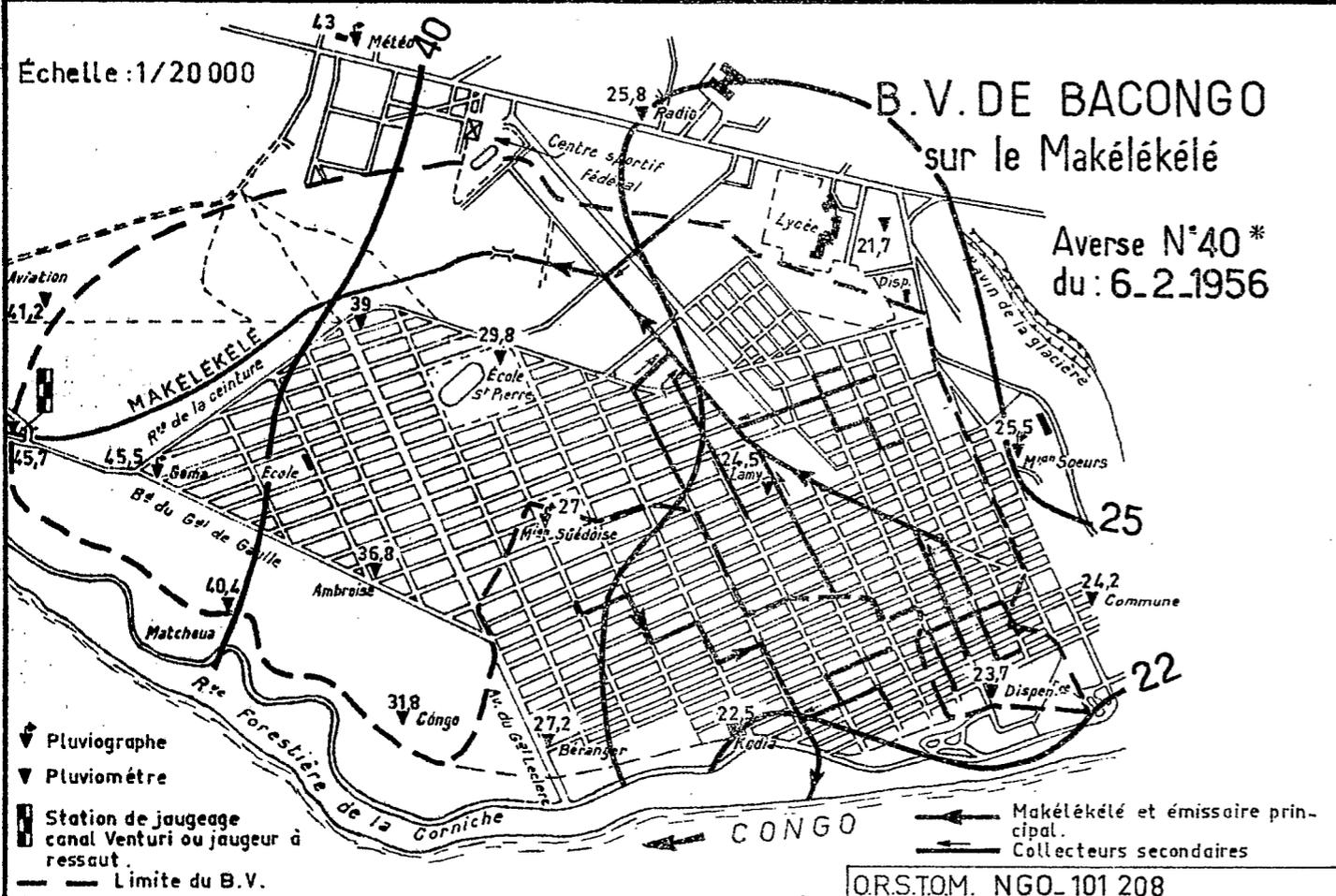




Séparation des deux ondes successives formant l'hydrogramme
de la crue n° 37*

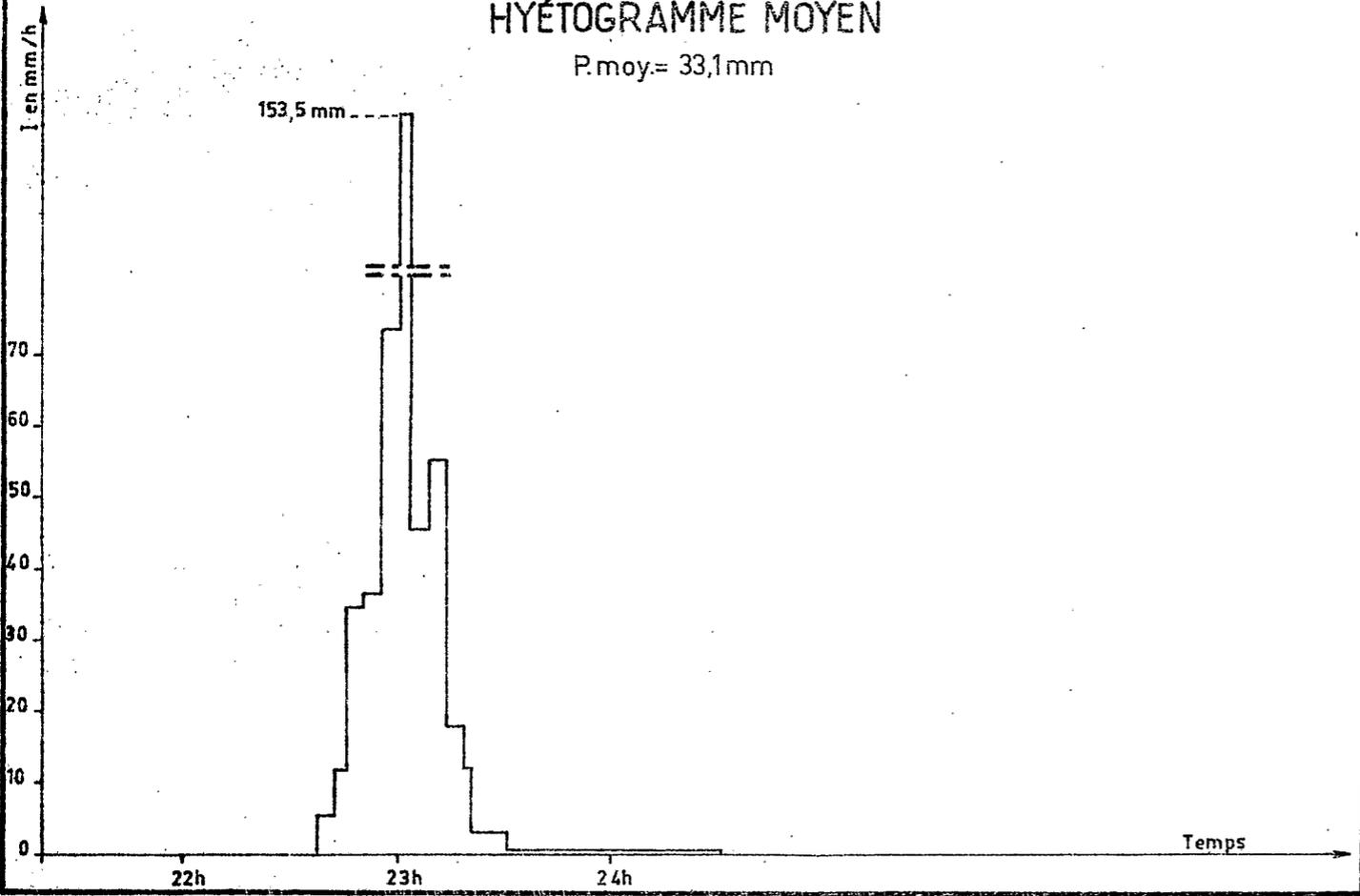


Échelle : 1/20 000

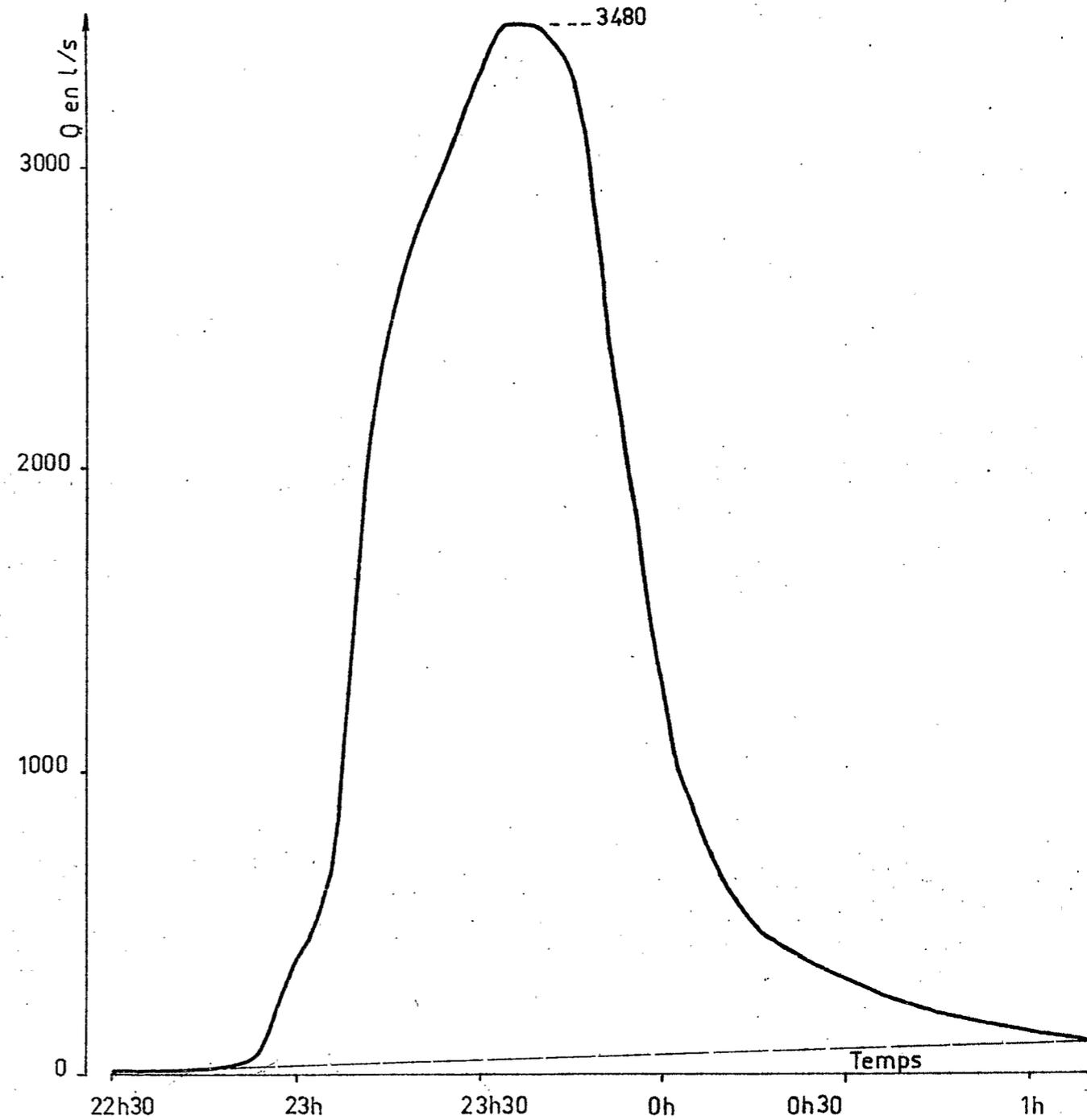


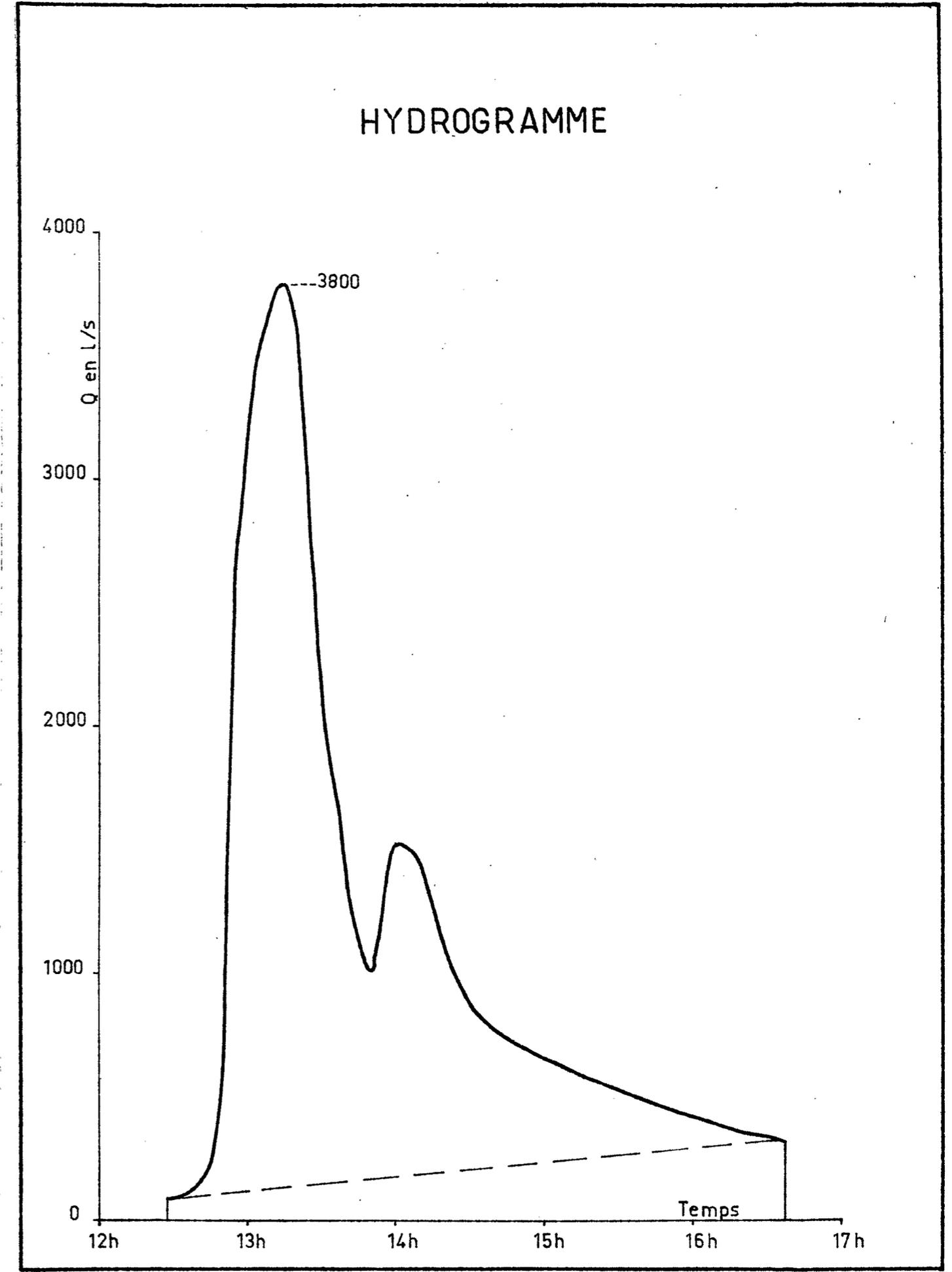
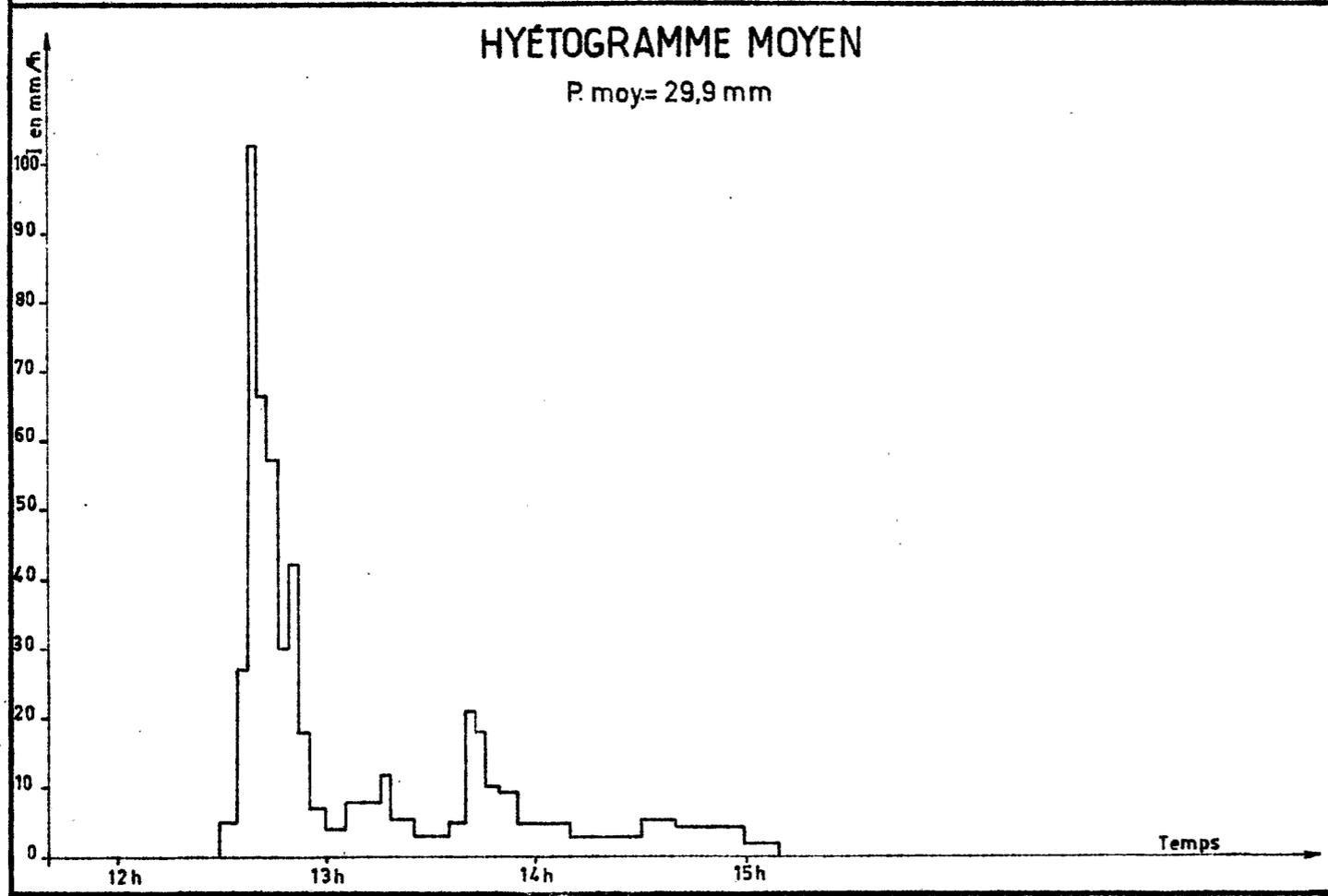
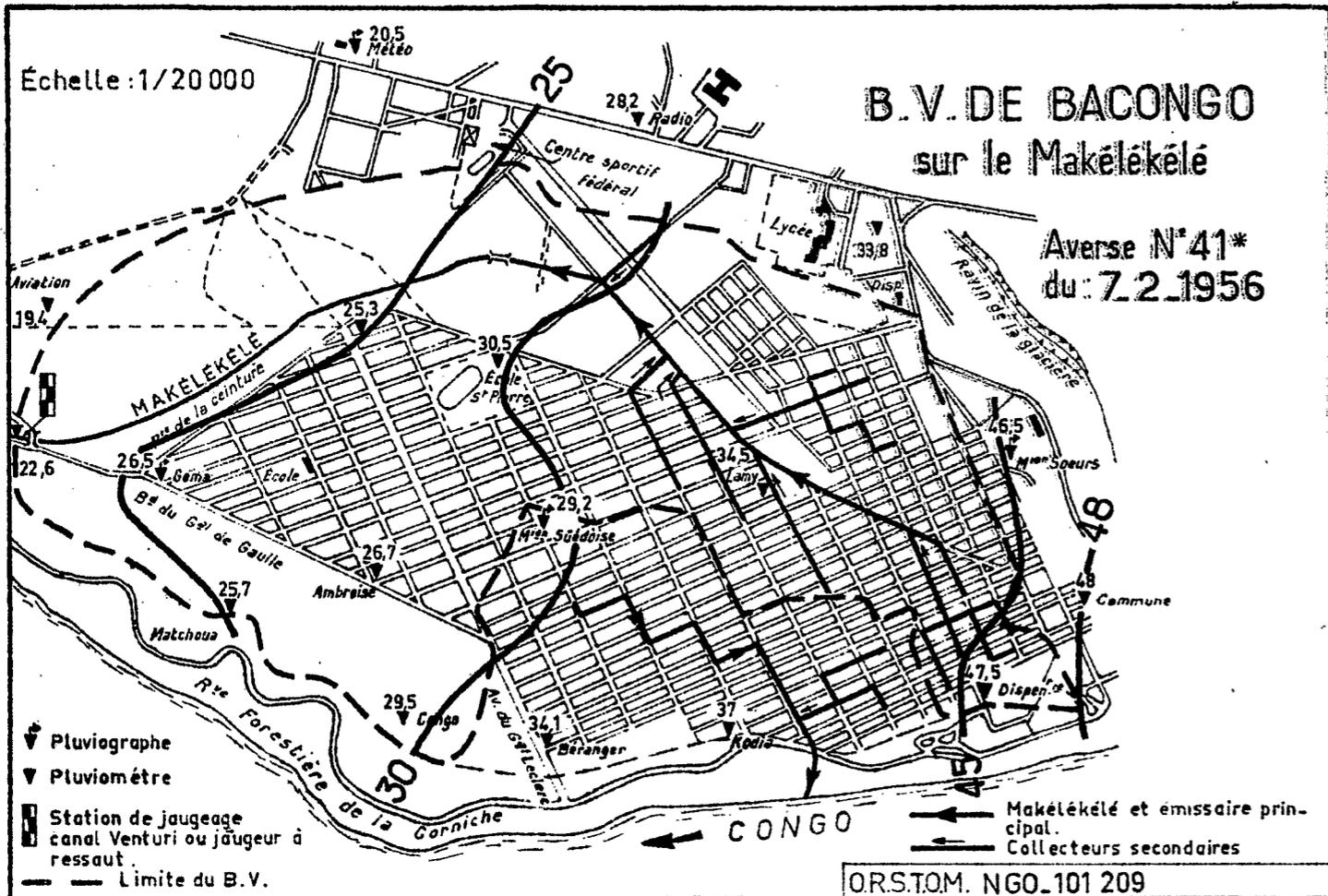
HYÉTOGRAMME MOYEN

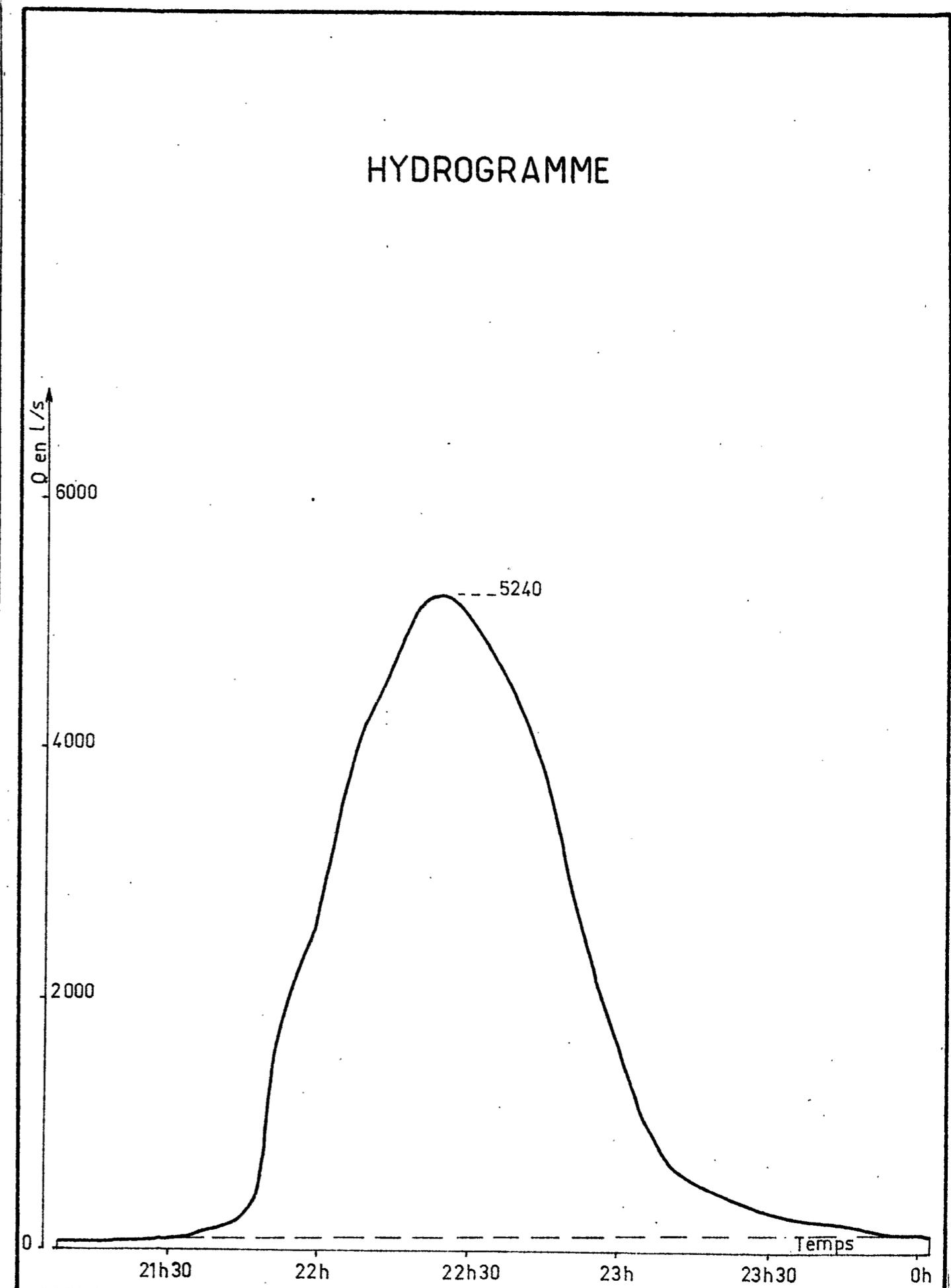
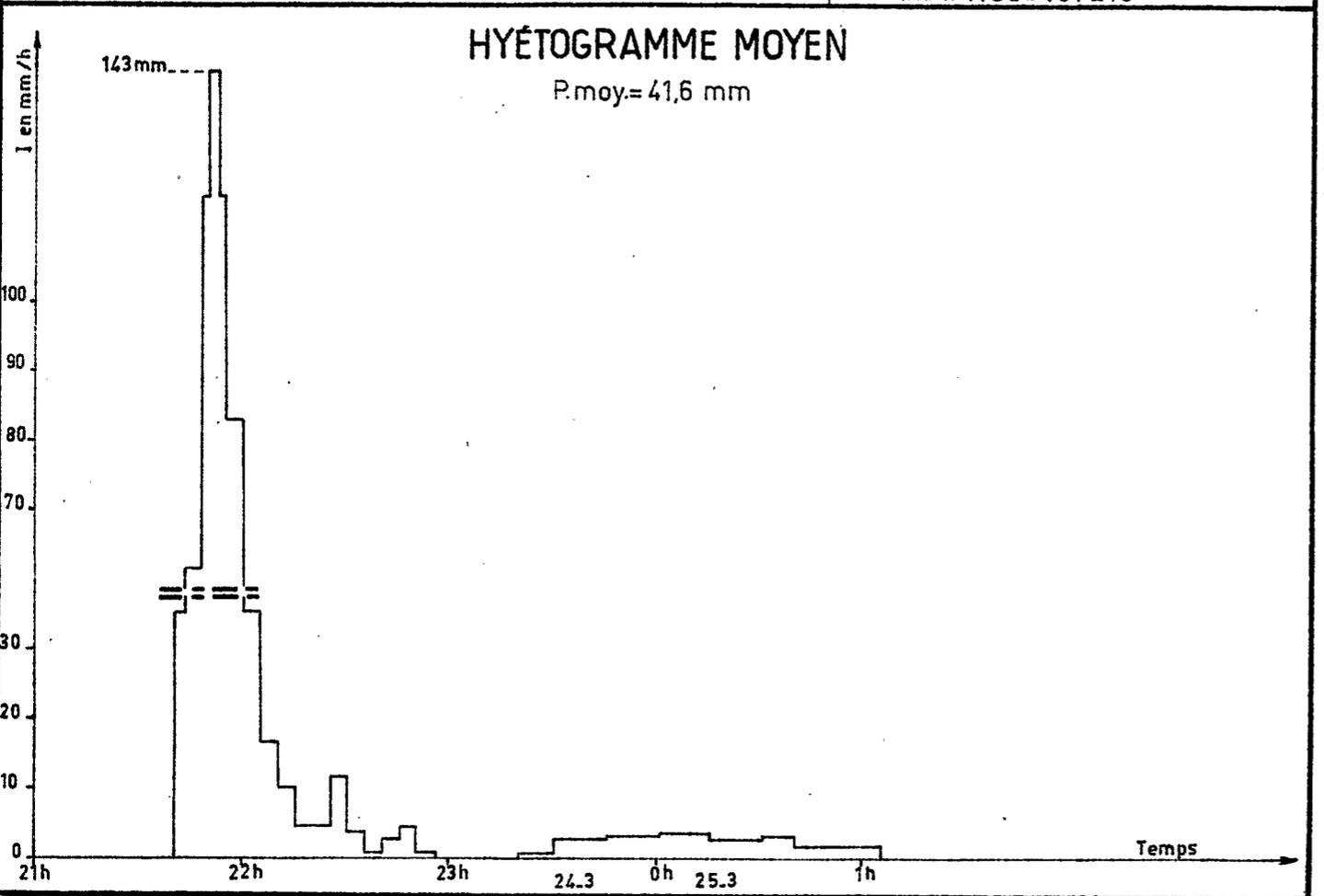
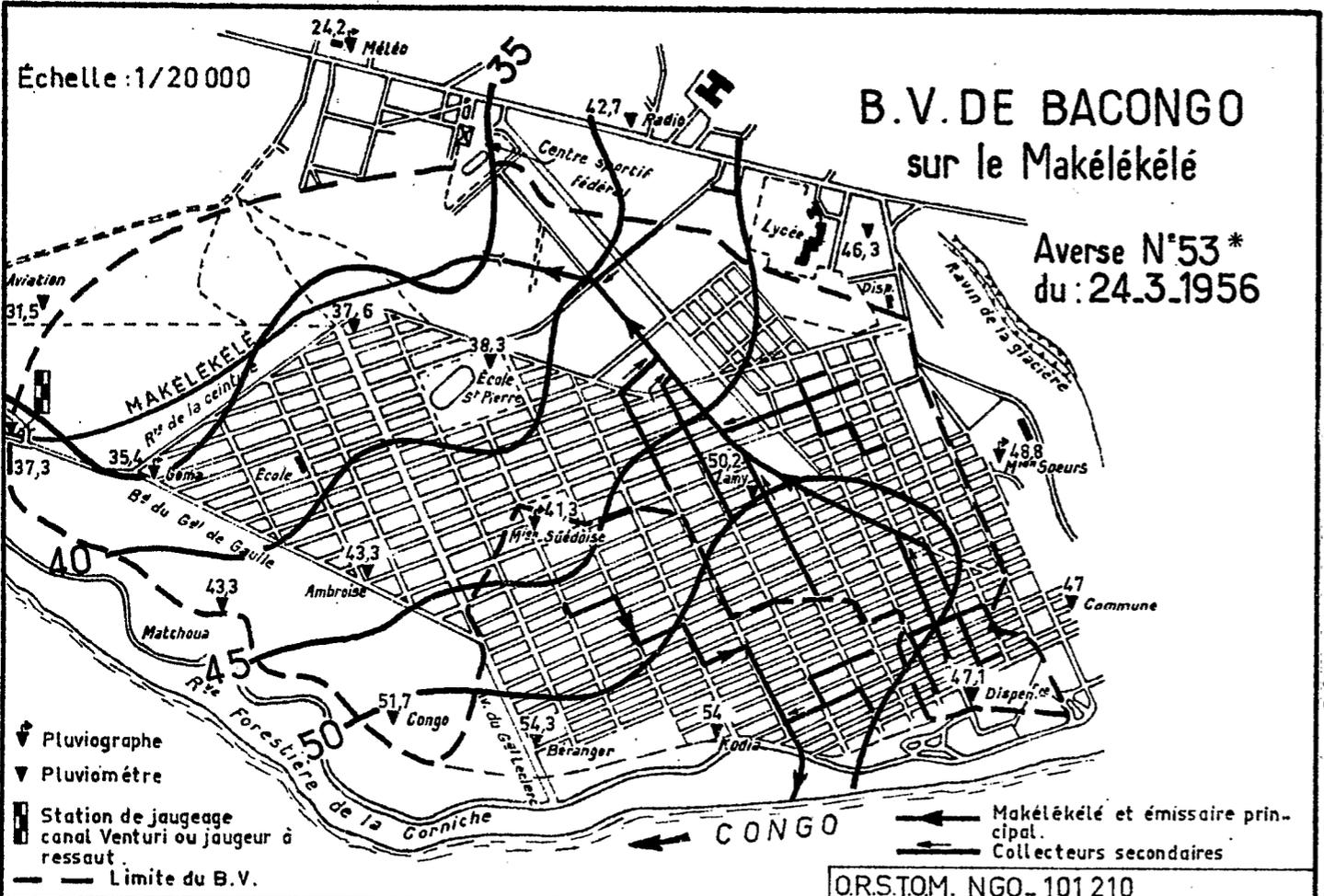
P.moy = 33,1mm

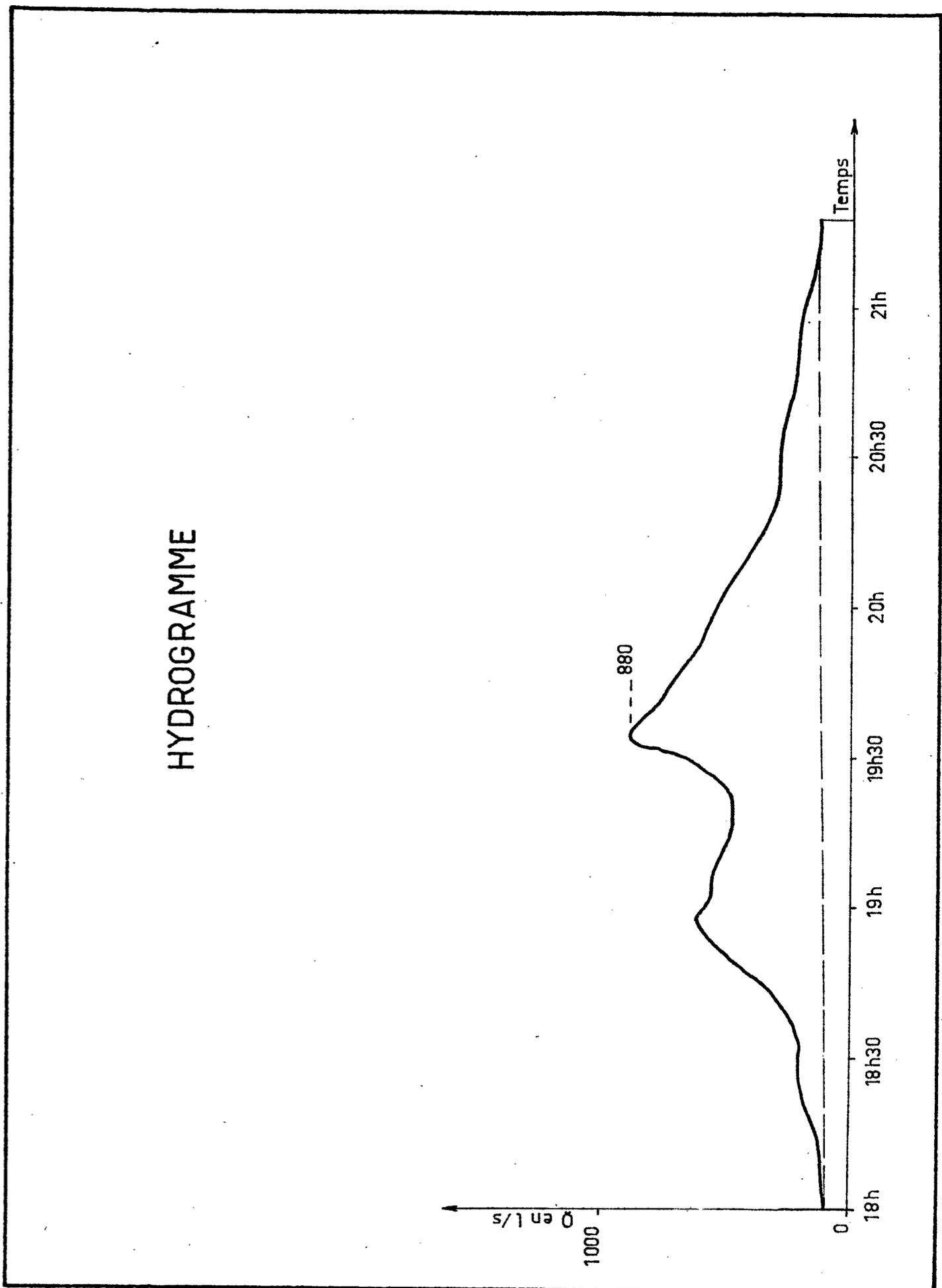
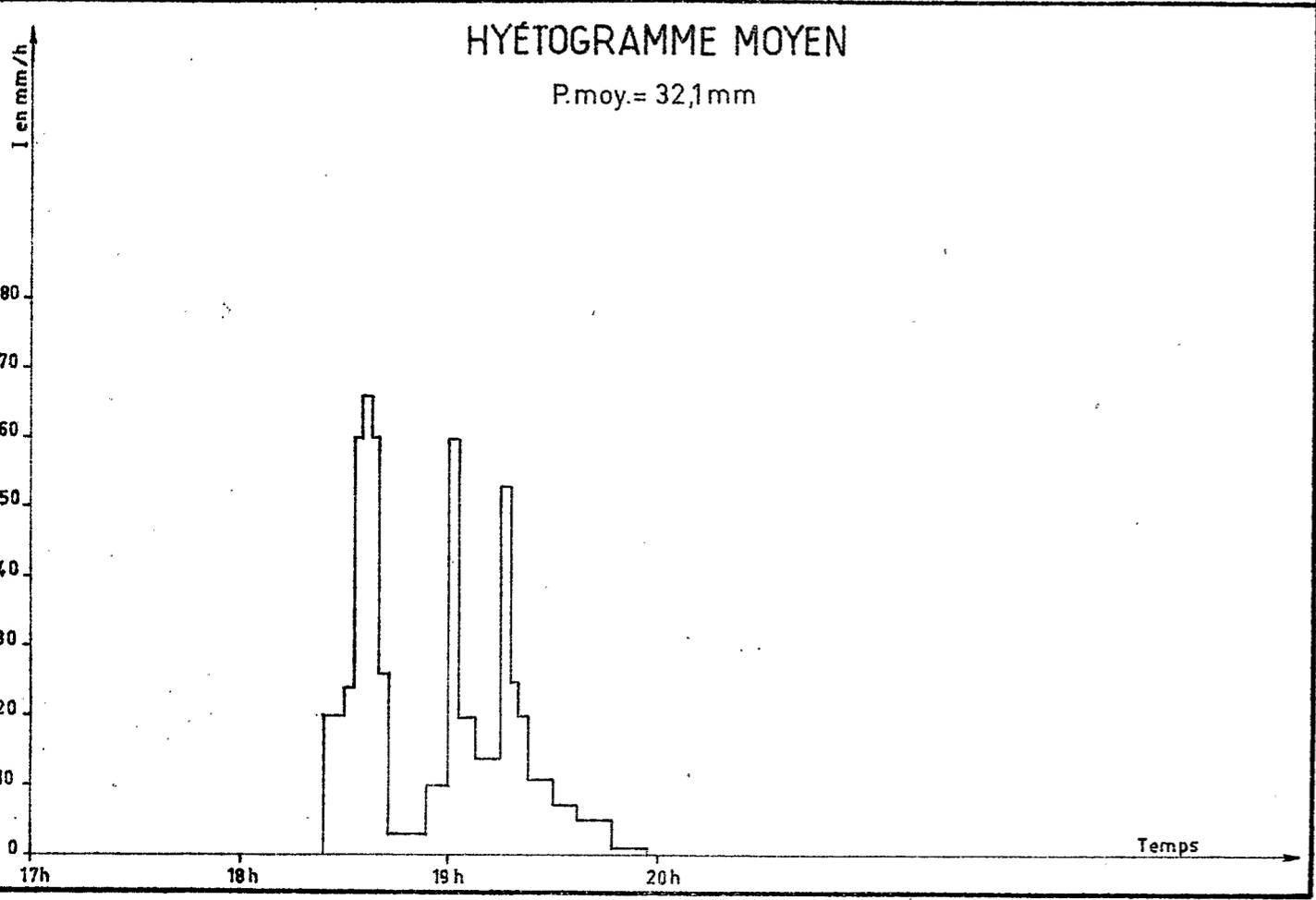
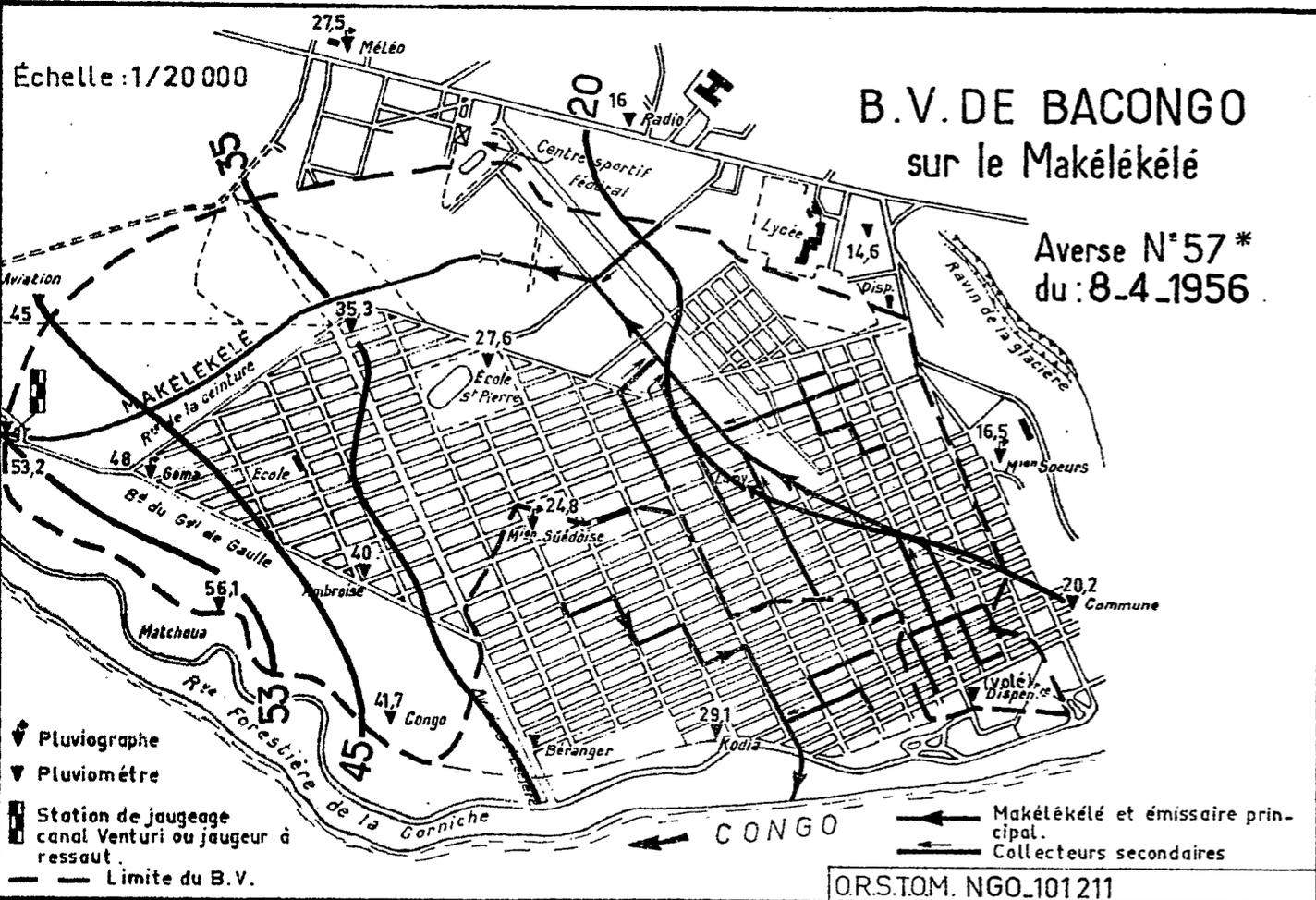


HYDROGRAMME





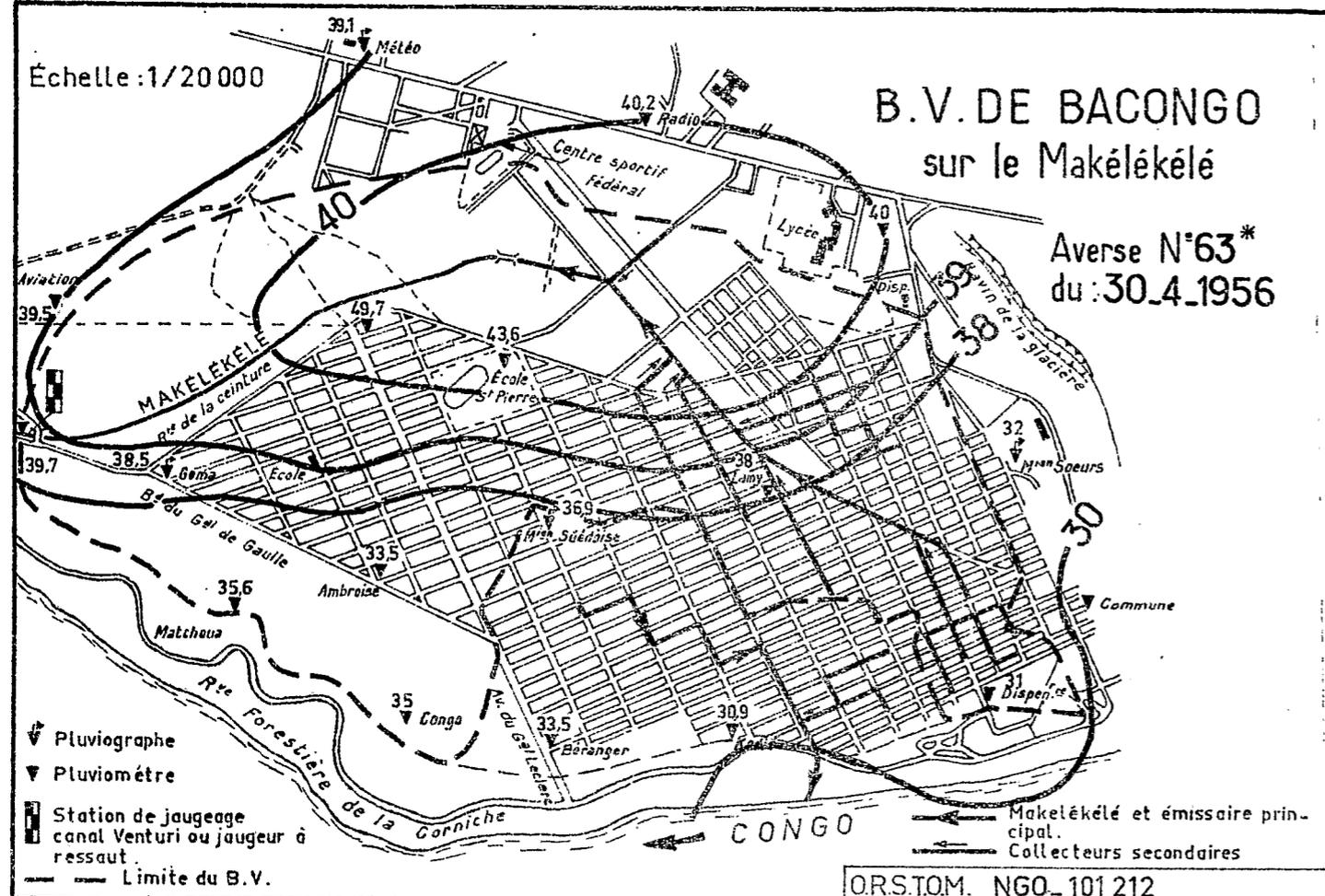




Échelle : 1/20 000

B.V. DE BACONGO sur le Makélékélé

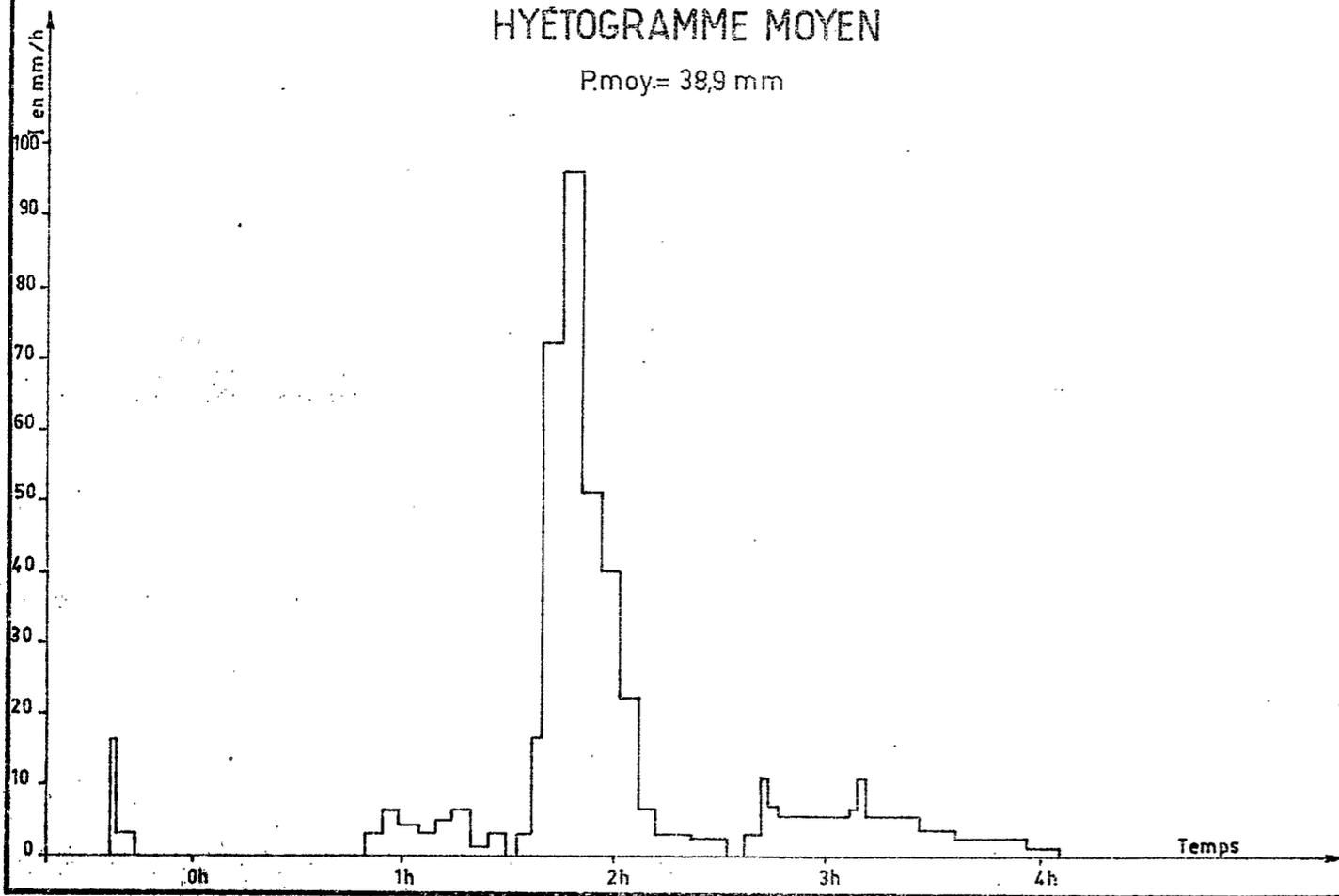
Averse N°63*
du : 30.4.1956



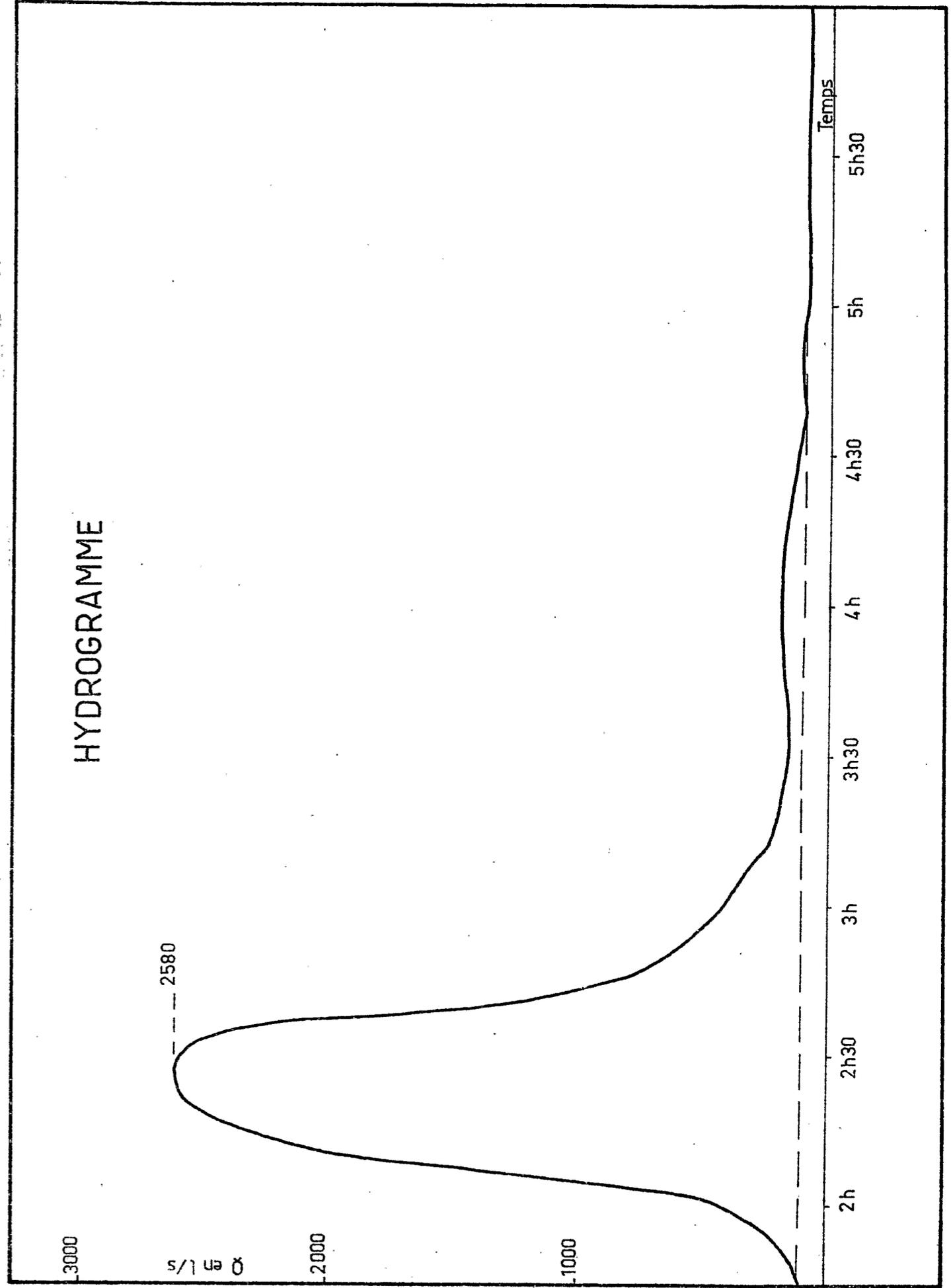
OR.S.TOM. NGO_101 212

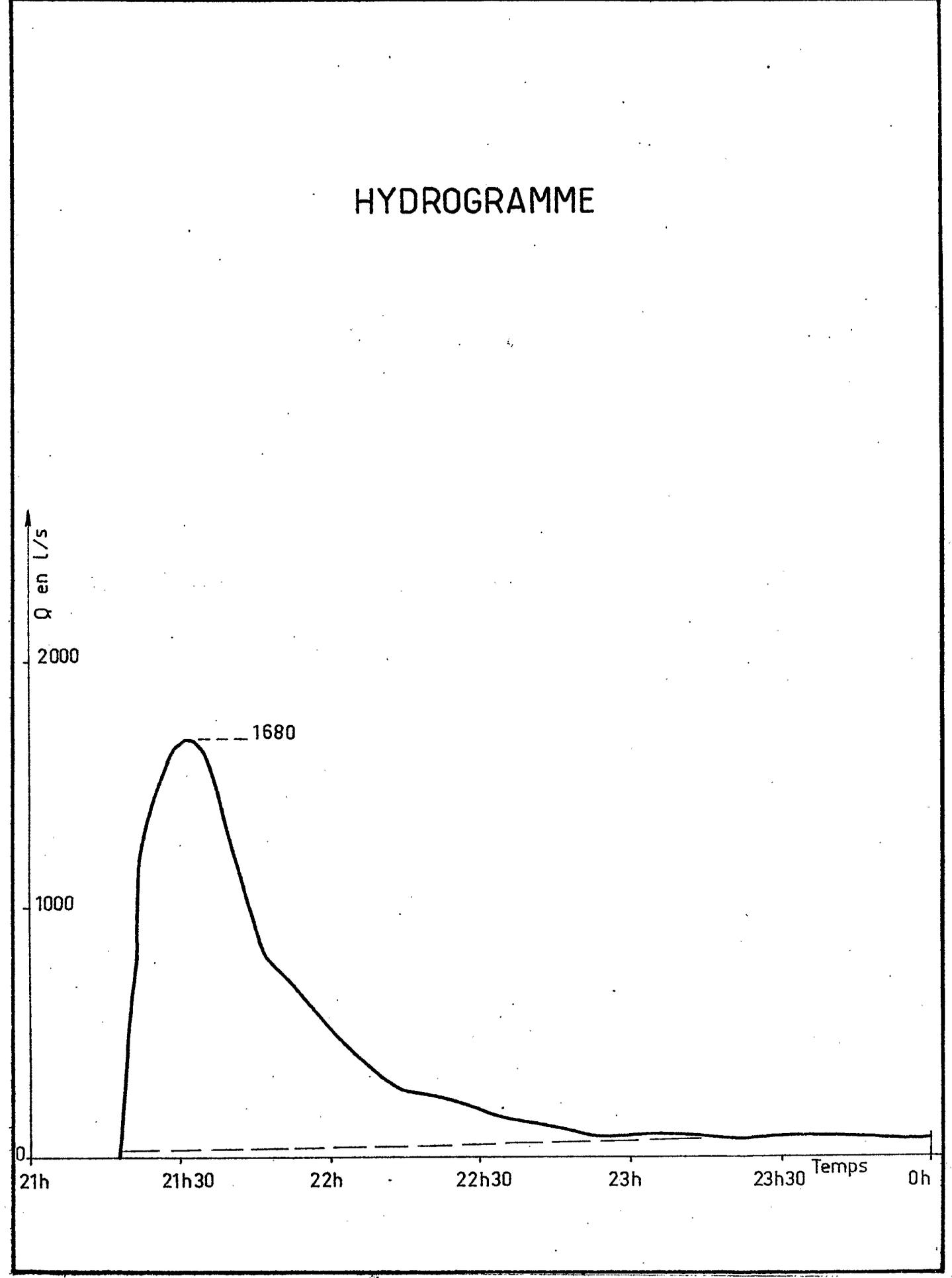
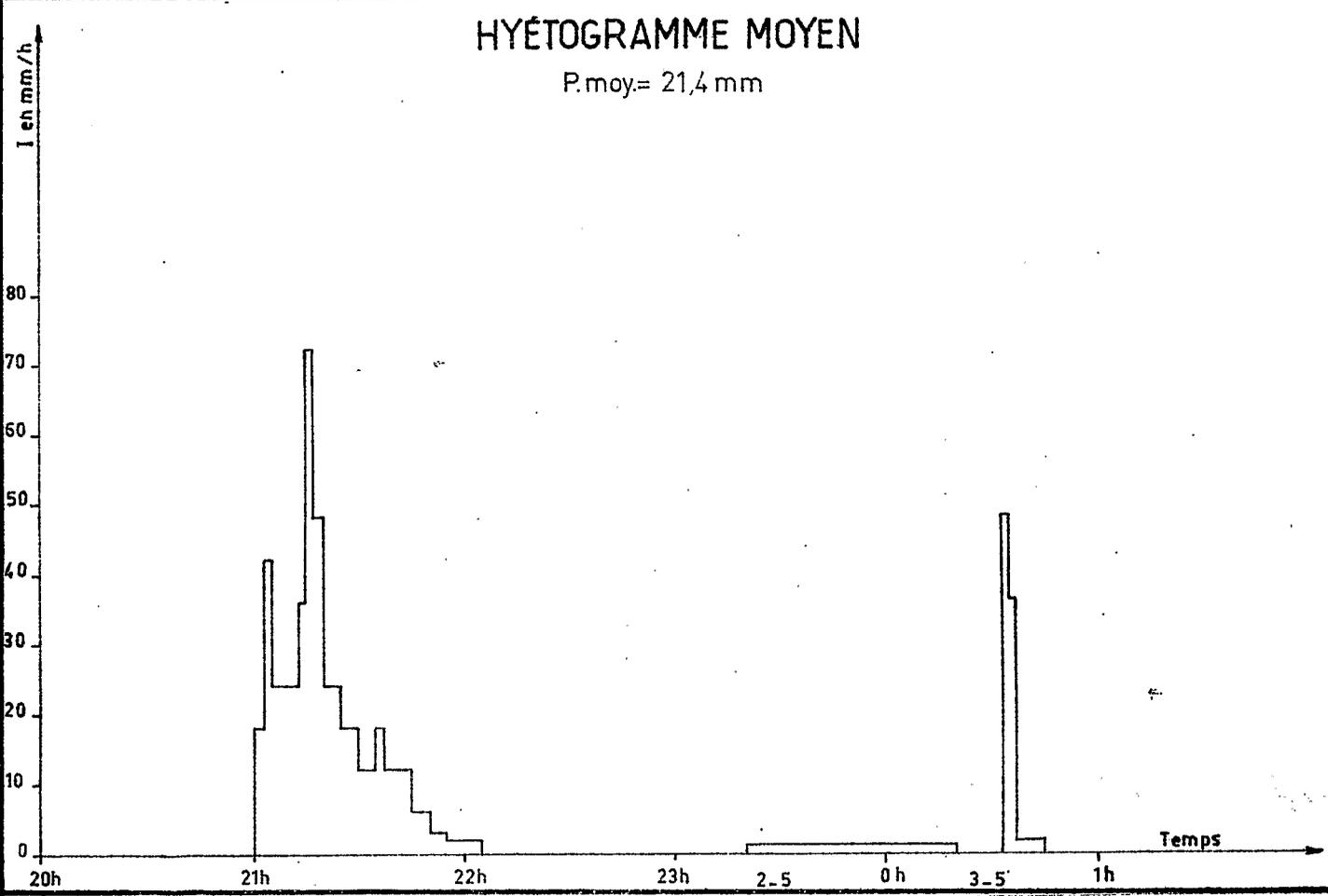
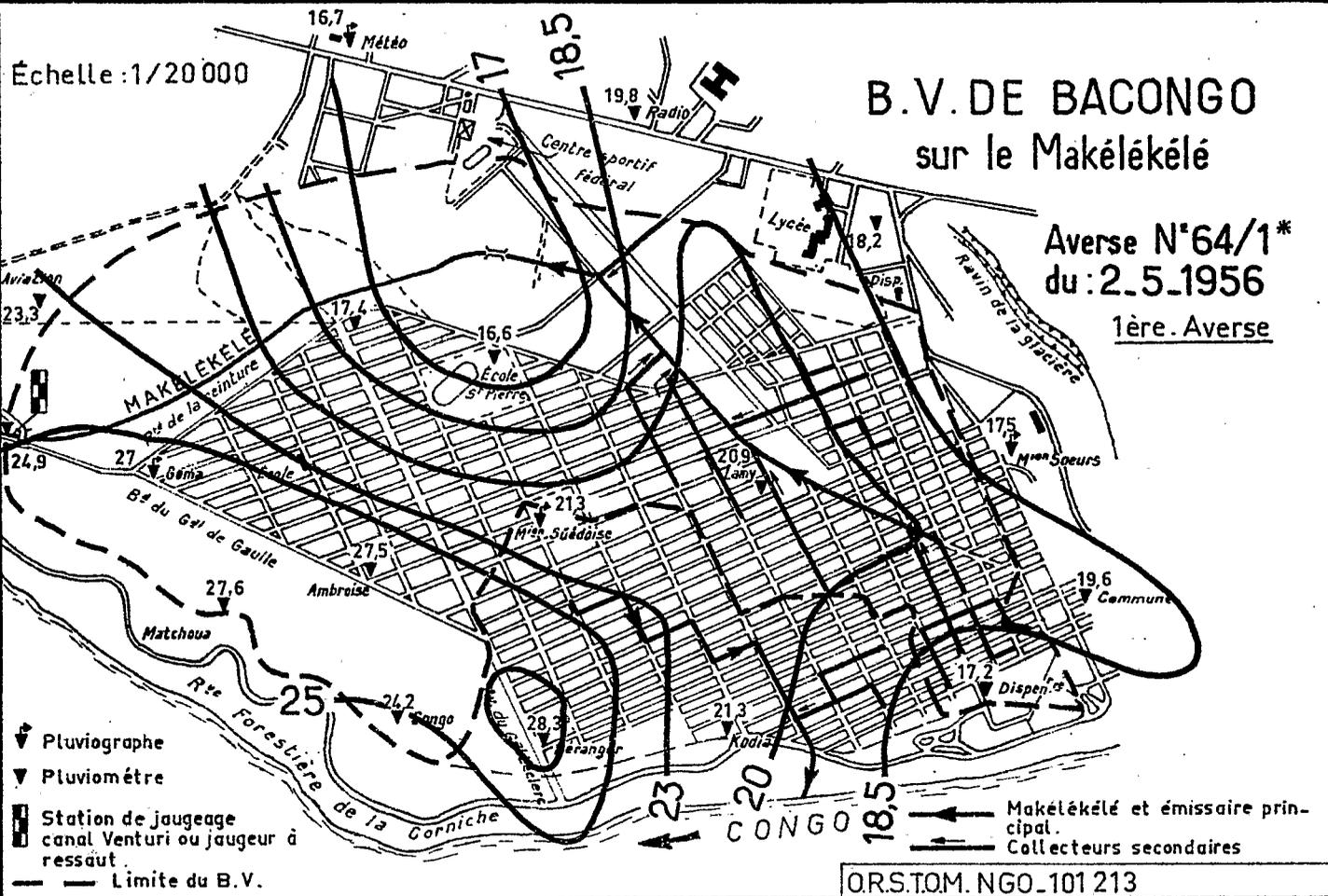
HYÉTOGRAMME MOYEN

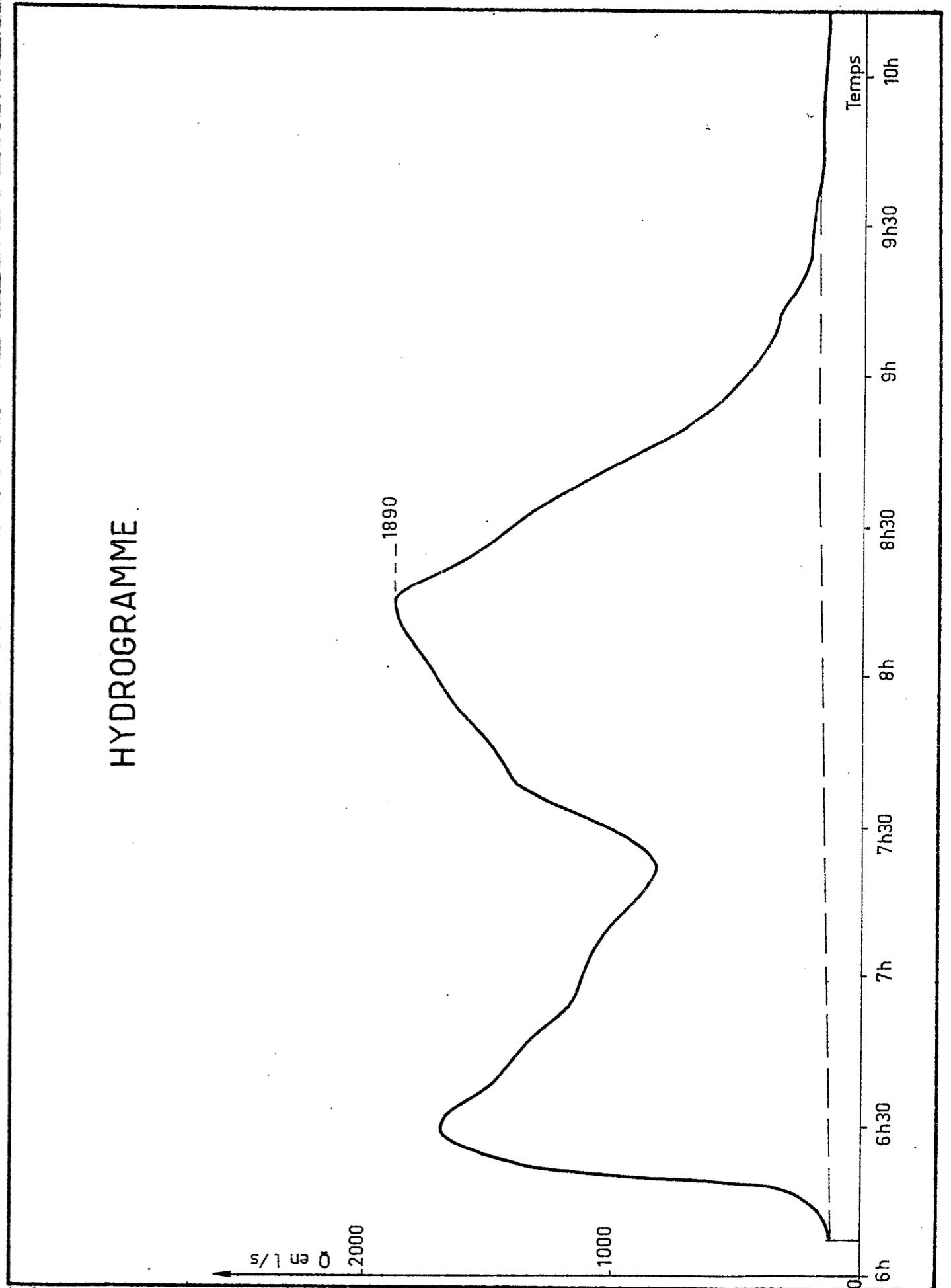
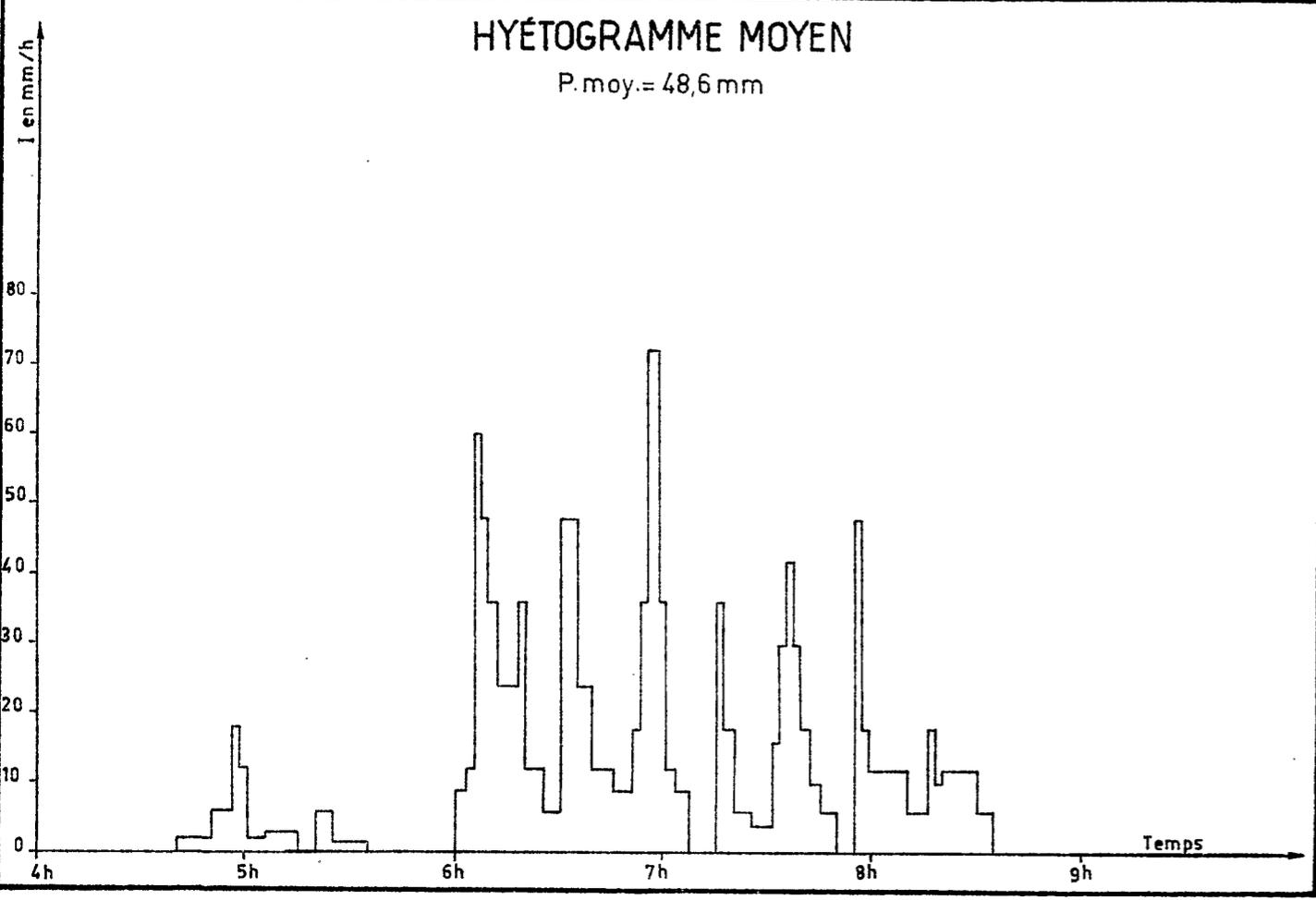
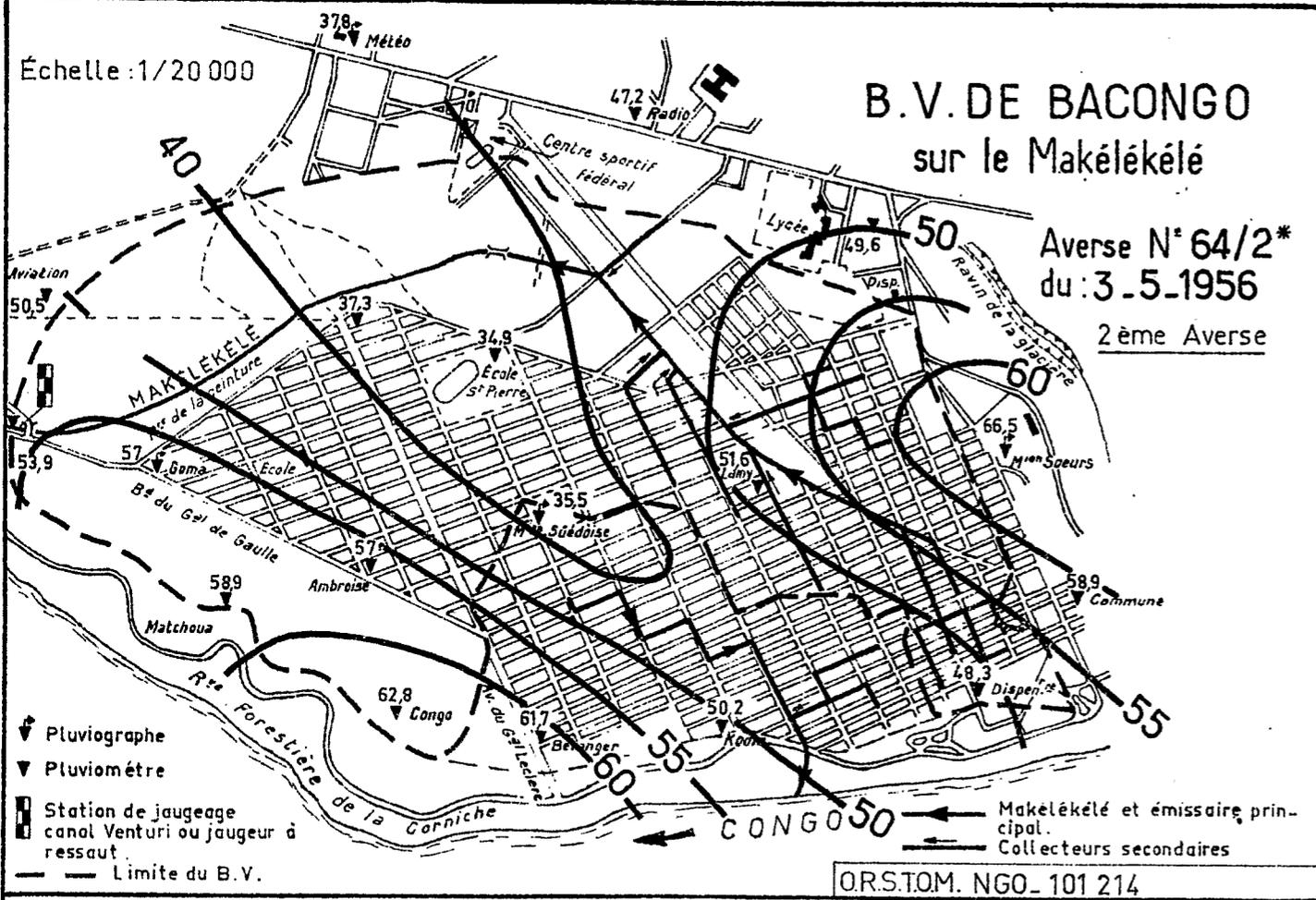
P.moy = 38,9 mm

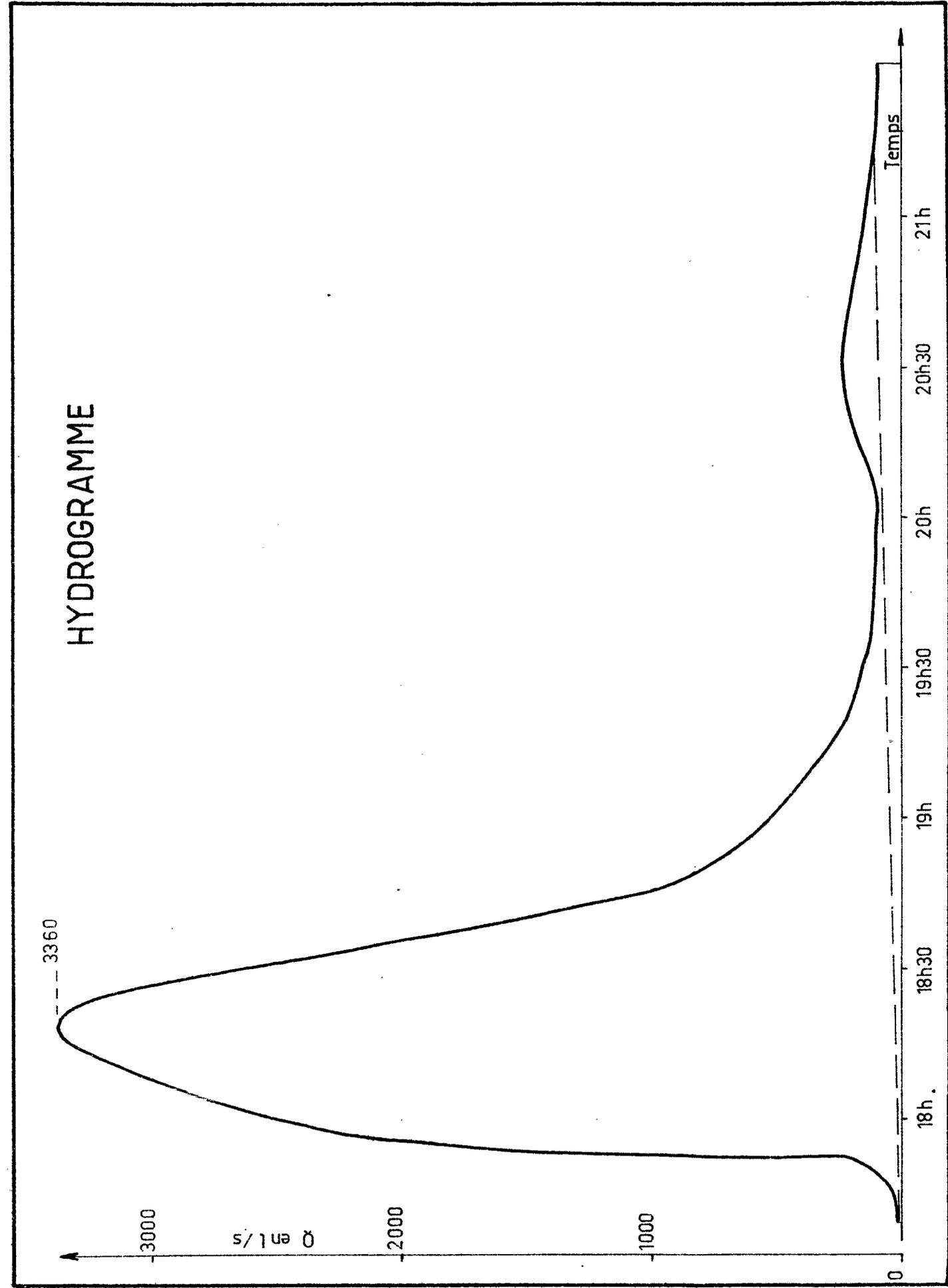
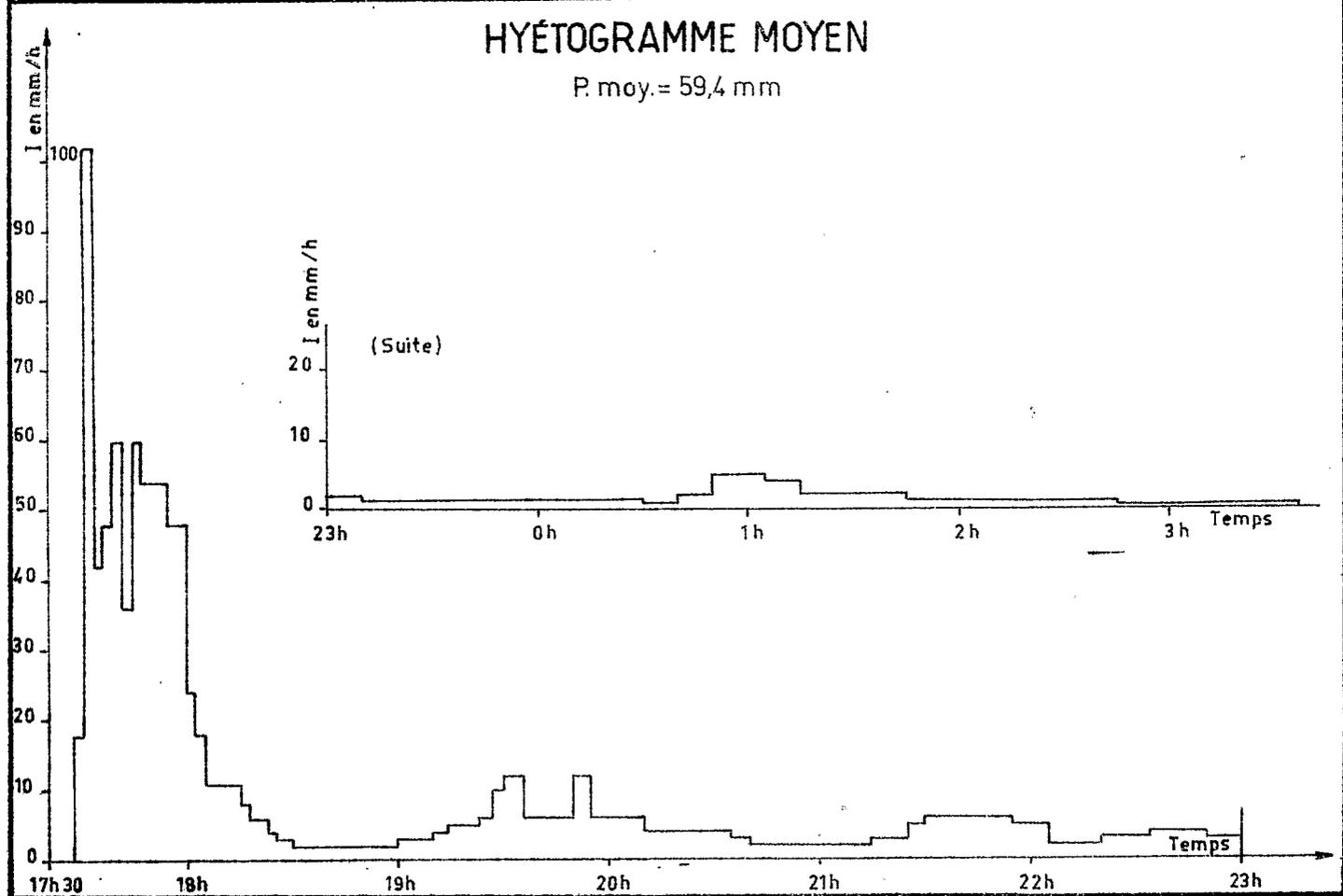
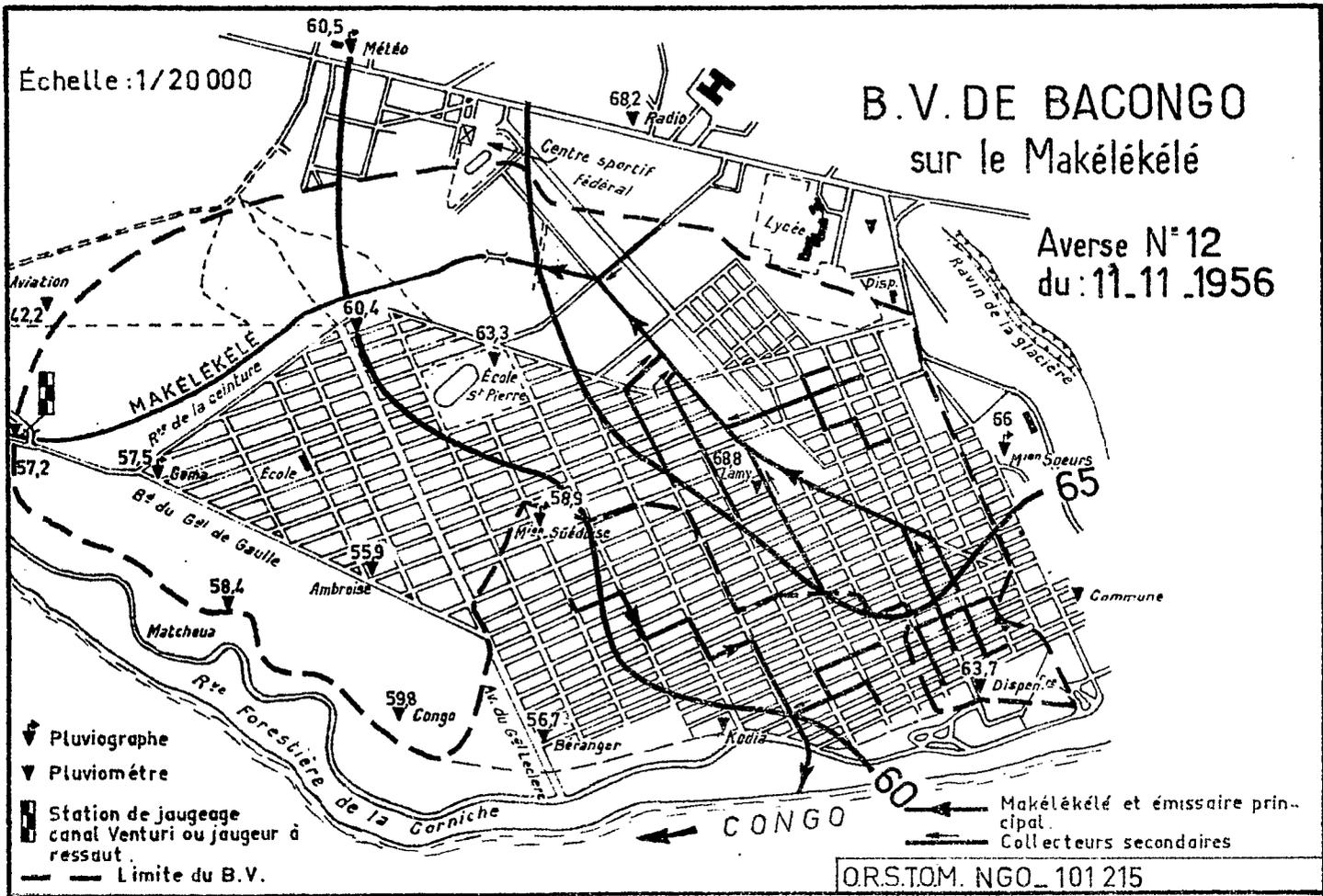


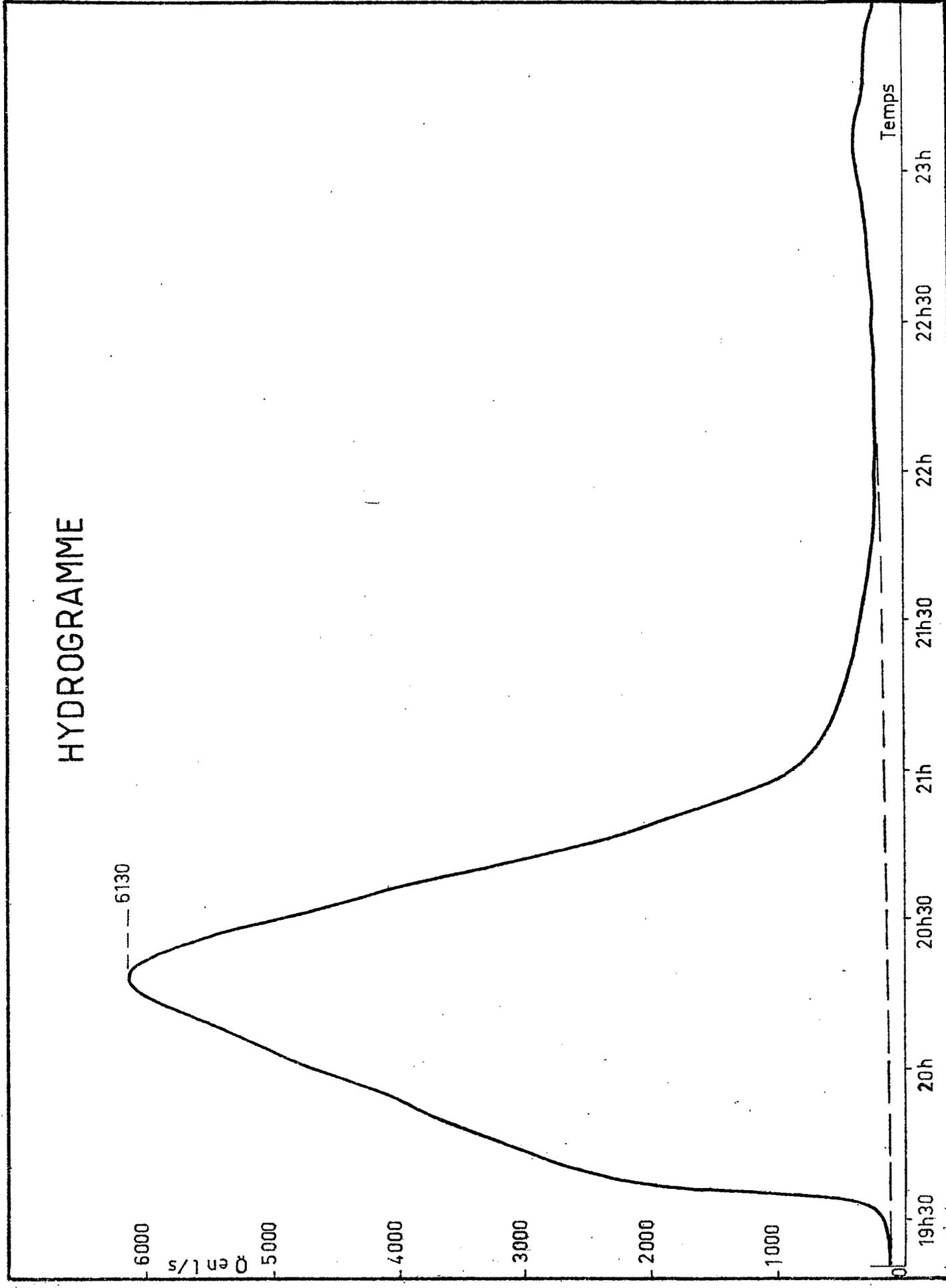
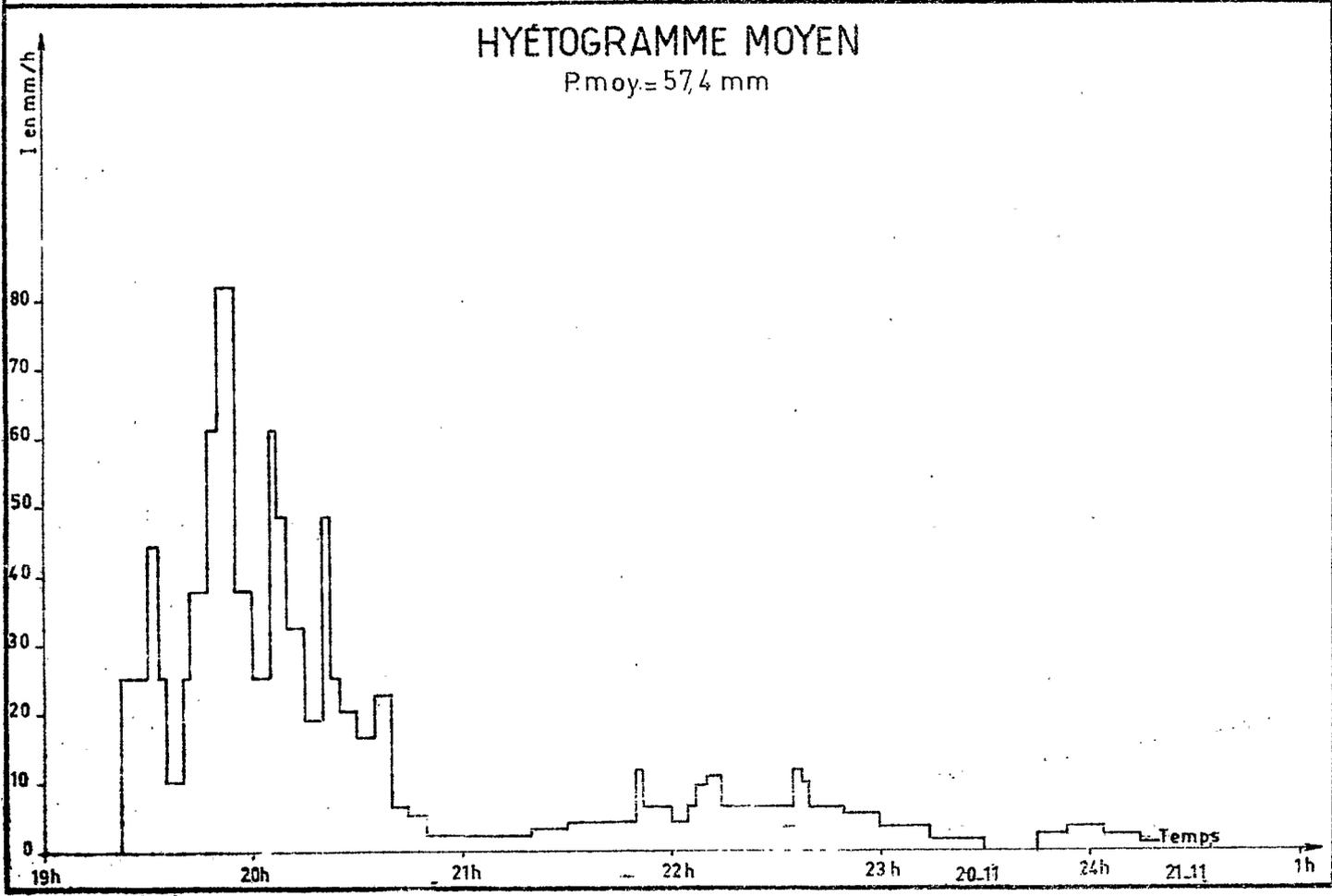
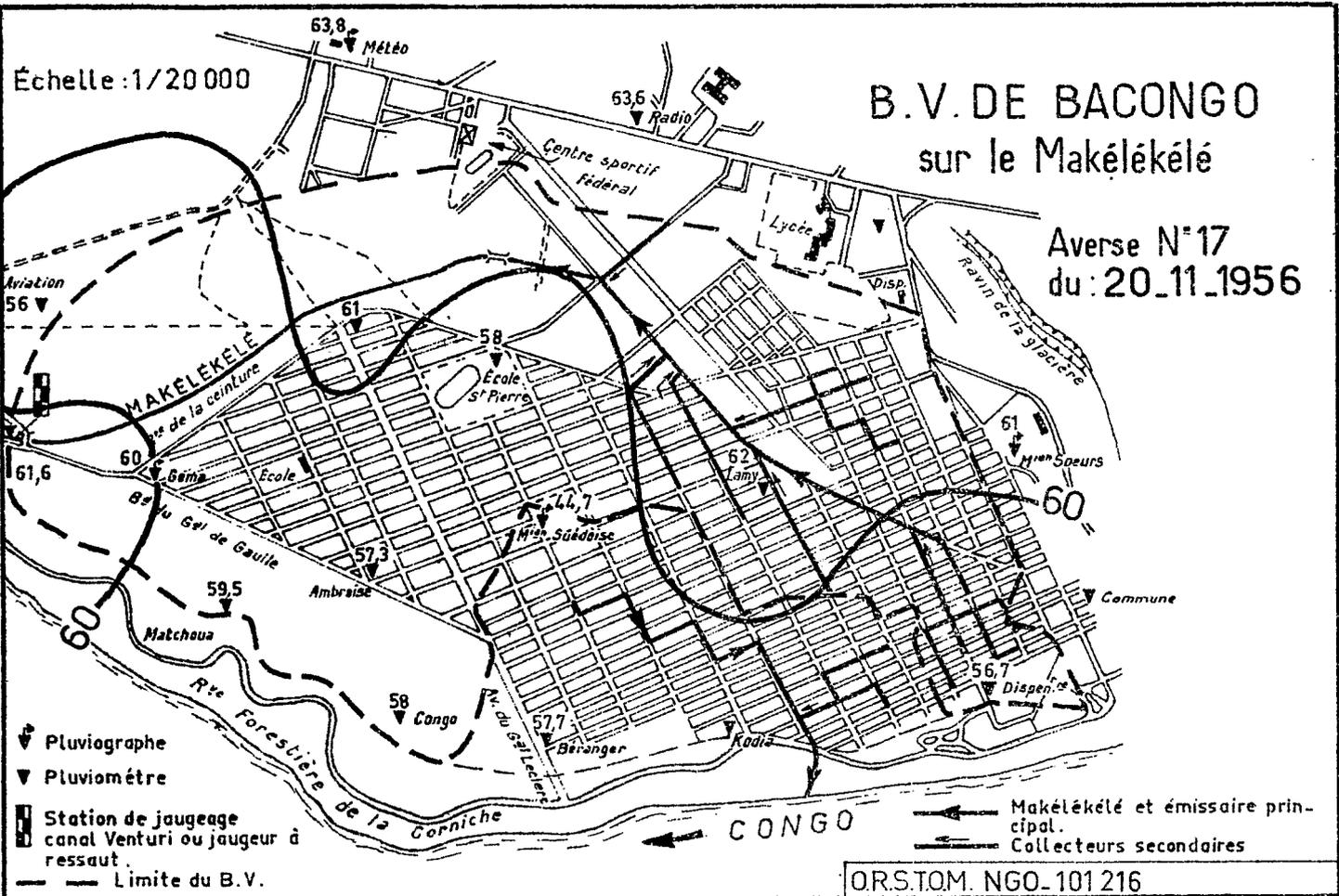
HYDROGRAMME

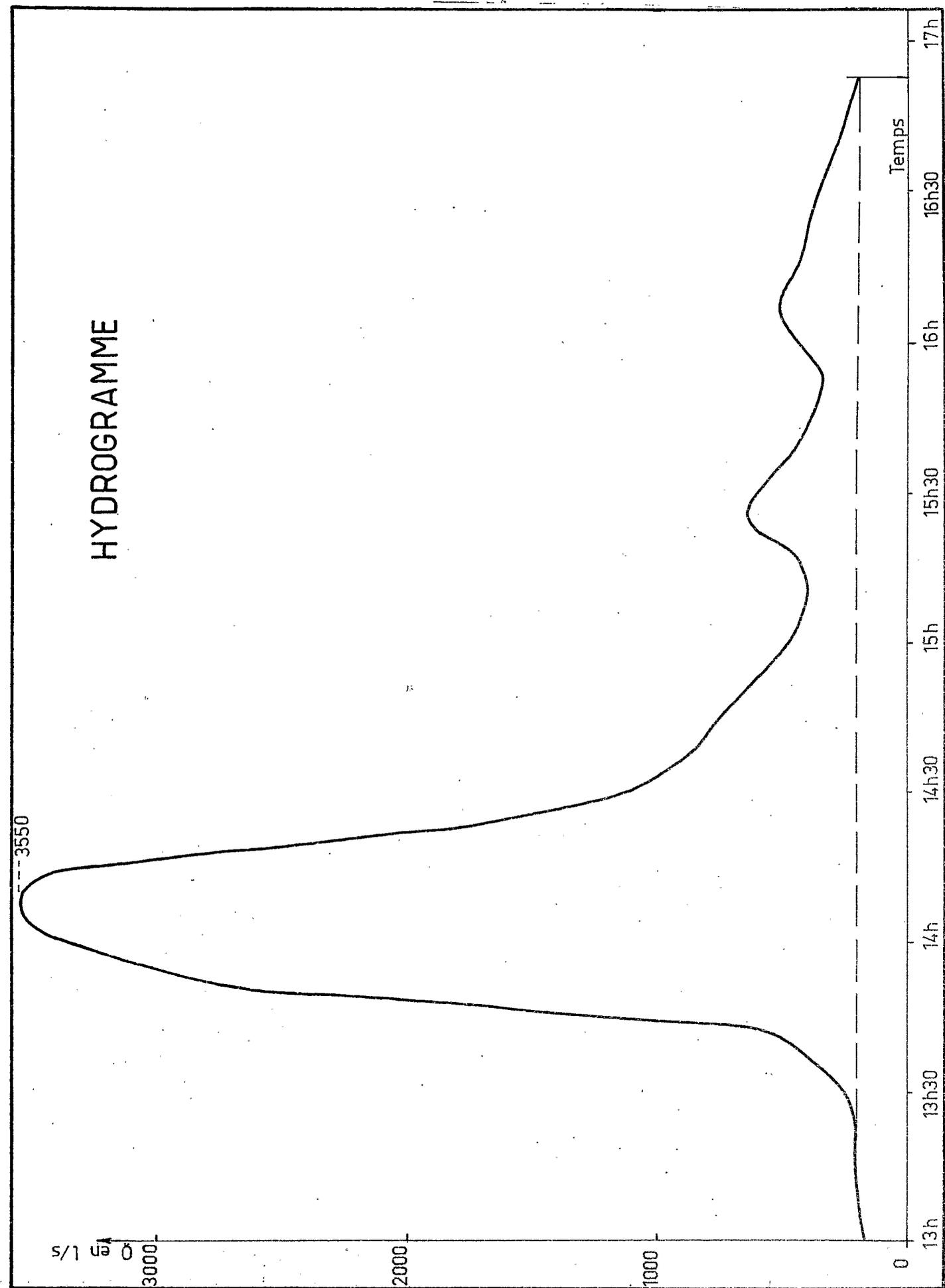
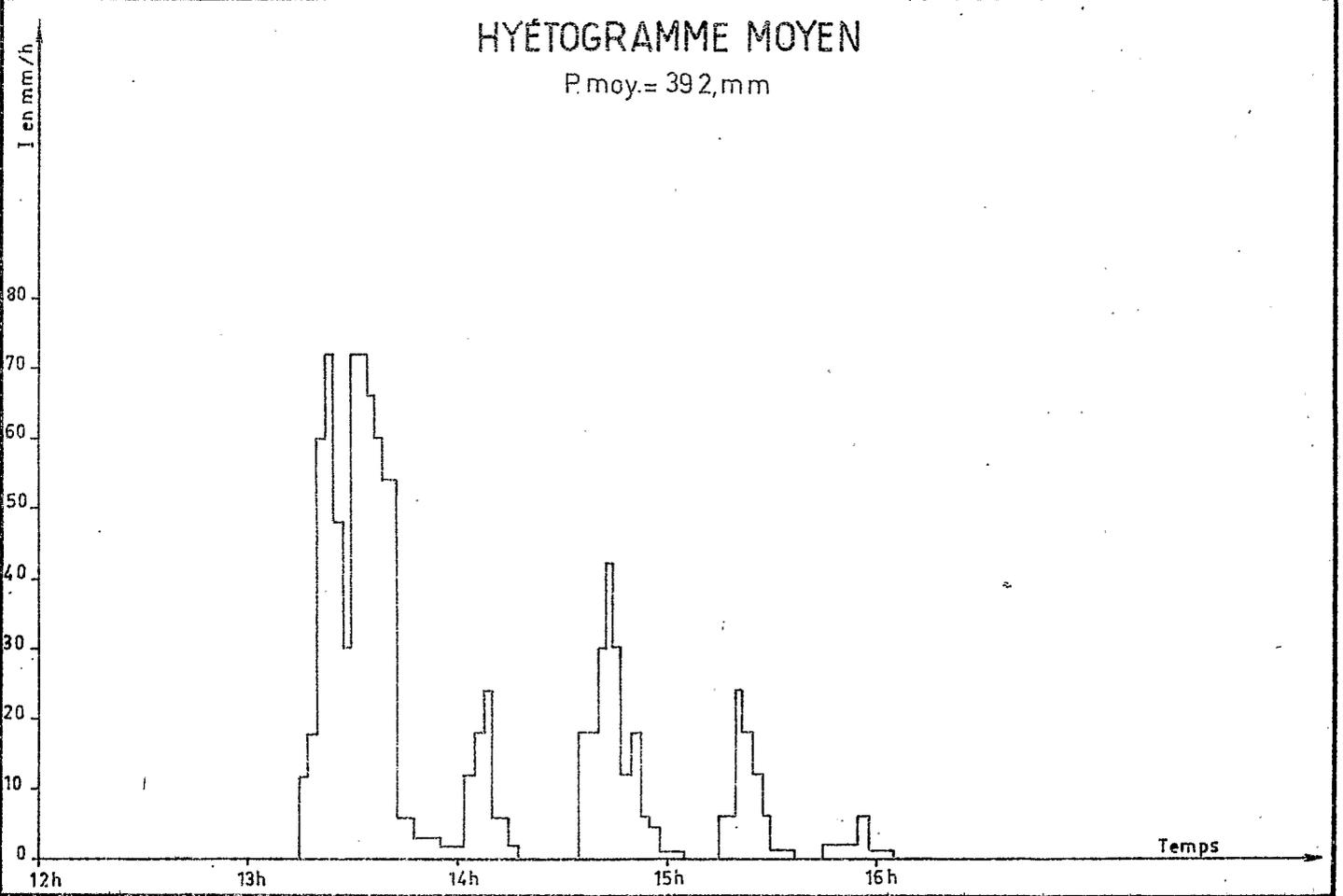
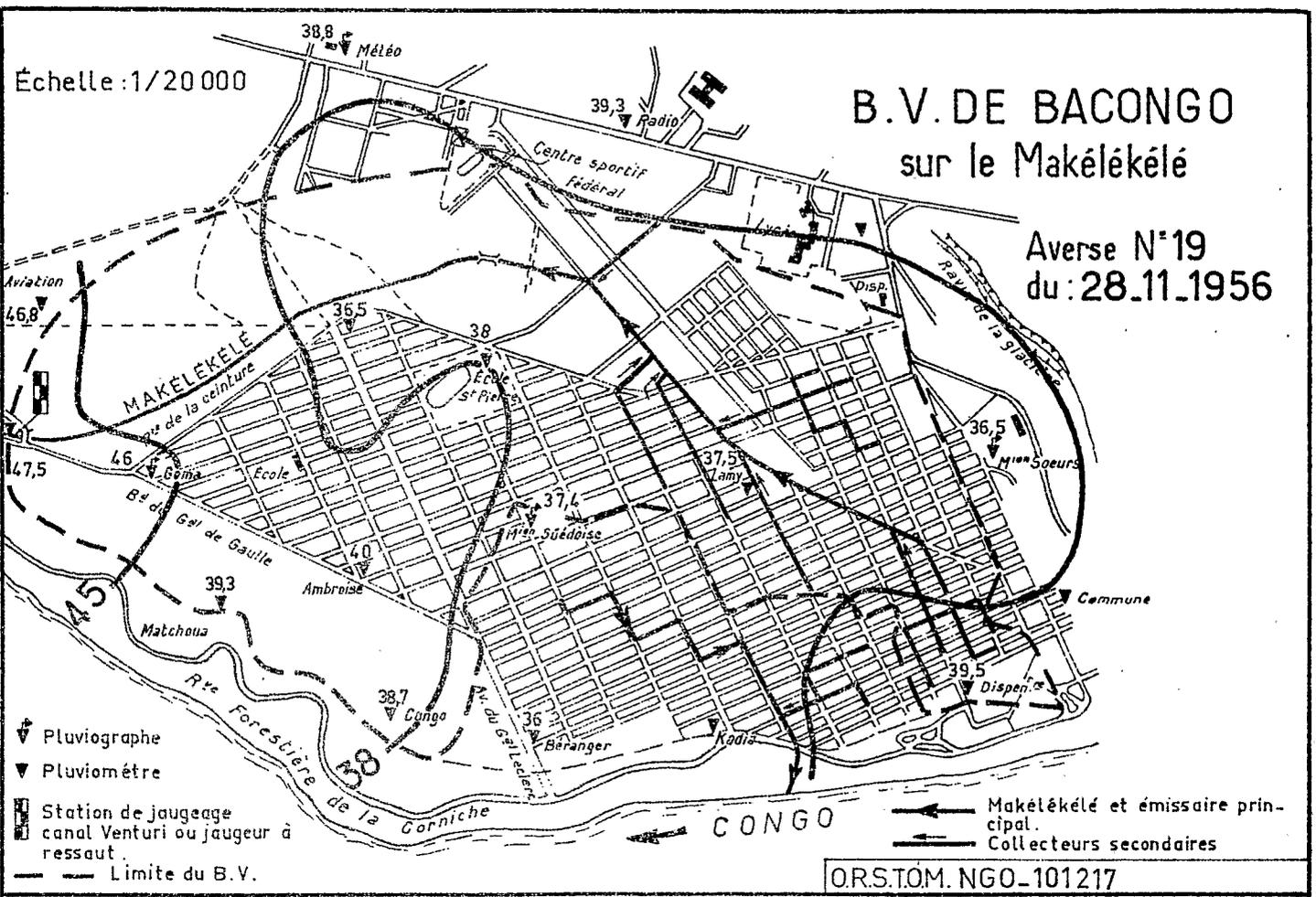


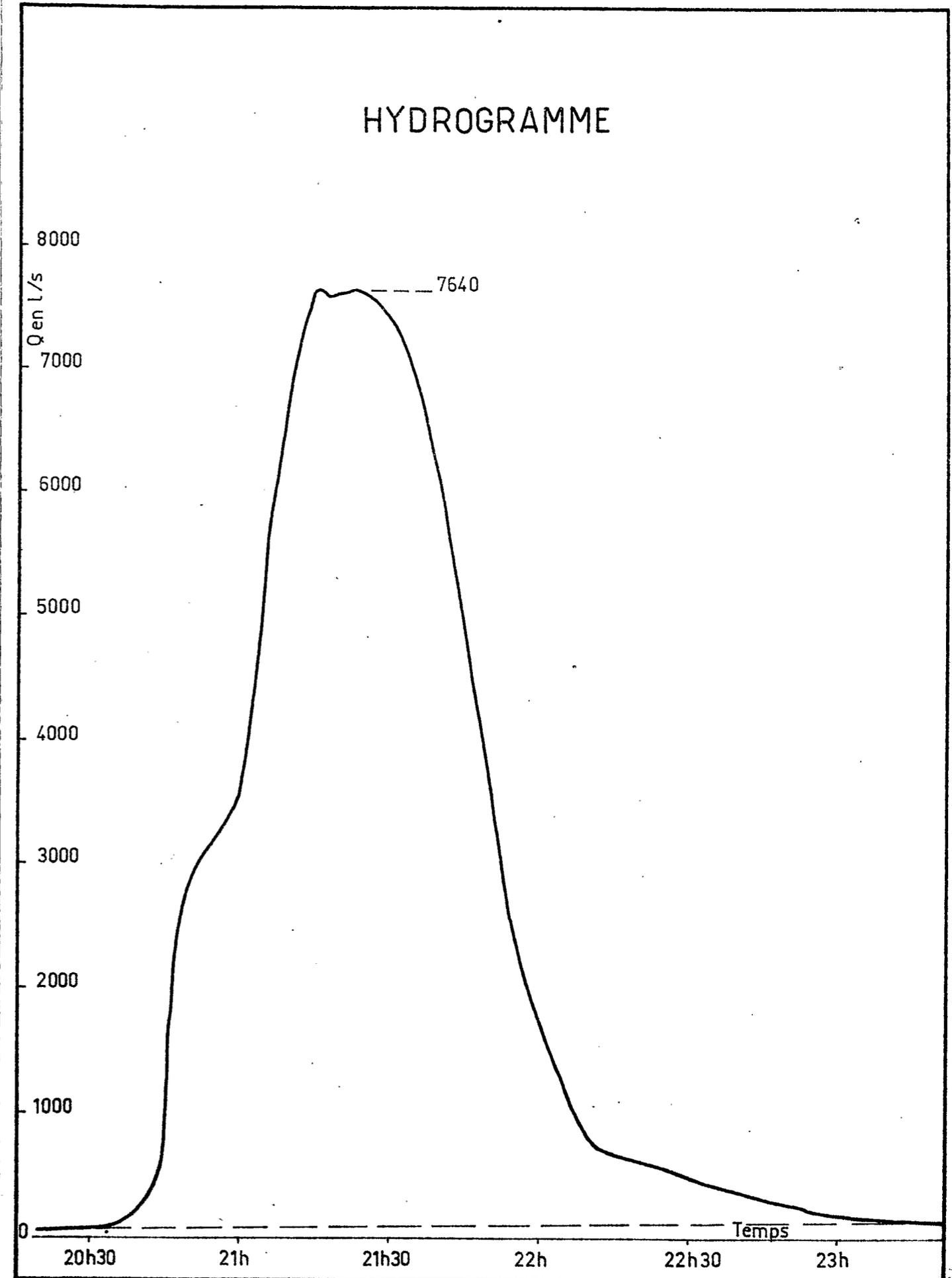
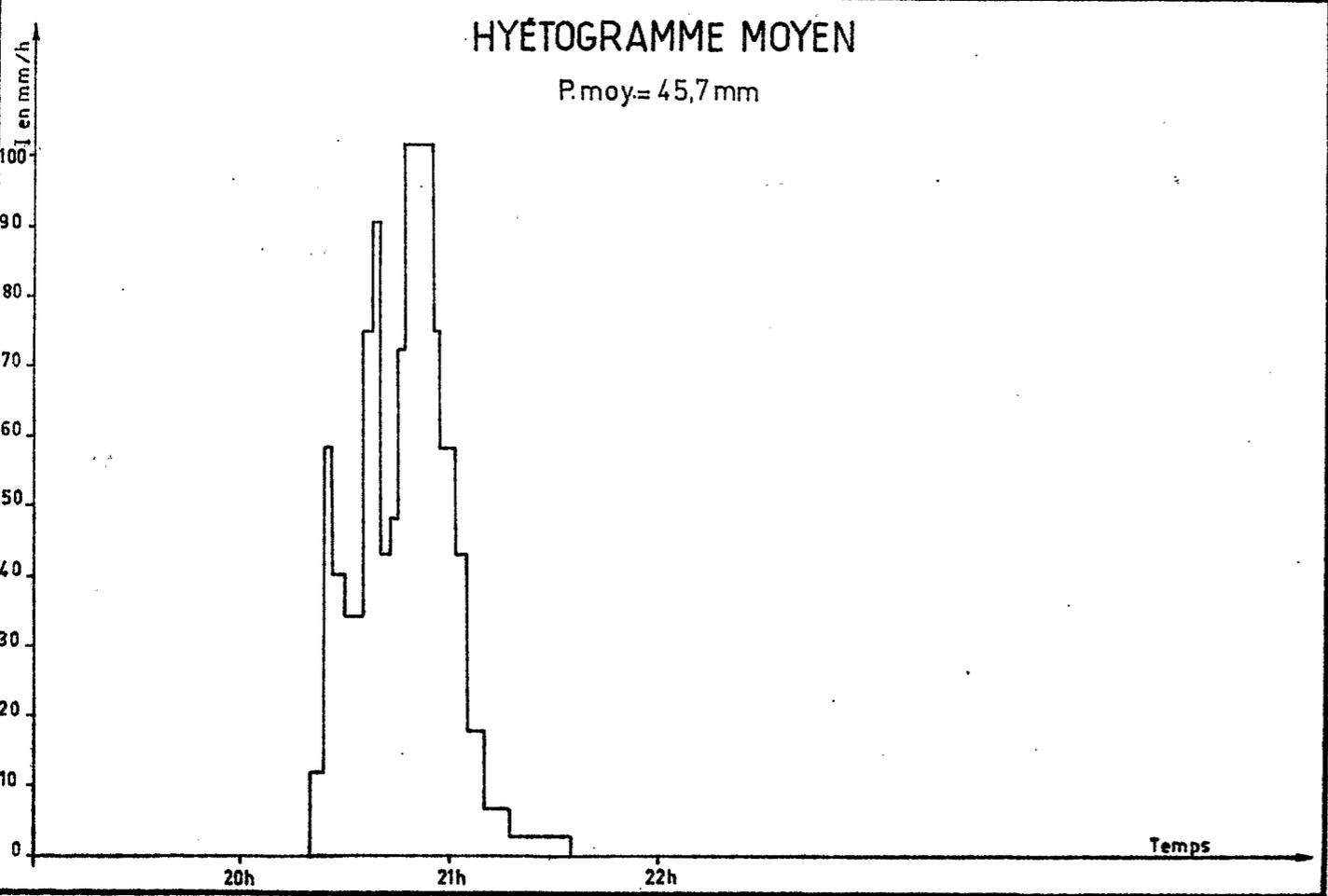
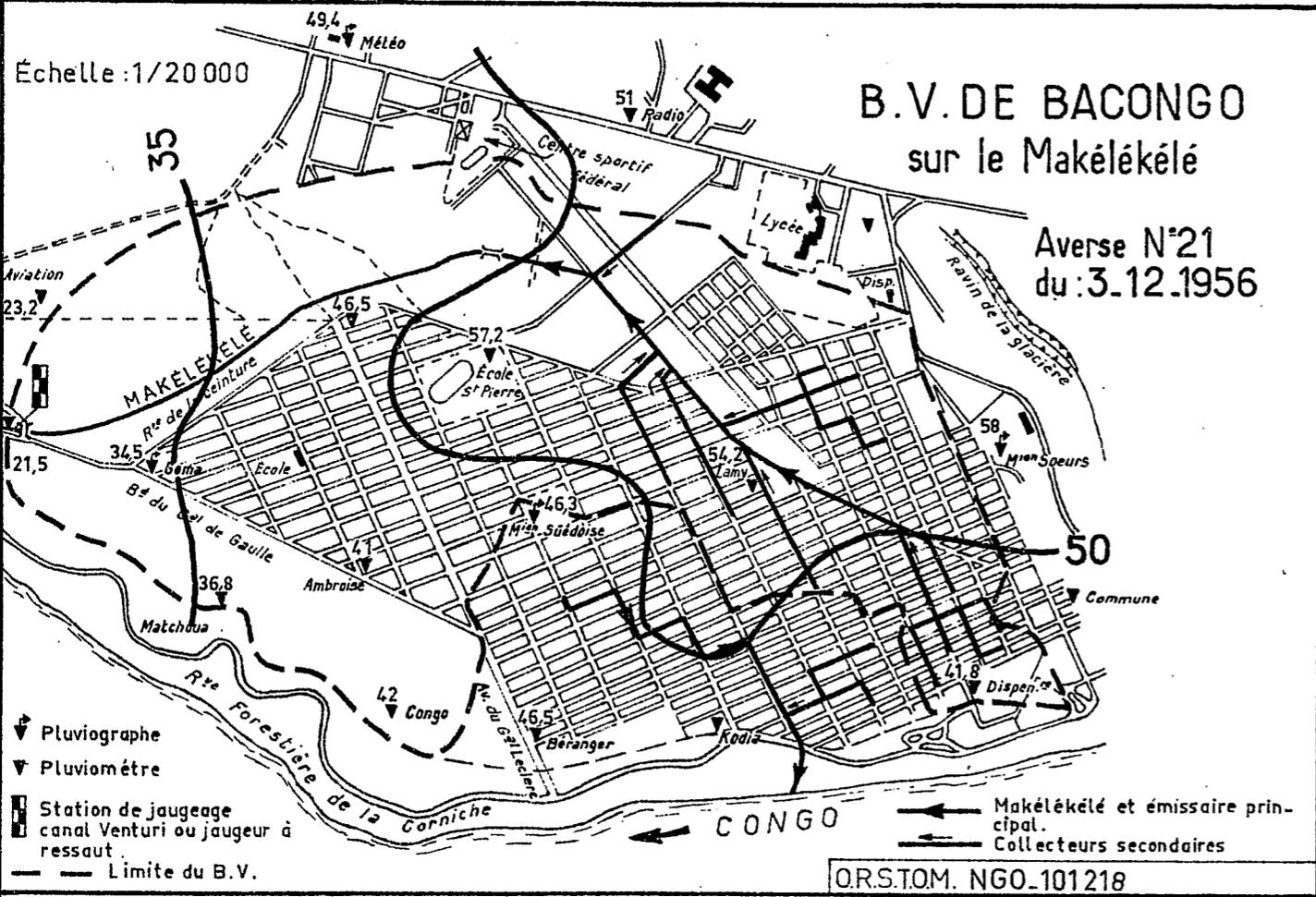




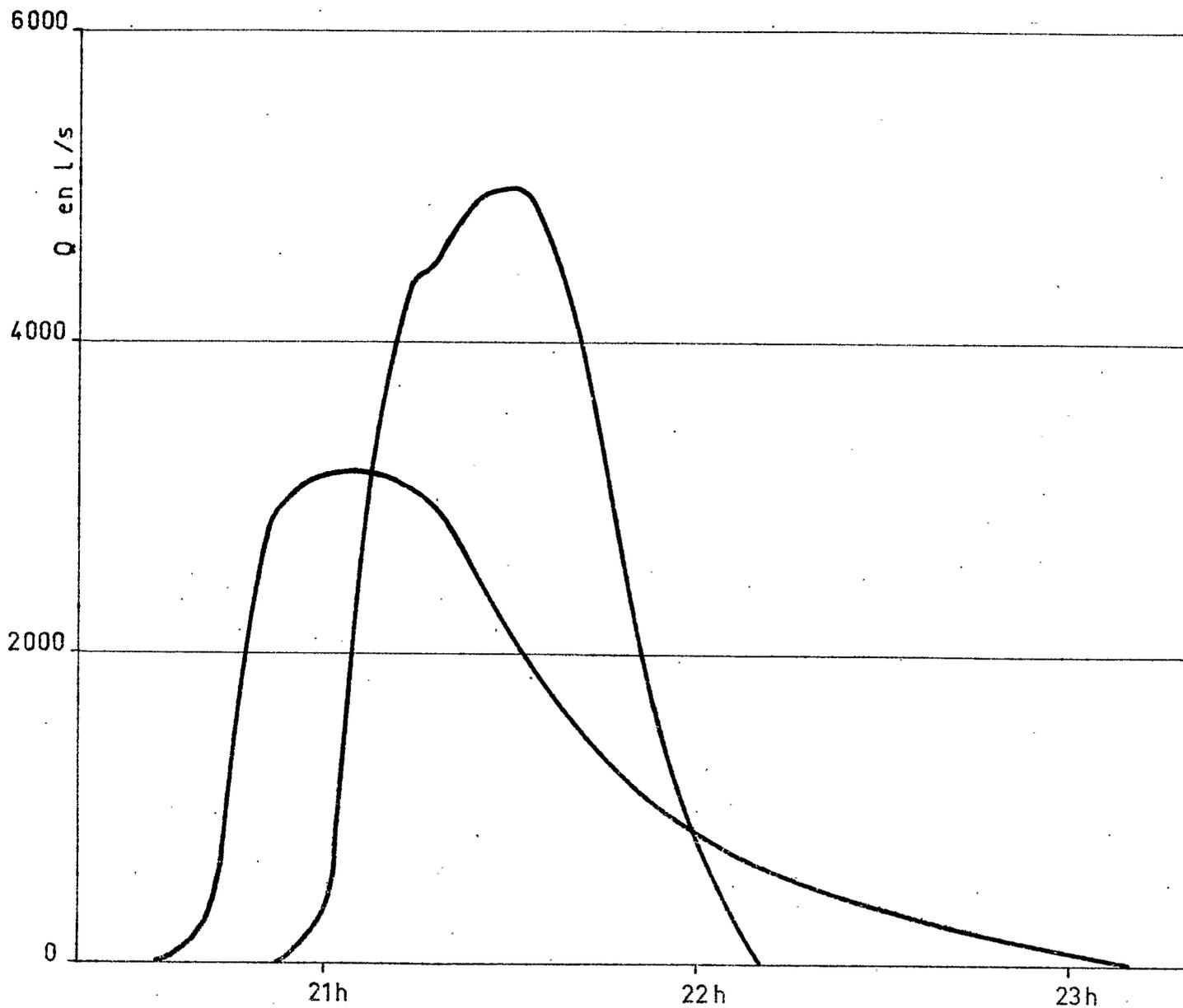


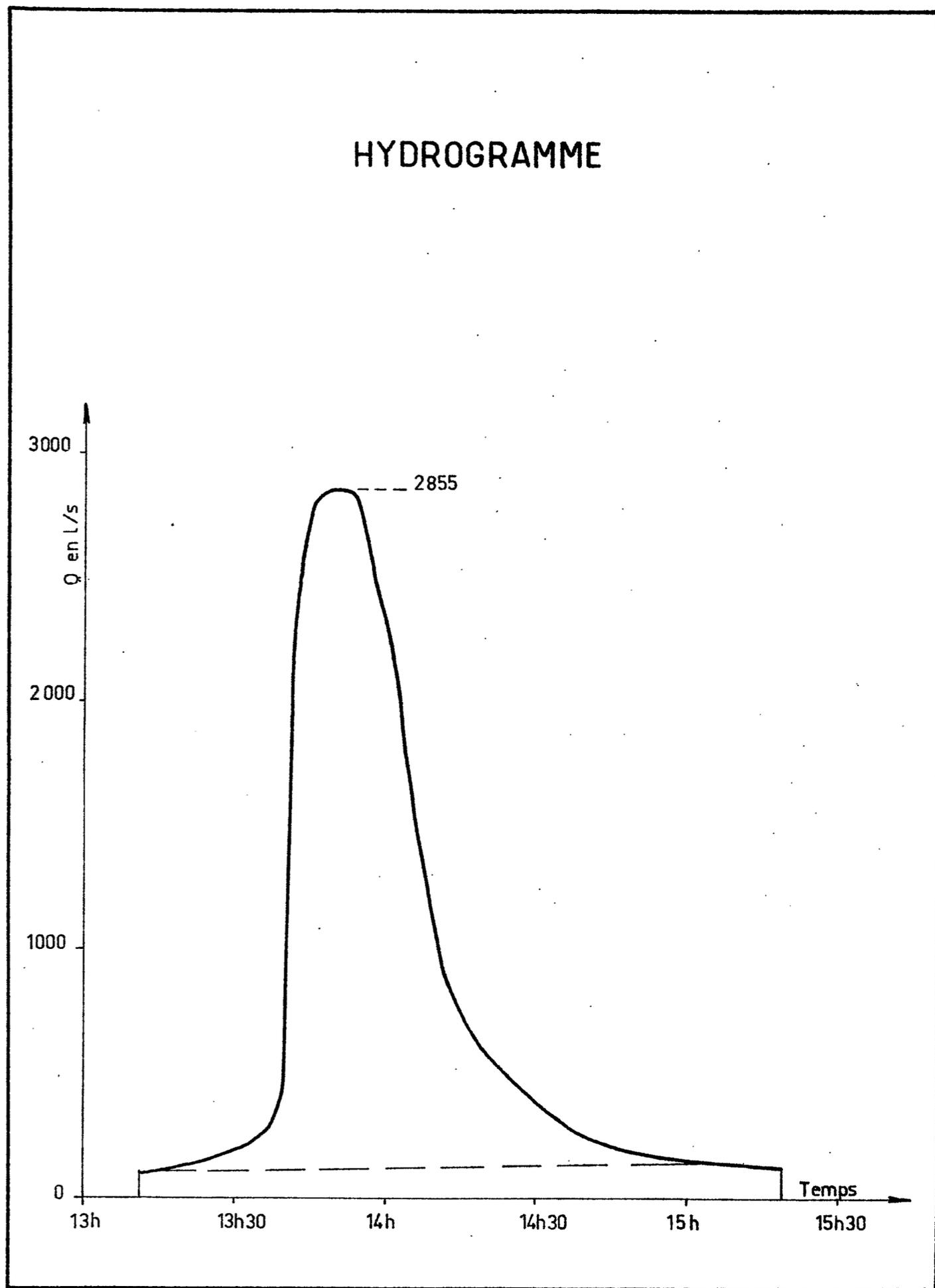
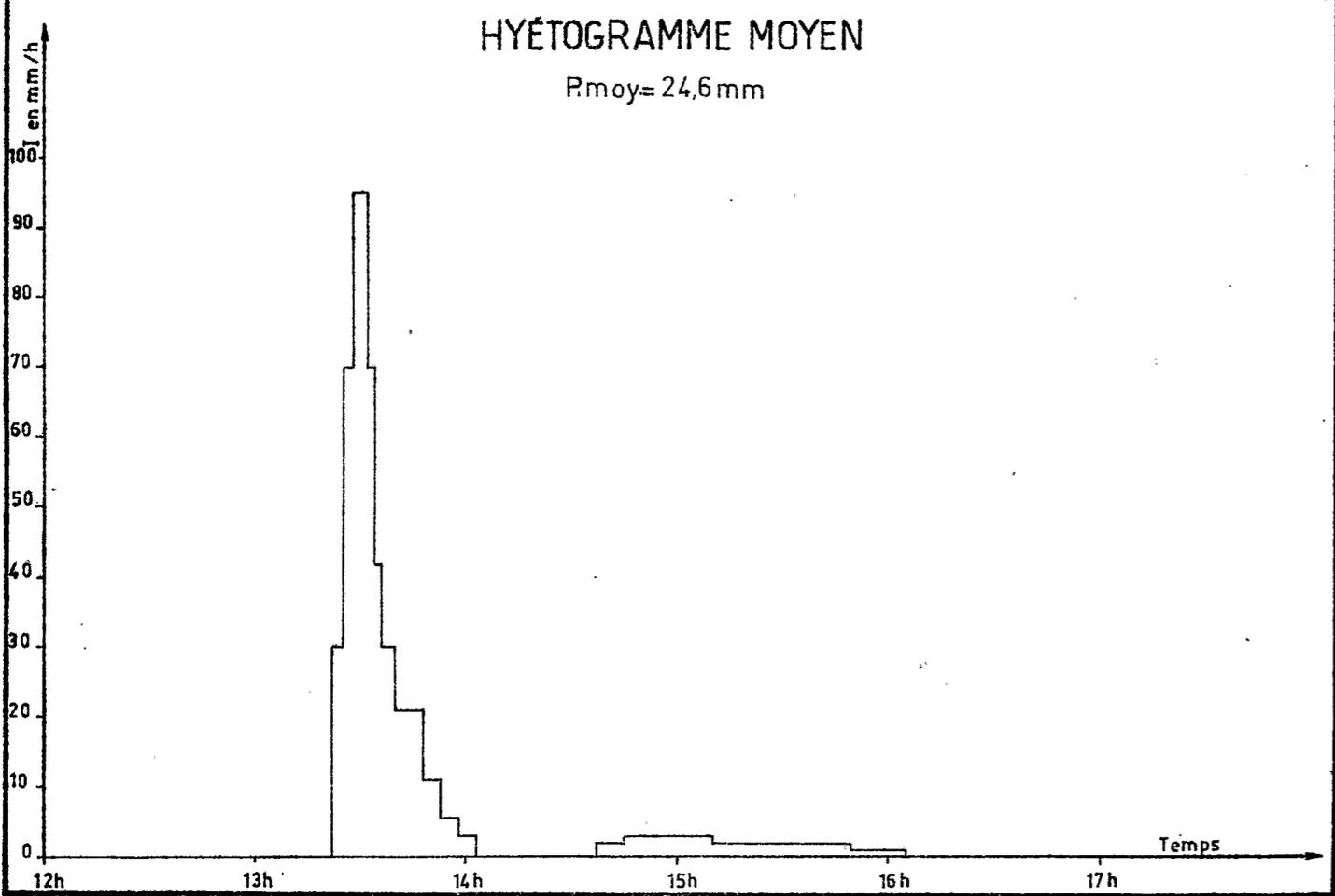
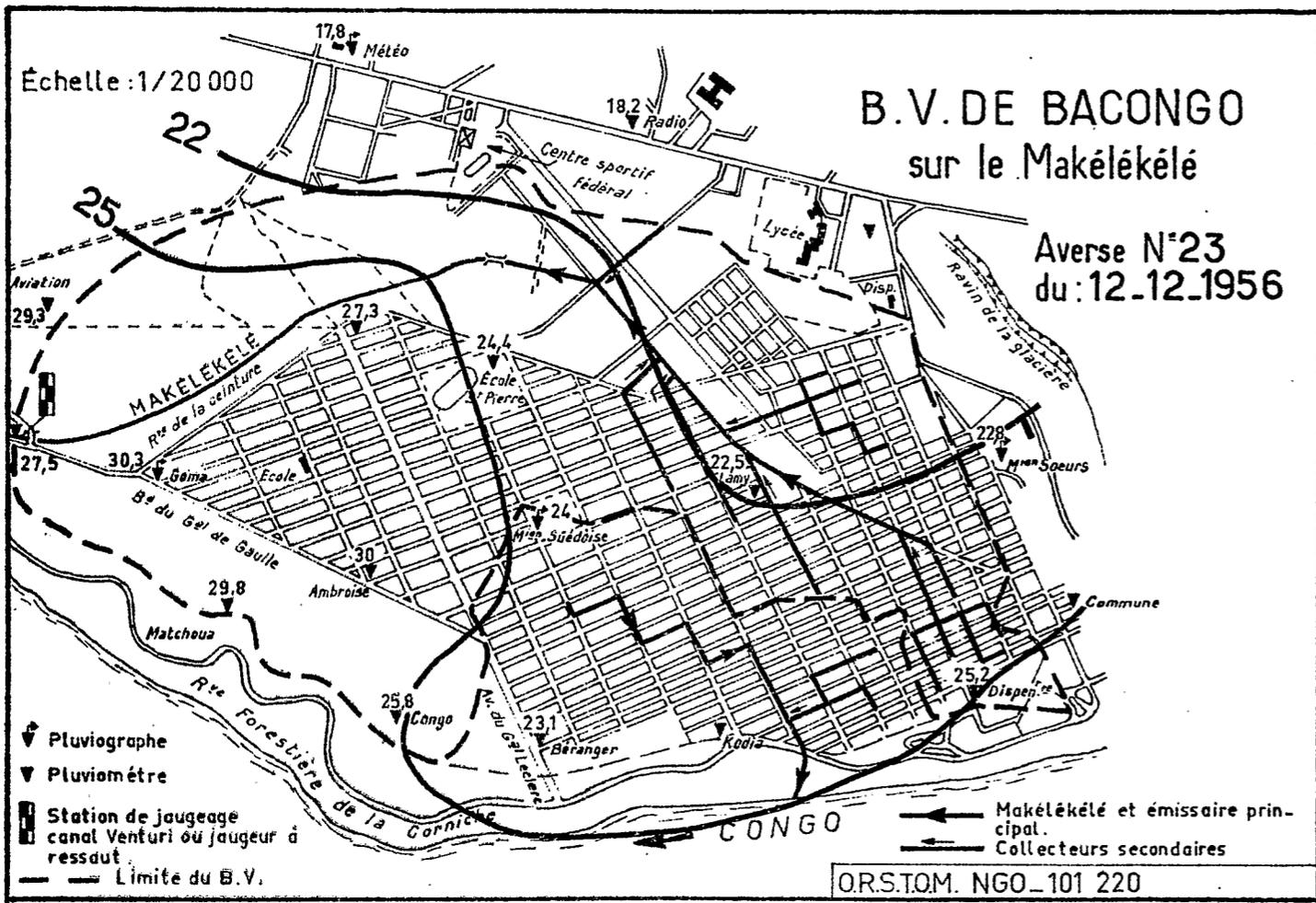


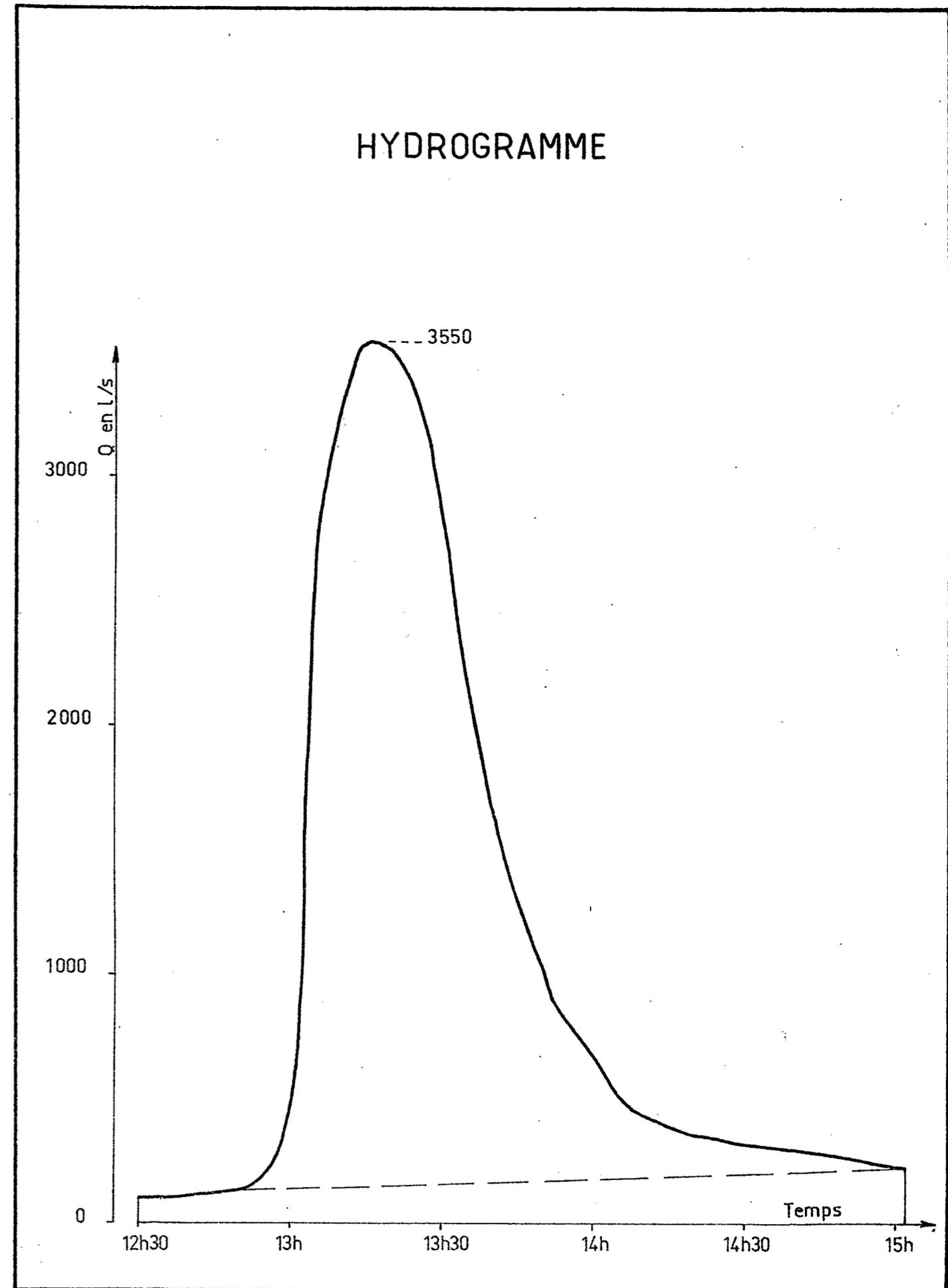
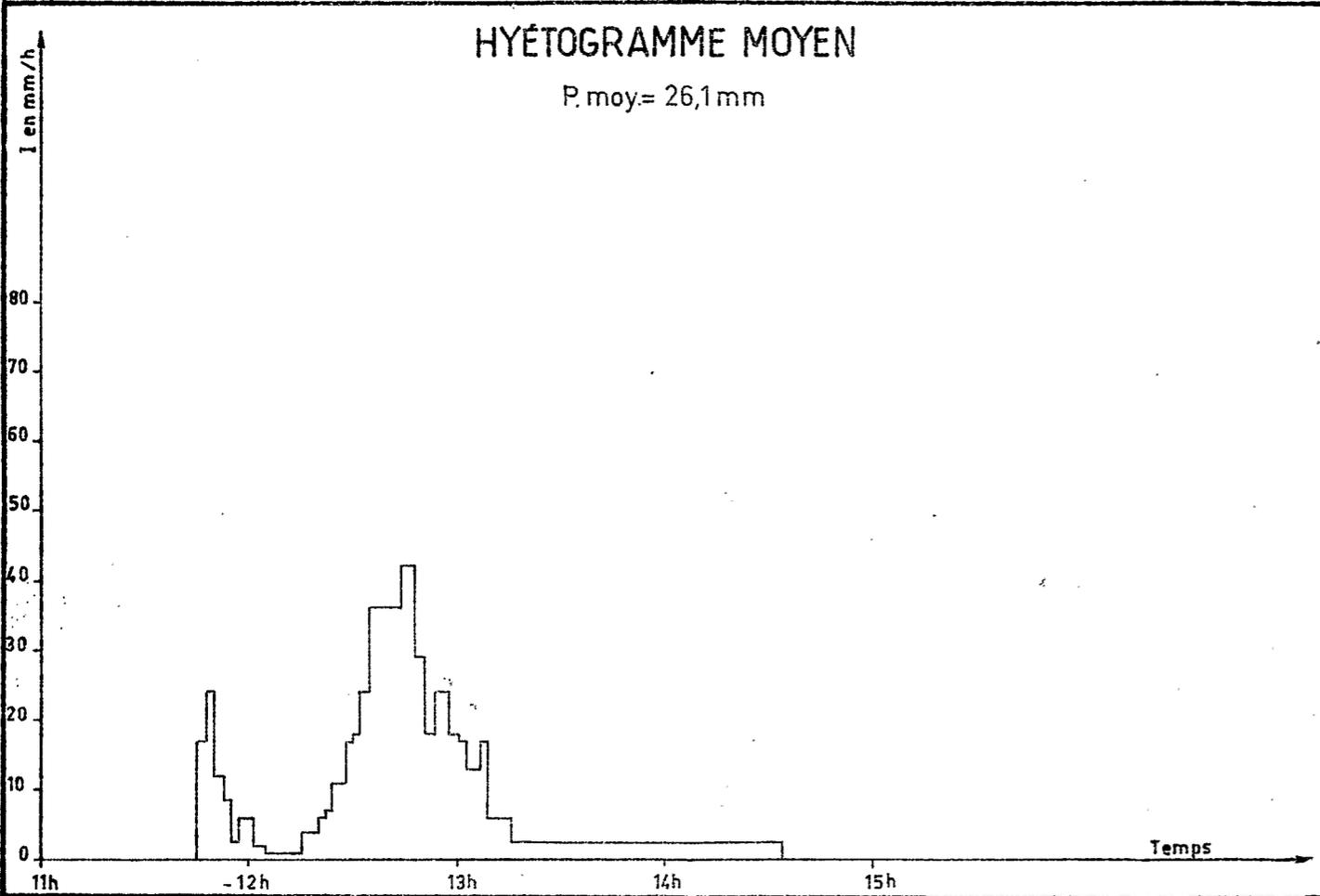
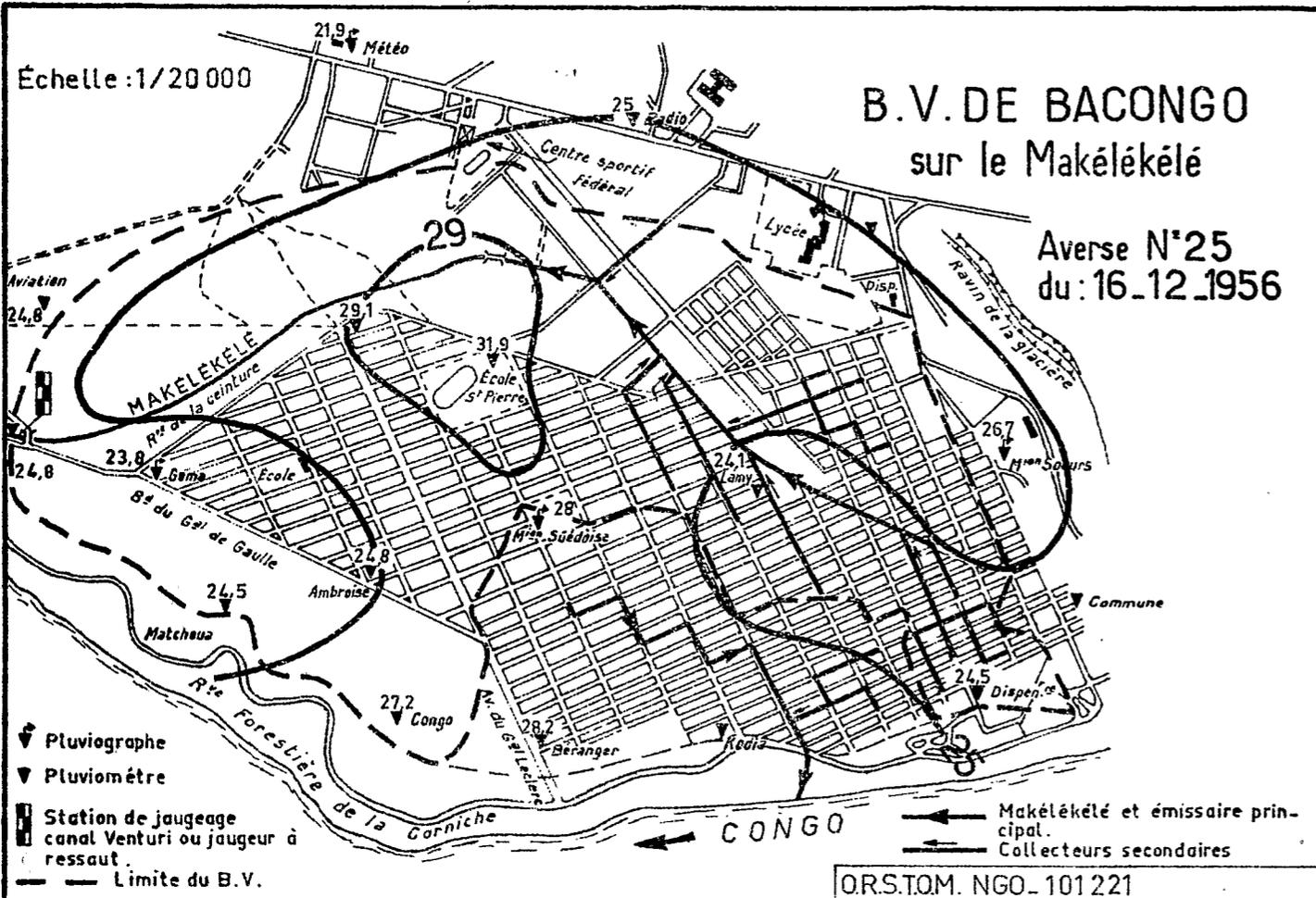


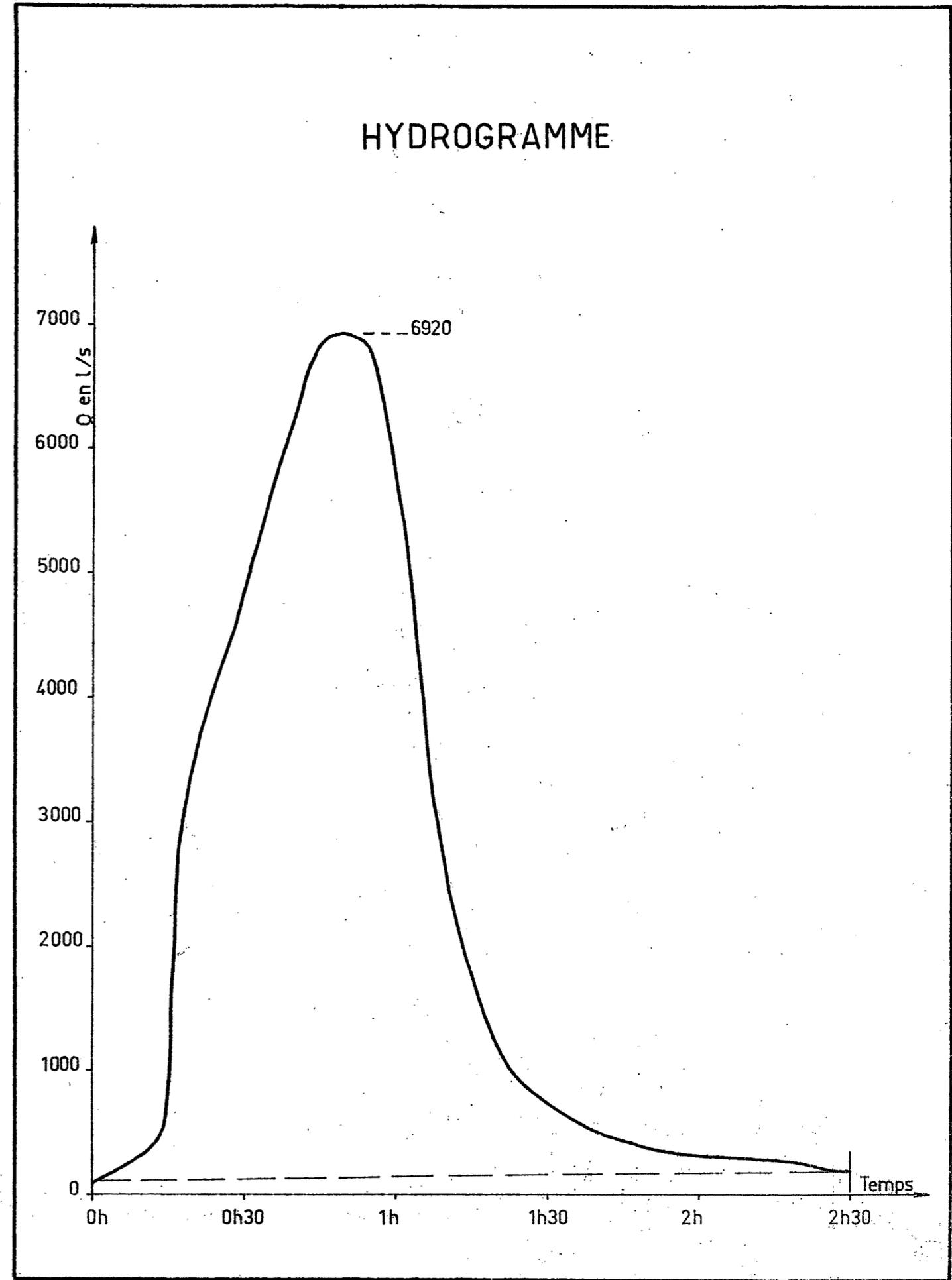
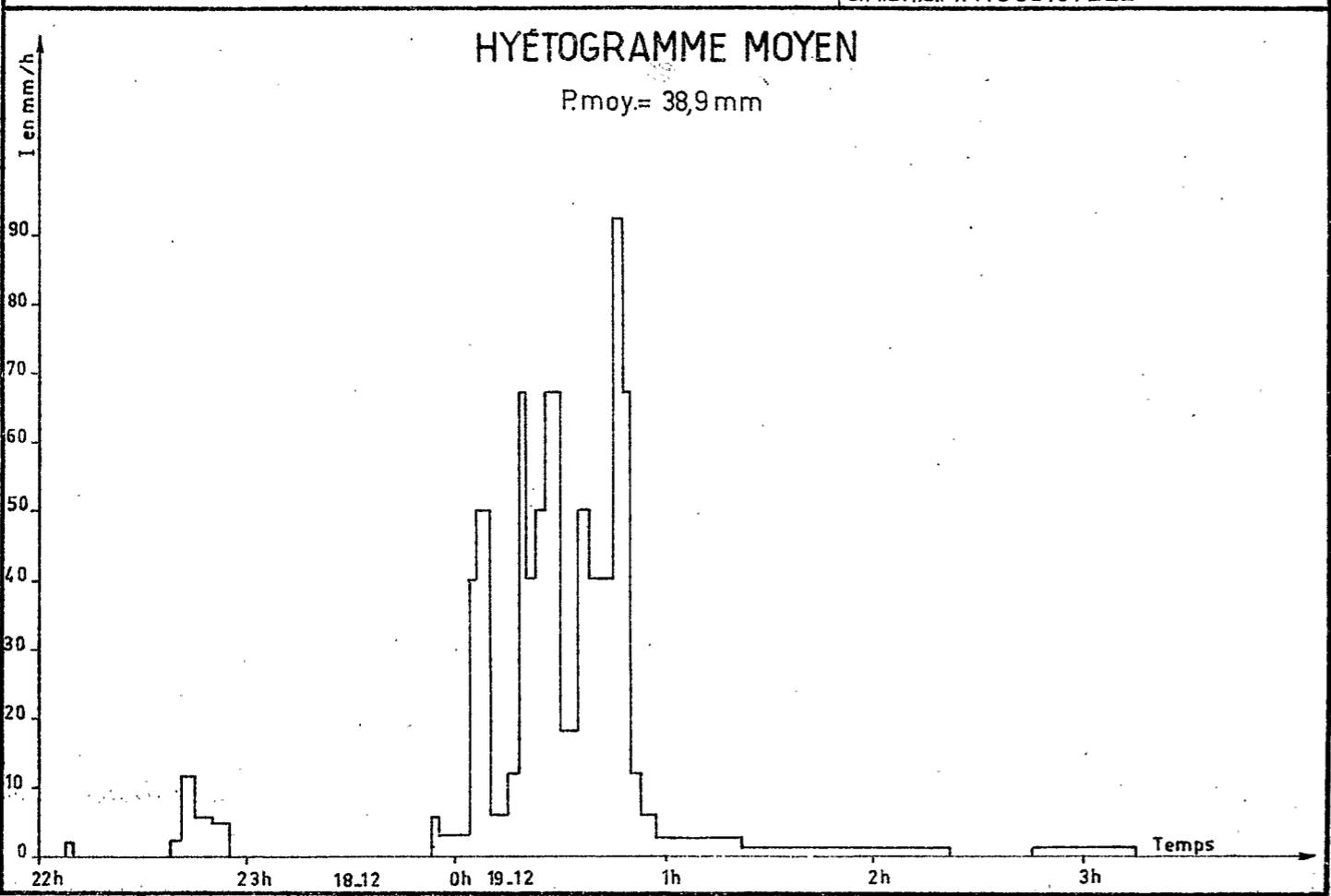
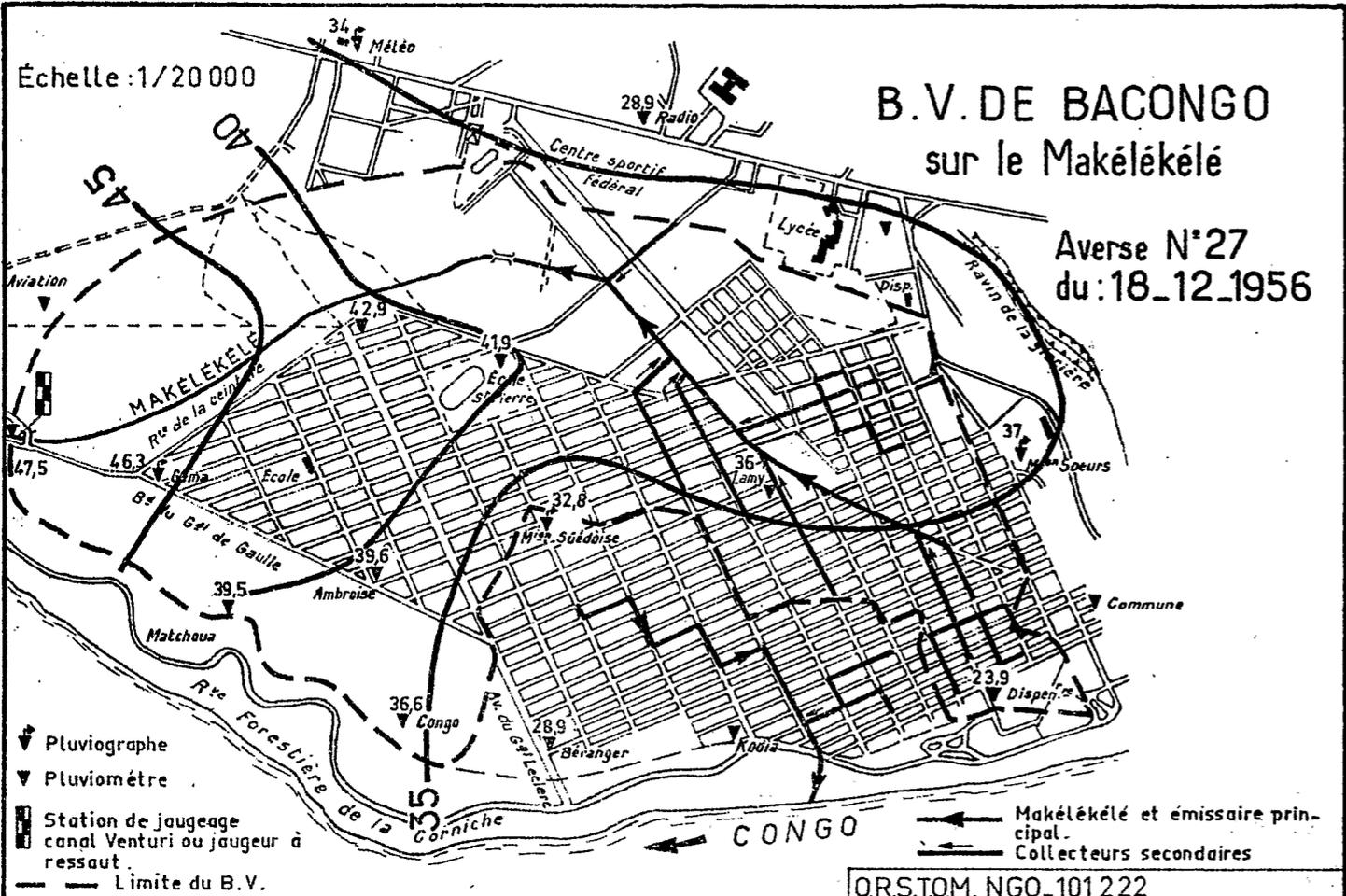


Séparation des deux ondes successives formant l'hydrogramme
de la crue n° 21





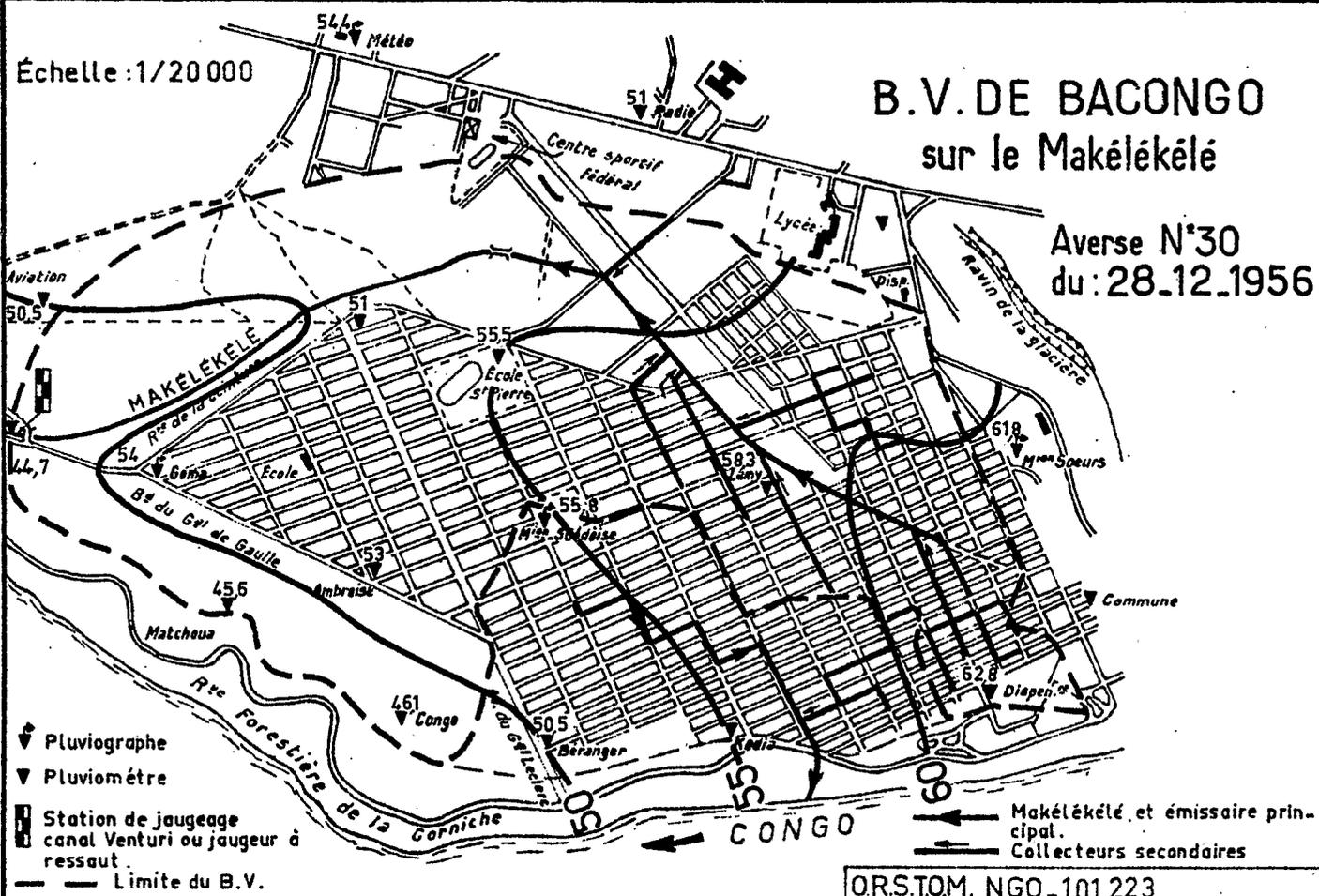




Échelle : 1/20 000

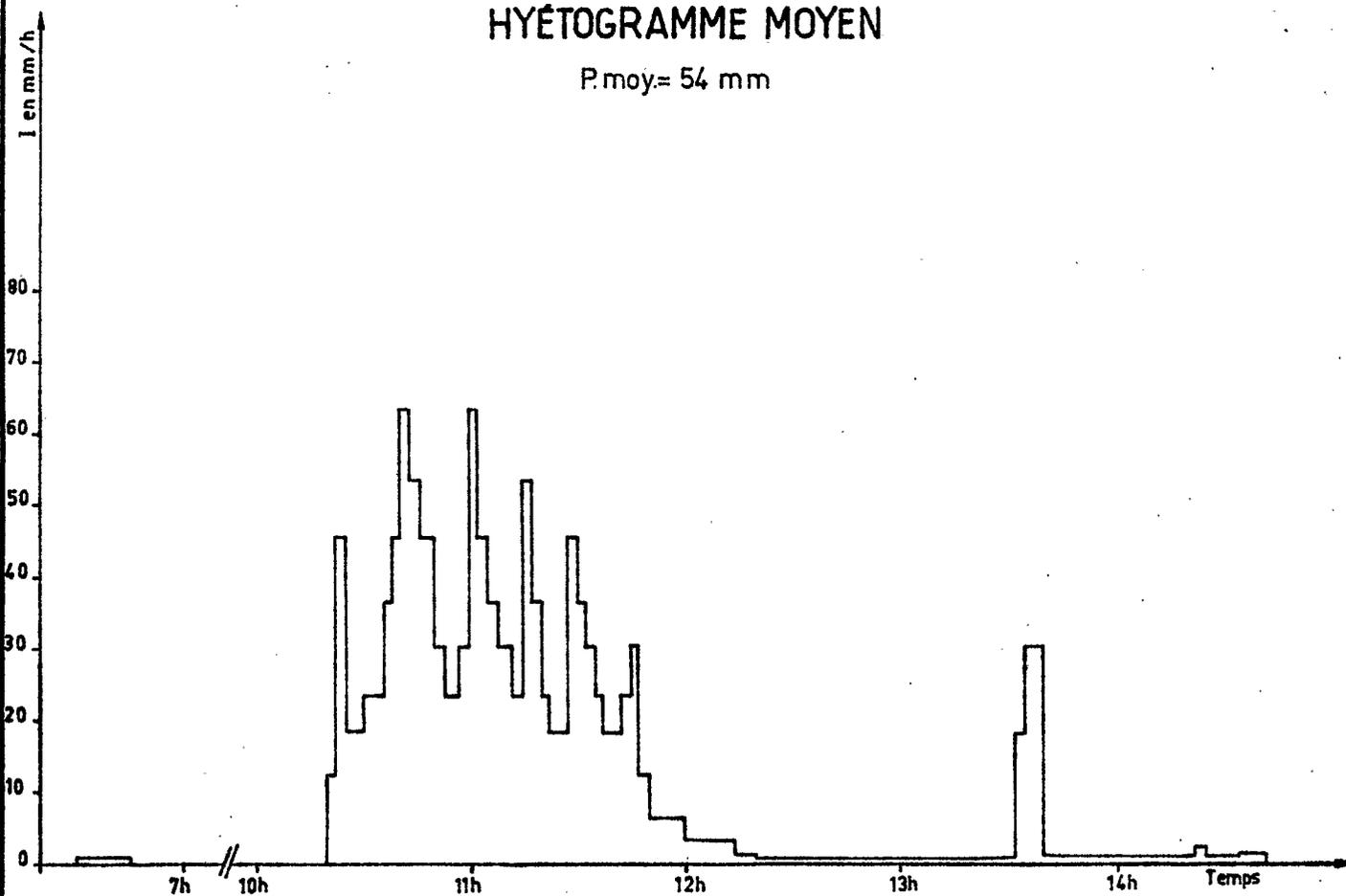
B.V. DE BACONGO sur le Makélékélé

Averse N°30 du : 28.12.1956



HYÉTOGRAMME MOYEN

P.moy = 54 mm



HYDROGRAMME

