

CONFERENCE INTERAFRICAINNE

sur l'HYDROLOGIE

(NAIROBI, 16 - 26 Janvier 1961)

APPLICATION de la METHODE des HYDROGRAMMES UNITAIRES

à un ECOULEMENT de TYPE HYPODERMIQUE

BASSIN VERSANT du MAYO BALENG

Ce bassin versant situé sur des sols moins volcaniques de l'Ouest du CAMEROUN a fait l'objet d'une étude de l'écoulement et de l'érosion. Le présent rapport ne présente que les études d'écoulement, les études d'érosion ayant été exposées au récent congrès de DALABA.

Par suite de la perméabilité de terrain, il n'y a pratiquement pas de ruissellement superficiel, l'écoulement hypodermique est prépondérant. Cependant, il est encore possible d'appliquer la méthode des hydrogrammes unitaires malgré l'absence de ruissellement superficiel, on considère donc l'écoulement hypodermique comme du ruissellement. On a trouvé entre la capacité apparente d'absorption et l'intensité moyenne un rapport constant égal à 0,84 ce qui correspond à un coefficient de "ruissellement" efficace $K_{RE} = 16 \%$.

Le coefficient de "ruissellement" correspondant à la pluie utile K_{Fu} tend vers 12 - 15 % pour les fortes averses et de bonnes conditions de saturation.

Ces données permettent de calculer les crues à partir des averses. Les maximums annuels sont faibles 2 à 300 l/s.km² (2.7 to 4.1 cu.sec/sq. mile) et les étiages élevés : 5 à 7 l/s.km² (.068 to .096 cu.sec/sq.mile), l'influence de la perméabilité du terrain venant renforcer celle de la forte pluviométrie annuelle 1.800 mm (71 inches).

APPLICATION de la METHODE des HYDROGRAMMES UNITAIRES
à un ECOULEMENT de TYPE HYPODERMIQUE
BASSIN VERSANT du MAYO BALENG

Par Jacques GUISCAFRE
Ingénieur Hydrologue
à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

Août 1960

INTRODUCTION -

Les sols noirs de la région de BAFOUSSAM ne représentent en superficie qu'une fraction assez faible des sols BAMILEKE.

Ils n'en présentent pas moins un intérêt, que l'on peut qualifier de vital pour cette région, si l'on considère la valeur exceptionnelle du sol. Actuellement, ces sols, soumis à une culture intensive et un mode cultural irrationnel, subissent de graves dégradations.

C'est pour ces raisons que le Bureau des Sols du CAMEROUN demanda à la Section Hydrologique de l'Institut de Recherches du CAMEROUN d'effectuer une étude expérimentale du ruissellement et de l'érosion, à quelques kilomètres de BAFOUSSAM, sur la chefferie de BALENG.

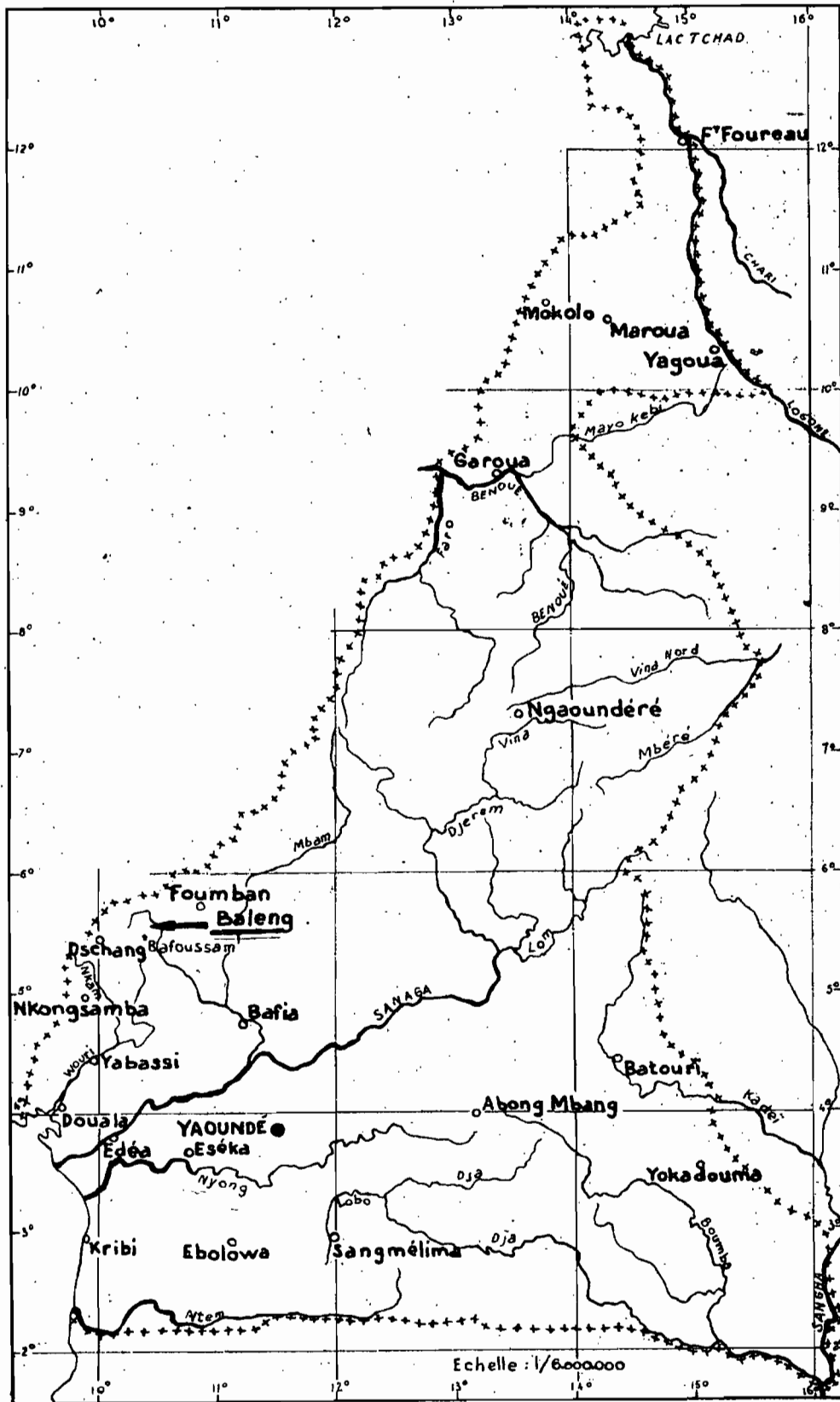
Cette étude comprenait les installations suivantes :

- parcelles expérimentales de ruissellement et d'érosion,
- un bassin versant réduit avec fosse à sédiment,
- un bassin versant de 10,7 km² (4,1 sq. mile) de superficie.

Les résultats de l'étude du ruissellement et de l'érosion ont fait l'objet d'une communication lors de la 3ème Conférence Interafricaine des Sols de DALABA, en Novembre 1959.

L'étude hydrologique du bassin versant fait l'objet de cette présente note.

Ce bassins offre la particularité d'avoir un écoulement du type hypodermique prépondérant, sans présenter de ruissellement superficiel caractérisé. Même dans ce cas, nous avons pu appliquer la méthode des hydrogrammes unitaires.



I - DESCRIPTION SOMMAIRE du BASSIN VERSANT -

A - SITUATION -

Le bassin versant du MAYO BALENG est situé au Nord-Est de BAFOUSSAM (figure 1).

Le MAYO BALENG se jette directement dans le NOUN, affluent du MBAM, à 4,5 km (2,8 mile) du pont-route de BAFOUSSAM à FOUMBAM.

La station de mesure a les coordonnées suivantes :

- Latitude 5° 30' 56" N
- Longitude 10° 33' 45" E

La superficie mesurée sur le plan au 1/25.000^e est de 10,7 km² (4,1 sq. mile) (figure 2).

Ce bassin se présente sous la forme d'une ellipse ayant pour grand axe 4,5 km (2,8 mile) et pour petit axe 1,1 km (1,9 mile). Son coefficient de forme, exprimé par la formule :

$$K_f = \frac{P}{2\sqrt{\pi} S}$$

où P représente le périmètre et S la surface du bassin, est

$$K_f = 1,09$$

Son altitude moyenne est de 1.120 m (3670 feet). La station est à la cote 1.050 et le plus haut sommet à la cote 1.257.

Le coefficient de pente est exprimé par la relation

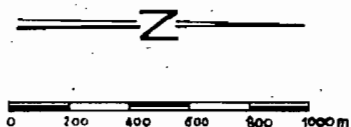
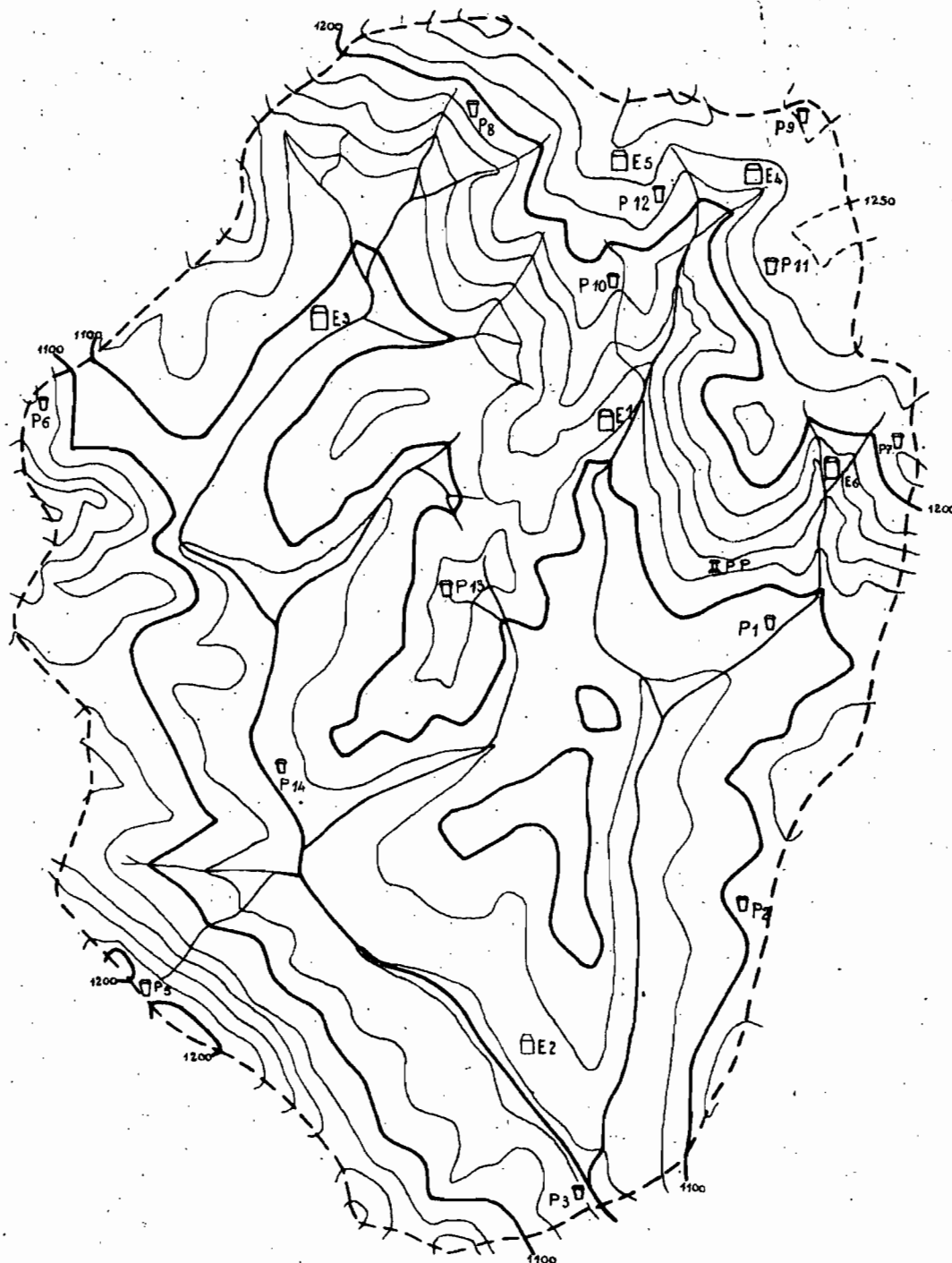
$$K_p = \frac{dx \cdot l}{S}$$

avec :

- l = longueur totale des courbes de niveau,
- d = équidistance de ces courbes de niveau,
- S = surface du bassin

$$K_p = 0,144$$

BASSINS VERSANTS DE BALENG



- E1 Pluviomètre enregistreur
- ▭ P1 Pluviomètre association
- ▭ PP Pluviomètre à lecture directe

La figure 3 donne la répartition hypsométrique du bassin et le profil en long du MAYO et de ses affluents.

B - RESEAU HYDROGRAPHIQUE -

Le réseau comprend un cours principal avec un affluent principal rive gauche, les autres affluents sont de moindre importance, mais à forte pente.

Le micro-réseau hydrographique est peu marqué ; les gouttes d'eau doivent parcourir plusieurs dizaines de mètres (*yards*) en général avant d'atteindre la ramification la plus proche, si elles ne se sont pas infiltrées avant, ce qui est en général le cas.

C - GEOLOGIE et PEDOLOGIE -

La chefferie de BALENG fait partie de la feuille pédologique de FOUMBOT au 1/50.000^e (BACHELIER et P. SEGALEM, 1958, Rapport I.R.C.A.M. P93).

Les sols du bassin versant appartiennent à la série BANKADJOU. Les sols de cette série présentent un profil complexe : un sol noir très jeune dérivé de cendres volcaniques basiques reposant sur un ancien sol ferrallitique rouge dérivé de gneiss.

- Morphologie

Le profil noté est le suivant :

- 0 - 25 cm (0 - 10 inches) Brun gris foncé, limoneux, grumeleux, poreux.
- 25 - 40 cm (10 inches - 16 inches) Brun, sablo-limoneux, poreux.
- 40 - 50 cm (16 inches - 20 inches) Gris, particulaire, (cendres très fines).
- 50 cm (20 inches) et au-dessous Rouge, argilo-sableux.

- Caractéristiques physique et chimique

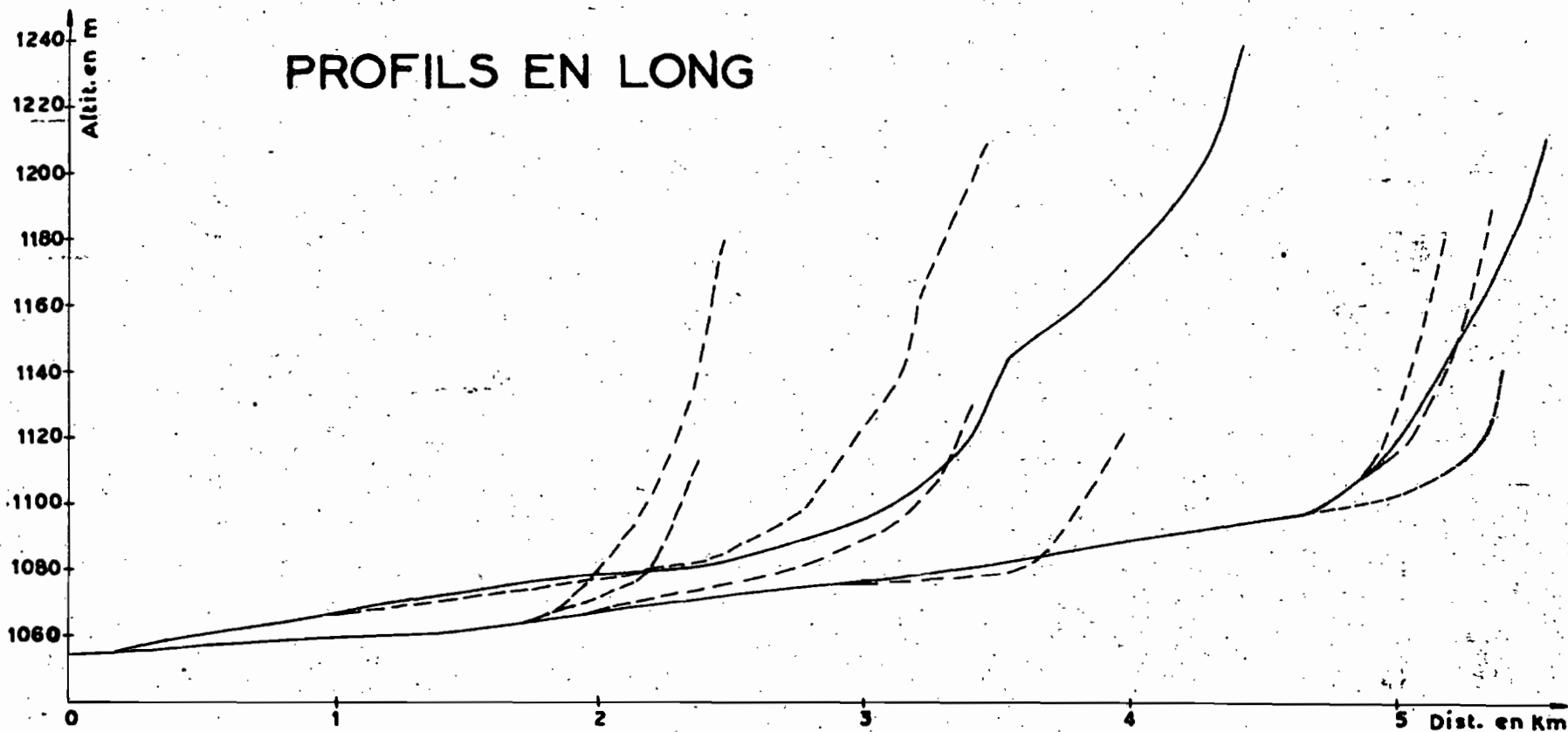
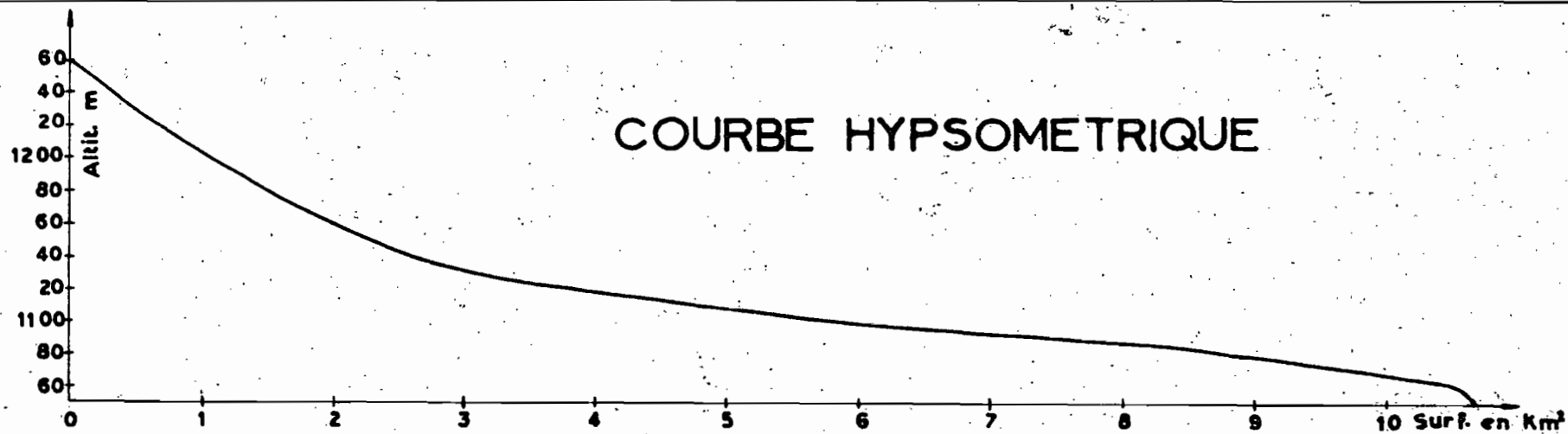
La granulométrie est très variable en raison de la superposition des sols. En surface le sol jeune est très sableux en profondeur, le sol rouge est nettement argileux.

BAL. 3

ORSTOM INSTITUT DE RECHERCHES DU CAMEROUN

Le A. 60 DES: ABA VISA:

A1



L'analyse physique des différents horizons conduit aux résultats suivants :

	Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier
	%	%	%	%
Horizon humifère	14,5	26,2	35,0	25,2
Cendres	1,5	26,8	42,0	30,5
Argile rouge	53,2	20,0	19,5	7,2

L'horizon supérieur est caractérisé par une faible cohésion et une perméabilité élevée.

L'horizon inférieur, bien que plus argileux, présente une perméabilité encore élevée.

D - VEGETATION -

Les cultures couvrent environ 75 % du bassin. Ce sol offre d'excellentes possibilités d'utilisation. Il convient parfaitement au Coffea arabica, qui, en saison sèche, trouve une humidité suffisante dans l'horizon inférieur. Cette culture occupe 7 % du bassin.

Les autres cultures sont des cultures vivrières, nombreuses (maïs, arachide, manioc, légumes, etc...), elles couvrent des collines entières où les pentes dépassent couramment 30 %.

Les mayos sont bordés par une galerie forestière. Le reste est laissé en friche ; la végétation est alors du type savane, avec quelques arbres clairsemés.

E - CLIMATOLOGIE -

Le climat de la région de BAFOUSSAM est du type climat tropical de montagne avec légère influence océanique.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1959: H mm	0,4	0,0	105,6	185,7		187,9	223,5	267,7				
: 4 inches	0,02	0	4,15	7,32		7,39	8,80	10,5				

(7,32 inches)

Le maximum enregistré dans une journée est de 185,7 mm.

II - ETUDE de la PLUVIOMETRIE -

A - RESEAU PLUVIOMETRIQUE -

Le réseau pluviométrique était constitué par :

- 16 pluviomètres
- 4 pluviographes à augets basculeurs
- 1 pluviomètre à lecture directe.

B - REGIME des PLUIES -

Le régime des pluies sur ce bassin est caractérisé par deux saisons principales : une saison sèche (décembre à février), une saison des pluies (mars à novembre). Cette dernière peut être divisée en deux saisons des pluies par le léger infléchissement de la pluviométrie lors du mois de Juin ou Juillet : petite saison des pluies de Mars à Juin, et grande saison des pluies de Juillet à Novembre.

La moyenne de la hauteur pluviométrique annuelle pour cette région est de 1.800 mm (*71 inches*).

Les mesures ont été faites durant la grande saison des pluies des années 1958 et 1959 (voir tableau 1).

C - ORIGINE des PLUIES -

Nous avons :

- des pluies orographiques de faible intensité presque constante, ne dépassant pas en général une hauteur de 10 mm (*0,40 inch*).
- des pluies de tornades ayant dès leur début de fortes intensités

TABLEAU I

	1958				1959			
	Moy	Max	Min	Jours	Moy	Max	Min	Jours
Jun					178,9	199,8	163,0	23
					7.04	7.86	6.42	
Juillet	154,8	206,2	119,9	14	156,0	184,0	146,3	25
	6.09	8.12	4.72		6.44	7.25	5.76	
Août	245,6	339,4	178,5	26	207,0	232,0	194,5	29
	9.65	13.37	7.03		8.15	9.13	7.66	
Septembre	311,5	397,2	208,1	21				
	12.27	15.66	8.20					
Octobre	241,4	269,2	208,4	22	225,0	220,0	211,5	28
	9.50	10.56	8.24		8.86	8.66	8.33	

TABLEAU II

Classe	1958				1959			
	J	A	S	O	J	J	A	O
0 - 5 mm (0 - .2 in)	4	10	6	10	13	15	16	11
5 - 10 mm (.2 - .4 "	4	5	5	2	3	5	5	8
10 - 20 mm (.4 - .8 "	1	9	4	7	4	4	4	8
20 - 30 mm (.8 - 1.2 "	5	2	4	1	3		4	1
30 - 40 mm (1.2 - 1.6 "			1			1		
40 - 50 mm (1.6 - 2.0 "				2				
50 - 60 mm (2.0 - 2.4 "								
60 - 70 mm (2.4 - 2.8 "								
70 - 80 mm (2.8 - 3.2 "			1					

La plus forte intensité enregistrée est de 135 mm/h (5,30 inches per hour) pendant 2 minutes.

D - FREQUENCE des HAUTEURS de PLUIES -

Nous avons classé dans le tableau II, les pluies par hauteurs croissantes.

On constate que :

- la moitié des pluies sont inférieures ou égales à 5 mm (0,2 inch) et plus de 60 % inférieures ou égales à 10 mm (0,4 inch).
- une seule pluie en deux ans a dépassé 50 mm (2 inches), celle du 19-9-58 avec 72,5 mm (2,86 inches) de moyenne et 97,9 mm (3,85 inches) comme maximum.

E - IRREGULARITE sur le BASSIN -

En général les averses sont assez homogènes.

Le tableau suivant nous donne la répartition des pluies d'après le coefficient de dispersion

$$D = \frac{H \text{ max} - H \text{ min}}{H \text{ moy}}$$

D :	50 à 75 % :	75 à 100 % :	100 à 125 % :	125 à 150 % :	Sup. à 150 % :
:	25 % :	38 % :	12 % :	19 % :	6 % :

F - CALCUL de la HAUTEUR MOYENNE PRECIPITEE sur le BASSIN -

Malgré le grand nombre de pluviomètres répartis sur le bassin et l'homogénéité suffisante des averses, la pluviométrie moyenne a été calculée par la méthode des isohyètes.

G - COMPOSITION des HYETOGRAMMES -

Les hyétogrammes ont été composés d'après la méthode des hyétogrammes classés. La pondération a été faite d'après la méthode de THIESSEN.

Exemple : Crue du 19-9-1958 Figure 4

III - HYDROLOGIE du BASSIN -

A - HAUTEURS d'EAU -

La station limnimétrique était équipée :

- d'une échelle 200-400
- d'un limnigraphe RICHARD avec rapport 1/20 et rotation de 24 h.

B - MESURE des DEBITS -

La station de jaugeage a été améliorée par une rectification des berges. Elle était aussi équipée d'une passerelle.

La courbe de tarage a été tracée d'après 12 jaugeages au moulinet.

C - REGIME HYDROLOGIQUE -

L'écoulement est permanent. La courbe des débits suit celle des variations de la pluviométrie mais d'une manière très amortie, soit par les infiltrations dans un sol et sous-sol perméables, soit par les réserves de ces derniers.

Le débit d'étiage est abondant, de l'ordre de 5 à 7 l/s.km² (0,07 à 0,1 cuic/eq. mile). Le débit de crue maximum que nous avons enregistré est de 205 l/s.km² (2,8 cuic/eq. mile).

D - ETUDE des CRUES -

1°) Exposé de la méthode

Nous avons utilisé la méthode des hydrogrammes unitaires avec une seule modification : nous avons qualifié tout écoulement, autre que l'écoulement souterrain, de "ruissellement"

Bassin versant de BALENG

AVERSE N° 20

△ Pluviographes

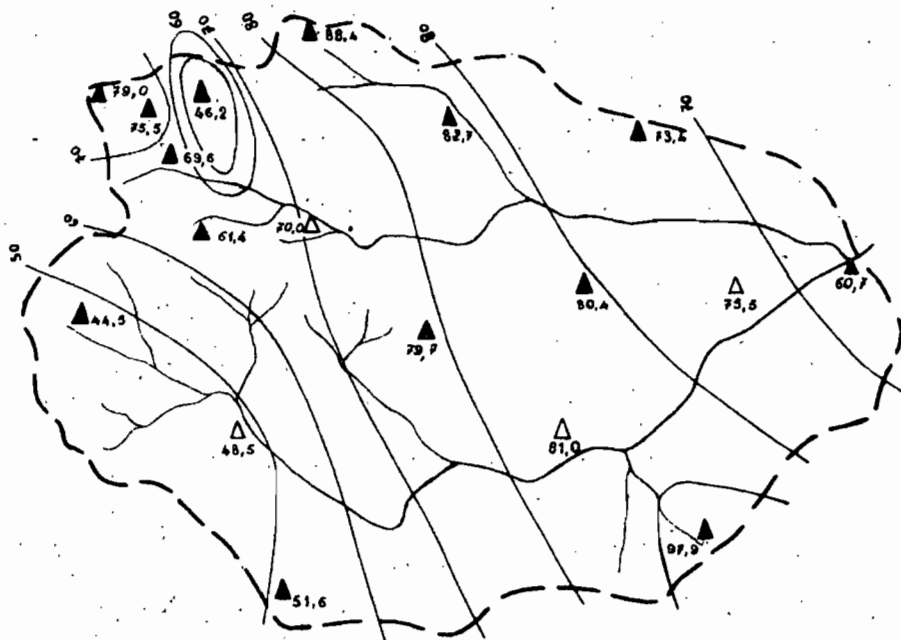
▲ Pluviomètres

H min : 44,5 mm

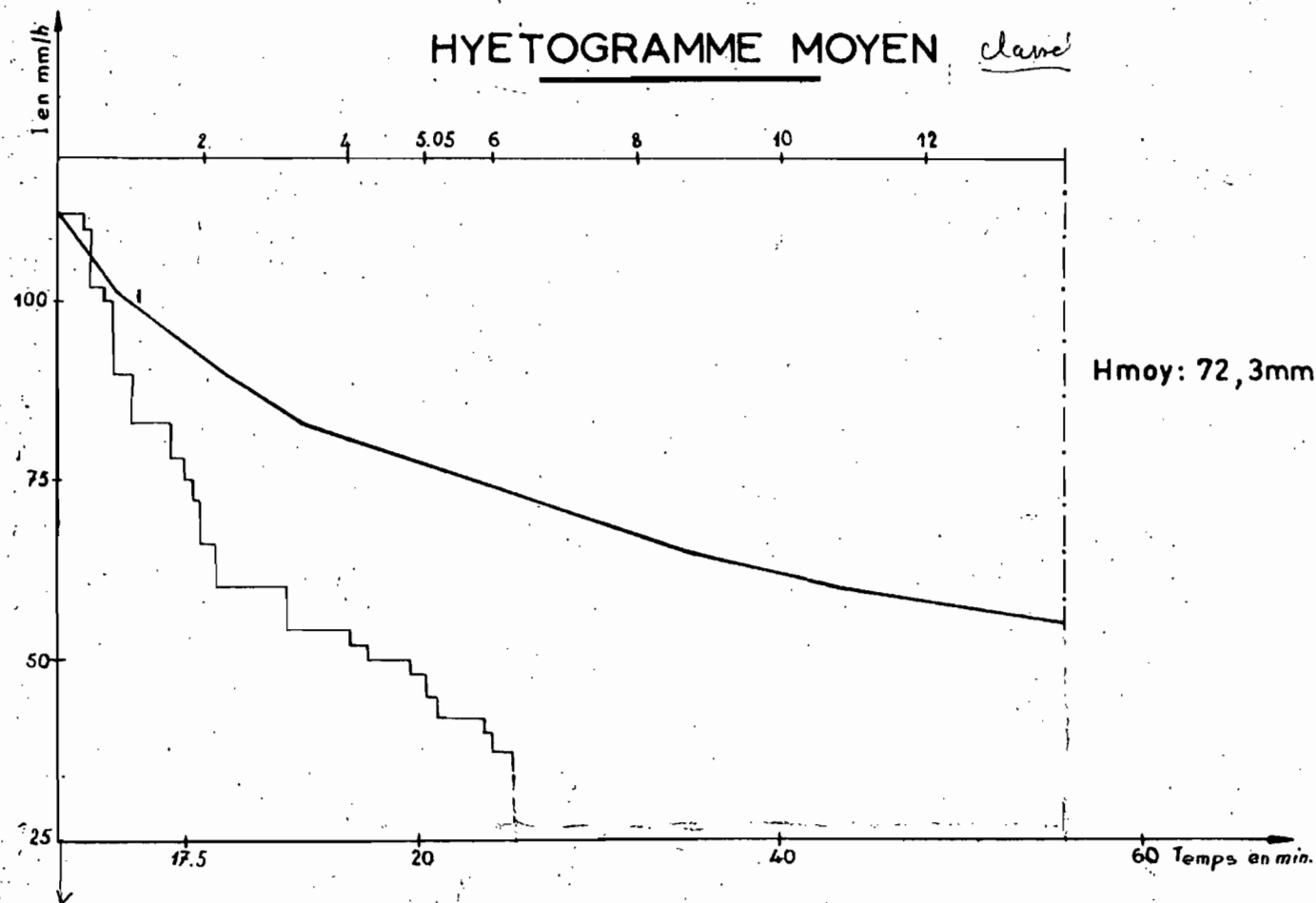
H max : 97,9 mm

H moy : 72,3 mm

Dispersion % : 28



HYETOGRAMME MOYEN *clame*



BAL. 4

ORSTOM INSTITUT de RECHERCHES du CAMEROUN

Le: A. 60 DES: ABA

VISA:

A1

c'est-à-dire que le "ruissellement" comprend l'écoulement hypodermique et le très faible ruissellement réel, quand il existe.

Nous retrouvons ainsi les propriétés des hydrogrammes unitaires, soit :

- a) la durée du "ruissellement" est sensiblement constante, environ 18 heures, quand l'intensité de la pluie unitaire varie.
- b) le diagramme de "ruissellement", dont les ordonnées sont rapportées au volume "ruisselé" (somme des ordonnées 100 %), est sensiblement le même, quelles que soient les intensités des averses.
- c) l'hydrogramme dû à une averse complexe, non unitaire, a pu être reconstitué : les crues 18-22-28.

Pour déterminer la durée maximale d'une tornade unitaire, nous avons adopté la définition de BRATER et WISLEY : une tornade peut être considérée comme unitaire lorsqu'une tornade plus courte ne détermine pas une durée de ruissellement inférieure. Ce qui nous a donné la durée d'une heure.

2°) Détermination du diagramme de distribution - Tableau III

En moyenne, la durée du rise est de 5 heures. Nous avons pris pour établir ce diagramme :

- les hydrogrammes ayant un rise de $5 \text{ h} \pm 30 \text{ minutes}$.
- les hydrogrammes ayant un volume d'écoulement assez important pour supprimer la "bosse" due à l'écoulement de l'affluent principal gauche.

Trois hydrogrammes ont été retenus : ceux des crues 15, 19 et 20.

Les hydrogrammes ont été divisés en tranches d'une heure numérotées de - 4 à + 13.

La tranche 0 correspond au maximum de la crue, les tranches - à la montée, et les tranches + à la décrue.

BAL. 5

ORSTOM INSTITUT de RECHERCHES du CAMEROUN

Le: A. 60 DES: ABA VISA:

A1

MAYO BALENG

CRUE N° 20 DU 19-9-58

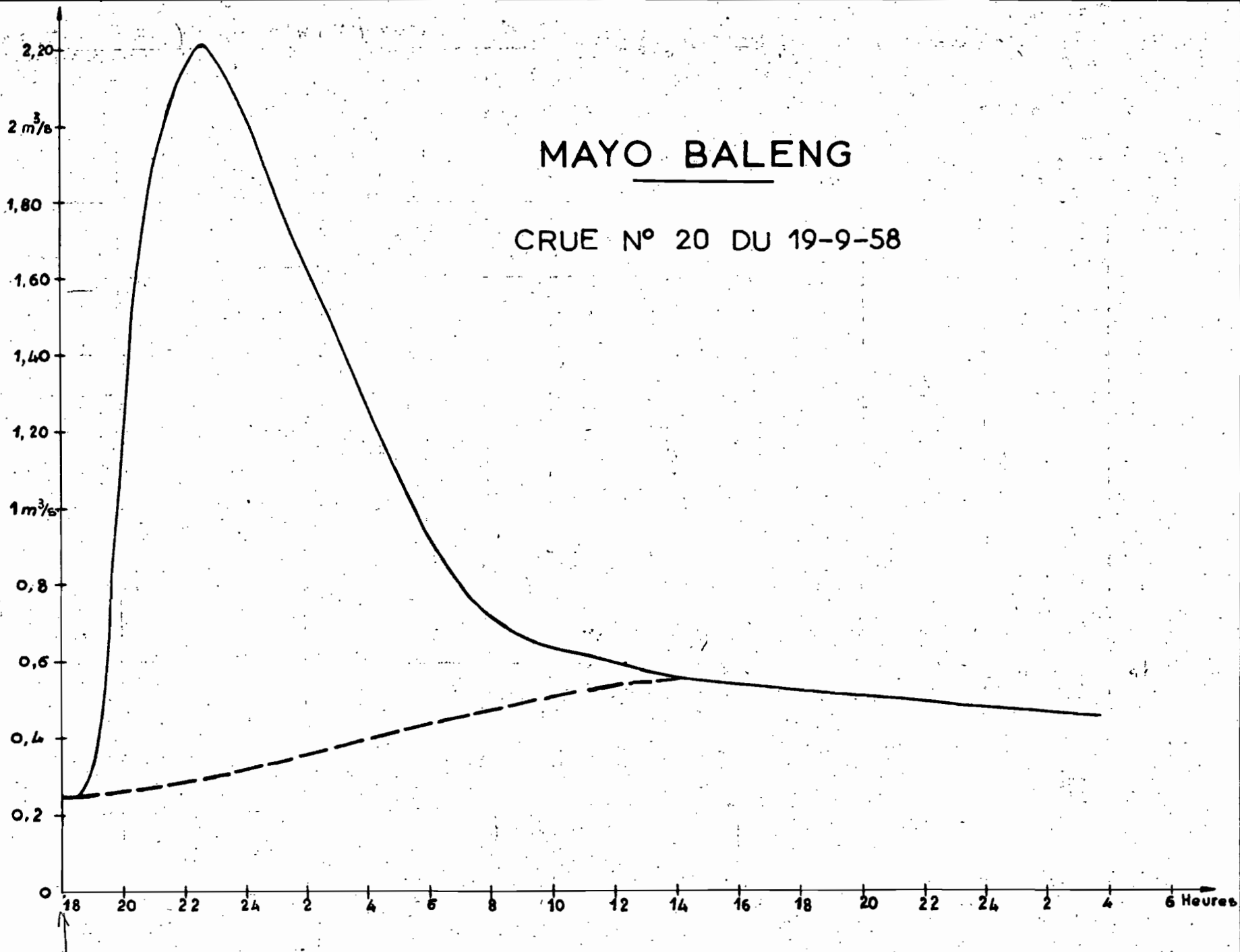


DIAGRAMME de DISTRIBUTION

Averses	Date	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Max.
N° 15	8-9-58	1,9	6,9	10,0	13,5	14,9	13,5	10,5	7,5	5,6	4,2	3,2	2,6	2,0	1,5	1,1	0,6	0,2	0,1	15,0
						6,4														%
N° 19	14-3-58	1,6	6,5	10,7	13,1	14,6	13,1	11,4	8,6	6,2	4,6	3,6	2,6	1,7	1,1	0,5	0,1			14,8
																				%
N° 20	19-9-58	0,5	4,2	9,6	12,0	12,7	12,1	10,5	9,3	7,7	6,2	4,9	3,5	2,3	1,6	1,2	0,8	0,5	0,3	12,8
						6,35														%
Moyenne		1,7	5,9	10,1	12,9	14,1	12,9	10,8	8,5	6,5	5,0	3,9	2,9	2,0	1,4	0,9	0,5	0,2	0,1	14,2
																				%

N.B. - Le temps de base est d'une heure

V = 100% x 3000 / 10000

af. 100.00

11.7 100.00

3°) Présentation des résultats

Les résultats sont présentés à la figure 6 sous forme d'un tableau qui comprend les données concernant :

- l'averse H max, H min, H moy, I max.
- l'averse antérieure Pa et Ta l'écart entre les deux pluies.
- la pluie utile Hu et Tu.
- le volume "ruisselé" Vr
- les coefficients de "ruissellement"

$$K_r = \frac{V_r}{S \times H_{\text{moy}}}$$

$$K_{ru} = \frac{V_r}{S \times H_u}$$

$$K_{r_E} = \frac{V_r}{S \times H_E}$$

- La capacité d'absorption Cam = I_{Eff.} - I excédentaire
- la pluie efficace (qui donne lieu au "ruissellement")

$$H_E, T_E, I_E.$$

Ces valeurs ont pu être facilement déterminées par la composition des hyétogrammes, d'après la méthode dite des hyétogrammes classés.

- l'Hydrogramme Lag, Rise et Q max.
- des observations sur la répartition de l'averse et sur l'écoulement.

Les crues "Hyp." sont considérées comme de véritables crues de ruissellement.

BALENG - Bassin versant n° 2 (10,7 km²) 1958-59

BAL 6

ORSTOM INSTITUT DE RECHERCHES DU CAMEROUN
Léi. A. 60 DES: ABA VISA:

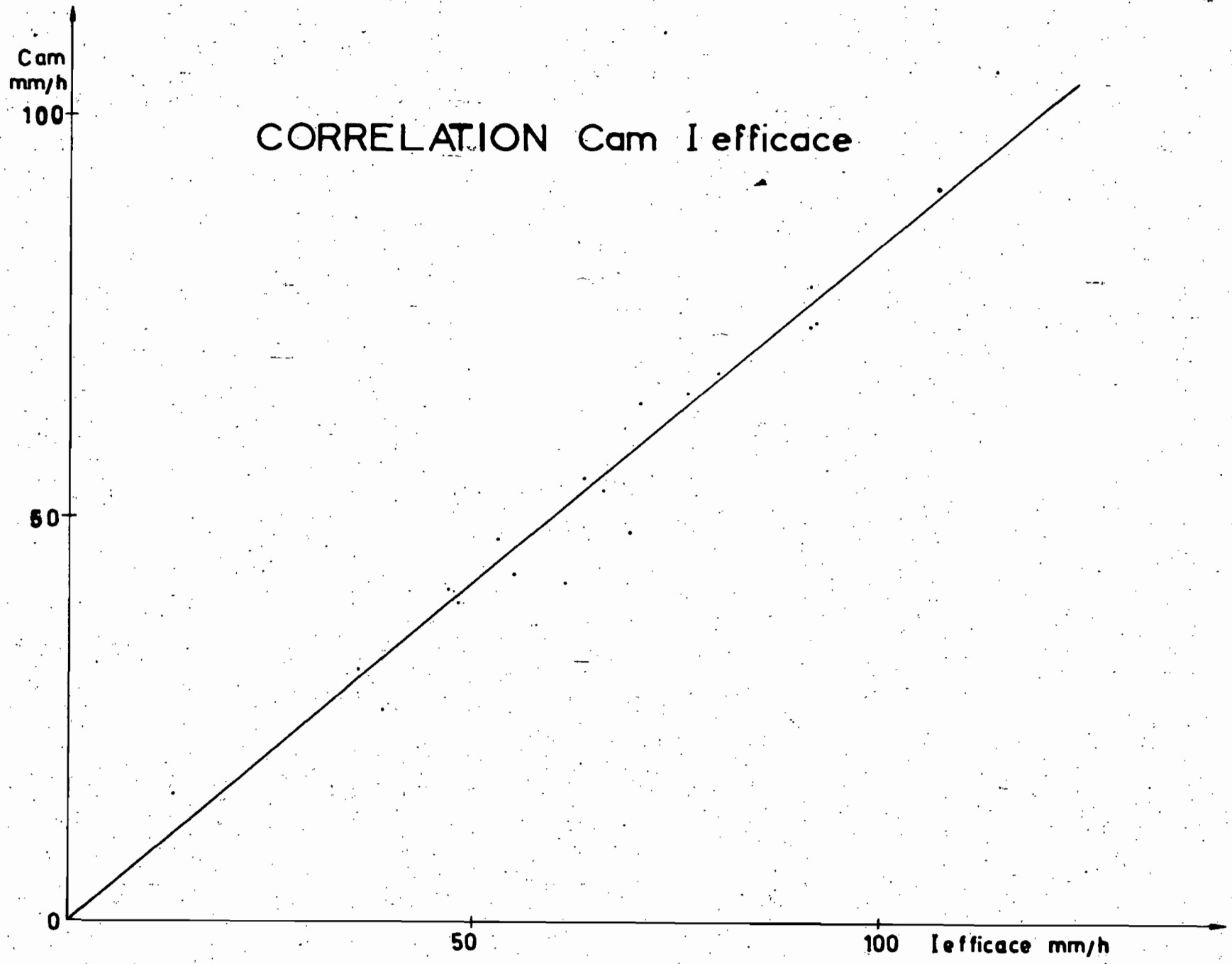
A1

Référence		l'Averse				Pluie ant.		Pluie utile		Ruissellement			Abs.	Pluie efficace			Hydrogramme			OBSERVATIONS				
N°	Date	H max mm	H min mm	H moy mm	Imax mmyh	Pe mm	Ecart de Pa en h	Hu mm	Tu min	V.r m ³	Kr %	Kru %	KRE %	Co.m mmyh	HE mm	TE min	IE mmyh	Log heures	Rise heures		Q max m ³ /s			
2	18-8	36,0	15,8	24,5	71,0	6,2	2h 0	14,7	15'	4.730	1,8	3,0	8,3	64,7	5,3	4'5	70,6	5h30	5h00	0,25	Un			
7	7-7	30,7	5,7	18,3	60,0	20,2	26h0	10,2	45'	4.150	2,1	3,8	13,8	47,0	2,8	3'2	53,4	6h05	5h30	0,33	D.A+C Un			
10	4-8	58,2	12,5	36,2	135,0	2,0	24h0	18,5	25'	6.570	1,7	3,3	7,0	106,0	8,9	4'7	114,0	6h05	6h10	0,42	MxA Un			
12	9-8	31,5	11,1	22,3	60,0	10,0	24h0	10,5	210'	5.150	1,5	3,5	12,7	41,0	2,9	3'7	47,0	7h00	7h00	0,22	S Hyp D			
15	8-9	43,0	12,4	28,4	105,0	8,0	24h0	21,2	50'	12.100	4,0	5,3	14,2	68,1	7,7	5'8	80,0	5h30	5h30	0,69	Av Un			
16	11-9	26,0	11,1	16,7	30,0	28,4	60h0	8,5	120'	5.760	3,1	6,0	18,2	12,7	2,9	11'2	15,2	6h00	7h00	0,36	Hyp Un			
18	12-9	62,1	16,7	25,2	67,2	13,6	24h0	11,0	120'	7.000	2,6	5,5	32,0	42,0	2,0	2'0	61,5	6h55	6h45	0,51	N Part			
19	14-9	48,2	11,0	26,4	100,0	25,2	48h0	17,1	26'	13.590	4,8	7,4	14,1	65,9	9,0	7'1	76,1	4h20	4h20	0,81	A+C Un			
20	19-9	97,9	44,5	72,3	114,0	5,0	24h0	48,1	45'	54.140	7,0	10,5	19,0	74,0	26,6	17'5	91,3	4h05	4h20	2,20	Un			
21	24-9	35,3	20,7	26,3	90,0	8,3	30h0	17,1	18'	15.700	5,6	8,6	19,3	53,4	7,6	6'9	66,1	4h55	5h05	1,05	Un			
22	2-10	80,5	22,3	48,1	67,5	5,6	2h0	29,8	70'	31.640	6,1	9,9	19,7	39,7	15,0	18'7	48,1	6h20	7h00	1,50	S Cp			
23	4-10	22,2	11,7	15,8	60,0	42,5	54h0	10,5	15'	8.100	4,8	7,2	21,9	43,0	3,47	3'8	55,0	5h35	5h40	0,65	Un f			
26	26-10	21,3	11,6	15,2	60,0	20,6	42h0	4,4	18'	4.630	2,8	9,8	31,6	26,5	1,36	2'1	38,8	4h45	5h15	0,36	Hyp			
27	29-10	50,1	29,2	13,2	67,5	4,7	3h0	10,0	25'	7.550	5,3	7,1	12,8	55,0	5,20	4'9	63,7	4h30	5h30	0,49	Un			
28	29-10			23,7	120,0	13,2	8h0	19,0	20'	18.150	7,1	8,9	19,0	74,5	8,9	5'8	92,0	5h35	5h30	0,85	D.C			
32	15-8	45,0	17,2	28,7	110,0	2,0	46h0	15,1	25'	6.250	2,1	3,9	13,4	79,1	4,4	2'9	91,3	6h10	6h30	0,33	A Hyp			
35	29-8	27,6	10,8	18,5	75,0	22,0	70h0	7,5	35'	4.550	2,3	5,5	26,0	48,6	1,6	1'4	69,4	6h20	6h00	0,31	Hyp			
Répartition		Hydrogramme																						
S	Sud	U	Unitaire																					
N	Nord	Hyp	Hypoderm.																					
C	Centre	D	Double																					
AV	Aval	Cp	Complexe																					
Am	Amont	f	faible																					
Mx	Maximo	Part	Partielle																					

1958

1959

CORRELATION Cam I efficace



BAL.7

ORSTOM INSTITUT de RECHERCHES du CAMEROUN
Le: A. 60 DES: ABA VISA:

A1

IV - CORRELATION CAPACITE APPARENTE d'ABSORPTION-INTENSITE

EFFICACE - (Figure 7)

Comme pour l'étude du ruissellement sur parcelles (voir introduction), nous avons constaté que la capacité d'absorption est proportionnelle à l'intensité efficace.

Aussi bien sur le bassin que sur les parcelles, la droite, représentant cette relation, ne s'infléchit pas, même pour des intensités efficaces supérieures à 100 mm/h. (3.9 in./h)

Cette relation est :

$$\frac{Q_{am}}{I_{Eff}} = 0,84$$

ce qui nous donne un coefficient moyen $K_{rE} = 16 \%$

En effet, c'est autour de cette valeur, à part quelques pluies de faible écoulement, que nous trouvons les coefficients K_{rE} calculés.

CONCLUSION -

Il est donc possible, en connaissant la valeur de la pluie efficace, de reconstituer des crues.

La seule difficulté, que nous pouvons rencontrer, réside dans la détermination de l'Intensité efficace. Si cette difficulté est insurmontable, on peut revenir à la pluie utile, en utilisant le coefficient de "ruissellement" K_{ru} . Pour de bonnes conditions de saturation et de fortes averses, plus de 120 mm (4.7 inches), il semble que K_{ru} tende vers 12 - 15 %.