

ÉTUDE
des bassins versants expérimentaux
du MAYO-KERENG



1^{ère} PARTIE



MAYO-KERENG

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Institut de Recherche du Cameroun

ETUDE DES BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX
DU MAYO-KERENG

-----oOo-----

1ère partie :

M A Y O - K E R E N G

H. FULLERAY

Ingénieur Hydrologue à E.D.F.
Chef du Service Hydrologique
de l'IRCAN

Décembre 1957

I N T R O D U C T I O N

Les crues des petits mayos du NORD-CAMEROUN s'étaient signalées à l'attention de l'Ingénieur en Chef de l'Arrondissement des Travaux Publics de GAROUA par les dégâts causés chaque année aux routes et ouvrages d'art existants.

L'importance des travaux entrepris pour l'aménagement de la route GAROUA-MAROUA justifiait une étude complète du ruissellement sur des petits bassins expérimentaux situés au voisinage du tracé choisi.

Les recherches avaient pour objet de fournir des données de base sur les conditions générales de l'écoulement dans le NORD-CAMEROUN en vue du calcul des passages de buses et dallots sur les routes en construction ou en projet. Les résultats pourront être utilisés par les différentes administrations qui auront à calculer des ouvrages d'évacuation pour les eaux de ruissellement (hydraulique agricole, réseau urbain de drainage, etc...)

Le présent rapport rend compte des activités de la section Hydrologie de l'I.R.C.A.M. pendant les campagnes 1955-1956 et expose les résultats obtenus.

C H A P I T R E I

REALISATION DU PROGRAMME

A) - PROGRAMME DES ETUDES -

Les études ont porté sur deux bassins versants expérimentaux situés près de FIGUIL et choisis en accord avec l'Ingénieur de la subdivision du contrôle de FIGUIL.

Durant la campagne 1955, l'hydrologue a effectué des observations simultanées des précipitations et de l'écoulement et des mesures d'infiltration à titre expérimental.

En 1956 les mêmes observations ont été poursuivies et les débits solides ont été mesurés sur le plus petit des deux bassins.

B) - MOYENS MIS EN OEUVRE -

1°) Personnel :

En 1955, un Ingénieur hydrologue, M. PELLERAY, a été chargé de l'aménagement des installations de mesure et des observations.

L'année suivante, un agent technique, M. ARDOLI, a été recruté. Il a été affecté aux études sur le plus petit des deux bassins : pluie, ruissellement, transports solides. Des auxiliaires africains ont été embauchés sur place et principalement chargés des observations météorologiques.

2°) Matériel :

Les appareils de mesure, commandés à PARIS dès le début de 1955, sont arrivés en temps utile.

Le matériel suivant était à la disposition du personnel :

- 1 pick-up Dodge, en service depuis trois ans
- 1 jeep Land-Rover
- 2 pluviographes à augets basculeurs
- 15 pluviomètres Association
- 1 matériel de jaugeage complet pour le wadding
- 1 traille a été aménagée sur place pour la mesure des débits élevés
- 1 limnigraphe Richard, rapport 1/15°, et
1 limnigraphe Ott, rapport 1/10°, seulement en 1956
- 2 infiltromètres avec cercles protecteurs
- 1 bac Colorado et des appareils météo : thermomètres, psychromètres, évaporomètres Piche en 1956 seulement
- matériel topographique simple : niveau Zeiss et mires
- matériel de campement suffisant.

En 1955, le camp de base était à FIGUIL, c'est-à-dire à 9 km des mayos à contrôler. Cet inconvénient a été éliminé en 1956 par l'achat d'une case en bois préfabriquée qui a été installée à 20 m de la station de jaugeage.

C) EXECUTION DU PROGRAMME -

Dès son arrivée à GAROUA, le 21 Juin 1955, l'hydrologue a pris contact avec les Travaux Publics. Le choix a été fixé sur le MAYO-KERENG et les installations de mesures ont été entreprises immédiatement dans l'ordre d'urgence suivant :

- a) échelles limnimétriques
- b) pluviomètres Association
- c) pluviographes

Les pluies antérieures à ces installations n'avaient pas ruisselé.

Le 29 Juin, une première averse était entièrement observée : elle n'entraîna pas non plus de ruissellement.

Le 15 Juillet, toutes les installations étaient en place et les éléments provisoires installés dès

l'arrivée sur les lieux, remplacés par des constructions définitives. Les observations ont été continuées jusqu'au 30 Septembre 1955.

En 1956, l'agent technique, M. ARDOLI, n'est arrivé à FIGUIL que le 22 Juin par suite de pannes graves du pick-up Dodge qui l'ont immobilisé plusieurs jours sur la route. Les installations de la précédente campagne ont été remises en place rapidement et la première tornade du 24 Juin a pu être sommairement observée.

L'ingénieur hydrologue a rejoint le NORD-CAMEROUN le 5 Juillet 1956 pour organiser les observations sur les deux bassins.

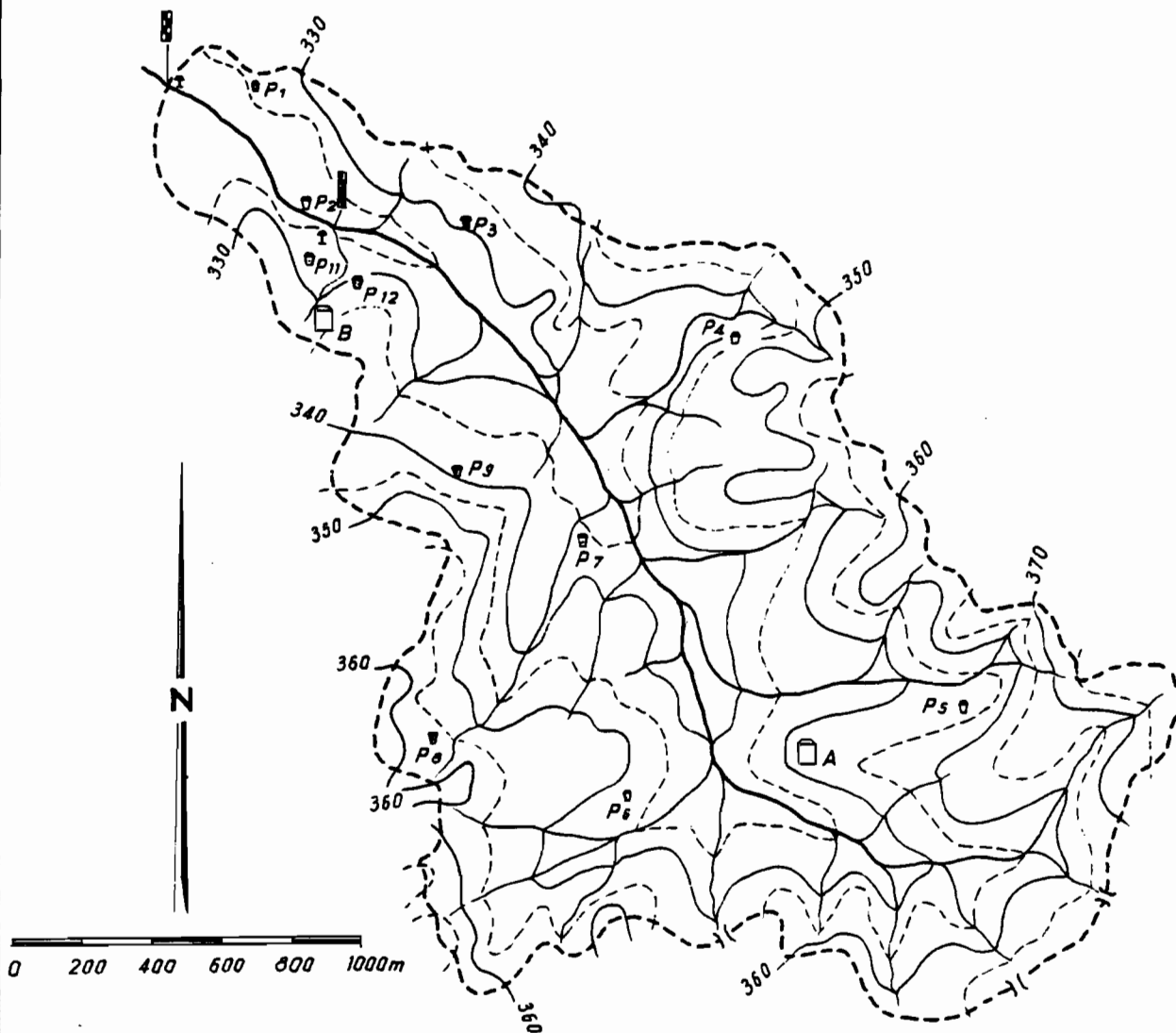
Les travaux pour l'étude des débits solides ont été immédiatement entrepris ainsi que toutes les constructions devant supporter les limnigraphes sur le MAYO-KERENG et le MAYO-LOUTI.

Au mois de Septembre 1956, M. PELLERAY est allé à MAROUA surveiller les bassins versants expérimentaux installés au voisinage de la ville. Il a rejoint ensuite le SUD-CAMEROUN pour y effectuer des mesures de hautes eaux.

Pendant cette période, M. ARDOLI a assuré la continuité des observations. Après avoir replié le matériel, il a quitté FIGUIL le 10 Octobre 1956, la saison sèche était installée depuis plusieurs jours.

Fig. 1

BASSIN VERSANT DU MAYO KERENG



- ☐ A Pluviomètre enregistreur
- ▽ P_i Pluviomètre association
- ⊥ Pluviomètre à lecture directe

C H A P I T R E I I

D O N N E E S G E O G R A P H I Q U E S

A) D E S C R I P T I O N D U B A S S I N -

Le MAYO-KERENG (fig.1) se jette dans le MAYO-LOUTI à 5 km à l'Ouest de la route FIGUILL-BIDSAR. Le MAYO-LOUTI conflue avec le MAYO-KEBI 100 km en amont de GAROUA.

La station de mesure a les coordonnées suivantes :

- latitude 9° 41' N
- longitude 14° 00' W

La superficie mesurée sur le plan au 1/5.000° levé en Avril 1956 est de 4,0 km² (carte fig.1).

Le relief n'est pas très vigoureux. La station principale est à la cote 320 et le plus haut sommet à la cote 375 (profil en long fig. 2).

Les coefficients de forme et de pente sont :

$$K_f = \frac{Pr}{2 \sqrt{\frac{d}{S}}}$$

$$K_p = \frac{dl}{S} = 0,04$$

- avec :
- Pr = périmètre du bassin versant
 - S = surface du bassin versant
 - d = intervalle d'altitude entre deux courbes de niveau
 - l = longueur totale des courbes de niveau

La fig. 3 donne la répartition hypsométrique du bassin.

Fig. 2

MAYO KERENG

PROFILS EN LONG

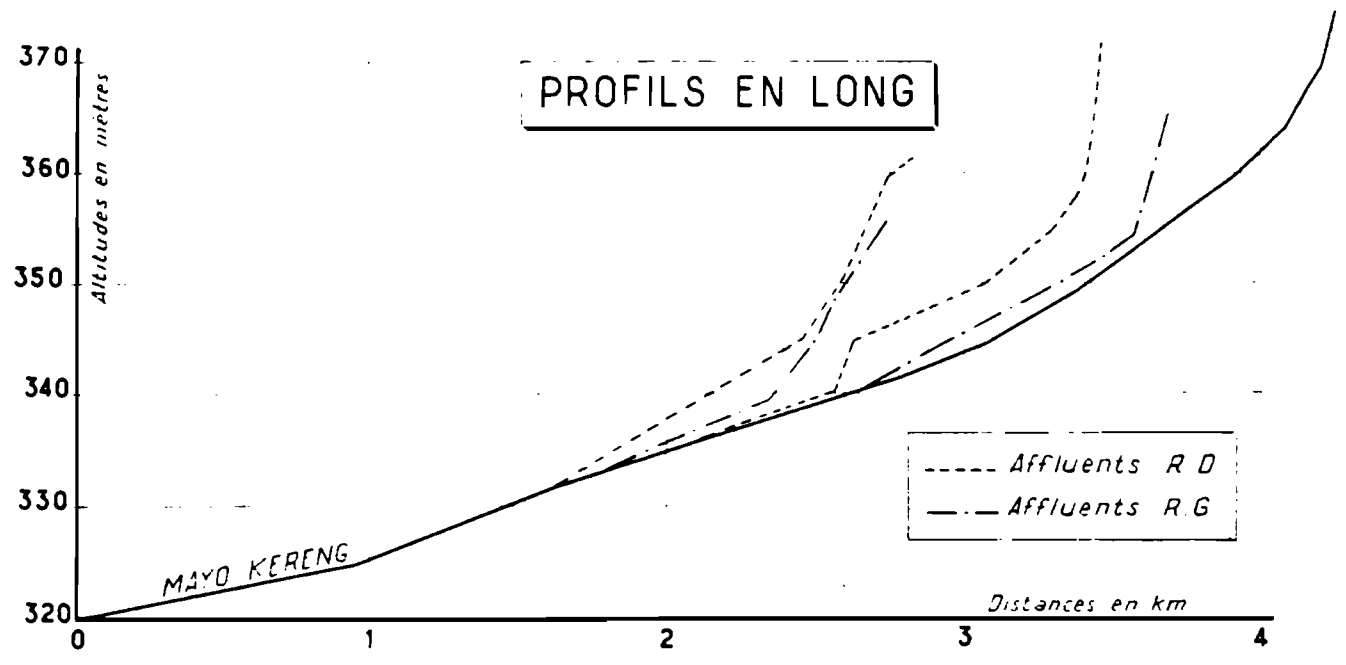
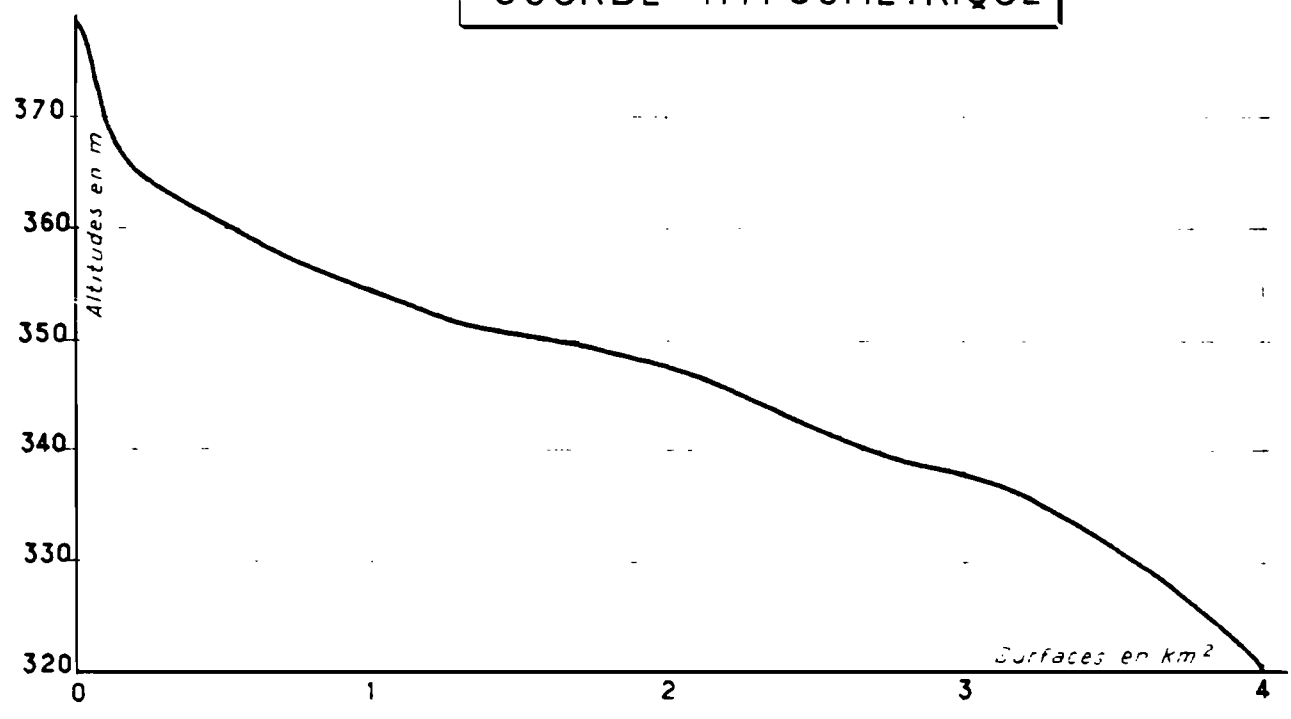


Fig. 3

COURBE HYPSONOMETRIQUE



CAM 6886

ELECTRICITÉ DE FRANCE . SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:	LE: SEPT 57	DES: GROTARD	VISA:	TUBE N°:	AO
-----	-------------	--------------	-------	----------	----

B) RESEAU HYDROGRAPHIQUE -

Le réseau est relativement simple. Il est constitué par une rivière principale et de nombreux ruisseaux secondaires d'importance comparable. Les petites ravines, d'ordre plus élevé, sont nettement marquées. Les gouttes de pluie parcourent quelques dizaines de mètres en général avant d'atteindre la ramification la plus proche du réseau hydrographique.

C) VEGETATION -

La masse arbustive couvre entièrement le bassin. Au début de la saison des pluies le sol dénudé est propice à un écoulement rapide des eaux de ruissellement. Au mois de Juillet les herbes commencent à se développer mais leur hauteur ne dépasse pas 30 cm. Les arbres sont déjà feuillus. La végétation arrive à son plein épanouissement en Septembre. Les herbes mesurent alors un bon mètre de haut; elles sont suffisamment serrées pour assurer une protection efficace contre les eaux de ruissellement. La consommation en eau des plantes est certainement importante à cette époque de l'année.

On trouve sur le bassin de nombreuses espèces d'épineux et de grands tamariniers à l'ombre épaisse le long du may. Des mesures de densité d'arbres ont donné les résultats suivants :

: Situation des : : mesures :	: Nombre d'arbres à l'hectare :			
	: Grands :	: Moyens :	: Arbustes :	: Total :
:	: > 7 m :	: 2 à 7 m :	: < 2 m :	:
: Pluviomètre 6 R.D.:	: 7 :	: 400 :	: 233 :	: 640 :
: Déversoir :	: 10 :	: 350 :	: 60 :	: 420 :
: Pluv. 4 et 5 :	: 20 :	: 400 :	: 280 :	: 700 :
: Pluviomètre 8 :	: 0 :	: 645 :	: 390 :	: 1.035 :
: Pluviomètre 9 :	: 0 :	: 550 :	: 400 :	: 950 :
: :	: :	: :	: :	: :

Les cultures sont faiblement représentées par quelques hectares d'arachides en rive gauche et de mil en rive droite au voisinage du village de KERENG.

D) APERCU GEOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE -

Le bassin versant du MAYO-KERENG se développe en totalité sur des schistes et des embréchites très apparents à l'état sain dans le lit du mayo. La rivière franchit ces roches dures par des cascades. La plus importante mesure 2 m de haut.

Les formations pédologiques sont relativement homogènes. Les sols sont sableux à argilo-sableux gravillonnaires et caillouteux avec des quartzites sur la majeure partie du bassin. Quelques plaines alluviales cultivées en bordure du mayo s'étendent à 2 ou 300 m de la berge. On trouve également de grands dépôts sableux apportés par les crues et inondés au cours des grosses tornades. On note au voisinage de la station une zone très argileuse analogue au "karal". Sur la limite Nord du bassin versant existent des sols plus ferrugineux que la moyenne, de couleur brun-rouge et très caillouteux.

Les sols ont une profondeur moyenne de 0,50 m environ. La tarière qui nous servait à prélever des échantillons rencontrait le rocher à des profondeurs allant jusqu'à 1 m.

Le laboratoire de pédologie de l'I.R.C.A.M. a analysé 45 échantillons.

La transcription des résultats sur un graphique triangulaire gradué en % de sable, d'argile et de limon, groupe les points expérimentaux dans les zones allant de sableux à argilo-sableux. Les deux points aberrants correspondent à des horizons d'altération de la roche-mère. (Voir les résultats en annexe :
- Annexe n° 1 : tableau des résultats d'analyse
- Annexe n° 2 : graphique triangulaire).

L'érosion est encore très active. On rencontre près du déversoir les témoins typiques d'une érosion en nappe avec, parfois, comme dans un lavaka miniature, un suintement au contact de la couche supérieure qui s'élimine et de la couche inférieure mise à nue.

E) CLIMATOLOGIE -

Au voisinage de la station principale, sur une pente bien exposée, nous avons installé en 1956 une station météorologique réduite.

Les résultats portent sur une période de 3 mois $\frac{1}{2}$ correspondant à la saison des pluies. Il est donc impossible de dégager soit des moyennes, soit des renseignements susceptibles d'extrapolation.

Ne disposant pas d'abri météo, nous avons placé les instruments sous un arbre au feuillage peu épais. A proximité nous avons enterré un bac d'évaporation en eau libre du type Colorado. Le plan d'eau affleure sensiblement le terrain naturel. Les broussailles, dégagées sur une grande surface, permettent le libre passage des vents sur le bac. Ainsi placé, le bac n'était pas soumis au micro-climat qui peut régner au voisinage immédiat du lit de la rivière.

Nous avons fixé au tronc de l'arbre un évaporomètre Piche, un psychromètre mural et un anémomètre.

Au cours des tornades, les observations hydrologiques prenaient le pas sur les observations météorologiques dont l'horaire des relevés n'a pas été toujours respecté.

1°) Températures :

Les observations ont été faites trois fois par jour, du 24 Juin au 7 Octobre. Du 24 Juin au 8 Juillet les températures ont été relevées toutes les heures de 7 h à 19 h. Il manquait à notre station météo un thermomètre enregistreur et un thermomètre à maxima et à minima.

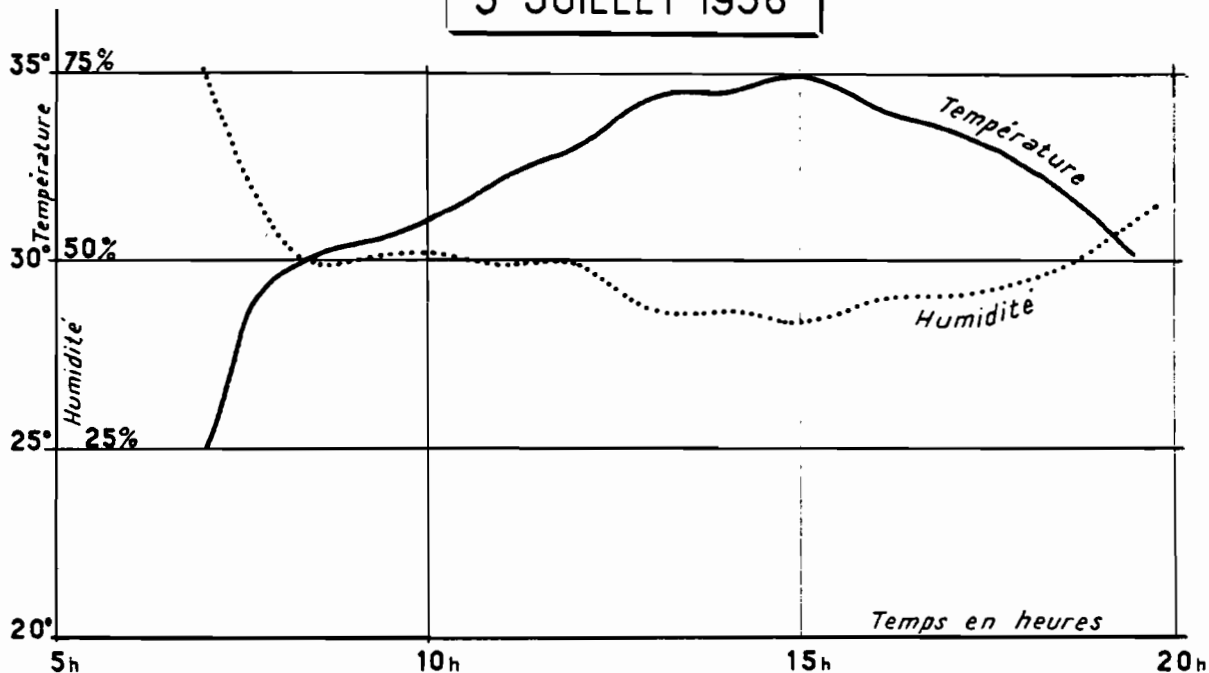
Nous donnons, ci-joint, les deux graphiques de température des 3 et 4 Juillet 1956 (fig. 4). Le 4 Juillet, nous avons observé une tornade de 8 mm. Soulignons le brutal effondrement de la température (10°) correspondant au passage du grain.

Les variations thermiques d'une journée sans pluie, le 3 Juillet par exemple, sont au contraire beaucoup plus lentes.

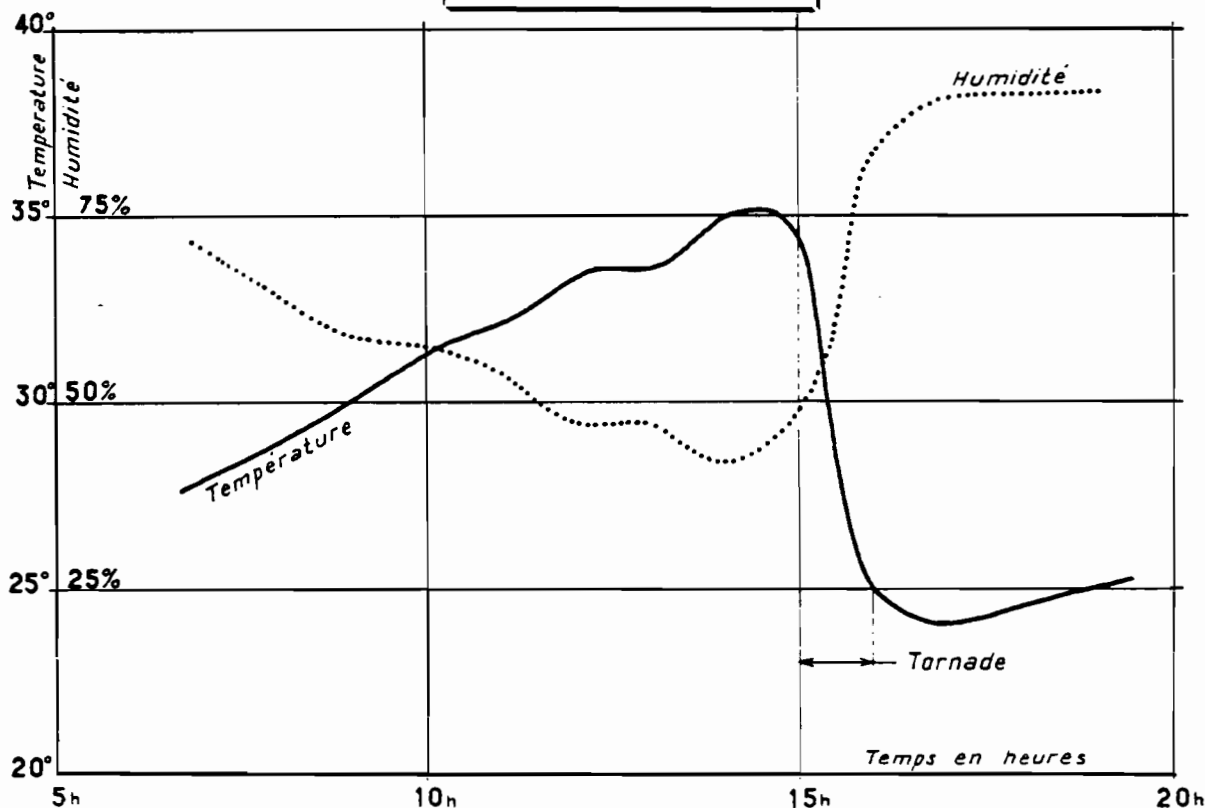
Fig. 4

MAYO KERENG

3 JUILLET 1956



4 JUILLET 1956



CAM 6887

ELECTRICITÉ DE FRANCE . SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: SEPT. 57

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

Pendant la période d'observation, la température maximum, 35°, a été enregistrée le 24 Juin et les 3 et 4 Juillet.

Le 24 Juin, de 18 à 20 h. une averse de 28 mm et le 4 Juillet une tornade très courte, mais très violente (8 mm en quelques minutes) se sont abattues sur la région. Les températures maxima ont précédé les averses et leur sont probablement liées.

Le diagramme des températures maxima est en dent de scie. Ces températures croissent régulièrement pendant les journées sèches, puis une tornade survient qui les ramène à des valeurs moins élevées. Si les jours suivants sont secs, les températures remontent aux alentours de 34-35° jusqu'à la prochaine tornade.

La courbe moyenne des maxima au cours de la saison des pluies s'infléchit en Juillet, Août et début Septembre, puis se redresse dès le début de la saison sèche. Les minima ont une variation analogue, mais d'amplitude moindre.

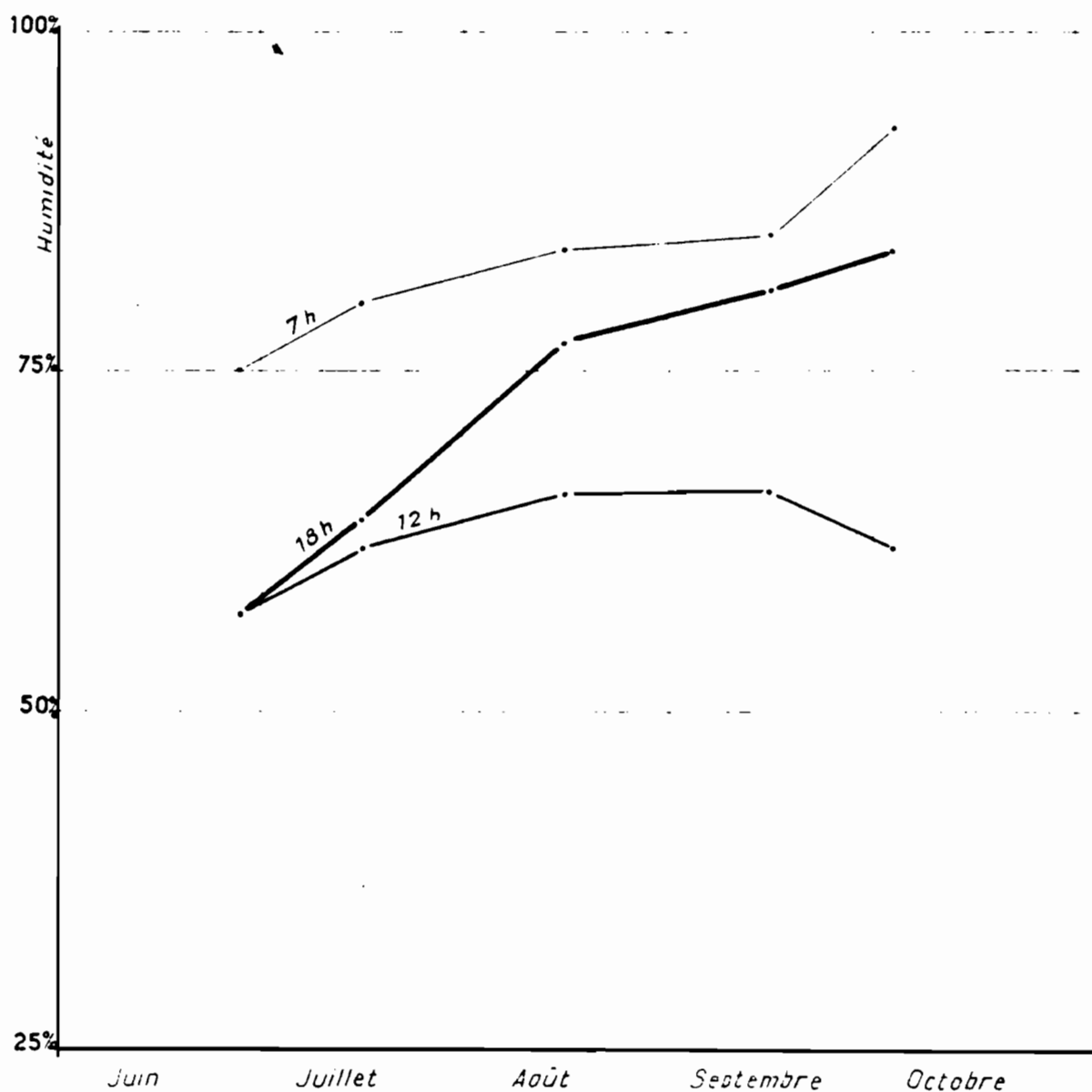
2°) Humidité :

Les variations de l'humidité relative sont à peu près inverses de celles de la température, comme l'indiquent les graphiques des journées des 3 et 4 Juillet (fig. 4). Le passage d'une averse entraîne un effondrement de la température et une augmentation importante de l'humidité relative. Si la tornade se prolonge, les deux thermomètres, sec et humide, indiquent la même température, l'humidité est de 100 %.

Les courbes des moyennes mensuelles à 7 h, 12 h et 18 h (fig. 5) rendent compte d'une augmentation importante de l'humidité relative de Juin à Septembre. Nous ne disposons que de 7 jours pour le mois d'Octobre. Cette moyenne, établie sur la première semaine, est très supérieure à la moyenne du mois d'Octobre. Entre le 1er et le 7 Octobre, nous avons observé quatre tornades. Il est probable que les 20 derniers jours du mois ont été complètement secs; en 1956, la saison sèche a été particulièrement précoce dans tout le CAMEROUN.

MAYO KERENG

HUMIDITÉ RELATIVE
Moyennes mensuelles



CAM 6888

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: SEPT 57

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

3°) Vents :

Les vitesses ont été relevées à 7 h, 12 h et 18 h en même temps que les autres caractéristiques météorologiques. Il serait beaucoup plus intéressant d'avoir un anémomètre totalisateur. Les vitesses élevées ne se rencontrent qu'au début ou au cours d'une tornade.

Les vitesses, en dehors des tornades, varient de 0,50 à 2 m/sec. Elles ne se renforcent qu'à l'approche des grains - 10 m/sec est alors une vitesse fréquente. Nous avons essuyé de nuit, au mois de Septembre, une tornade accompagnée d'un vent très violent. Le toit d'une case européenne a été emporté par une rafale. Il est probable que le vent atteignait une vitesse de 100 km/h, soit 28 m/sec environ.

4°) Evaporation :

Les moyennes mensuelles, calculées d'après les résultats des mesures sur le bac Colorado et l'évaporomètre Piche, sont données dans le tableau n° 1 :

	Bac Colorado		Evaporomètre Piche	
	H mm	Moyenne : : journ.:	H mm	Moyenne : : journ.:
Juillet	92,7	3,0	132,7	4,28
Août	92,5	3,0	93,5	3,02
Septembre	80,8	2,7	74,2	2,40
1er au 6 Oct. :	14,3	2,4	12,6	2,1

Les erreurs introduites par les pluies sur les hauteurs évaporées mesurées dans le bac Colorado ont été corrigées très simplement.

Les mesures se faisaient deux fois par jour : si la hauteur correspondant à la pluie dans le pluviomètre laissait un chiffre positif pour l'évaporation, ce chiffre était pris en compte. Si l'évaporation était

négative, on abandonnait le résultat et on ne considérait que celui déduit des mesures de la deuxième demi-journée. La correction est facile pour les faibles tornades, mais perd toute signification pour les tornades les plus importantes.

La bonne concordance entre les hauteurs ainsi corrigées et celles fournies par l'évaporomètre Piche est une coïncidence puisque, en général, les résultats obtenus sur bac à l'air libre sont bien inférieurs. Néanmoins, on peut remarquer que l'installation peu orthodoxe (appareils fixés sur un arbre) soumet l'évaporomètre Piche aux mêmes conditions climatiques que le bac, à l'insolation près.

Les premiers jours du mois d'Octobre accusent une évaporation très faible. On peut rapprocher ces chiffres des mesures d'humidité. Les quatre tornades qui se sont produites et l'état nébuleux de l'atmosphère durant ces quelques jours, ont fortement diminué le pouvoir évaporant de l'air.

5°) Pluies :

a) Méthode :

La pluviométrie sur le bassin a été mesurée à l'aide de :

- 11 pluviomètres Association
- 2 pluviomètres enregistreurs à augets basculeurs
- 2 pluviomètres à lecture directe.

Les pluviomètres à lecture directe étaient installés, l'un au voisinage de la station principale, l'autre à quelques mètres du déversoir contrôlant le MAYO "B". Ces derniers appareils sont réalisés de la façon suivante : la partie supérieure d'un pluviomètre Association repose sur un cadre en bois et débite directement dans une éprouvette de mesure. Un observateur lit la hauteur de l'eau dans l'éprouvette toutes les minutes ou toutes les 2 minutes. On obtient ainsi des enregistrements d'une grande précision.

Les pluviomètres à augets basculeurs étaient situés en A et B (voir fig. 1) et les pluviomètres simples en P1, P2, P3 ... P11.

Les appareils enregistreurs étaient relevés tous les matins. Les hauteurs totales précipitées dans les pluviomètres simples étaient mesurées après chaque tornade.

Certaines tornades : 17-18-5, 22-23-5, 15-16-6, 31-32-6, ont été relevées deux à deux. Elles étaient, en général, séparées par des temps trop faibles pour permettre d'effectuer la tournée des pluviomètres (3 h de marche) avant le début de la seconde averse. Pour les 17 et 18-5 la première s'est terminée à 17 h30, c'est-à-dire presque à la nuit et la seconde a commencé à 23 h07. La tournée des pluviomètres avait été remise au lendemain matin.

Les résultats restent exploitables car les enregistrements en A, B, déversoir et station, permettent une répartition correcte des volumes précipités.

b) Régime des pluies :

Le climat tropical Nord détermine le régime pluviométrique suivant :

- de Novembre à Avril : saison sèche
- de Mai à Octobre : saison des pluies

Les pluies du mois de Mai, quelques dizaines de mm en moyenne, entraînent des crues peu violentes. Le mois d'Août présente le total pluviométrique mensuel le plus élevé. Il est curieux de constater que le mois d'Août ne subit pas obligatoirement un nombre de tornades supérieur aux mois adjacents.

	1 9 5 5			1 9 5 6		
	Juil.:	Août :	Sept.:	Juil.:	Août :	Sept.:
Nombre de tornades	12	17	10	14	12	10
H mens. mm	184,4	212,1	189,4	188,3	277,6	228,7
Total de 3 mois mm	585,9			694,6		

Les tornades du mois d'Août ont une hauteur moyenne plus importante que celles des mois de Juillet et de Septembre.

Le total pluviométrique^{annuel}/n'a pas été mesuré puisque nous ne sommes restés que quatre mois sur le terrain. On peut établir un parallèle entre KERENG et la station de GUIDER.

La moyenne sur 20 ans à GUIDER est de 899 mm (1934-1953).

Les variations interannuelles sont importantes :

- maximum en 1951 : 1.156,5 mm
- minimum en 1946 : 682,6 mm

Les moyennes mensuelles dans la région sont les suivantes :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
GUIDER (1)	0,8	4,6	22,9	116,0	123,9	184,0	237,4	156,4	71,6	4,0	0,0	0,0	921,6
GAROUA (2)	0,5	5,4	35,8	119,3	149,6	176,4	208,9	210,3	73,9	1,3	0,3	0,3	981,4
MAROUA (3)	0,1	1,8	8,2	89,6	95,6	180,8	248,2	159,8	32,1	0,0	0,0	0,0	816,4
GUIDER 1955	0,0	0,0	8,6	39,2	214,2	149,0	345,6	223,6	73,0	0,0	0,0	0,0	1053,2
GUIDER 1956	4,2	2,9	33,2	47,0	113,5	270,3	292,2	270,7	29,2	1,0	0,0	0,0	1064,2

On peut admettre que la hauteur de précipitation annuelle sur le bassin est de 800 mm en moyenne.

- (1) période de 22 à 24 ans suivant les mois
 (2) " de 34 à 37 ans " " "
 (3) " de 8 ans.

La fréquence des tornades observées à KERENG varie suivant les heures de la journée. D'après les moyennes établies sur deux années d'observation, on constate que 60 % des averses tombent entre 12 h et 24 h et 40 % entre 0 h et 12 h.

La répartition, avec des intervalles de 6 h, est la suivante :

- de 6 h à 12 h	18 %
- de 12 h à 18 h	31 %
- de 18 h à 24 h	29 %
- de 24 h à 6 h	22 %

Il serait intéressant, avec un plus grand nombre de tornades, de réduire les intervalles à 2 h, mais la répartition que nous donnons est déjà significative. Il serait toutefois utile de savoir comment se groupent les tornades dans les intervalles 12h - 18h et 24h - 6h. En effet, si les tornades sont plus fréquentes vers 18 h et 24 h, les horaires admis 6h - 14h sur les chantiers sont bien choisis. Si, au contraire, les pluies sont relativement plus nombreuses vers 6 h du matin, il y aurait intérêt à commencer la journée un peu plus tard pour laisser sécher le terrain.

Sur le chantier de la route GAROUA-MAROUA, les prévisions d'avancement des travaux ont subi parfois des retards dus à des averses tombant immédiatement avant le début de la journée de travail.

c) Physionomie des averses :

Les averses se présentent, en général, de la façon suivante :

Les premières gouttes succèdent à un vent violent, souvent supérieur à 15 m/sec. Dès les premières minutes l'intensité de la pluie croît très vite et corrélativement le vent se calme. Puis, l'intensité diminue et les dernières gouttes d'eau tombent dans une atmosphère apaisée. Il y a parfois des redoublements d'intensité après un calme relatif. Si la tornade passe loin du lieu d'observation, on ne subit qu'une pluie fine qui peut durer plusieurs heures.

d) Fréquence des hauteurs de pluie :

Nous avons classé dans le tableau ci-dessous les pluies par hauteurs croissantes de 10 mm en 10 mm :

	J	A	S	
Nombre de jours de pluie	12	17	10	39
1955				
0 - 10 mm	8	10	4	
10 - 20	1	2	0	
20 - 30	2	4	3	
30 - 40	0	1	2	
40 - 50	0		1	
50 - 60	0			
60 - 70	0			
70 - 80	0			
80 - 90	0			
90 - 100	1			
Nombre de jours de pluie	14	12	10	36
1956				
0 - 10 mm	8	6	4	
10 - 20	3	2	2	
20 - 30	1	0	1	
30 - 40	1	2	1	
40 - 50	0	0	1	
50 - 60	1	0	0	
60 - 70		0	0	
70 - 80		1	0	
80 - 90		1	1	
90 - 100				

On constate que les averses les plus violentes peuvent survenir indistinctement en Juillet, Août ou

Septembre. Le mois le plus arrosé ne possède pas le monopole des tornades les plus violentes.

Les faibles tornades, de 0 à 10 mm, sont de loin les plus nombreuses, 22 sur 39 en 1955 et 18 sur 36 en 1956.

Ceci ne veut pas dire qu'il y a de nombreuses petites pluies en climat tropical Nord. Le lieu d'observation se trouve simplement dans ce cas en bordure de tornade et n'est soumis qu'à une "queue" de tornade.

De FIGUIL à KERENG il n'y a que 9 km et nous avons observé à plusieurs reprises des pluies importantes à FIGUIL alors que les pluviomètres de KERENG n'indiquaient que des traces. Cet inconvénient majeur nous a poussés à nous installer directement sur le bord du MAYO-KERENG.

Trois pluies en deux ans ont dépassé 80 mm sur un pluviomètre :

- le 28/7/55,	maximum sur le bassin	....	96,4 mm
- le 14/8/56,	" " " "	....	100,5 mm
- le 9/9/56,	" " " "	....	86,0 mm

Le Service Météorologique signale quatre pluies en 33 ans supérieures à 90 mm. Cette fréquence semble trop faible compte-tenu de nos observations.

e) Irrégularité sur le bassin (pour une averse donnée) :

On définit un coefficient d'irrégularité :

$$K_i = \frac{H \text{ max}}{H \text{ min}}$$

rapport de la hauteur de pluie maximum à la hauteur minimum mesurées. Ce coefficient rend compte de la dispersion. Dans le cas présent il varie de l'infini à 1,1.

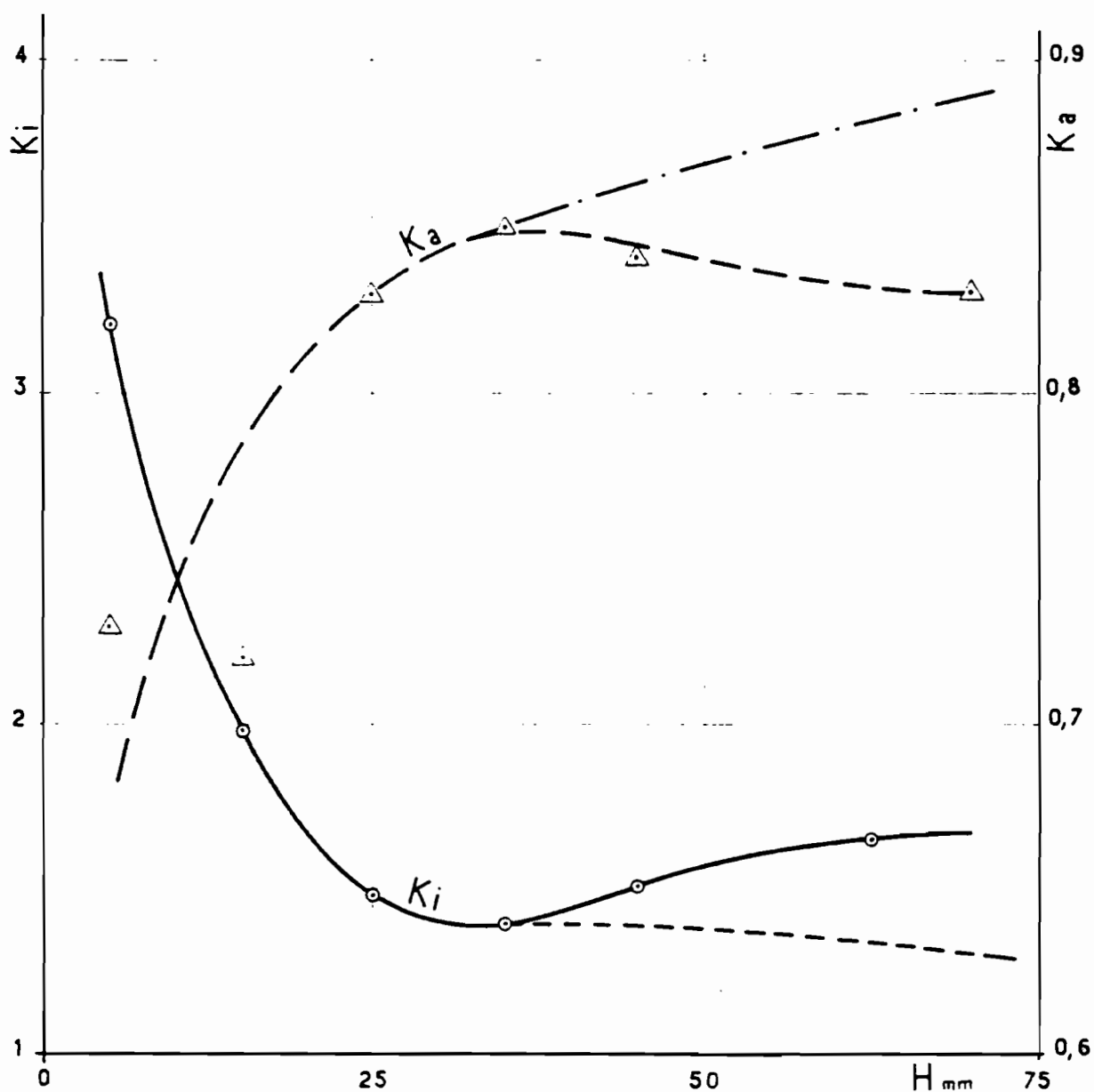
(Voir le tableau général des résultats, annexe n° 3).

Si nous reprenons le classement des averses de 0 à 10 mm, puis de 10 à 20 mm, etc... et établissons pour chaque catégorie la moyenne des coefficients K_i , nous pouvons tracer une courbe régulière (fig. 6) qui nécessite une réserve importante. Les quatre premiers points indiquent une décroissance régulière du coefficient K_i . Les deux points suivants indiquent une remontée très

Fig. 6

MAYO KERENG

VARIATION DES COEFFICIENTS D'IRRÉGULARITÉ ET D'ABATTEMENT
 AVEC LA HAUTEUR PLUVIOMÉTRIQUE



CAM 6889

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: SEPT 57

DES: GROTTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

discutable de la courbe.

En effet, les deux derniers points sont déduits des résultats de neuf tornades, alors que les quatre premiers points sont calculés sur 67 averses. La remontée de la courbe est donc due à un échantillonnage imparfait. La courbe doit suivre à peu près le tracé pointillé.

Physiquement le coefficient K_i sert à caractériser l'homogénéité d'une tornade et dépend surtout de la trajectoire des tornades par rapport au bassin versant.

Soulignons les valeurs élevées que prend K_i sur un bassin de si faible étendue. Ce coefficient met en relief la complexité du calcul du volume d'une averse sur un bassin de grande étendue.

Néanmoins, le coefficient K_i prend rapidement une valeur inférieure à 2 et les tornades qui ruissellent présentent en moyenne des coefficients K_i inférieurs à 1,7.

L'irrégularité sur les totaux mensuels atteint 1,5 au maximum.

f) Coefficient d'abattement :

L'abattement $K_a = \frac{H_{\text{MOY}}}{H_{\text{MAX}}}$ est intéressant à connaître. Ce coefficient statistique permet de calculer, sur une aire donnée, la hauteur moyenne la plus probable d'une précipitation connaissant la hauteur maximum.

La courbe moyenne doit servir de guide pour tracer la courbe enveloppe des points expérimentaux.

La prudence nous pousse à ne prendre en compte que l'enveloppe des coefficients K_a les plus élevés. C'est plus sage pour le calcul d'une tornade dont il faudra chercher la crue résultante.

Nous avons obtenu 0,97 comme valeur maximum. Il semble qu'on puisse adopter 0,90 comme valeur optimum pour les extrapolations.

g) Calcul de la hauteur moyenne précipitée sur le bassin :

Le grand nombre de pluviomètres répartis sur le bassin et l'homogénéité suffisante des tornades permettent de simplifier le calcul de la hauteur moyenne en adoptant la moyenne arithmétique des hauteurs pluviométriques. Une méthode de pondération conduirait à des résultats voisins.

Nous avons tracé les isohyètes pour les tornades qui correspondent aux coefficients K_i et K_a les plus éloignés des valeurs moyennes.

h) Composition des hiéto grammes :

Le problème est le suivant :

Etant donné les enregistrements dans le temps des hauteurs d'eau précipitées en différents points d'un bassin versant, comment les composera-t-on pour obtenir un enregistrement moyen rendant compte au mieux du phénomène sur l'ensemble du bassin ?

Il faut d'abord considérer les différences qu'il peut y avoir entre les diagrammes A et B correspondant à une même averse enregistrée aux pluviomètres A et B.

Ces différences peuvent porter sur :

- 1°) le total précipité,
- 2°) les heures auxquelles se sont produites les variations d'intensité,
- 3°) les intensités enregistrées.

Généralement, les enregistrements ont la même allure et après dépouillements séparés on se rend compte que les intensités ne sont pas égales, mais voisines, la répartition horaire du phénomène n'est pas exactement la même et les totaux précipités sont légèrement différents.

Le problème est donc de calculer un hiéto gramme unique applicable à tout le bassin versant.

Nous avons admis une composition arithmétique critiquable en théorie, mais qui donne des résultats corrects, les hiéto grammes étant généralement voisins. C'est la méthode de composition la plus simple.

L'erreur due à ce mode de calcul est fonction de la différence des intensités et surtout des écarts entre les heures correspondant à la même pointe d'intensité.

Si les hiéto grammes sont voisins, l'erreur est faible et on rétablit les intensités de façon telle que le volume précipité moyen et le volume déduit du hiéto gramme calculé soient les mêmes.

Une autre méthode consiste à construire un diagramme des intensités classées à partir des enregistrements. Chaque intensité a pour abscisse sa durée propre multipliée par le coefficient de pondération attaché au pluviomètre.

Sur le bassin du MAYO-KERENG, nous disposions de deux pluviomètres enregistreurs à augets basculeurs avec rotation du tambour en 24 h. L'un, installé au point A, rend compte de ce qui se passe sur la partie amont du bassin, l'autre au point B, caractérise l'aval du bassin.

Au voisinage de la station principale - en S - un pluviomètre à lecture continue était relevé toutes les minutes ou toutes les 2 minutes pendant les averses; il en était de même en D à côté du déversoir contrôlant le mayo "B".

Les pluviomètres D et B nous ont aidés dans l'étude de la pluviométrie sur le petit bassin du MAYO "B" et ont été composés pour obtenir un seul enregistrement appelé M1. Nous avons ensuite caractérisé l'aval du bassin en composant les enregistrements M1 et S.

Nous avons alors un schéma rendant compte des phénomènes pluviométriques dans la partie aval du bassin versant principal, diagramme M2. Ce diagramme était ensuite composé à égalité avec celui du pluviomètre A. Le diagramme résultant a été considéré comme le diagramme moyen applicable à la totalité du bassin versant.

i) Recherche d'une relation intensité-durée :

Il serait utile de déterminer un réseau précis de courbes intensité-durée correspondant chacune à une fréquence déterminée. Le problème nécessiterait de très longues observations que l'on ne possède pas, mais les résultats obtenus en deux ans valent la peine d'être exposés.

Pour chaque tornade isolée, nous avons mesuré :

- 1°) les temps pendant lesquels les intensités n'ont pas changé,
- 2°) les intensités partielles dans chaque intervalle,
- 3°) nous avons ensuite recherché dans chaque tornade et pour des temps croissants les hauteurs maxima précipitées à partir du maximum d'intensité.

Dans l'exemple ci-dessous on a obtenu 107,0 mm/h pendant 14 minutes. C'est le point d'intensité maximum pour la tornade. On constate, d'autre part, que 54 mm sont tombés en 33 minutes, soit : $I = 98,3$ mm/h, on a donc le maximum correspondant, pour cette tornade, à 33 minutes et ainsi de suite :

t mn	h mm	I mm/h	t mn	H mm
partiels	partiels	partiels	cumulés	cumulés
0	0		0	0
19	29	91,6	19	29
14	25	<u>107,0</u>	33	54
23	19	49,6	56	73
36	13	21,7	92	86
73	5	4,1	165	91
32	0,5	0,94	197	91,5
53	0	0	250	91,5

Soulignons qu'il ne faut pas modifier le tracé du hiétoگرامme, c'est-à-dire l'ordre chronologique des intensités, en particulier il ne faut pas les classer, il convient de chercher sur le diagramme la hauteur maximum effectivement précipitée pendant un temps donné et sans interruption.

Les points ont été reportés sur le graphique ci-joint (fig. 7).

On constate que la courbe "10", tornade 12-5 du 28 Juillet 1955, est nettement au-dessus des autres tornades à partir de 25 minutes. La courbe enveloppe a été construite à l'aide de cette courbe "10" et de deux autres points correspondant à des temps plus courts.

Nous ne possédons aucun renseignement sur la fréquence de la tornade du 28 Juillet 1955. Il semble que l'on soit pessimiste en disant que cette tornade se produit une fois tous les deux ans. On suppose également que la courbe en pointillé caractérise les averses de fréquence annuelle.

Les écarts d'intensité entre les deux courbes nous semblent importants pour une variation de fréquence de 1 à 2 ans. Il est probable que la courbe "10" est d'une fréquence inférieure à $\frac{1}{2}$ et peut-être de l'ordre de $\frac{1}{5}$, c'est-à-dire quinquennale.

Le Service Météorologique du Cameroun nous a communiqué la courbe des intensités-durées pour GAROUA, déduite d'observations précises effectuées de 1947 à 1956.

La courbe reportée sur le graphique fig. 7 est proche de notre tornade la plus violente pour les durées dépassant 80 minutes. Pour des durées plus faibles, les intensités mesurées à KERENG sont plus importantes que celles fournies par le Service Météorologique.

Nous voyons, toutefois, que la courbe enveloppe tracée est très proche de la courbe décennale de GAROUA.

La tornade la plus violente observée à FORT-LAMY, 135 mm en 2 h en Août 1950, se situe sur notre graphique très en dehors de la courbe réputée décennale. La fréquence duodécennale qui lui est généralement appliquée semble donc convenable.

MAYO KERENG
 COURBES INTENSITÉ - DURÉE

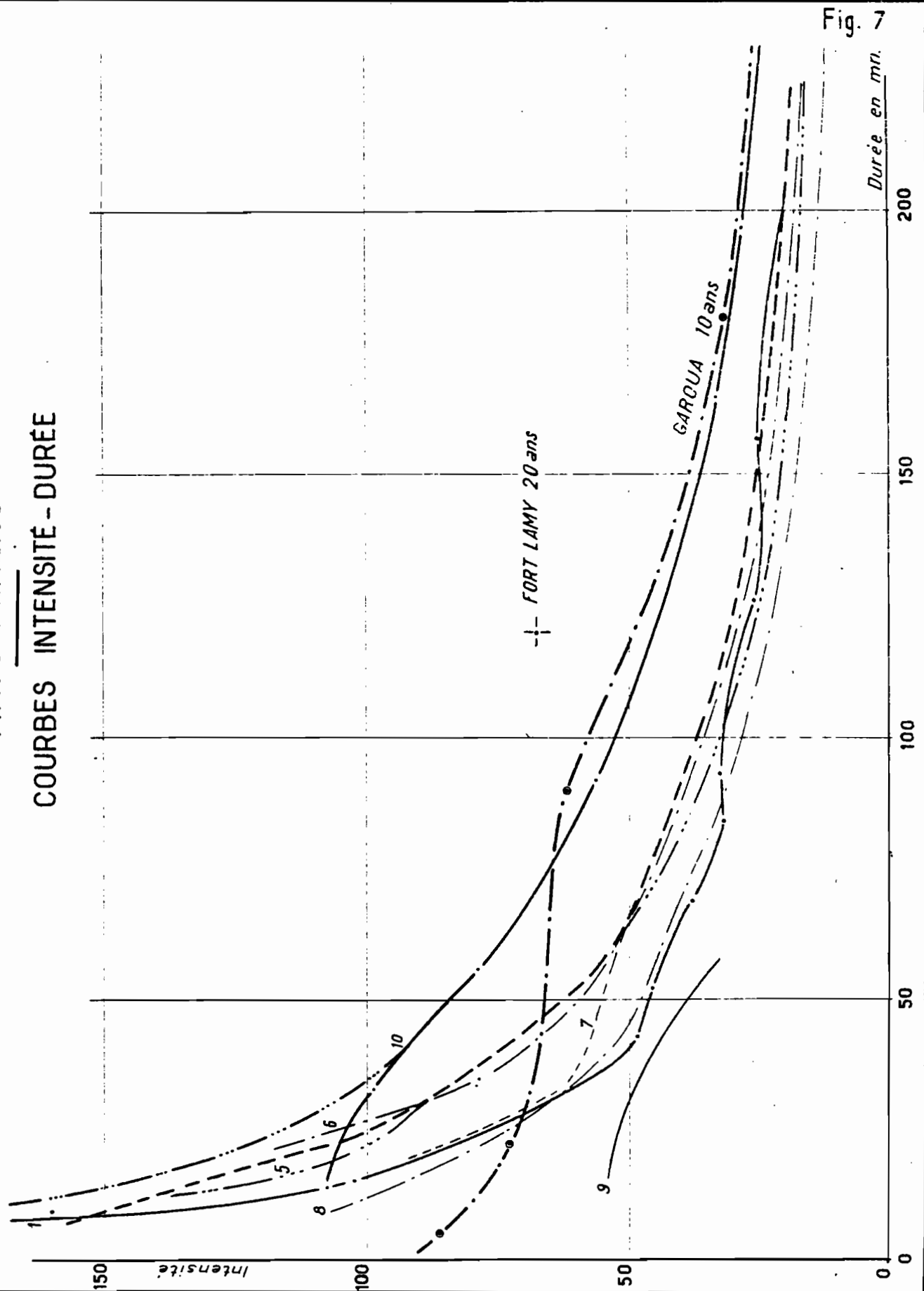


Fig. 7

CAM 6890

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: SEPT. 57

DES: GROTTARD

VISA:

TUBE N°:

AC

C H A P I T R E III

HYDROLOGIE DU BASSIN

A) HAUTEURS D'EAU -

Dès notre arrivée à KERENG, en 1955, nous avons installé une échelle limnimétrique à l'emplacement choisi pour les mesures de débit. Elle était composée de trois éléments de 0,0 à 0,50 m, de 0,50 à 1,00 m et de 1,00 à 2,00 m. Les éléments montés sur pieux en bois en 1955 ont été fixés sur des profilés de fer en 1956. Le calage est resté le même.

En Juillet 1955, nous ne disposions pas d'appareils enregistreurs. Les observations étaient faites toutes les 2 minutes, soit par l'hydrologue pendant les jaugeages, soit par un auxiliaire africain en dehors des mesures, c'est-à-dire pratiquement pendant la fin de la décrue.

En 1956, nous avons installé un limnigraphe Richard à tambour vertical effectuant une révolution en 24 h. Le rapport était de $1/15^\circ$. Le mur support de l'appareil et la tranchée de communication entre la rivière et le puits du limnigraphe avaient été préparés en 1955.

Cet appareil a donné toute satisfaction pendant la durée des observations. La courbe de décrue était toutefois faussée par un apport important de sable dans la tranchée. Cet inconvénient a été éliminé après couverture de la tranchée. Les relevés limnimétriques de contrôle ont été poursuivis en 1956, en particulier pendant les jaugeages.

B) MESURES DE DEBITS -

Les difficultés principales étaient les suivantes :

- 1°) affouillements de la section de mesure,
- 2°) rapidité de l'évolution des crues.

Pour supprimer les affouillements, nous avons construit deux murs de 0,80 m de haut, enterrés dans le lit à 6 m l'un de l'autre, de telle façon que le sommet de ces murs soit à la cote moyenne du terrain naturel. Nous avons de cette façon une section stable et bien calibrée.

L'expérience a montré qu'un léger affouillement se produisait en rive droite. Nous l'avons supprimé en bétonnant sommairement la moitié rive droite du lit, entre les deux seuils précédemment décrits. Après deux saisons des pluies, aucune réparation n'était à faire.

En supprimant les affouillements dans la section de mesure, nous avons assuré la fidélité de la station.

Le problème des mesures était beaucoup plus délicat à résoudre. Les variations du plan d'eau ont atteint 20 cm à la minute en période de crue. Des jaugeages complets sont impossibles dans ces conditions.

La mesure du débit par mesure de la charge sur un déversoir aurait été très simple et suffisamment précise, mais il aurait fallu une installation pouvant évacuer 50 m³/sec!

Les dimensions de l'ouvrage étaient incompatibles avec les crédits dont nous disposions. Nous aurions eu d'autres difficultés à surmonter, en particulier l'engravement à l'amont du déversoir comme nous le verrons dans l'étude du ruissellement sur le MAYO "B", affluent du MAYO-KERENG.

Nous avons donc utilisé la méthode désormais classique des jaugeages continus où, pour chaque verticale de mesure, on note la cote. L'opérateur effectue des mesures sans arrêt de la rive gauche vers la rive droite, puis de la rive droite vers la rive gauche pendant plusieurs heures, à chaque tornade. Au bout d'une ou deux

campagnes on reporte toutes les verticales mesurées comprises entre deux hauteurs, par exemple 1,20 m et 1,25 m, et si les mesures sont assez nombreuses dans tout le profil on peut reconstituer un jaugeage valable pour l'intervalle. De proche en proche, on en déduit une courbe de tarage de la station (fig. 8).

La courbe de tarage établie en 1955 a été perturbée en 1956 par la démolition d'un dallot en aval de la station et la construction d'un radier 200 m plus loin.

On est conduit à une courbe plus tendue donnant à cote égale des débits plus élevés.

Une imprécision subsiste néanmoins lors de la transformation des hauteurs d'eau en débits. Le MAYO-KERENG est un mayo intermittent et son écoulement se réduit à quelques litres seconde 24 h après une tornade. L'averse suivante donne naissance à une vague qui déferle dans la section, faisant passer la cote de 0 à plusieurs décimètres en quelques secondes. On est donc en présence, au début de la crue, d'un écoulement transitoire pour lequel la courbe de tarage ne peut s'appliquer. La vitesse moyenne du courant varie en sens inverse de la cote pendant quelques minutes, jusqu'à l'établissement d'une certaine retenue aval. La courbe de tarage donne des débits sous-estimés pendant cette période. L'erreur par défaut sur le volume écoulé est insignifiante étant donné la durée très courte de ce phénomène.

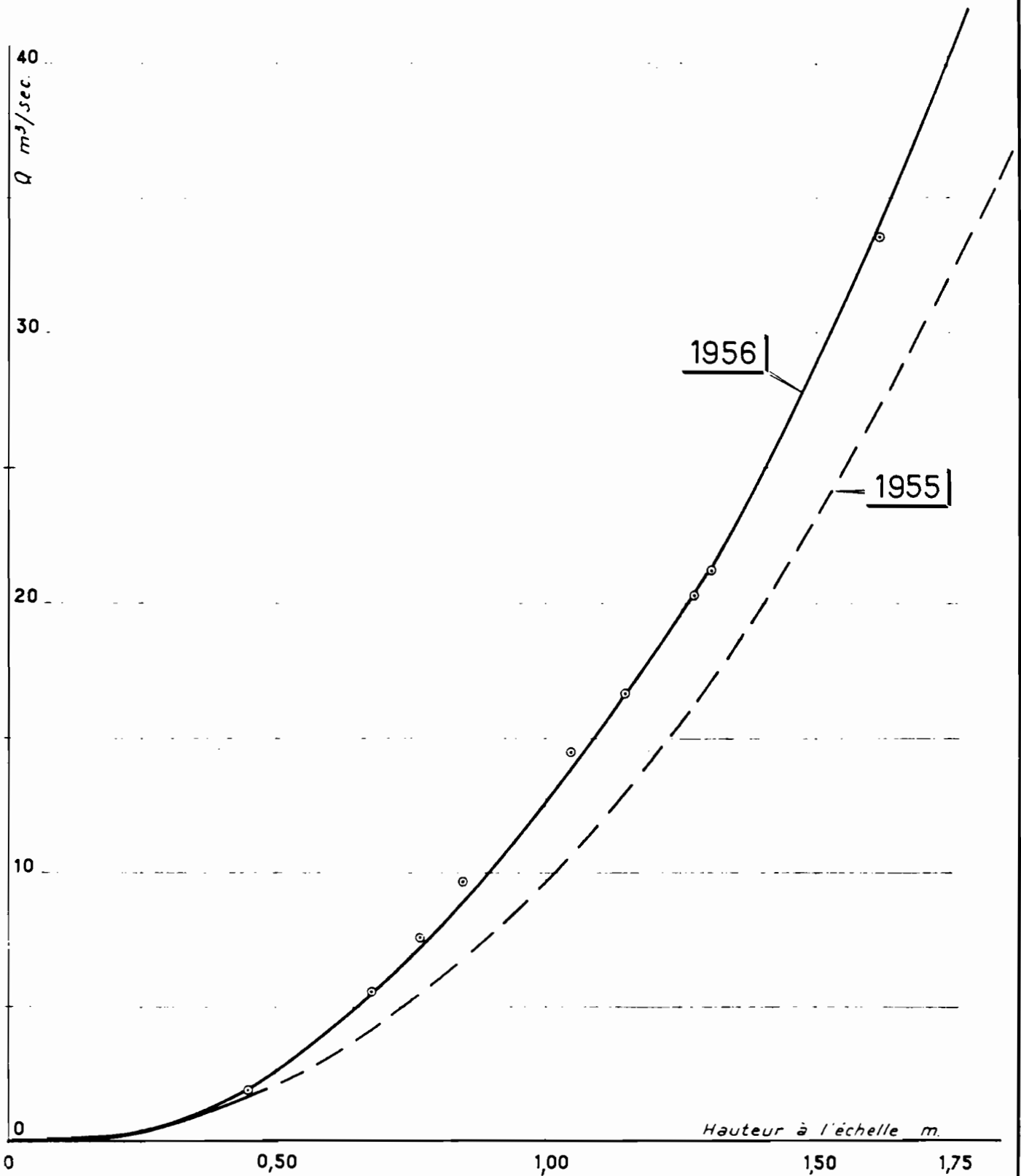
C) REGIME HYDROLOGIQUE -

Le régime hydrologique du MAYO-KERENG est typique des petits bassins en régime tropical Nord.

La courbe des débits suit celles des variations de la pluviométrie. Chaque averse notable détermine une crue d'autant plus violente que l'averse est plus intense. Le lit est à sec entre deux tornades jusqu'au mois de Juillet. L'écoulement devient permanent en Août et le reste jusqu'au mois d'Octobre, à quelques semaines près selon les années. Le sous-écoulement semble subsister toute l'année, mais avec des débits insuffisants pour alimenter un village de 20 ou 30 âmes. Les crues atteignent annuellement 12 m³/s au km² et peuvent dépasser légèrement 15 m³/s x km² tous les dix ans.

MAYO KERENG

COURBES DE TARAGE A KERENG



CAM 6891

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED: LE: SEPT 57 DES: GROTARD VISA: TUBE N°: AO

Le module a peu d'intérêt dans le cas présent. Nous ne pouvons l'établir avec précision puisque nous ignorons les tornades de Juin.

Les transports solides font l'objet de la troisième partie de ce rapport.

D) ETUDE DES CRUES -

1°) Exposé de la méthode :

Nous utiliserons dans ce qui va suivre la méthode des "Unit Hydrographs" élaborée par SHERMAN, puis retouchée successivement par de nombreux auteurs.

Le but recherché est de déterminer la crue et, en particulier le débit maximum, causé par une forte averse d'une fréquence donnée. L'application de la méthode au calcul des ouvrages d'art apparaît immédiatement.

En reprenant les termes de l'auteur, un hydrogramme unitaire est un diagramme de ruissellement dû à une pluie "suffisante" tombant dans une unité de temps sur le bassin considéré.

Un diagramme de ruissellement est un diagramme d'écoulement dont on a soustrait les débits souterrains. On distingue dans les débits souterrains, d'une part les débits provenant des nappes profondes et, d'autre part les débits hypodermiques, c'est-à-dire les eaux s'écoulant dans le feutrage végétal et les premiers centimètres du sol. Les débits hypodermiques "répondent" beaucoup plus rapidement à une averse que les eaux provenant des nappes profondes.

Les propriétés des hydrogrammes unitaires sont les suivantes :

- a) la durée du ruissellement est sensiblement constante quand l'intensité de la pluie unitaire varie,
- b) les ordonnées homologues de deux hydrogrammes unitaires correspondant à deux pluies unitaires d'intensités différentes sont dans le rapport des volumes ruisselés,

- c) le diagramme de ruissellement unitaire dont les ordonnées sont rapportées au volume ruisselé (somme des ordonnées : 100 %), est le même, quelles que soient les intensités des averses,
- d) l'hydrogramme dû à une averse complexe, non unitaire et d'une durée égale à n unité de temps, sera déduit de la somme de n hydrogrammes unitaires convenablement décalés dans le temps.

L'unité de temps de la définition ci-dessus dépend essentiellement des caractéristiques du bassin.

Pour rassembler les éléments nécessaires à l'application de la méthode, la première opération consiste à choisir cette unité de temps,

SHERMAN conseille de prendre au maximum le quart du temps de concentration, le temps de concentration étant la durée qui sépare le début de la pluie efficace du début de la crue. Nous obtenons dans le cas présent 8 à 10 minutes.

Certains auteurs adoptent une durée inférieure au temps de montée de la crue. Nous serions conduits à une valeur inférieure à 7 minutes.

Nous avons préféré la définition plus souple de BRATER et WISLEY : une tornade peut être considérée comme unitaire lorsqu'une tornade plus courte ne détermine pas une durée de ruissellement inférieure. Les tornades d'une durée de 7 minutes donnent les meilleurs résultats. Nous adopterons donc 7 minutes comme durée unitaire.

2°) Présentation des résultats :

Pour la commodité des calculs, nous avons présenté les résultats dans un tableau général (annexe n° 4),

La colonne (3) donne l'intervalle de temps qui sépare la tornade étudiée de l'averse qui la précède. L'état de saturation du sol est ainsi quelque peu précisé. Il dépend évidemment de la hauteur et de l'intensité de cette pluie antérieure.

Les colonnes (4) (5) (6) caractérisent la pluie dans l'espace; ce sont respectivement les hauteurs moyennes, maxima et minima déduites des observations sur les quinze pluviomètres.

Colonne (7) : résultat du produit H moy \times Surface, c'est-à-dire le volume total précipité.

Colonne (8) : durée totale de l'averse, y compris les périodes à faibles intensités.

Colonne (9) : durée de la pluie efficace.

On appelle pluie efficace une pluie qui donne lieu à un ruissellement.

Colonne (10) : volume de la pluie efficace.

Colonne (11) : intensité efficace, c'est-à-dire le volume efficace divisé par la surface du bassin versant, et la durée de la pluie efficace.

Colonne (12) : "lag", c'est-à-dire le temps correspondant à l'intervalle compris entre l'abscisse du centre de gravité d'une pluie efficace et celle du maximum de débit à la station.

On peut également considérer le début de la pluie efficace; on mesure alors le temps de concentration, plus le Rise.

Colonne (13) : "rise", c'est-à-dire l'intervalle de temps pendant lequel les débits sont toujours croissants.

Colonne (14) : durée du ruissellement pour chaque tornade. Ce terme doit être une constante pour toutes les tornades unitaires.

Colonne (15) : débit maximum de ruissellement.

Colonne (16) : volume ruisselé, c'est-à-dire volume écoulé, moins les débits de base.

Colonne (17) : coefficient de ruissellement, rapport du volume ruisselé au volume efficace.

Colonne (18) : hauteur ruisselée, se déduit facilement du volume ruisselé :

$$H_r = \frac{V_r}{S}$$

Colonne (19) : intensité excédentaire, c'est la hauteur ruisselée divisée par la durée de la pluie efficace.

Colonne (20) : capacité apparente moyenne d'absorption :

$$C_a \text{ moy} = I \text{ eff} - I \text{ excédentaire}$$

Les relevés pluviométriques nous ont donné rapidement les colonnes (4) (5) (6) et (7). Les hiéto-grammes composés comme nous l'avons vu plus haut donnent la colonne (8).

Le terme de pluie efficace n'est pas très précis. A priori, il est difficile de déterminer le plus souvent la part d'une averse susceptible de ruisseler. Les averses présentent une intensité très forte au début, suivie d'une queue de tornade à très faible intensité. Dans ce cas, la partie efficace est immédiatement déterminée. Parfois la queue de la tornade correspond à des intensités moyennes, qui ne ruissellent pas sur terrain ressuyé, mais qui peuvent ruisseler sur terrain saturé. Le calcul de l'hydrogramme peut aider à faire le départ entre intensité efficace et intensité inférieure à la capacité d'absorption du moment.

Les colonnes (8) (9) (10) et (11), que l'on peut calculer, seront l'objet de retouches pour les cas litigieux.

Le lag et le rise, colonnes (12) et (13), se déduisent des enregistrements.

La colonne (14) est délicate à calculer et c'est certainement un des points les moins précis de la méthode. Il s'agit de déterminer la fin du ruissellement sur la courbe de décrue ou courbe de recession. Différentes méthodes ont été proposées plus ou moins empiriques. Sur quelques hydrogrammes il se produit une cassure

nette, au moment où les débits mesurés à la station ne proviennent plus des eaux de ruissellement mais de l'écoulement hypodermique et souterrain. La durée du ruissellement est alors fixée sans ambiguïté.

Le plus souvent la courbe de décrue est régulière et il est difficile de trouver le point convenable. Une méthode simple consiste à tracer une portion de cette courbe sur du papier logarithmique. Les débits viennent se ranger sur des droites distinctes dont il est facile de repérer les intersections.

Les six dernières colonnes n'appellent aucun commentaire.

Toutefois, le calcul du volume ruisselé offre quelques difficultés, autre point très délicat de la méthode des "Unit Hydrographs". Nous connaissons l'origine et la fin des débits de ruissellement, mais nous ignorons l'origine des temps pour les débits hypodermiques en ce qui concerne KERENG. Il est probable que ces débits ont un certain retard sur les débits de ruissellement, le phénomène de la vague déferlant sur un lit de sable sec laisse peu de doute à ce sujet. Un tracé curviligne se raccordant à l'origine des débits de ruissellement surestimerait les débits de base. Nous avons donc préféré joindre par une droite l'origine et la fin des débits de ruissellement. Nous conviendrons à appeler ruissellement pur tout ce qui sera au-dessus de cette droite et débits de base les débits compris entre cette droite, la fin de la courbe de recession et l'axe des temps.

Les tornades à écoulement hypodermique sont peu nombreuses. Nous en avons observé quatre en deux campagnes. Les lags sont très longs, de l'ordre de 1 h30.

Le tracé de la courbe des débits hypodermiques devrait donc avoir son origine 1 h environ après le début de la montée du plan d'eau lors d'une averse violente.

3°) Recherche d'un diagramme de distribution :

Il faut rechercher parmi toutes les tornades observées celles qui correspondent à la définition donnée plus haut.

Nous avons réuni les tornades les plus brèves susceptibles de nous aider dans le calcul du diagramme :

: N° des : :tornades :	Date :	H moy :	Lag :	Rise :	Durée du : :ruissellem:
: 14-5 :	: 2-8-55 :	: 26,0 :	: 35 :	: 8 :	: 60 :
: 16-5 :	: 5-8-55 :	: 7,2 :	: 105 :	: 7 :	: 60 :
: 17-5 :	: 6-8-55 :	: 7,8 :	: 96 :	: 6 :	: 60 :
: 18-5 :	: 7-8-55 :	: 8;0 :	: 50 :	: 6 :	: 60 :
: 22-5 :	: 15-8-55 :	: 18,6 :	: 37 :	: 6 :	: 59 :
: 13-6 :	: 22-7-56 :	: 13,0 :	: 43 :	: 7 :	: 60 :
: 31-6 :	: 1-9-56 :	: 5,3 :	: 15 :	: 5 :	: 60 :
: 33-6 :	: 5-9-56 :	: 8,5 :	: 33 :	: 8 :	: 50 :
: 46-6 :	: 4-10-56 :	: 12,3 :	: 47 :	: 9 :	: 60 :

Ces tornades correspondent imparfaitement aux règles que nous nous sommes imposées. En effet, les tornades les plus courtes ont une durée de 5 à 6 minutes et nous conservons des tornades de 8 à 9 minutes pour notre analyse. Néanmoins, les durées de ruissellement sont comparables et les hydrogrammes unitaires déduits restent, pour le pourcentage de pointe, dans la limite de précision des $\pm 10\%$.

Le lag moyen est de 50 minutes environ et le rise moyen de 7 minutes.

Le calcul du diagramme de distribution se fait de la façon suivante : on divise le temps de base en n parties égales. Ici n = 10.

On planimètre les surfaces correspondant à chaque dixième pour obtenir le volume ruisselé pendant cet intervalle de temps.

On retire ensuite la partie correspondant au débit de base. Il reste uniquement les volumes ruisselés.

Les rapports des volumes ruisselés pendant chaque dixième du temps de base au volume total ruisselé donnent le diagramme de distribution.

Diagramme de distribution

N° des :	1 :	2 :	3 :	4 :	5 :	6 :	7 :	8 :	9 :	10 :	Total :	
tor- nades :	14-5 :	17,6 :	22,9 :	19,9 :	15,5 :	9,8 :	6,4 :	3,9 :	2,3 :	1,1 :	0,5 :	100 :
	16-5 :	18 :	23,2 :	17,2 :	13,2 :	9,8 :	7,5 :	5,3 :	3,4 :	1,9 :	0,5 :	100 :
	17-5 :	19,8 :	22,4 :	17,1 :	12,6 :	9,7 :	7,4 :	5,1 :	3,2 :	1,9 :	0,7 :	100 :
	18-5 :	18,5 :	22,2 :	17,1 :	13,6 :	10,7 :	7,8 :	5,1 :	3,2 :	1,5 :	0,4 :	100 :
	22-5 :	18,2 :	21,2 :	16,5 :	12,3 :	10,3 :	8,4 :	6,0 :	3,8 :	2,2 :	0,8 :	100 :
	13-6 :	16,8 :	25,1 :	20,2 :	14,4 :	9,8 :	6,3 :	3,6 :	2,2 :	1,3 :	0,3 :	100 :
	31-6 :	18,4 :	22,3 :	18,1 :	13,5 :	10,2 :	7,5 :	4,5 :	3,1 :	1,7 :	0,7 :	100 :
	33-6 :	12,0 :	24,8 :	21,0 :	15,8 :	10,7 :	7,1 :	4,5 :	2,6 :	1,1 :	0,4 :	100 :
	46-6 :	15,4 :	23,1 :	19,9 :	15,2 :	11,1 :	7,0 :	4,5 :	2,5 :	1,0 :	0,3 :	100 :
Die- gramme moy.	17,4 :	23,0 :	17,5 :	13,8 :	10,5 :	7,5 :	5,0 :	3,2 :	1,6 :	0,5 :	100 :	
Qm3/s 10.000 m3	4,8 :	6,4 :	4,9 :	3,8 :	2,9 :	2,1 :	2,4 :	0,9 :	0,4 :	0,1 :	100 :	

Les neuf diagrammes ont été reportés sur un graphique (fig. 9). La dispersion n'est pas considérable. Seules la 13-6 et la 33-6 donnent des pointes nettement plus fortes que la moyenne, mais toujours dans les 10 % tolérés.

La tornade 13-6 présente une répartition hétérogène sur le bassin. L'amont du bassin a été quatre fois plus arrosé que l'aval, ce qui explique la déformation de l'hydrogramme. La pointe de 25 % n'est donc pas représentative et rien ne nous autorise à la considérer comme étant la pointe la plus défavorable à prendre en compte pour une extrapolation. En effet, la hauteur moyenne d'une pluie violente et mal répartie restera toujours inférieure à la hauteur moyenne d'une averse aussi violente mais donnant un coefficient d'abattement élevé.

MAYO KERENG

DIAGRAMME DE DISTRIBUTION

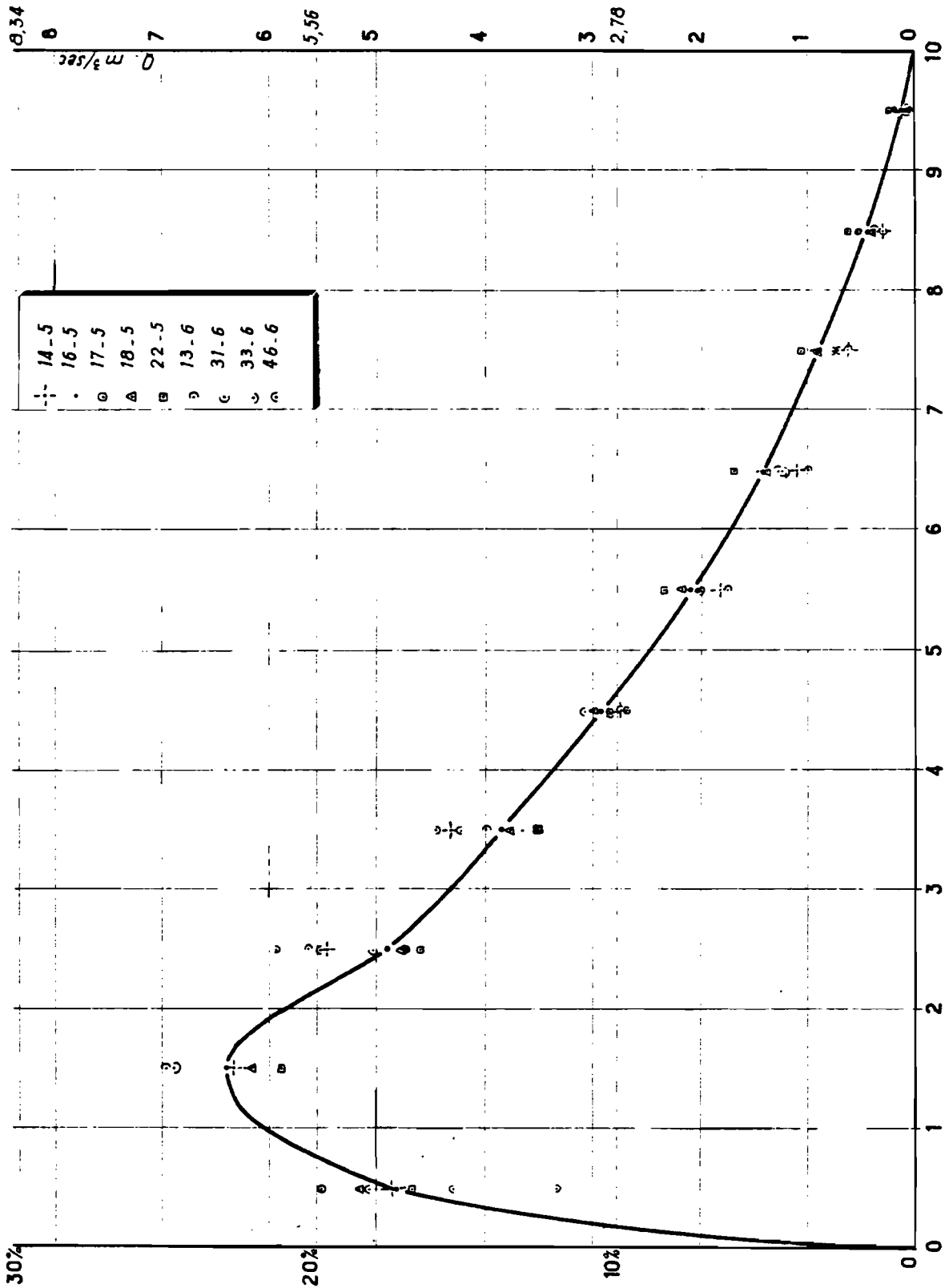


Fig. 9

CAM. 6892

ELECTRICITÉ DE FRANCE . SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: OCT. 57

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

Si l'on s'en tient aux seuls pourcentages de pointe, il est vraisemblable que 25 % du premier volume ruisselé seront inférieurs aux 23 % du second.

La crue 33-6 est la plus faible prise en compte pour le calcul de l'hydrogramme. D'autre part, l'averse a présenté deux pointes d'intensité distinctes à 5 minutes d'intervalle. Il est donc possible qu'il y ait eu superposition de crues élémentaires pour quelques petits affluents entraînant ainsi une augmentation du pourcentage de pointe.

Nous avons recherché un échantillonnage important donnant des diagrammes légèrement différents, mais représentatifs des divers modes d'écoulement. Les intensités efficaces vont de 27 à 80 mm/h et le fait que les hydrogrammes unitaires déduits soient comparables est très encourageant.

Le diagramme moyen a été tracé à la main de telle façon que la surface comprise entre la courbe et l'axe des temps représente 10.000 m³.

Nous avons adopté un diagramme légèrement plus pointu que celui de 1955, 23 % contre 22,2 %. Le volume écoulé durant les trois premières unités de temps est sensiblement le même : 57,9 % en 1956 contre 57,8 %.

Nous avons essayé de déduire l'hydrogramme unitaire d'une tornade complexe par la méthode graphique de MEINZER. Le résultat n'a pas été très brillant. Le pourcentage de pointe est resté dans la limite des 10 %, mais il se situait dans le troisième dixième du temps de base au lieu du second. Cette méthode est employée lorsqu'aucune averse unitaire n'a été observée et il est normal qu'elle donne de moins bons résultats que l'expérimentation directe.

L'essai est intéressant et montre que la méthode de MEINZER peut donner des renseignements précieux, en particulier sur l'ordre de grandeur du pourcentage de pointe.

C H A P I T R E IV

INFILTRATION - ABSORPTION

A) GENERALITES -

La capacité d'absorption moyenne apparente est définie de la façon suivante :

$$Ca_{\text{moy}} = I_{\text{eff}} - I_{\text{exc}} \text{ en mm/h}$$

Elle correspond à la portion de la pluie efficace qui n'a pas ruisselé. C'est donc un terme global qui comprend : la consommation des plantes, la rétention sur les arbres, les herbes, le sol, l'évaporation sur le sol et sur le plan d'eau de la rivière, l'écoulement hypodermique et les infiltrations profondes.

Les trois premiers termes correspondent à des pertes définitives pour le bilan hydrologique, à l'encontre des deux derniers qui seront récupérés au moins en partie à la station, mais bien après le passage de la crue.

La définition globale admise rend compte de l'incapacité où nous sommes de mesurer séparément chaque facteur.

Le terme de capacité d'absorption a été préféré à celui de capacité d'infiltration, pour éviter toute confusion avec l'infiltration pure.

La capacité d'absorption est certainement le paramètre le plus important de la théorie des hydrogrammes unitaires. C'est lui, en effet, qui permettra de déterminer la partie "ruisselante" d'une pluie, donc la pointe de crue que l'on devra envisager.

On peut écrire :

$$I_{exc} = I_{eff} - Ca_{moy}$$

On voit immédiatement qu'une faible erreur sur Ca_{moy} entraîne une erreur très importante sur I_{exc} et cela d'autant plus que Ca_{moy} est proche de I_{eff} . Pour les terrains perméables, le maniement de ce terme est très délicat.

Ca_{moy} peut varier avec les facteurs suivants :

- a) les pluies antérieures,
- b) l'état de la végétation, c'est-à-dire la période de l'année.

Les eaux s'infiltreront plus facilement dans un sol sec que dans un sol qui aura déjà reçu une certaine quantité d'eau.

Mais si la tornade se produit longtemps après une averse importante, le sol aura repris son état normal, il aura ressuyé. Le temps de ressuyage est donc très important à connaître.

Il faudrait calculer des capacités apparentes Ca pour des tornades analogues en intensité et en durée se produisant 2h, 4h, 6h, 24h, 48h après des averses très importantes ayant déterminé la saturation. Nous n'avons pas assez d'observations pour remplir cet objet. On note, toutefois, que les tornades qui se sont produites après de grosses averses ont des Ca plus faibles que la normale. C'est le cas de la tornade 21-6 qui s'est produite 24 h après la 20-6, tornade la plus forte de 1956. Il est probable qu'il faut environ 48 h au bassin pour ressuyer. Cette remarque est importante car, en moyenne, on note une tornade tous les 2 ou 3 jours. La plupart des averses surviennent sur un terrain ressuyé. Un paramètre se trouve à peu près éliminé, sauf dans certains cas particuliers où les tornades se suivent à 24 h ou même moins.

Ce phénomène de saturation partielle ou totale peut se produire pour une même tornade.

Il arrive que les premières minutes de pluie ne présentent pas une intensité élevée. Si le terrain est

ressuyé à l'origine, ces petites pluies vont s'infiltrer et diminuer rapidement la capacité d'infiltration du sol. Lorsque survient une intensité plus forte le ruissellement est rapide et important, la Ca est alors relativement faible. C'est le cas des tornades 32-5, 30-6 et 35-6.

La période végétative vient également gêner les évaluations de Ca pour un bassin versant. Au début de la saison des pluies, les averses tombent sur un terrain sec et nu. La végétation faiblement entrave pas le ruissellement, mais le sol très sec absorbe une grosse quantité d'eau. En Juillet, les plantes se développent, consomment une hauteur d'eau appréciable pour leur propre existence et, de plus, freinent l'écoulement, font écran et protègent partiellement le sol du choc des gouttes d'eau. Ces phénomènes vont en s'amplifiant jusqu'à la fin de la saison des pluies. L'infiltration dans le sol nu, observée en Juin et au début de Juillet, diminue en Août, Septembre, Octobre et cette réduction compense partiellement l'augmentation de consommation des plantes en eau. D'après les mesures que nous avons faites sur le terrain, l'état de la végétation joue un rôle moins important que la saturation préalable.

On a constaté le 13 Septembre 1956 un écoulement hypodermique consécutif à une pluie de 32,6 mm/h pendant 11 minutes, alors que 28 mm/h en 7 minutes donnaient un ruissellement appréciable le 5 Août 1955.

En résumé, la capacité d'infiltration est difficile à calculer a priori. Beaucoup de paramètres interviennent dont les valeurs relatives varient avec les conditions du moment.

B) MESURES D'INFILTRATION -

Si le sol est très homogène, on peut supposer que des mesures d'infiltration, exécutées en différents endroits du bassin, permettront de donner une valeur approchée de la capacité d'infiltration du bassin. Des essais analogues ont été effectués sur le MAYO "B", affluent du MAYO-KERENG. Les résultats sont intéressants, mais, malgré une certaine homogénéité des sols sur une surface aussi faible, 6,6 hectares, les capacités limites d'infiltration varient dans le rapport de 1 à 10.

Il n'est donc pas possible, actuellement, de déduire une courbe Capacité d'infiltration moyenne en fonction du temps. Cette courbe serait inférieure à la courbe de capacité apparente moyenne, tous les facteurs réduisant l'écoulement n'étant pas pris en compte dans l'infiltration pure. La capacité limite d'infiltration obtenue au bout d'une ou deux heures en moyenne recoupe les résultats déduits des mesures d'écoulement. Elle correspond à la saturation.

c) CORRELATION CAPACITE APPARENTE D'ABSORPTION -
INTENSITE EFFICACE -

Nous avons abordé l'étude de cette corrélation en 1955 avec un faible nombre de tornades. Les points expérimentaux se groupaient autour d'une droite moyenne issue de l'origine. La corrélation était lâche mais certaine. Les points aberrants correspondaient aux tornades les plus longues.

Par définition, la capacité d'infiltration est déduite du volume infiltré que nous calculons par différence.

$$V_{\text{inf}} = V_{\text{p eff}} - V_{\text{R}}$$

$V_{\text{p eff}}$ = volume de la pluie efficace
 V_{R} = volume ruisselé

On calcule ensuite :

$$Ca_{\text{moy}} = \frac{V_{\text{inf}}}{S \times T} \times 60 \text{ mm/h}$$

On peut supposer le bassin constitué par une mosaïque de bassins élémentaires ayant, au point de vue de l'écoulement, des caractéristiques bien différentes. La constitution pédologique et, a fortiori, géologique, a beaucoup moins d'importance pour le drainage d'une petite surface que la pente ou la distance à la première branche du réseau hydrographique.

On peut donc supposer que les bassins élémentaires présentent des capacités apparentes d'absorption très différentes les unes des autres et sans relation

avec les essais MUNTZ d'infiltration. Une cuvette imperméable fournira une capacité d'infiltration faible par la méthode MUNTZ, mais ne contribuera pas au ruissellement tant qu'elle ne sera pas remplie et présentera de ce fait une capacité d'absorption apparente très forte.

On conçoit aussi que ces capacités apparentes d'absorption varient beaucoup avec la durée de la pluie. L'exemple de la cuvette imperméable est encore valable : au début de la pluie $C_a = I$ eff, mais au bout d'un certain temps correspondant au remplissage de cette dépression $C_a \approx 0$ et le ruissellement est total.

Considérons le bassin versant à un moment donné, caractérisé par les capacités apparentes C_1, C_2, C_i, C_n de chaque parcelle ayant une surface de s_1, s_2, s_i, s_n . Supposons que $C_1 < C_2 < C_n$, c'est-à-dire que nous "classons" les capacités apparentes.

Sur le bassin tombe une averse homogène dans le temps et dans l'espace d'une intensité I telle que : $C_i < I < C_{i+1}$ et d'une durée de t minutes.

Seules les parcelles de 1 à i vont ruisseler.

Le volume ruisselé VR , déduit des mesures de ruissellement, est connu.

Il est égal à la somme des volumes élémentaires ruisselés sur chaque parcelle.

Pour la parcelle n° 1 :

$$vr_1 = (I - C_1) \frac{t}{60} \times s_1$$

$$\text{et } VR = \frac{t}{60} \sum_1^i (I - C_h) s_h$$

$$VR = \frac{It}{60} \sum_1^i s_h - \frac{t}{60} \sum_1^i C_h s_h$$

D'autre part, la capacité moyenne d'absorption a été déduite des mesures par l'expression :

$$C_a \text{ moy} = \frac{VP \text{ eff} - VR}{S \times t} \times 60$$

avec :

$$VP \text{ eff} = \frac{I \times S \times t}{60}$$

(VP eff = volume de la pluie efficace)

$$\text{d'où : } VR = (I - Ca \text{ moy}) \times S \times \frac{t}{60}$$

En égalant les deux valeurs de VR on obtient :

$$S (I - Ca \text{ moy}) = I \sum_1^i \frac{sh}{S} - \sum_1^i Ch \frac{sh}{S}$$

$$\text{et : } Ca \text{ moy} = \sum_1^i \frac{Ch \frac{sh}{S}}{S} + I \left[1 - \sum_1^i \frac{sh}{S} \right]$$

Dans cette expression $\sum_1^i \frac{Ch \frac{sh}{S}}$ est la capacité d'absorption moyenne apparente de la surface qui a ruisselé rapportée à la surface totale.

Le deuxième terme est le produit de I par le pourcentage du bassin qui ne participe pas au ruissellement. Ce terme est positif ou nul.

Cette relation simple se modifie sans cesse au cours d'une tornade. En effet, la capacité apparente de chaque parcelle diminue dans le temps. En conséquence, I étant constant, la surface ruisselante du bassin augmente, $\sum_1^i \frac{sh}{S}$ tend vers 1; tout le bassin participe alors au ruissellement. Ca moy croît donc pour une intensité moyenne quand la durée efficace décroît.

Le terme $\sum_1^i \frac{sh}{S}$ augmente avec le temps et avec l'intensité efficace. La pente de la courbe Ca moy - I eff diminue pour, finalement, s'annuler lorsque I > Cn. La limite est théorique car les zones analogues aux dépressions dont nous parlions plus haut ont, pendant les minutes correspondant au remplissage, une capacité apparente infinie. Donc, quel que soit I, le terme $\sum_1^i \frac{sh}{S}$ au début de la pluie n'est pas égal à l'unité.

Ceci explique que, sur le graphique Ca moy - I eff les points correspondant aux courtes durées soient bien alignés (fig. 10). Au début d'une

CAM. 6893

ED:

LE: OCT 57

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITE DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

MAYO KERENG

CORRELATION Capacité d'absorption apparente moyenne.
Intensité efficace.

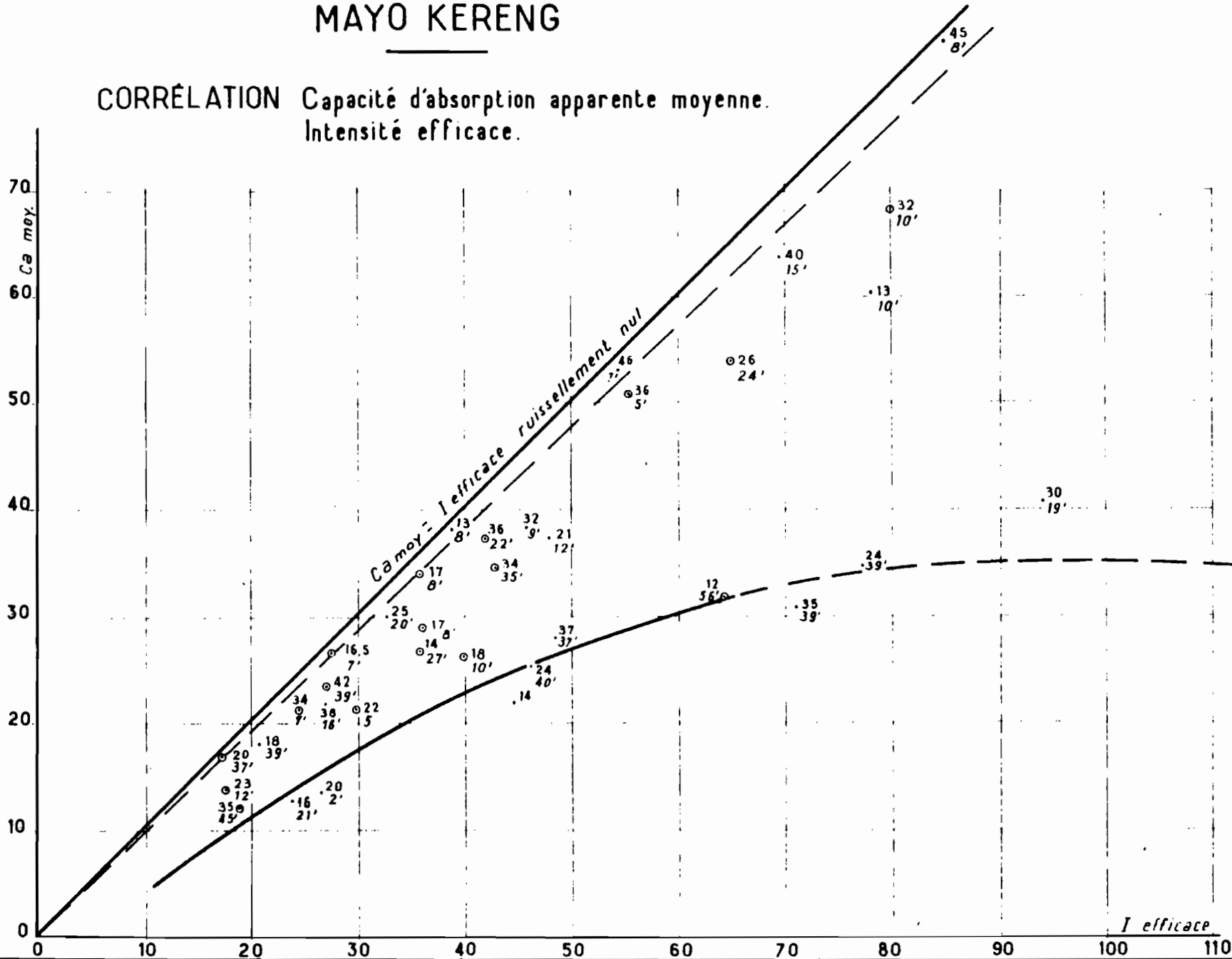


Fig. 10

tornade, peu de parcelles participent au ruissellement, Ca moy est proche de I eff et le terme $\sum_{i=1}^i \frac{sh}{S}$ de l'expression ci-dessus est faible devant l'unité.

La droite correspondant aux tornades brèves passe par l'origine et a pour pente :

$$\frac{Ca\ moy}{I\ eff} = \frac{I\ eff - I\ exc}{I\ eff} = 1 - R$$

R étant le coefficient de ruissellement.

Cette corrélation rectiligne correspond à un coefficient d'écoulement constant. Le schéma établi en 1955 est donc simpliste. On constate d'ailleurs que I exc étant très inférieur à I eff pour les tornades courtes, la corrélation s'établit très facilement.

Avec les mesures de 1956, nous disposons au total de 36 points expérimentaux qui accusent une plus grande dispersion, rendant compte de l'importance des nombreux paramètres.

Une courbe inférieure a été tracée. Elle correspond expérimentalement aux tornades les plus longues et les plus intenses. Normalement, cette courbe doit atteindre une valeur constante de Ca moy correspondant au ruissellement généralisé et à la saturation. Il semble qu'à KERENG elle puisse s'établir au voisinage de 35 mm/h. C'est cette valeur constante que les manuels d'hydrologie prennent en considération dans les études de capacité d'absorption, négligeant ainsi la période préliminaire ou les averses courtes pour lesquelles il est impossible de considérer que le bassin est homogène.

Tous les autres points se répartissent entre ces deux limites. L'intervalle est très grand, mais on remarque que plus les tornades sont longues, plus elles se rapprochent de la limite inférieure.

Il est probable qu'avec 100 tornades bien étudiées on puisse tracer un réseau de courbes correspondant aux diverses durées. Il y aura encore des points aberrants correspondant aux différents états de la végétation.

C H A P I T R E V

RECONSTITUTION DES CRUES

Dans le rapport relatif à la campagne 1955, nous avons reconstitué la tornade 40-5. Les résultats étaient satisfaisants. Nous allons essayer maintenant de reconstituer une autre tornade, la 24-6, qui a déterminé la crue la plus brutale en deux ans.

Le hiétogramme est le suivant :

	H mm	I mm/h
17 h. - 20 h.30	7,0	2,0
20 h.30 - 20 h.54	5,6	14,0
20 h.54 - 21 h.14	35,3	106,0
21 h.14 - 21 h.34	16,4	49,0
21 h.34 - 21 h.42	2,5	16,5
21 h.42 - 3 h.	20,6	4,6

L'averse a présenté des intensités susceptibles de ruisseler de 20 h.54 à 21 h.34, soit pendant 40'. Les précipitations de part et d'autre de la partie efficace n'ont pas ruisselé, mais 12,6 mm sont tombés de 17 h à 20 h.54 et ont dû réduire notablement la capacité d'absorption.

La capacité d'absorption apparente moyenne calculée est de 35,4 mm/h.

A) PREMIER ESSAI -

Nous admettons que C_a est constante tout au long de la pluie efficace et égale à C_a moy, c'est-à-dire 35,4 mm/h.

On a :

- volume efficace 51,7 mm
- volume ruisselé 28,1 mm
- volume infiltré 23,0 mm

La pluie est constituée par deux averses d'intensité différentes :

- 1ère partie 20 mn à 106 mm/h
- 2ème partie 20 mn à 49 mm/h

Les intensités excédentaires sont donc, pour chacune :

- $I_{exc} = 106 - 35,4 = 70,6$ mm/h
- $I_{exc} = 49 - 35,4 = 13,6$ mm/h

Nous décomposerons chacune des deux tornades en averses unitaires de 7 minutes chacune et une troisième qui ne dure que 6 minutes.

Temps	I_{exc}	H_{exc}	V_{exc}
0-7	70,6	8,24	32.950
7-14	70,6	8,24	32.950
14-20	70,6	7,06	28.250
20-27	13,6	1,60	6.400
27-34	13,6	1,60	6.400
34-40	13,6	1,36	5.440

Le calcul se mène alors de la façon suivante :

Le diagramme unitaire donne, pour une tornade unitaire, le pourcentage écoulé du volume excédentaire pendant chaque dixième du temps de base. On calcule ensuite le débit moyen correspondant. On fait le même calcul pour les six tornades élémentaires.

L'addition des débits se fait ensuite en décalant chaque crue de 7 minutes par rapport à la précédente. Dans le cas présent, la première commence au temps 0, la seconde au temps 7 minutes, la troisième au temps 14 minutes, etc...

Nous donnons ci-joint (fig. 11) l'hydrogramme calculé superposé à l'hydrogramme de la crue observée à la station.

La concordance est bonne, les maxima sont égaux.

Le maximum calculé est en avance de quelques minutes sur le maximum observé.

B) DEUXIEME ESSAI -

Nous avons essayé de corriger l'écart sur les maxima dans le temps en jouant sur la capacité d'absorption.

Il est évident que Ca n'est pas constante au cours de la tornade et que, partant d'une valeur très supérieure à 35 mm/h, elle arrive après 40 minutes de pluie à une autre valeur, inférieure celle-là à 35 mm/h. Cette courbe de Ca, durant l'averse, est très difficile à calculer dans le cas présent car les 3 h de pluie qui ont précédé la grosse intensité ont abaissé Ca d'une quantité inconnue.

Nous avons supposé la répartition suivante par analogie avec les courbes déduites des essais Muntz et des tornades à deux pointes d'intensités efficaces ayant entraîné deux crues distinctes :

- 0-7	minutes	.....	Ca = 52 mm/h
- 7-14	"	.....	41
- 14-20	"	.....	34
- 20-27	"	.....	30
- 27-34	"	.....	26
- 34-40	"	.....	25

Le volume total écoulé ne change pas, seule sa répartition entre les différentes fractions de la tornade est modifiée.

Le résultat rapproche bien le maximum calculé du maximum observé. L'allure générale du diagramme est conservée et voisine de la réalité. Le maximum est inférieur au maximum mesuré, mais de 3 m³/s environ (fig.11)

Il est intéressant de souligner l'influence relativement faible pour le bassin de KERENG de la variation de Ca au cours de l'averse. La Ca moy est beaucoup plus importante et son introduction pure et simple dans les calculs entraîne des débits de pointe très comparables à la réalité.

Pour compléter les calculs, il convient d'ajouter les débits de base qui sont, dans le cas présent, très inférieurs aux débits de ruissellement.

C) CALCUL DES DEBITS DE BASE -

Il est difficile de calculer a priori les débits provenant de l'écoulement hypodermique et des nappes profondes.

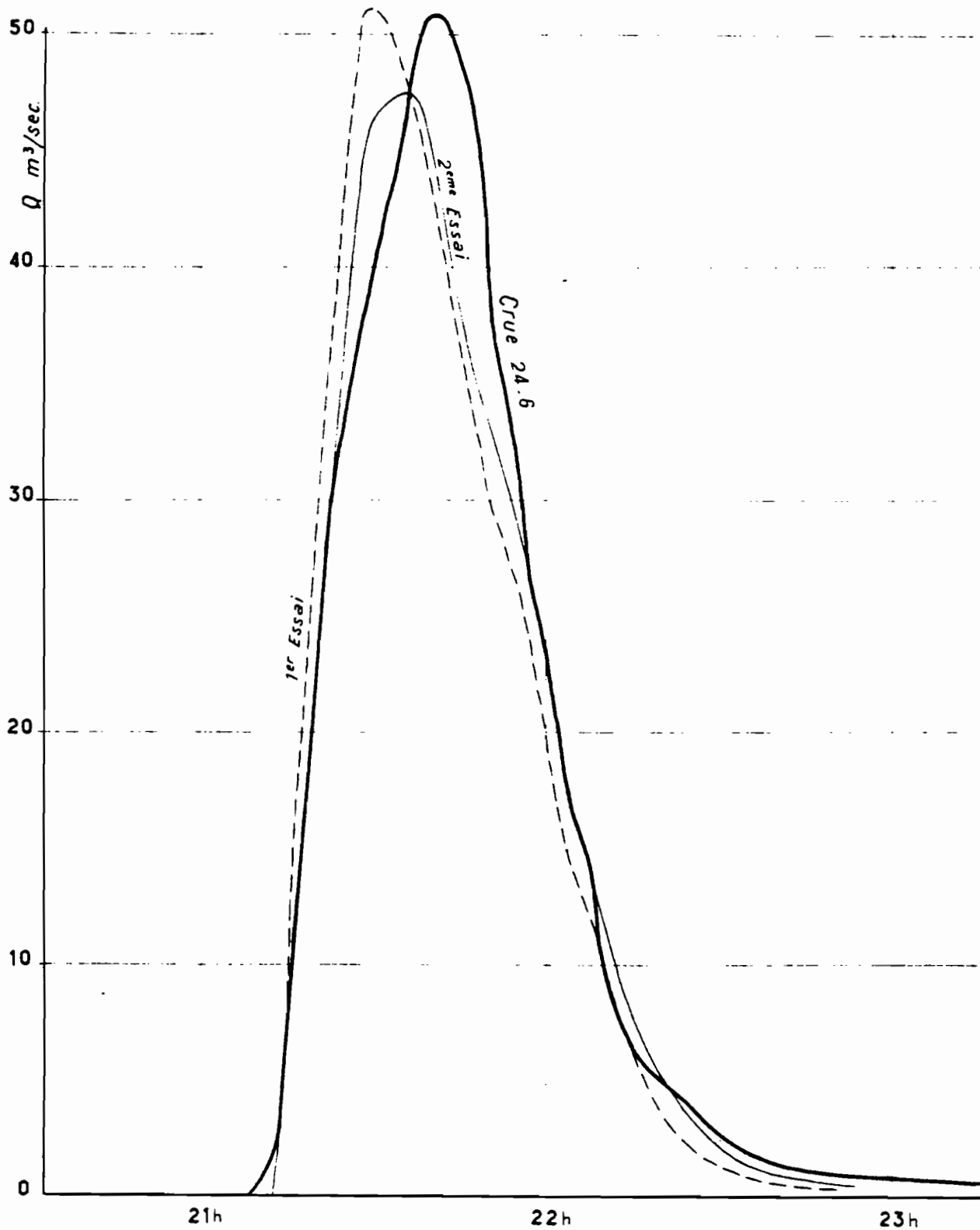
La séparation des débits de base des débits de ruissellement a été effectuée arbitrairement en s'appuyant principalement sur deux données :

- a) l'allure de la courbe de décrue, tracé logarithmique,
- b) la connaissance du temps de ruissellement à peu de choses près.

MAYO KERENG

Fig. 11

ESSAIS DE RECONSTITUTION DE LA CRUE 24_6



CAM 6894

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: OCT 57

DES: GROTARO

VISA:

TUBE N°:

AO

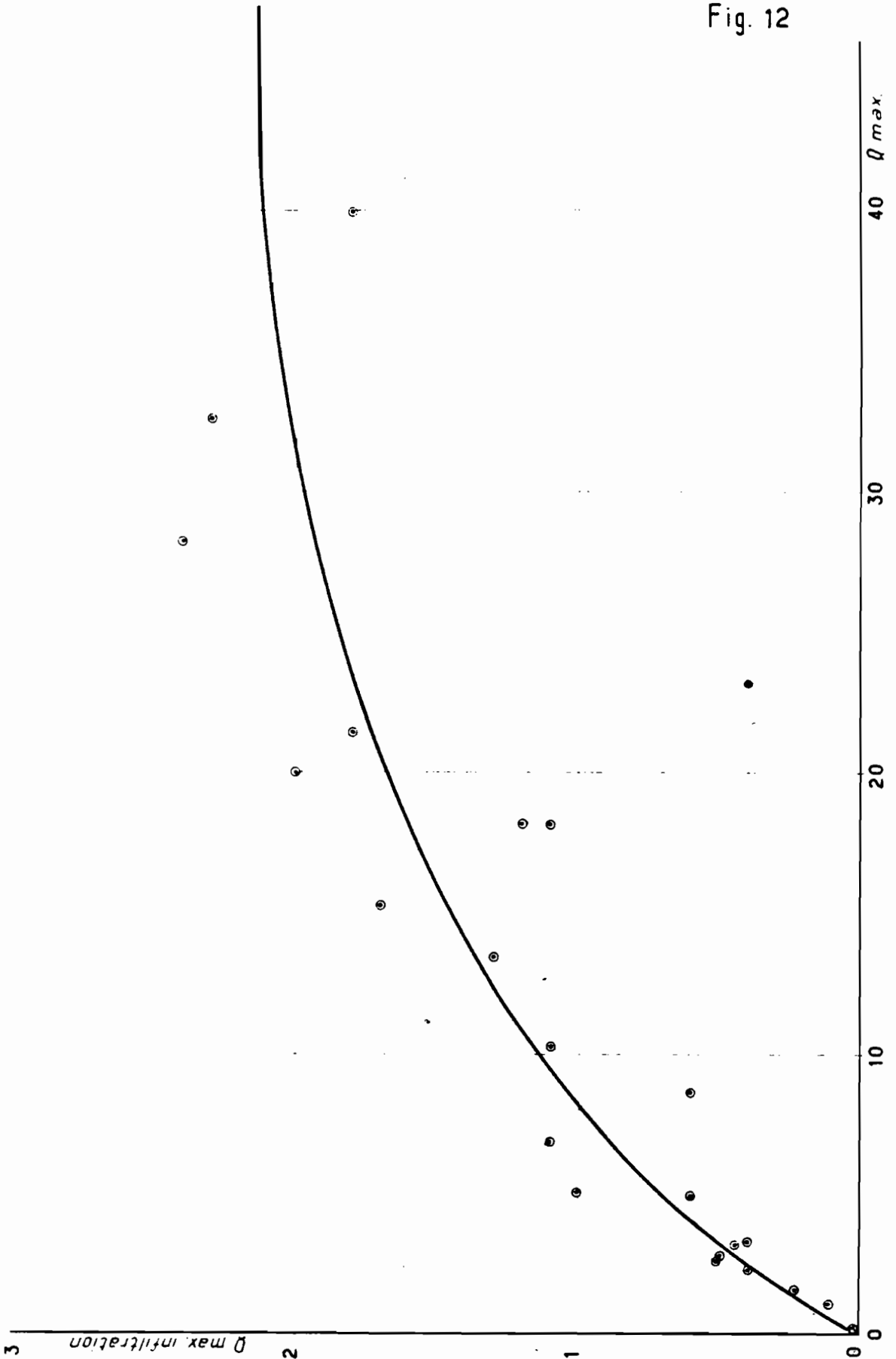
Les résultats obtenus permettent de tracer une courbe moyenne de variation du débit maximum de base en fonction du débit ruisselé maximum (fig. 12).

La corrélation n'est pas serrée, mais la courbe donne un ordre de grandeur valable. Il semble que les débits de base ne croissent plus à partir d'environ 40 m³/s dans la rivière. Encore une fois, cette courbe n'est donnée qu'à titre indicatif. C'est un artifice commode pour estimer les débits de base qui, dans le cas du MAYO-KERENG, sont très faibles en regard des débits dûs au ruissellement.

MAYO KERENG

CORRÉLATION : $Q_{\text{max. infiltration}} - Q_{\text{max. total}}$

Fig. 12



CAM. 6895

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: OCT 57

DES: GROTTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

CONCLUSION - CALCUL DE LA CRUE DECENNALE
=====

Rappelons brièvement les résultats auxquels nous sommes parvenus dans cette étude et qui seront nécessaires pour calculer la crue décennale sur le MAYO-KERENG.

- PLUIES :

Une courbe intensité-durée, correspondant à la fréquence décennale pour la région de GAROUA a été établie par le Service Météorologique et complétée dans la partie des fortes intensités et des faibles durées par nos propres observations.

- INFILTRATION :

Un faisceau de courbes de la capacité apparente moyenne en fonction de l'intensité efficace de la pluie pour différentes durées de l'averse efficace.

- DEBITS :

Un diagramme de distribution :

:1/10 du :	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:temps de:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	:
:base :	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:-----:	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
:on % du :	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:volume :	17,4	23,0	17,5	13,8	10,5	7,5	5,0	3,2	1,6	0,5	:
:ruisselé:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Un lag moyen de 50 minutes.

Un rise moyen de 7 minutes.

Le temps de base est de 60 minutes. Nous devons donc considérer la tornade la plus violente d'une durée

de 1 heure susceptible d'être observée en dix ans.

Sur la courbe intensité-durée de GAROUA, l'averse de 1 heure présente une intensité moyenne de 80 mm/h. Par mesure de sécurité, nous adoptons un coefficient d'abattement égal à l'unité au lieu de 0,90.

La capacité d'absorption moyenne à prendre en compte doit être inférieure à 35 mm/h, la pluie efficace étant très longue.

Nous adopterons la valeur de 30 mm/h.

Le calcul se conduit de la même façon que précédemment pour la reconstitution de la tornade 24-6 en composant 9 hydrogrammes unitaires. Le débit maximum atteint est de 61 m³/s.

Ce chiffre est légèrement supérieur à celui que nous avons trouvé en 1956. L'averse que nous prenons en compte est plus sévère et correspond au maximum de 1 h et non à celui de 2 h représenté par la tornade de FORT-LAMY d'Août 1950.

Le débit spécifique est de 15 m³/s pour 4 km².

N'oublions pas que la crue envisagée n'est que décennale en première approximation. Statistiquement, si la même tornade succède à une autre tornade qui aura abaissé la capacité d'infiltration, la crue résultante sera d'une fréquence plus faible, c'est-à-dire duodécennale ou même cinquantaire.

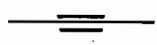
Il en résulte que 15 m³/s/km² n'est pas un débit spécifique improbable. Notons que nous avons mesuré des débits spécifiques de 10 m³/s/km² en 1955 et de 12,5 m³/s/km² en 1956.

Dans l'application pratique, calcul du débouché d'un pont par exemple, l'Ingénieur devra majorer les 15 m³/s/km² que nous indiquons d'une quantité fonction du degré de sécurité qu'il veut assurer.

Rappelons que ce chiffre est valable pour un bassin de 4 km². Pour un bassin absolument analogue au point de vue sol, pente, végétation, exposition, réseau hydrographique, il faudrait prendre un débit spécifique plus faible pour une superficie plus grande, ou plus fort pour une superficie plus faible.

SDN

ÉTUDE
des bassins versants expérimentaux
du MAYO-KERENG



2^{ème} PARTIE



MAYO "B"

I N T R O D U C T I O N

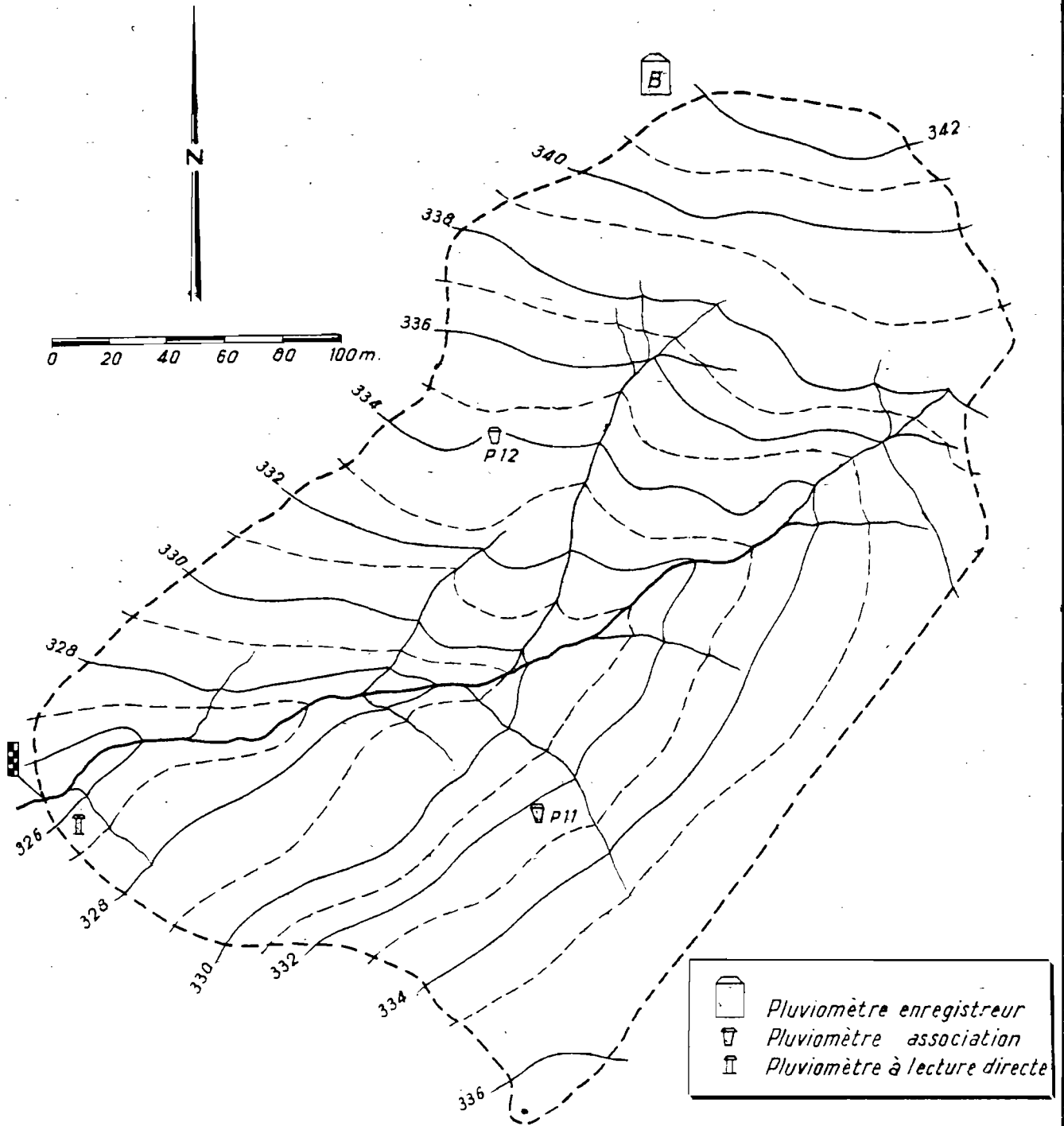
Les caractéristiques de ce petit mayo correspondent à celles des nombreux bassins versants qui alimentent les passages en buses de la future route GAROUA-MAROUA. Le dimensionnement exact est donc un problème intéressant plusieurs centaines d'ouvrages. Nous ne pensons pas donner une "recette" valable dans tous les cas, mais l'examen des conditions locales permettra au Maître de l'Oeuvre de corriger en plus ou en moins les normes que nous fournissons dans ce rapport.

En 1955, seuls les débits et les pluies ont été observés. En 1956, nous avons étudié, en plus, les transports solides : transports de fond et suspension. L'ensablement n'est pas un des moindres maux auxquels sont sujets les passages de buses et la quantité de sable apportée par une tornade importante permettra de fixer les idées quant aux dimensions des fosses à sable que l'on dispose fréquemment à l'amont des buses.

Les études ont commencé en Juillet 1955 et ont été poursuivies jusqu'aux premiers jours d'Octobre. En 1956, la même période a été couverte. Nous avons disposé en 1955 d'un excellent observateur africain et en 1956 l'agent technique hydrologue, M. ARDOLI, a été spécialement affecté aux observations du MAYO "B".

Fig. 1

BASSIN VERSANT DU MAYO "B"






	<i>Pluviomètre enregistreur</i>
	<i>Pluviomètre association</i>
	<i>Pluviomètre à lecture directe</i>

Fig. 2

MAYO "B"

COURBE HYPSONOMETRIQUE

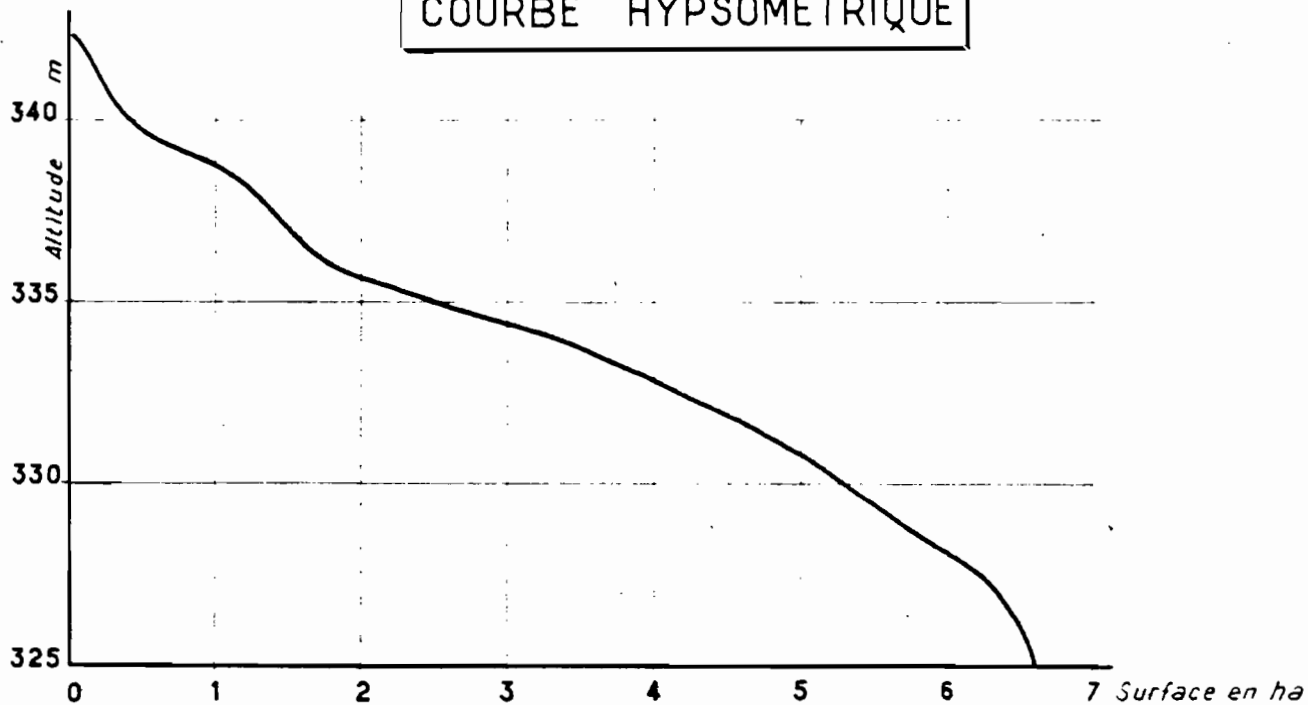
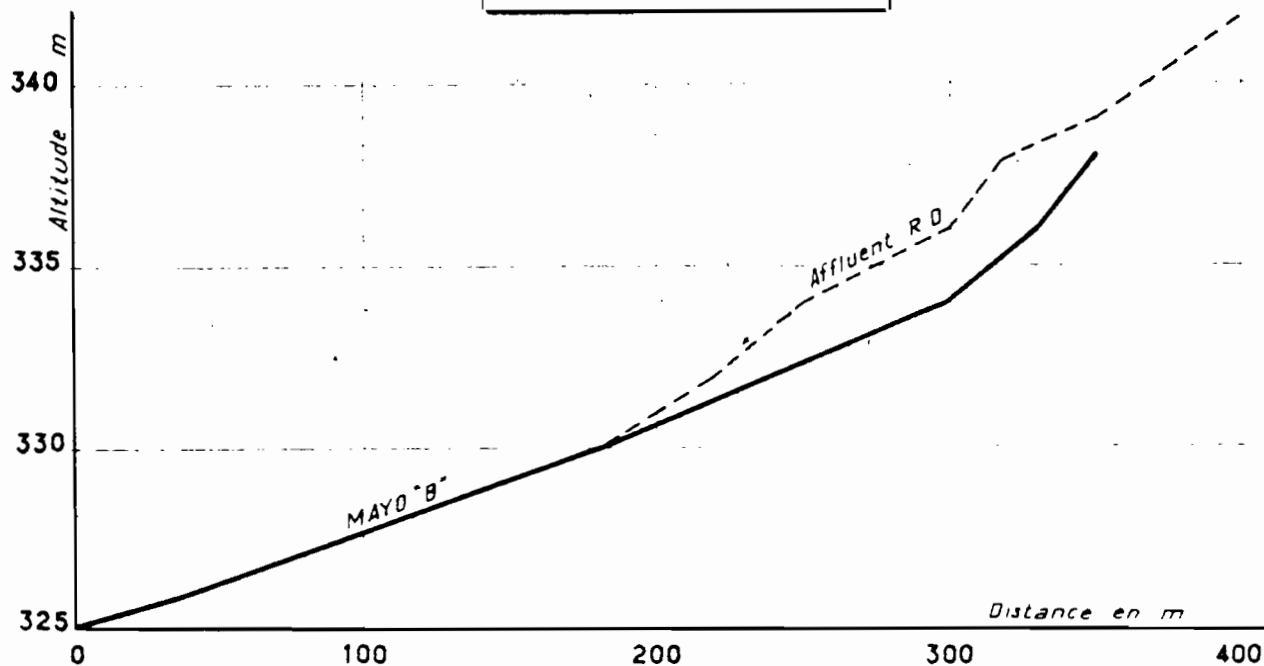


Fig. 3

PROFILS EN LONG



CAM 6897

ELECTRICITÉ DE FRANCE SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED: LE: OCT. 57 DES: GROTARD VISA: TUBE N°: AO

Le coefficient de pente $K_p = \frac{d \times l}{S} = 0,063$ est également petit.

Une goutte de pluie doit parcourir 400 m au maximum pour arriver à la station.

B) VEGETATION -

La savane boisée est assez fournie sur le MAYO "B". Nous avons dénombré 950 arbres à l'hectare comprenant 400 arbustes (jusqu'à 2 m de haut) et 550 arbres de taille moyenne (inférieure à 7 ou 8 m).

Un petit arbre tous les 10 m² est une des moyennes les plus élevées rencontrées sur le bassin versant du MAYO-KERENG.

C) APERÇU PÉDOLOGIQUE ET GÉOLOGIQUE -

Les sols sont sablo-argileux. On rencontre en surface : du sable mélangé à de nombreux cailloux et gravillons de quartz; jusqu'à 0,20 m de la terre brune mélangée parfois à du sable; de 0,20 m à 0,70 m du sable grossier, probablement de décomposition, mélangé par endroits à de l'argile; de 0,70 m à 1,0 m du sable plus jaune que la couche précédente. Ce sable est de plus en plus compact. A 1 m environ, la barre-à-mine s'enfonce difficilement dans le rocher en décomposition.

Les capacités d'absorption sont assez élevées et rendent bien compte d'une couche de terrain relativement perméable. Une analyse mécanique et les déterminations de la porosité et de l'humidité équivalente ont été réalisées au Laboratoire de Pédologie de l'I.R.C.A.M pour neuf échantillons répartis dans le bassin du MAYO "B" (voir tableau n° 1).

Les sols se développent sur les embréchites très apparentes dans le lit du MAYO.

Tableau n° 1

:E- : :cha: :til: :lon:	% de terre fine				:Gravier: :% poids :total	:Poro: :sité :%	:Humidi- :té équi- :valente :(*)
	:Argile:	:Limon :	:Sable :fin :	:Sable :grossier:			
: 1 :	15,3 :	8,2 :	49,5 :	28,0 :	26,9 :	32 :	19,3 :
: 2 :	32,2 :	9,5 :	36,0 :	24,0 :	13,9 :	39 :	25,1 :
: 3 :	16,25 :	10,0 :	38,0 :	38,3 :	1,73 :	36 :	18,6 :
: 4 :	29,0 :	9,2 :	38,6 :	25,0 :	15,1 :	32 :	28,4 :
: 5 :	13,6 :	10,9 :	51,2 :	28,0 :	57,5 :	34 :	:
: 6 :	20,8 :	11,8 :	54,6 :	16,1 :	5,95 :	38 :	24,2 :
: 7 :	31,0 :	11,5 :	40,0 :	19,0 :	46,6 :	34 :	28,6 :
: 8 :	11,5 :	5,5 :	53,0 :	31,6 :	26,9 :	33 :	16,8 :
: 9 :	33,2 :	10,8 :	30,8 :	26,2 :	39,2 :	36 :	31,9 :
: :	:	:	:	:	:	:	:

$$\text{Porosité} = \frac{\text{Vol. des vides}}{\text{Vol. total}} \times 100$$

D) RESEAU HYDROGRAPHIQUE -

Le réseau est très simple. Les rigoles se dessinent après moins de 50 m de parcours libre. La présence de deux bras principaux introduit une légère déformation dans les graphiques des crues, mais ne nuit pas à l'analyse.

E) CLIMATOLOGIE -

Les quelques renseignements fournis dans le rapport KERENG s'appliquent évidemment au MAYO "B".

(*) L'humidité équivalente est exprimée en % du poids de terre sèche.

CHAPITRE II

HYDROLOGIE DU BASSIN

A) EQUIPEMENT DU BASSIN -

1°) Mesure des pluies :

- 2 pluviomètres Association
- 1 pluviomètre enregistreur à augets basculeurs, à la limite amont du bassin versant
- 1 pluviomètre à lecture directe à la station de mesure.

2°) Mesure des débits :

Un déversoir "mince paroi" sans contraction a été réalisé en 1955. Les variations très rapides des débits ne permettent pas de jaugeages au moulinet ou par tout autre méthode.

Les très faibles débits ne sont pas mesurés avec une grande précision, défaut inhérent au déversoir de BAZIN, mais cela n'a que peu d'importance pour nos études. Les très forts débits sont parfois perturbés par le mayo principal qui remonte jusqu'à notre déversoir. Quelques tornades ont été éliminées à cause de cet inconvénient dû à un rétrécissement rocheux quelques dizaines de mètres en aval du confluent. Nous supposons que la crue sur le MAYO "B" serait écoulee avant que celle du MAYO-KERENG n'arrive au confluent. Les lags très différents nous confirmaient dans cette opinion. Mais le flot parcourt la distance confluent-station principale, soit 600 m, en 10 minutes environ, ce qui réduit le décalage entre les deux crues.

Si la crue est due à une tornade forte, mais très courte, les observations sur le MAYO "B" ne sont

pas perturbées. Si la crue est due à une tornade forte et longue, il y a interférence du niveau aval, mais il faut que la cote à l'échelle de la station principale dépasse 1,30 m pour que la rivière remonte jusqu'au déversoir.

La "pelle" du déversoir était de 0,20 m en 1955. Nous l'avons portée à 0,50 m par creusement du lit à l'amont du déversoir l'année suivante.

3°) Mesures d'infiltration :

Nous avons effectué de nombreux essais d'infiltration en 1955 avec un anneau de 30 cm de diamètre entouré d'un anneau de garde.

4°) Mesures de débits solides :

En 1956 nous avons étudié et mesuré les débits solides en distinguant les matières en suspension entraînées par les eaux et le sable charrié sur le fond de la rivière et recueilli dans une fosse à sable. Cette étude fait l'objet de la troisième partie de ce rapport.

B) AVERSES OBSERVEES -

En 1955, 42 averses ont été observées; 20 ont donné lieu à écoulement. Nous en avons conservé 8 pour notre étude. Les 12 autres ont été éliminées pour différentes raisons d'ordre pratique. L'observateur se rendait au déversoir dès que le temps menaçait. Mais, en particulier la nuit, il arrivait parfois après le début du ruissellement. D'autre part, lors des crues les plus violentes, les débits ont été modifiés par la rivière principale. Nous avons néanmoins conservé les résultats pour recouper les chiffres que nous calculerons dans nos extrapolations car les ordres de grandeur subsistent.

Une averse est nettement hypodermique : la 20-5. Le lag est de 41 minutes. Les autres averses sont de hauteur moyenne pour les raisons exposées plus haut. Les intensités sont importantes jusqu'à 90 mm/h. Les tornades doubles ne sont pas rares et déterminent généralement deux pointes de débit.

En 1956, le fait d'habiter sur le bassin versant même était un gros avantage. Le vent, les éclairs et le tonnerre nous prévenaient assez tôt qu'une tornade se préparait et les relevés incomplets sont très rares.

Sur 47 tornades, 21 ont donné un écoulement; 18 ont été retenues pour notre étude sur le MAYO "B".

Nous avons observé des tornades complexes à plusieurs pointes d'intensité avec des maxima de 126 mm/h pendant 5 et 7 minutes.

C) CRUES OBSERVEES -

Pour traduire les hauteurs en débits, nous avons utilisé les deux courbes ci-jointes, l'une pour 1955, l'autre pour 1956 (fig. 4). Nous avons appliqué la formule de BAZIN :

$$Q = m l H \sqrt{2g H}$$

$$\text{avec : } m = \left(0,405 + \frac{0,003}{H}\right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{H}{H+P}\right)^2\right]$$

l = largeur du déversoir

H = hauteur de l'eau sur le seuil, mesurée loin en amont du seuil

S = hauteur du seuil sur le fond amont - "pelle"

m = coefficient du déversoir

g = accélération de la pesanteur

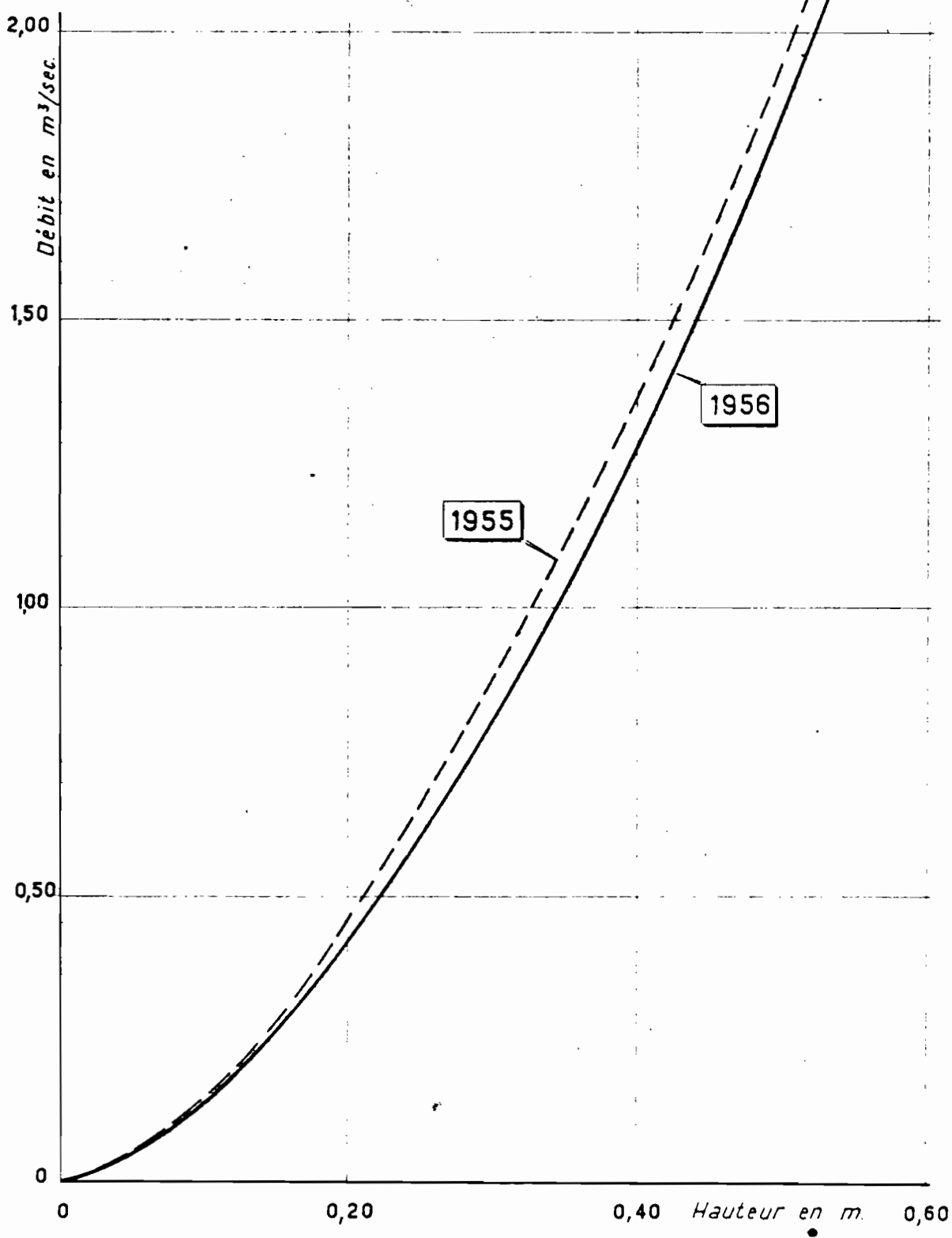
Le débit le plus fort observé, sans perturbation aval, est de 1,74 m³/s. Généralement, les crues sont écoulées en une demi-heure et le lit redevient sec quelques heures après.

Les 26 crues que nous utiliserons dans cette étude ont été suivies de très près. On a procédé, en général, à une observation par minute (échelle limnimétrique et pluviomètre à lecture directe).

Fig. 4

MAYO "B"

COURBES DE TARAGE DU DÉVERSOIR



D) ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE -

Dans le tableau annexe n°5, nous avons rassemblé l'essentiel des données qui peuvent caractériser une tornade (colonnes 1 à 11) :

- Hauteurs moyennes, hauteurs maxima et minima donnent une idée de la dispersion dans l'espace; volume total précipité et durée totale de l'averse.
- Durée de la pluie efficace, volume, intensité. La détermination de la période efficace de la pluie ne présente pas trop de difficultés. Par expérience, on constate qu'une pluie de 30 mm/h de durée faible (quelques minutes), tombant sur un sol ressuyé, ne ruisselle pas.

Il y a, malgré tout, des cas litigieux que l'on peut parfois résoudre à l'aide des coefficients de ruissellement et même de la capacité d'infiltration.

Ces éléments doivent nous permettre de lier les pluies aux débits de façon satisfaisante.

La répartition des pluies est évidemment très homogène sur une aussi faible surface. Les diagrammes d'intensité, déduits du pluviomètre enregistreur B et du pluviomètre à lecture directe installé au déversoir, sont très proches et leur composition ne pose pas de problème particulier.

Les hauteurs moyennes sont calculées par moyenne arithmétique. Les hiétoigrammes sont composés comme dans l'exemple cité dans notre rapport KERENG.

CHAPITRE III

ETUDE ANALYTIQUE DES CRUES

Notre but est de lier étroitement les débits aux pluies que l'on mesure sur le terrain pour déterminer ensuite les débits correspondant à une pluie donnée, par exemple de fréquence décennale. Si les observations limnimétriques couvraient 10 ou 20 ans, nous pourrions nous passer des observations pluviométriques. Nous ne possédons ici que huit mois de relevés. La méthode des "Unit Hydrographs" permet de lier débits et pluies et de faire bénéficier les uns de la longue période d'observation des autres.

Mais on peut se demander si cette méthode, établie pour des bassins versants de plusieurs dizaines à plusieurs milliers de km², est applicable à un bassin versant de quelques hectares. Les avis sont d'ailleurs partagés.

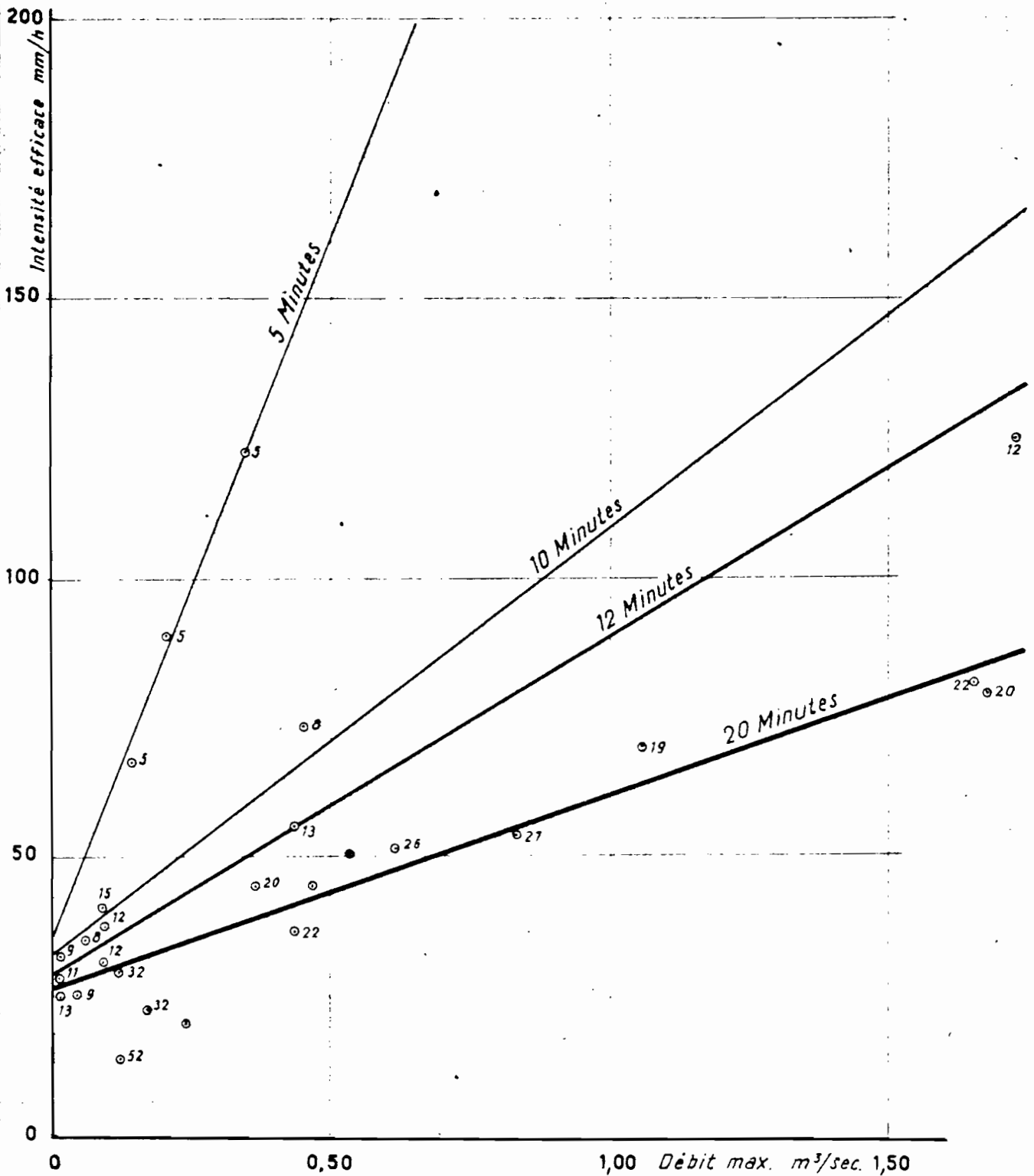
Nous avons donc essayé dans une première partie de lier les débits aux grandeurs pluviométriques dont ils dépendent directement. Ensuite, nous avons cherché à obtenir, d'une part, le diagramme de distribution des débits et, d'autre part, la loi de variation de la capacité d'absorption avec le temps.

A) ESSAI DE CORRELATION PLUIE/DEBITS -

Nous avons complété le tableau synoptique indispensable annexe n° 5. Nous avons mesuré lag, rise, volume écoulé et débit maximum (colonnes 12 à 15). Nous avons ensuite calculé le volume ruisselé, le coefficient de ruissellement, la hauteur ruisselée, l'intensité excédentaire, quotient de $\frac{H}{T}$ et la capacité d'absorption égale à $I_{eff} - I_{exc}$ (colonnes 16 à 20).

MAYO "B"

CORRÉLATION - Débits max.
Intensité efficace



CAM 6899

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:	LE: OCT 57	DES: GROTTARD	VISA:	TUBE N°:	AO
-----	------------	---------------	-------	----------	----

On constate, en effet, que les droites ont tendance à se serrer; si un grand espace sépare la droite 5 minutes de la 12 minutes, la 20 minutes est difficile à tracer exactement au milieu des points de 13 à 32 minutes.

Les trois grandeurs I_{eff} , Q_{max} , durée sont donc liées assez étroitement.

L'écart à la dernière pluie, la hauteur de la dernière pluie et l'état de la végétation, c'est-à-dire la période de l'année, viennent disperser un peu plus les points.

Nous admettons une relation linéaire qui semble apparaître entre quelques points, mais est-ce exact ?

Nous supposons plus loin que la tornade de 150 mm/h pendant 15 minutes est la plus forte que l'on puisse rencontrer durant une certaine période (on a observé 140 mm/h pendant 11 minutes).

Sur la droite de 15 minutes cette intensité nous donne environ 2,3 ou 2,4 m³/s. Le chiffre indiqué semble correct et nous le conserverons comme extrapolation de la méthode.

C) DIAGRAMME DE DISTRIBUTION -

Théoriquement, nous ne devrions examiner que les tornades infiniment courtes, analogues à des impulsions. Cela n'existe pas dans la pratique et nous avons analysé les tornades les plus brèves tombées sur le bassin en 1955-1956.

Trois d'entr'elles ont été retenues. C'est peu pour une détermination de diagramme de distribution, mais nous cherchons un schéma directeur pour les extrapolations plutôt qu'une démonstration de la valeur des "Unit Hydrographs".

Nous avons retenu les tornades 13-6, 29-6 et 45-6, toutes trois ont une durée de pluie efficace égale à 5 minutes.

Pour deux d'entr'elles on peut retrancher aisément les eaux hypodermiques des eaux de ruissellement

La cassure dans la courbe de décrue est très nette et le lag hypodermique, observé sur la tornade 35-5, confirme notre tracé. Pour la troisième tornade la cassure est moins nette, mais la durée du temps de base, 14 minutes en moyenne, nous donne une abscisse correcte pour la fin du ruissellement.

Nous avons mesuré les volumes ruisselés minute par minute et nous avons calculé les fractions écoulées au cours de chaque minute du temps de base.

Nous donnons dans le tableau n° 2, ci-après, les diagrammes de distribution pour les trois tornades 13-6, 29-6 et 45-6 et le diagramme moyen que nous en avons déduit par ajustement graphique. La dernière ligne correspond à la répartition des débits pour un volume ruisselé, VR, de 100 m³ (fig. 6).

Les divergences, d'ailleurs faibles, pourraient être rattrapées par un nouveau tracé des hydrogrammes hypodermiques. Nous ne pensons pas que cela soit nécessaire.

D) ETUDE DE LA CAPACITE D'ABSORPTION -

1°) Tracé de $C_i \text{ moy} = f(I \text{ eff})$:

Nous avons calculé la valeur de la capacité d'absorption du bassin versant correspondant à chaque tornade (colonne 20 du tableau général).

En 1955, sur le MAYO-KERENG, nous avons tracé une droite correspondant à une fonction linéaire $C_i(I \text{ eff})$.

Nous avons précisé que cette droite devait être d'autant plus caractéristique que le bassin versant était grand, ce qui diminue les chances de saturation. On était donc en face d'une loi statistiquement simple cachant la complexité des détails.

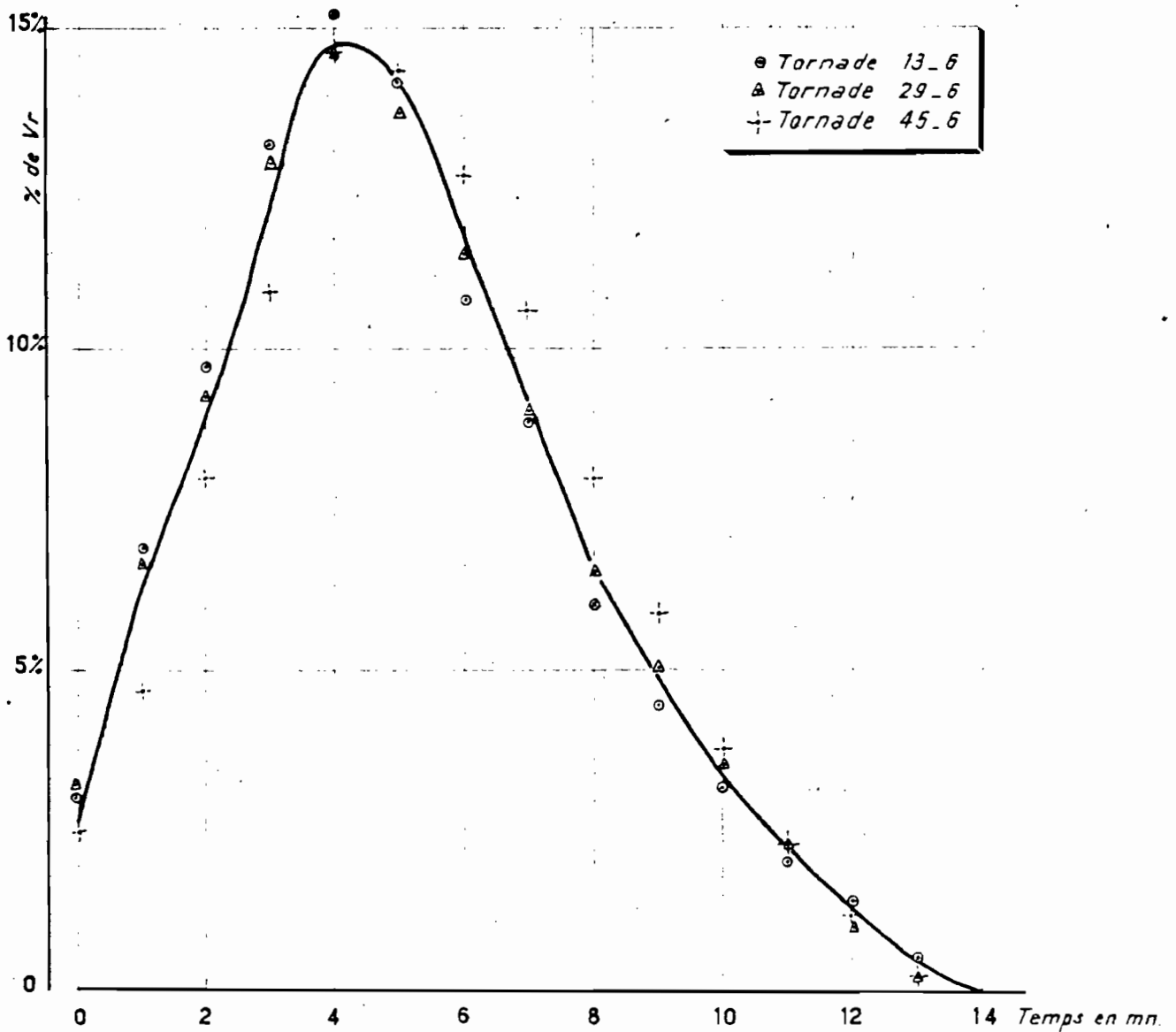
DIAGRAMME de DISTRIBUTION

% VR														
N° des tor- nades:	1/14:	2/14:	3/14:	4/14:	5/14:	6/14:	7/14:	8/14:	9/14:	10/14:	11/14:	12/14:	13/14:	14/14:
13-6:	3,1	6,9	9,7	13,2	15,2	14,2	10,8	8,9	6,0	4,5	3,2	2,1	1,3	0,5
29-6:	3,2	6,7	9,3	13,0	14,6	13,7	11,5	9,0	6,6	5,1	3,6	2,3	1,1	0,3
45-6:	2,5	4,7	8,0	10,9	14,6	14,3	12,7	10,6	8,0	5,9	3,8	2,3	1,2	0,5
Tor- nade type:	2,7	6,3	9,1	13,1	14,7	14,2	11,6	9,3	6,6	4,9	3,4	2,3	1,2	0,5
Q = m ³ /sec.														
pour VR : 100m ³ :	0,045	0,105	0,152	0,218	0,246	0,236	0,193	0,155	0,11	0,082	0,058	0,038	0,02	0,008
														16,66

Tableau n° 2

MAYO "B"

DIAGRAMME DE DISTRIBUTION



CAM 6900

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: OCT. 57

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

Nous avons construit le même diagramme C_i de I eff pour le petit MAYO "B" (fig. 7). Nous pensons que nous entrons précisément dans la zone des surfaces où la loi des grands nombres ne vient plus masquer les phénomènes de base.

Deux groupes de points semblent définir deux directions distinctes. La droite, à plus forte pente, correspond aux tornades courtes; la courbe inférieure correspond aux tornades longues ou à celles tombant sur un sol non ressuyé, ce qui est équivalent à une tornade longue. Le nuage de points est assez dispersé. Nous portons à côté de chaque point la durée de I eff.

Nous raisonnons ici sur la capacité moyenne d'absorption du bassin et non pas sur sa valeur à un instant donné. Mais on conçoit qu'il doit y avoir un faisceau de courbes qu'il est, pour l'instant, impossible de caractériser avec précision.

Notons que la définition de C_i moy n'est bonne que pour des tornades relativement longues. On peut difficilement admettre pour une tornade de 150 mm/h pendant 5 minutes que l'infiltration cesse au bout de 5 minutes. Ceci n'est important que pour les tornades très brèves; pour les autres l'approximation est suffisante, pensons-nous.

Les points expérimentaux ne sont pas assez nombreux pour que l'on puisse sentir la tendance à la saturation. Si nous avions pu observer des averses plus longues, nous aurions probablement constaté que la capacité d'absorption tend vers une constante égale à la capacité limite d'absorption.

2°) Variation du lag :

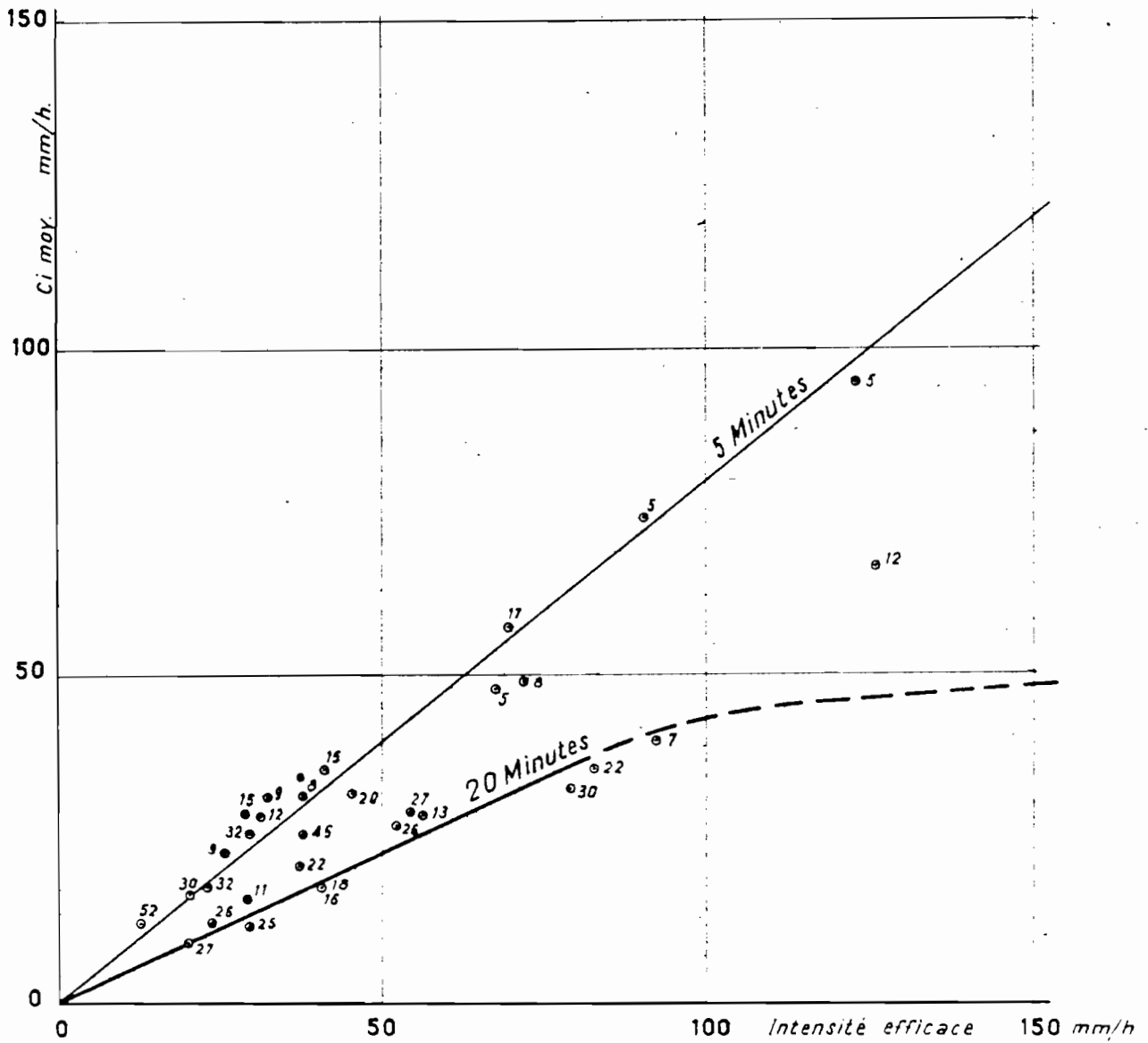
Nous avons remarqué, à la suite de nombreux auteurs, que le "lag" semble être fonction de I eff. Pour I eff faible, le lag est long et inversement. Ceci a été constaté sur des bassins assez grands.

Sur notre petit bassin versant, les deux grandeurs sont également liées.

Fig. 7

MAYO "B"

CORRÉLATION : Ci.moy.
I. efficace



CAM 6901

ELECTRICITÉ DE FRANCE SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:	LE: OCT 57	DES: GROTTARD	VISA:	TUBE N°:	AO
-----	------------	---------------	-------	----------	----

Nous avons tracé la courbe du temps de concentration (périodes séparant le début de la pluie efficace de la montée des eaux) en fonction de I_{eff} (fig. 8). Le terme "temps de concentration" est mieux défini dans le cas présent que le lag qui mesure le temps entre le centre de gravité de la pluie et le débit maximum.

Les points sont assez dispersés. Les conditions particulières à chaque tornade doivent jouer un rôle important, spécialement l'état de saturation du sol et la période végétative, mais la fonction existe, comme nous le démontrons dans le paragraphe suivant.

On remarque que, à partir de 120 mm/h environ, le temps de concentration est presque nul. Le ruissellement est immédiat. L'intensité efficace est donc supérieure à la capacité d'absorption moyenne du bassin.

Si l'intensité efficace augmente, la capacité d'absorption n'augmente plus. C'est donc à partir de ce seuil de 120 mm/h que la courbe (20 minutes) de C_i moy en fonction de I_{eff} (fig. 7) tend vers l'horizontale.

3°) Courbe $C_i(t)$:

Il semble que l'on puisse apporter une explication valable à la variation du lag avec I_{eff} et au fait que la capacité d'absorption du bassin soit fonction de I_{eff} .

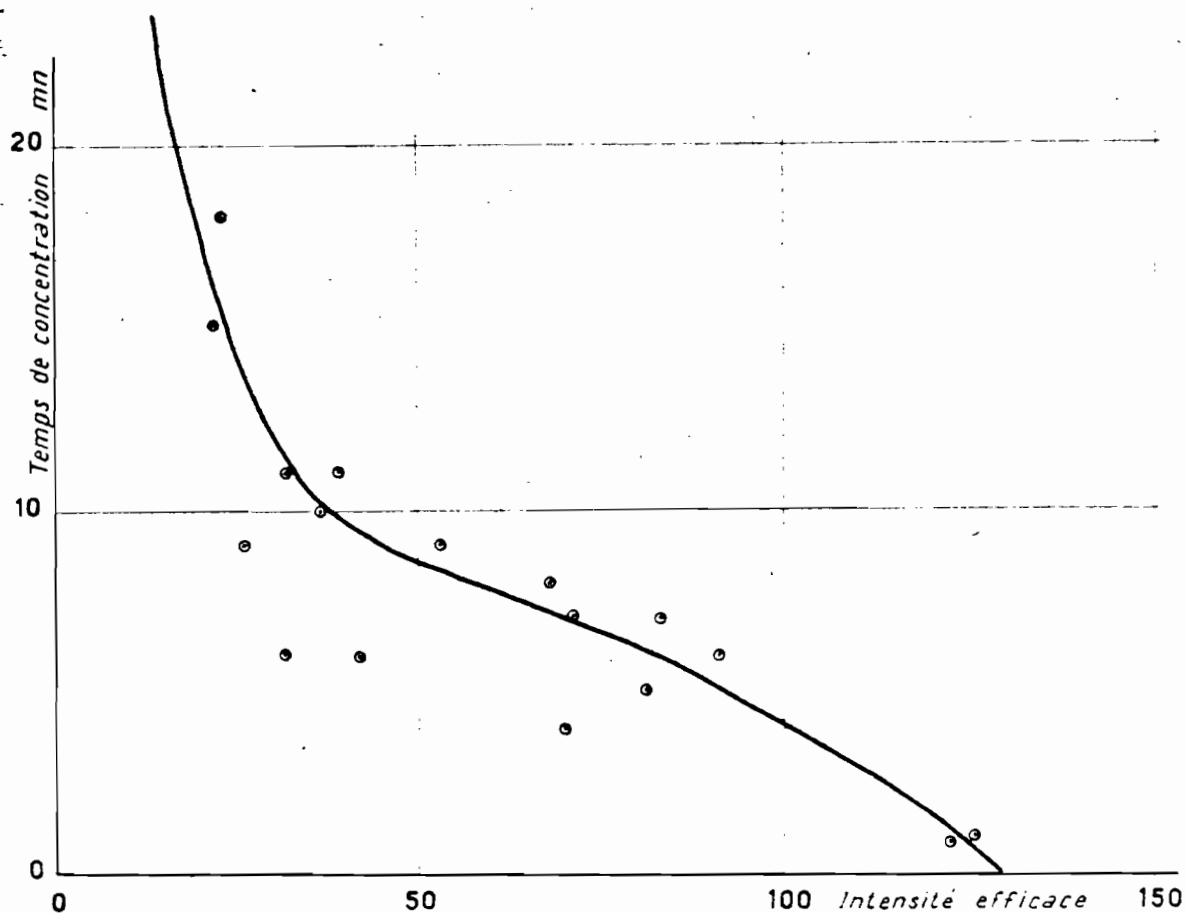
Supposons connue la courbe $C_i(t)$ au cours d'une tornade d'intensité constante. La courbe $C_i(t)$ a l'allure générale ci-contre. Nous allons supposer dans ce qui suit que cette courbe est unique pour le MAYO "B". C'est inexact car la capacité d'absorption, dans la définition que l'on en donne,

$$\frac{H_{\text{eff}} - H_{\text{écoulé}}}{T}$$

comporte, outre les infiltrations, tout ce que l'on groupe dans le terme d'évapo-transpiration. Elle est donc fonction de l'état de la végétation. On doit pouvoir tracer plusieurs courbes valables chacune pour divers mois de l'année.

MAYO "B"

VARIATION DU TEMPS DE CONCENTRATION
EN FONCTION DE L'INTENSITÉ EFFICACE



CAM 6902

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

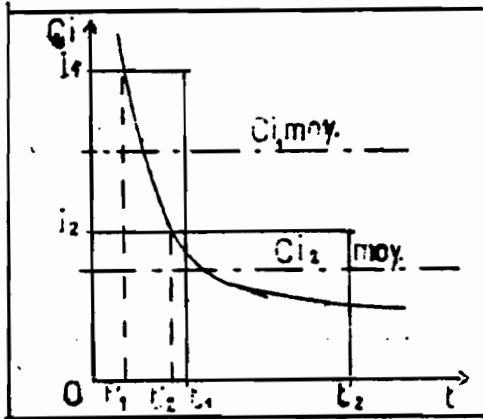
LE: OCT. 57

DES: GROTTARD

VISA:

TUBE N°:

AO



Nous pouvons porter le hiétoگرامme d'une tornade sur le diagramme $C_i(t)$ en conservant les mêmes unités. Soit une tornade d'une durée t_1 et d'une intensité I_1 et une tornade plus faible, mais plus longue, d'une durée t_2 et d'une intensité I_2 tombant toutes deux sur un terrain ressuyé.

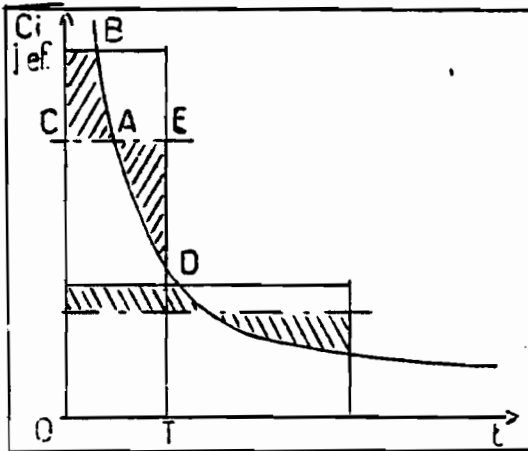
Au début, la capacité potentielle d'absorption est supérieure à I_1 et à I_2 . Les premières minutes de pluie ne servent qu'à saturer le terrain. Mais au bout d'un temps, d'autant plus court que la tornade est plus intense, t'_1 , t'_2 , la capacité

réelle d'absorption du terrain est égale à l'intensité de la pluie, puis inférieure et le ruissellement commence. On conçoit ainsi la variation du lag avec I eff.

La très forte pente négative que l'on observe au début de la courbe $C_i(t)$ explique que, pour des tornades moyennes et fortes, le lag varie peu.

On peut déduire autre chose de ce tracé schématique : la surface comprise entre les axes, la courbe $C_i(t)$, l'ordonnée I et l'abscisse t déterminent une surface égale au volume absorbé V , le quotient $V/t \times 60$ étant égal à la capacité moyenne d'absorption. Le volume absorbé V dépend, en partie, de l'ordonnée I eff, justifiant ainsi le tracé de C_i moy de (I eff). Ceci est d'autant plus vrai que le sol est plus perméable, c'est-à-dire que la quantité ruisselée est très inférieure à celle infiltrée.

Si nous voulons construire la courbe $C_i(t)$, nous disposons des éléments suivants :



- 1°) la capacité moyenne, délimitant, à une constante près, l'aire précédemment définie : $O C = T E = C_i$ moy,
- 2°) la valeur I initiale de C_i puisqu'au début $C_i = I$ eff,
- 3°) la durée $t = O T$.

Il reste donc à tracer une courbe coupant le rectangle qui représente le hiétoگرامme de la tornade de telle façon que les aires I, B, A, C et D, A, E soient égales.

Parmi l'infinité de solutions, il faut choisir celle qui se raccordera avec les portions de courbes déduites d'autres tornades.

On peut ainsi, de proche en proche, tracer une courbe $C_i(t)$ qui donne une représentation assez bonne des phénomènes (fig. 9). La courbe $C_i \text{ moy}(t)$ a été reportée en pointillé sur le même graphique et la similitude entre les courbes est frappante.

Les tornades comportant plusieurs pointes de débits permettent de calculer la valeur de $C_i \text{ moy}$ pour chaque crue.

Les tornades 14-6, 16-6, 20-6 et 35-6 sont utilisables, les crues étant suffisamment distinctes.

La prise en compte de ces résultats est néanmoins délicate. En effet, les pointes d'intensité sont séparées par des pluies faibles qui diminuent certainement $C_i \text{ moy}$, mais d'une quantité difficile à préciser. Les points encadrent tout de même la courbe $C_i(t)$ que nous avons calculée et les capacités limites déduites des quatre tornades citées plus haut sont toutes voisines de 9 ou 10 mm/h au bout d'une heure de pluie environ.

Les points aberrants sont dûs principalement aux pluies précédentes qui diminuent la capacité potentielle d'absorption du terrain. *

La courbe ainsi définie englobe l'écoulement hypodermique d'après le mode de calcul de C_i .

Nous donnons en annexe les courbes $C_i(t)$ déduites d'essais d'infiltration sur le terrain (Annexe n°6).

Les phénomènes réels ne sont pas très bien représentés sur une échelle aussi petite. L'anneau intérieur mesure 29 cm de diamètre. L'impossibilité où l'on est de faire des essais sur les terrains avec cailloutis, terrains assez nombreux sur le bassin versant du MAYO "B", ôte un peu d'intérêt à un tracé moyen.

Il faudrait des parcelles expérimentales de quelques mètres carrés avec un système d'arrosage homogène permettant de reproduire des pluies d'intensités différentes. Les études du lag et de la capacité d'infiltration seraient certainement éclairées par ces essais.

MAYO "B"

CAPACITÉ D'INFILTRATION
EN FONCTION DE LA DURÉE DE LA PLUIE

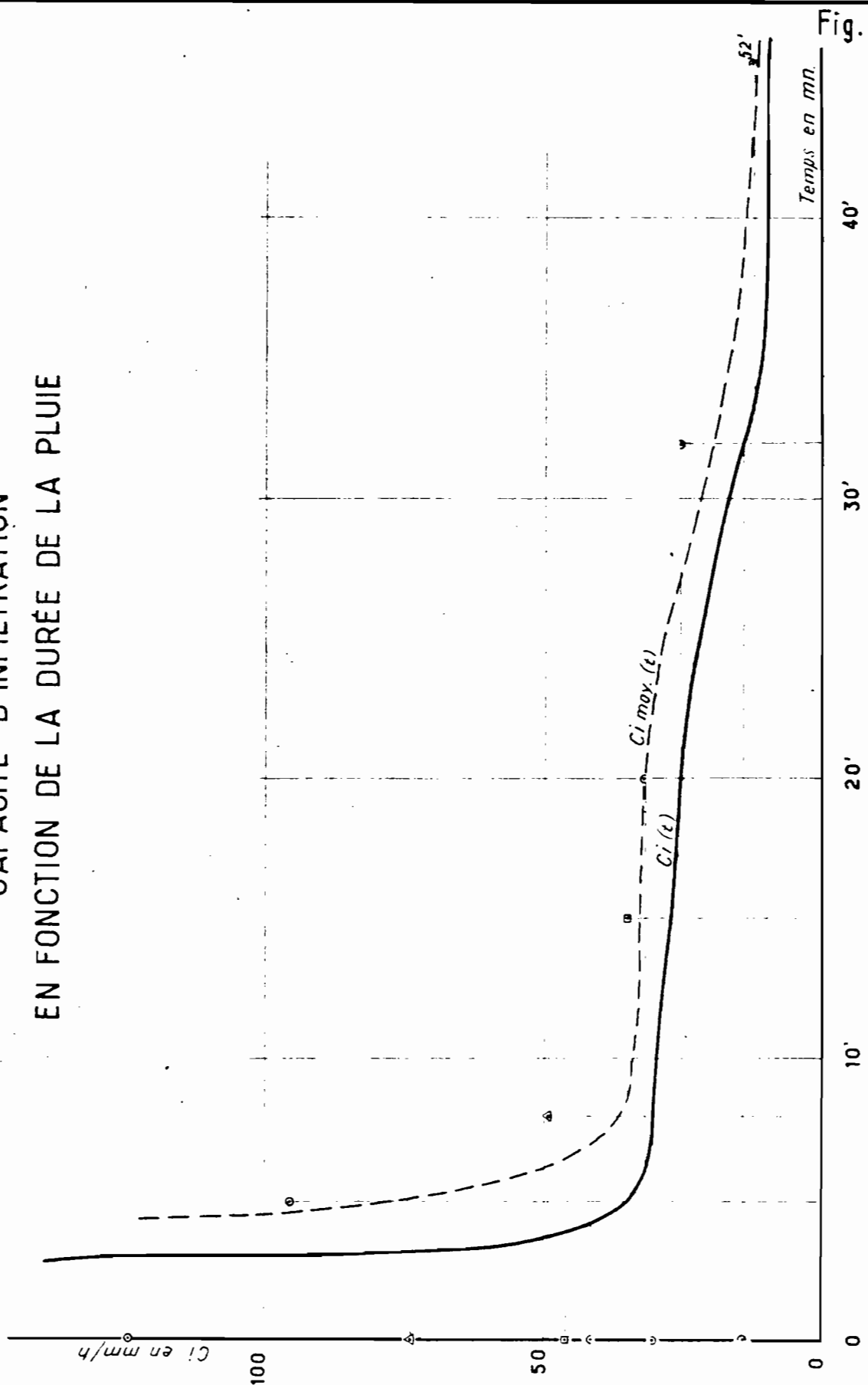


Fig. 9

CAM. 6903

ELECTRICITÉ DE FRANCE . SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: OCT. 57

DES: GROTTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

E) RECONSTITUTION D'UNE CRUE -

Nous avons essayé de reproduire un hydrogramme déjà observé en application du diagramme de distribution calculé.

Nous avons tenté de retrouver les débits de la tornade 21-6. La pluie efficace 56 mm/h pendant 13 minutes a été précédée de deux pluies de 27 mm/h pendant 6 minutes et 13,2 mm/h pendant 5 minutes. Ces deux pluies ont abaissé la capacité potentielle du bassin sans, toutefois, parvenir à ruisseler.

La capacité moyenne calculée est supérieure à celle trouvée sur la courbe de la fig. 9 en décalant l'origine de la pluie efficace et la durée des deux petites averses antérieures. Ceci ne détruit pas l'utilisation que l'on peut faire de la courbe tracée puisque les deux averses n'ont pu parvenir à saturer le terrain, ni à ruisseler. Donc, une certaine hauteur d'eau, correspondant aux premières minutes de la pluie efficace, a été entièrement absorbée par le sol et augmente d'autant la capacité moyenne d'infiltration.

La valeur calculée, 28,4 mm/h, est donc correcte et sera appliquée dans les calculs suivants.

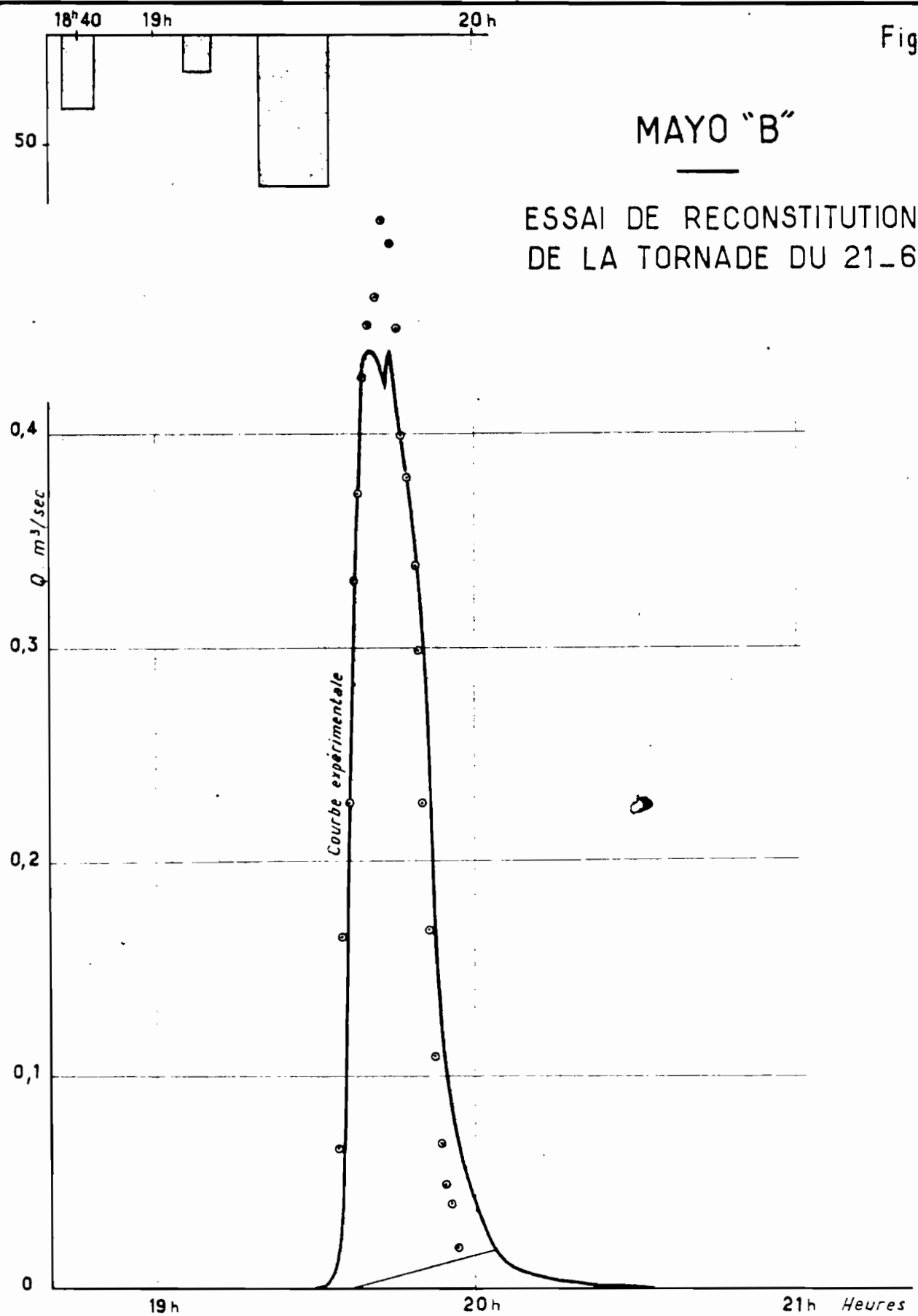
Nous décomposons la pluie en trois averses de 5,5 et 3 minutes. Les hauteurs ruisselées correspondantes sont :

$$\begin{array}{l} a) \ 2,15 \text{ mm} \\ b) \ 2,32 \text{ mm} \\ c) \ 1,5 \text{ mm} \\ \hline 5,97 \text{ mm} \end{array}$$

Le détail des calculs figure en annexe n° 7.

La concordance n'est pas mauvaise, l'erreur étant légèrement supérieure à 10 % par excès pour le maximum (fig. 10).

Fig. 10



CONCLUSION - CALCUL DU DEBIT MAXIMUM DE CRUE

La courbe intensité-durée, tracée dans notre rapport KERENG, nous donne pour la durée critique de 14 minutes : 150 mm/h.

Le détail des calculs est donné en annexe n°8.

Le débit maximum ainsi calculé est de 2,2 m³/s auquel il faut ajouter le débit de base.

Ce débit est énorme puisqu'il correspond à un débit spécifique de 38 m³/s/km².

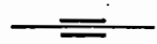
La variation de Q max en fonction de I eff nous donne, pour une averse de 150 mm/h et une durée de 15 minutes, un débit maximum voisin de 2,3 m³/s.

Les observations faites sur le déversoir confirment également ce chiffre puisque, en 1955, le plan d'eau a coté 0,60 sur la crête du déversoir, ce qui correspond à 2,50 m³/s. Le niveau aval perturbait sensiblement l'écoulement et l'ouvrage fonctionnait avec une certaine retenue aval, apportant une réduction de la charge, donc du débit, que nous n'avons pu évaluer. L'ordre de grandeur semble néanmoins conservé. La tornade 20-6 a donné, sans perturbation aval, un débit de 1,74 m³/s, soit 27 m³/s/km².

On est assez loin du débit des buses qui, dans de bonnes conditions de pente, de débouché aval et d'entonnement, doivent débiter 750 à 800 l/s.

DN

ÉTUDE
des bassins versants expérimentaux
du MAYO-KERENG



3^{ème} PARTIE



Étude sommaire des transports solides
sur le MAYO "B"

A) GENERALITES -

On appelle transports solides tous les matériaux, des boues les plus fines aux rochers les plus gros, que le courant peut entraîner.

Deux rivières analogues, mais dont les bassins versants ont des caractéristiques géologiques et pédologiques très différentes donneront des transports solides différents en qualité et en quantité.

On distingue trois modes différents de déplacement pour les matériaux solides :

- 1°) Le déplacement sur le fond
- 2°) La saltation
- 3°) La suspension

1°) Le déplacement sur le fond :

Le déplacement sur le fond n'intervient qu'au moment des crues. Pour faire rouler des galets sur le fond du lit, il faut des vitesses élevées qui, en général, ne sont atteintes que pendant les hautes eaux.

2°) La saltation :

C'est le mode de transport des éléments plus fins que les galets, c'est-à-dire les graviers et les sables grossiers. Les graviers sautent, progressent par bonds au fond de la rivière et occupent donc dans la section une certaine hauteur dépendant de la vitesse et des caractéristiques des graviers. On explique la progression par saltation de la façon suivante : un grain glisse sur le fond du lit, puis rencontre un obstacle, il butte alors sur cet obstacle. La différence de pression entre l'amont et l'aval du grain augmente; il bascule, puis est arraché, entraîné par le courant et, par gravité, retombe au fond où le processus recommence. Les composantes multiples de la vitesse, qui caractérisent la turbulence, jouent un rôle important dans la saltation.

3°) La suspension :

Les matériaux les plus fins, les limons et les argiles, par les effets combinés de la turbulence et des tensions superficielles restent en suspension dans l'eau. Dans un même cours d'eau, la teneur de matières en suspension dépend de la vitesse moyenne et du régime d'écoulement. Il y a évidemment, suivant les sections, des échanges plus ou moins importants entre les trois modes de transports solides.

Les appareils de mesure sont très différents suivant le mode de transport que l'on veut mesurer.

On utilise généralement des nasses pour les éléments les plus gros. C'est un procédé simple, mais d'application difficile pour des mesures de débits solides. Des procédés acoustiques ont été mis au point pour détecter le débit des entrainements et en déterminer l'intensité.

La saltation et la suspension sont mesurées à l'aide de turbidimètres ou de bouteilles à clapets. Les résultats sont assez précis, mais il faut faire de nombreuses mesures dans toute la section pour intégrer la totalité du débit solide. Ces mesures générales permettent de déterminer un point représentatif de la section où le débit solide est une fonction univoque de la cote du plan d'eau. Cette détermination est nécessaire quand on veut procéder à des mesures continues et ponctuelles comme c'est le cas au pont de MIRABEAU sur la DURANCE.

Les chiffres de transports solides généralement annoncés sont déduits des mesures de suspension et de saltation relativement plus faciles à réaliser que des mesures totales.

Dans le cas précis du MAYO "B", la distinction entre charriage, saltation et suspension est impossible à faire car, même pour les très fortes crues, la profondeur dans la rivière reste faible et la turbulence est telle qu'un brassage puissant mélange tous les éléments sans distinction de grosseur.

Expérimentalement, nous avons distingué deux modes de transports qui correspondent chacun au procédé mis en oeuvre pour les mesurer : d'une part, les matières en suspension, d'autre part, les sables et graviers.

Les unités employées sont la dégradation spécifique D_S et la turbidité spécifique T_S .

La dégradation spécifique est le poids de terrain érodé par an et par kilomètre carré.

La turbidité spécifique est déduite de la dégradation par le rapport :

$$T_S = \frac{D_S}{H_e}$$

H_e étant l'indice d'écoulement.

B) MODE OPERATOIRE -

Nous avons remarqué en 1955 que la zone de tranquillisation à l'amont du déversoir de mesure installé sur le MAYO "B" était encombrée par le sable après chaque tornade importante. Cette variation, difficilement contrôlable, de la "pelle" amont entache d'une erreur systématique les débits relevés en 1955. Nous avons donc résolu d'agrandir la section à l'amont du déversoir de façon à créer un ralentissement de vitesse important permettant, d'une part, un meilleur étalonnage du déversoir et, d'autre part, de recueillir le sable charrié par le mayo et déposé dans la zone de vitesses faibles. Une fosse de décantation d'environ 10 m³ à la cote de la crête du déversoir a été aménagée. Le fond a été réglé à l'horizontale puis cimenté et nous avons protégé l'ensemble du ruissellement local par une murette cimentée. Nous pensions exécuter un lever topographique régulier de la fosse après chaque tornade et vider le sable toutes les semaines. L'expérience prouva qu'il fallait vider la fosse à chaque averse, les apports de plusieurs m³ n'étant pas rares.

Les mesures étaient effectuées de la manière suivante : après chaque tornade, la fosse était vidée de l'eau qu'elle contenait. Le sable était extrait à l'aide d'un récipient de capacité connue. Nous avons ainsi une mesure simple et précise de la quantité de sable transportée. Le sable était ensuite déposé en tas conique. Après séchage au soleil, on prélevait un quart du tas et l'on formait un nouveau tas conique et ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'un échantillon d'une dizaine de kilos. Cet échantillon était alors ramené au camp de base où nous le faisons sécher au soleil. Une équipe d'employés africains tamisait l'échantillon sec sur les tamis prêtés par le laboratoire des Travaux Publics. Les différentes fractions retenues par les tamis étaient pesées et nous pouvions tracer alors les courbes granulométriques qui s'expriment en pourcentage de "passant" au poids total en fonction de la dimension des mailles des tamis. La courbe granulométrique a été calculée pour chaque échantillon et reportée sur un graphique logarithmique.

Pour obtenir le débit solide total, il ne restait qu'à prendre des échantillons liquides pendant chaque crue, pour tenir compte de la fraction des éléments en suspension qui passait sur le déversoir.

On mesurait donc, dans une section bien déterminée, d'une part le débit des matières en suspension et, d'autre part, le débit charrié sur le fond (plus la petite fraction des éléments en suspension qui se déposaient dans la fosse où les vitesses étaient plus faibles que dans le lit de la rivière).

La mesure du transport en suspension s'effectuait de la façon suivante :

Dans l'abri installé près de la station de mesure du MAYO "B", six bouteilles propres et numérotées étaient entreposées. Dès le début d'une tornade, les relevés de hauteurs d'eau commençaient.

Lorsque le flot montait, un seau d'eau était prélevé sur le déversoir. Après agitation, on remplissait une ou deux bouteilles.

Deux autres prélèvements étaient effectués au maximum de débit et deux autres à la décrue.

Le prélèvement à l'aide d'un seau, pour rudimentaire qu'il soit, n'en reste pas moins la meilleure solution pour des débits variant extrêmement vite. Après la tornade, les échantillons recueillis dans les bouteilles de 650 cc étaient ramenés au camp de base. Là, les particules en suspension étaient précipitées à l'aide de quelques gouttes d'acide chlorhydrique.

En 1956, les Travaux Publics ont installé un laboratoire de mécanique des sols à FIGUIL pour le contrôle des terrassements. Nous avons pu obtenir l'autorisation d'utiliser le matériel, principalement étuves, trébuchet et tamis, pour le dépouillement rapide de nos mesures. Après précipitation, les échantillons, étaient décantés, puis étuvés à 105°. Le résidu sec était pesé au trébuchet. 82 échantillons ont été traités.

Les derniers échantillons n'ont pu être dépouillés sur place et ont été ramenés à YAOUNDE. Nous en avons profité pour faire l'analyse granulométrique des corps en suspension au Laboratoire de Pédologie de l'I.R.C.A.M.

La méthode utilisée est la suivante :

On disperse les particules au maximum par agitation pendant plusieurs heures. On laisse reposer

ensuite la solution et on opère des prélèvements à l'aide d'une sonde à une hauteur déterminée au bout de temps croissants. La loi de STOKES permet de déterminer la dimension des particules et de les classer en argile, limon et sable fin.

On admet que :

- argile < 0,002 mm.
- 0,002 < limon < 0,02 mm.
- 0,02 < sable fin < 0,2 mm.

La méthode n'est que relativement précise et donne des écarts assez importants avec les concentrations mesurées sur résidu sec.

L'erreur absolue sur nos échantillons était systématiquement positive.

c) RESULTATS OBTENUS -

1°) Charriage :

Le charriage, tel que nous l'avons mesuré, comprend une faible proportion de matières en suspension et la totalité de la saltation.

Nous donnons (tableau n° 1) le détail des répartitions granulométriques des échantillons de sable. Nous avons tracé (fig.1) le faisceau des courbes granulométriques. Les courbes sont groupées et montrent que le matériau recueilli est plutôt grossier. Après chaque tornade, nous avons trouvé de nombreuses pierres mélangées au sable, les plus grosses ne passaient pas à l'anneau de 5 cm. Nous donnons dans le tableau n° 2 le poids de sable recueilli à chaque tornade. Nous indiquons également le volume de la pluie efficace et le débit maximum de la crue.

Pour passer du volume de sable au poids, nous avons procédé à une mesure de densité qui, pour du sable humide, nous a donné 1,4 tonne au m³. Le même sable, desséché sous vide, nous a donné 1,56 tonne au m³, densité typique du sable siliceux.

- Corrélation pluie-poids de sable charrié :

Nous avons cherché à lier le poids de sable charrié à l'une des grandeurs qui caractérisent la pluie génératrice d'entraînement du sol. Dans une première série d'essais, nous avons tenté de tracer une courbe ayant en abscisse les volumes ruisselés et en ordonnée les volumes de sable correspondants. Les résultats n'étaient pas très concluants : dispersion énorme et, apparemment, nulle tendance bien nette.

L'utilisation du volume efficace (1) a été plus fructueuse (fig.2). La dispersion est tout de même très importante.

Il semble que l'on puisse tracer deux courbes ayant une origine à peu près commune. Le faible nombre de mesures empêche toute conclusion certaine, mais nous pouvons faire déjà les quelques remarques suivantes :

(1) Pluie efficace : partie de l'averse qui détermine le ruissellement.

Tableau 1

MAYO "B"

TRANSPORTS SOLIDES

TABLEAU DES RÉPARTITIONS GRANULOMÉTRIQUES

Dimension des tamis	N° ET DATES DES TORNADES									
	20_6 4_8_56	21_6 5_8_56	24_6 14_8_56	25_6 16_8_56	33_6 5_9_56	34_6 7_9_56	35_6 9_9_56	42_6 28_9_56	41_6 27_9_56	
4	78,75	94,04	79,13	82,50	93,90	96,50	83,50	80,50	96,40	
2,50	73,40	90,23	75,00	79,55	87,20	90,90	78,50	75,60	93,90	
1,60	64,80	81,87	66,75	72,40	76,00	81,60	70,40	68,00	88,00	
1,25	58,20	75,10	60,10	66,60	66,60	72,20	64,60	60,80	83,30	
0,80	45,50	60,70	45,80	53,60	50,00	56,10	51,60	48,30	71,40	
0,63	38,00	46,20	40,20	43,10	39,50	45,60	39,90	37,10	61,20	
0,40	20,40	24,70	24,00	24,90	25,50	31,00	22,00	19,00	40,40	
0,315	11,20	12,80	14,90	16,50	18,00	20,60	12,90	10,00	21,40	
0,16	2,20	1,70	2,50	2,50	5,00	7,00	2,40	1,80	5,30	
0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Poids des échantillons	14166 g.	4392 g.	2250 g.	8806 g.	2275 g.	2645 g.	3296 g.	6981 g.	2314 g.	

Les résultats sont donnés en pourcentage du poids total de l'échantillon

CAM. 6907

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: OCT 57

DES: GROTARD

VISA:

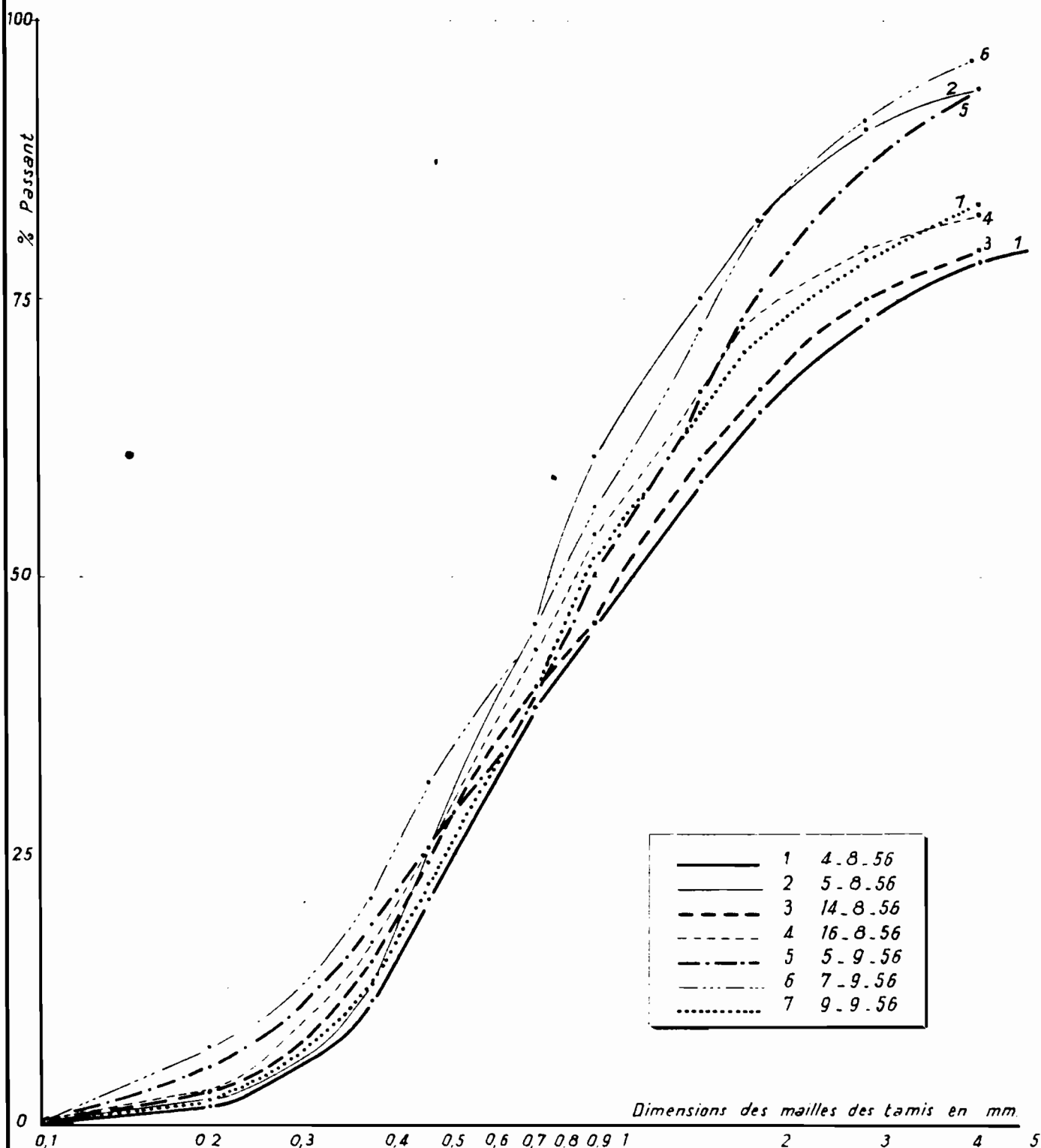
TUBE N°:

AO

MAYO "B"

TRANSPORTS SOLIDES

COURBES GRANULOMÉTRIQUES DES SABLES



CAM.6905

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: OCT 57

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

Tableau 2

MAYO "B"

TRANSPORTS SOLIDES

N° des tornades	Date	Volume de pluie efficace m ³	Débit maximum m ³ /sec.	Poids de sable déposé Kg.	Poids de matières en suspension Kg.	Transport solide total Kg.
13_6	22.7.56	374	0,15	0	60	60
14_6	24.7.56	2114	0,62	2420	1200	3620
16_6	26.7.56	2387	0,64	2830	1100	3930
18_6	31.7.56	818	0,176	535	185	720
20_6	4.8.56	2784	1,74	6050	2250	8300
21_6	5.8.56	800	0,44	1390	170	1560
25_6	16.8.56	908	0,44	2460	300	2760
29_6	27.8.56	498	0,213	330	170	500
32_6	2.9.56	258	0,046	0	15	15
33_6	5.9.56	683	0,097	63	87	150
34_6	7.9.56	423	0,097	38	40	78
35_6	9.9.56	4570	1,68	3780	950	4730
36_6	12.9.56	323	0,02	0	3	3
37_6	13.9.56	2005	1,66	1740	700	2440
40_6	25.9.56	1320	0,417	440	200	640
45_6	4.10.56	680	0,355		189	379
46_6	4.10.56	317	0,062	176	14	
				22252	7633	29885

CAM. 6908

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: OCT 57

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

CAM. 6906

ED:

LE: oct 57

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITE DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

MAYO "B"

TRANSPORTS SOLIDES

VARIATION DU POIDS DE SABLE TRANSPORTE
EN FONCTION DU VOLUME DE PLUIE EFFICACE

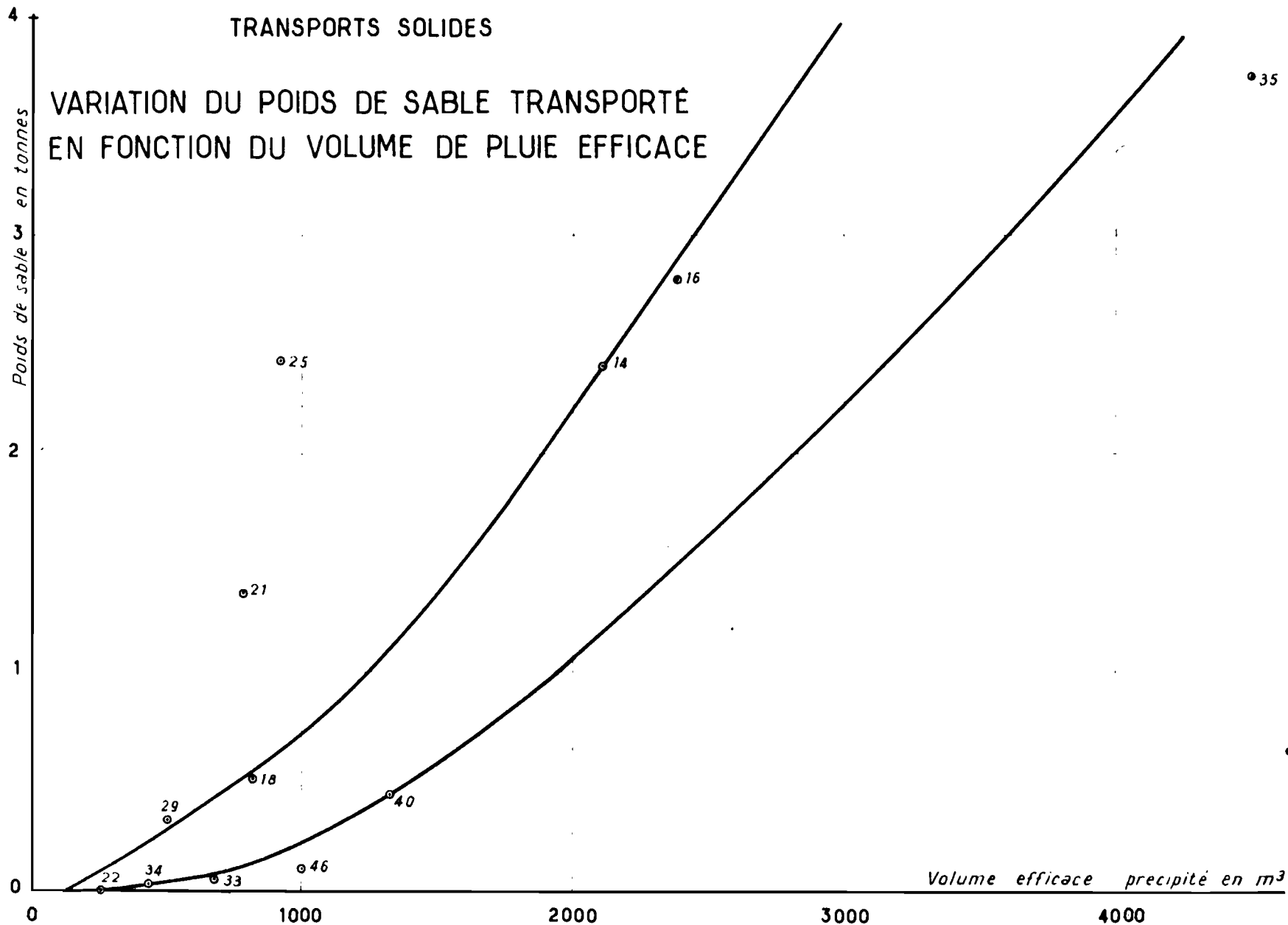


Fig. 2

- a) Le volume de sable croît très vite avec le volume efficace précipité;
- b) Les deux courbes correspondent grossièrement, l'une au début de la saison des pluies, tornades : 14, 16, 18, 29, l'autre à la fin de la saison des pluies, tornades : 46, 40, 37, 35.

L'influence de la végétation est très nette et c'est peut-être la principale responsable de la dispersion que l'on enregistre.

- c) Les deux courbes tracées délimitent une zone de corrélation entre les deux grandeurs. Nous ne pensons pas pouvoir définir autre chose pour chaque tornade que des tendances suivant la saison, c'est-à-dire la période végétative où elle se produit.
- d) Il est curieux de noter, d'après les résultats exposés, que le volume de sable roulé est apparemment lié plus étroitement à la pluie violente qui frappe le sol qu'au volume écoulé dans la rivière et qui le véhicule. Ceci tendrait à prouver que la capacité de transport de la rivière est très supérieure au charriage mesuré.
- e) Les deux tornades aberrantes (la 21-6 et la 25-6) sont deux cas très particuliers.

La 21-6 a succédé à la tornade la plus violente de l'année et l'on conçoit qu'elle ne se soit pas produite dans les mêmes conditions initiales qu'une tornade ordinaire.

La 25-6 est très complexe. Il y a eu plusieurs maxima d'intensité et nous avons été conduits à ne considérer comme pluie efficace qu'environ la moitié de la pluie totale. Il est possible que la moitié qui n'a pas ruisselé ait facilité les entrainements.

Remarquons, toutefois, que nous n'avons fait que des mesures globales de charriage. Si nous avions pu mesurer en même temps la quantité de matériaux charriés en une seconde et le débit liquide au même instant, nous aurions peut-être pu dégager une corrélation charriage-débit liquide. Les moyens mis à notre disposition

ne nous permettaient pas une analyse aussi fine du phénomène. Les variations rapides dans le temps des quantités à contrôler rendraient d'ailleurs les mesures impossibles.

2°) Matières en suspension :

Les mesures effectuées donnent une évaluation par défaut puisque les éléments les plus grossiers se sont déposés dans la fosse.

Les échantillons prélevés nous donnent la concentration en grammes par litre. Le tableau n° 3 fournit la liste des résultats obtenus. Nous donnons en regard les débits liquides instantanés correspondants. Nous en avons déduit le poids de matières en suspension transporté pour un débit liquide donné en multipliant le débit par la concentration, ce qui suppose une répartition homogène de la concentration dans toute la section.

- Corrélation débit-poids de matières en suspension transporté :

Nous avons reporté les points sur un graphique (fig.3). Il se dégage là aussi deux courbes distinctes qui, à notre avis, délimitent une zone de corrélation. Les limites correspondent probablement à deux états de la végétation : courbe supérieure fin de saison sèche, début de saison humide, et courbe inférieure fin de saison des pluies.

On remarque dans le Nord-Cameroun une nette différence entre les mois d'Août et de Septembre-Octobre. Au mois d'Août, les herbes sont encore basses et poussent lentement, les arbres sont déjà feuillus. Aux mois de Septembre et Octobre, les herbes atteignent leur plein développement et mesurent plus de 1 m. de haut. A notre avis, ces herbes ont une influence primordiale sur le ruissellement. Elles ont un double effet sur l'érosion.

D'une part, elles font un écran que la pluie doit d'abord "mouiller". Cet écran protège le sol contre le choc direct des gouttes d'eau. D'autre part, les racines enserrant les particules de terre et limitent les entrainements. Après une tornade, les herbes sont couchées par la pluie et le vent et la quantité d'eau qu'elles retiennent à leur surface est considérable. Sur

MAYO "B"

Tableau 3

CONCENTRATIONS MESURÉES

N° des Crues	Date	G/L	Q liquide m³/sec	Q solide Kg/sec	N° des Crues	Date	G/L	Q liquide m³/sec	Q solide Kg/sec	
13_6	22.7.56	0,49	0,0016 C	0,0008	24_6	14.8.56	1,00	0,62 C	0,62	
		1,15	0,149 C	0,1710			0,14	0,81 C	0,113	
		0,57	0,002 D	0,0011			25_6	16.8.56	0,46	0,418 C	0,192
14_6	24.7.56	1,39	0,54 C	0,75	0,62	0,44 C			0,272	
		2,83	0,60 E	1,70	0,48	0,051 D			0,025	
		0,19	0,103 D	0,0196	0,45	0,043 D	0,019			
16_6	26.7.56	0,34	0,091 E	0,031	29_6	27.8.56	0,17	0,007 D	0,0014	
		0,37	0,091 E	0,034			0,17	0,007 D	0,0014	
		0,22	0,117 C	0,026			0,77	0,117 C	0,09	
		0,25	0,08 D	0,02			2,30	0,16 C	0,37	
		0,22	0,072 D	0,016			1,00	0,186 D	0,186	
18_6	31.7.56	0,19	0,008 D	0,0015	30_6	28.8.56	1,05	0,16 D	0,168	
		0,29	0,017 C	0,0050			0,42	0,015 D	0,0063	
		0,54	0,068 C	0,037			0,40	0,012 D	0,0048	
		0,25	0,019 D	0,0047			0,95	0,44 C	0,42	
20_6	4.8.56	1,29	0,76 C	0,98	36_6	12.9.56	1,29	0,62 C	0,80	
		1,77	1,74 E	3,1			0,83	Perturbation		
		0,29	0,015	0,0043			0,91	avale		
21_6	5.8.56	0,37	0,44 C	0,163	0,03	0,186 D	0,0056	0,03	0,186 D	0,0056
		0,37	0,44 C	0,163	0,12	0,06 D	0,0072	0,12	0,06 D	0,0072
		0,26	0,051 D	0,0132						
		0,28	0,043 D	0,012						

N° des Crues	Date	G/L	Q liquide m³/sec	Q solide Kg/sec	N° des Crues	Date	G/L	Q liquide m³/sec	Q solide Kg/sec
32_6	29.8.56	0,45	0,049 C	0,019	37_6	14.9.56	0,18	0,58 C	0,104
		0,40	0,03 D	0,012			0,62	1,40 C	0,87
		0,32	0,008 D	0,0025			0,53	0,71 D	0,376
33_6	5.9.56	0,57	0,06 C	0,034			0,51	0,48 D	0,244
		1,58	0,097 C	0,153			0,42	0,21 D	0,088
		0,66	0,078 D	0,051	40_6	25.9.56	0,35	0,078 D	0,027
0,74	0,05 D	0,037	0,88	0,265 C			0,233		
0,55	0,006 D	0,0033	0,86	0,388 C			0,334		
34_6	7.9.56	0,82	0,097 E	0,080			0,45	0,294 D	0,132
		0,75	0,078 D	0,059			0,32	0,03 D	0,0096
		0,31	0,037 D	0,011	45_6	4.10.56	0,94	0,138 C	0,13
0,51	0,032 D	0,016	0,95	0,238 D			0,226		
0,24	0,265 C	0,064	0,68	0,077 D			0,052		
35_6	9.9.56	0,60	0,58 C	0,35			0,55	0,03 D	0,0165
		0,24	Perturbation		46_6	4.10.56	0,43	0,06 D	0,0258
		0,20	avale				0,58	0,043 D	0,025
0,33	0,51 D	0,17							
		0,48	0,80 C	0,38					
		0,36	0,387 D	0,14					
		0,43	0,186 D	0,080					
		0,16	0,019 C	0,003					
		0,26	0,009 D	0,0023					

C Crue
D Décrue
E Crue étalée

CAM_6909

E.D.F. IGUFE
DES... LE...

chaque brin d'herbe, on peut compter plusieurs gouttes qui n'ont pu contribuer à l'érosion.

D'après nos observations sur le terrain, il n'est pas étonnant qu'entre début et fin de saison des pluies, les entrainements soient réduits de plus de moitié comme l'indique notre graphique.

La répartition des points expérimentaux, compte-tenu de la date des mesures, confirme cette impression.

Il est à remarquer que les points se groupent volontiers en deux catégories correspondant pour chaque crue élémentaire à la crue et à la décrue. C'est assez net pour les faibles débits.

L'analyse granulométrique de certains échantillons permet de souligner la très forte teneur en argile des eaux du mayo (tableau n° 4).

Tableau 4

MAYO "B"

ANALYSE DES MATIÈRES EN SUSPENSION

N° des échantillons	% DE SOLUTION			
	Argile	Limon	Sable fin	Total
2	0,96	0,52	0,20	1,68
3	0,51	0,78	0,13	1,42
4	0,85	0,34	0,052	1,24
5	0,85	0,25	0,070	1,26
6	0,85	0,25	0,014	1,11
7	0,78	0,28	0,027	1,08
15	0,62	0,26	0,13	1,01
16	0,89	0,50	0,082	1,47
17	0,87	0,31	0,037	1,21
18	0,85	0,31	0,024	1,78
19	1,12	0,18	0,18	1,48
20	1,05	0,17	0,19	1,41
21	0,09	0	0,12	0,21
22	0,70	0,26	0,074	1,03

CAM. 6910

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: oct 57

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

CONCLUSION -

Les deux modes de transports solides étudiés ne présentent pas le même intérêt du point de vue Travaux Publics.

Les matières en suspension ne perturbent pas le fonctionnement des ouvrages réalisés sur les routes car nous avons pu observer en laboratoire qu'il faut plusieurs minutes aux sables fins et limon pour se déposer en eaux calmes et plusieurs heures pour les matériaux argileux plus fins.

Les sables, au contraire, ont tendance à se déposer en tête des ouvrages, surtout lorsque le débouché est insuffisant et que le plan d'eau s'élève à l'amont, formant ainsi une vaste zone de décantation.

Du tableau n° 2 nous pouvons déduire les points suivants :

1°) Une tornade importante (tornade de fréquence annuelle par exemple) peut transporter jusqu'à 8 tonnes de matières solides; 2 tonnes seront entraînées en suspension et 6 tonnes charriées. C'est donc un volume d'environ 4 m³ de sable qu'il faudra évacuer si l'on ne veut pas risquer un engorgement des buses. Le profil des formes à l'amont de l'orifice d'entrée est donc à soigner particulièrement. Il faut, d'autre part, donner à l'ouvrage un débouché et une pente tels qu'il y ait accélération locale du courant. Il est nécessaire de lever un profil en long du mayo de part et d'autre de la route de façon à se faire une idée de la pente qu'il faudra donner au radier et de la cote à laquelle on pourra le descendre.

2°) Les résultats exposés ne concernent qu'une partie de la saison des pluies. Le total pluviométrique est de 761 mm. pour la période observée. Si nous extrapolons les transports solides mesurés, charriage et suspension, proportionnellement au total pluviométrique de l'année, 1064 mm., nous obtenons 42 tonnes pour une superficie de 6,6 hectares. Ce chiffre correspond à une dégradation spécifique de 640 tonnes par an et par km². Ce chiffre est voisin de ceux rencontrés sur les bassins versants montagneux et qui s'établissent entre 500 et 1.000 tonnes par km² et par an. Il a été mesuré 600 tonnes par an à la station de l'Archidiacre près de SERRE-PONCON sur la DURANCE et 1.000 tonnes par an au Pont Mirabeau. Les climats subdésertiques et stepmiques

accusent des dégradations spécifiques de plusieurs milliers de tonnes par an. L'absence totale de végétation dans ces régions est la principale responsable de ces chiffres énormes.

A titre d'indication, les fleuves de plaine, comme la SEINE ou la LOIRE, ne dépassent pas 20 à 30 tonnes par an et par km².

Les résultats acquis sur le bassin versant du MAYO "B" ne portent pas sur plusieurs années comme il le faudrait pour donner des renseignements précis sur les dégradations spécifiques que l'on peut rencontrer dans le Nord-Cameroun. En fait, vu sous l'angle Travaux Publics, ils sont suffisants. Le problème de l'ensablement des petits ouvrages se pose plutôt à l'échelle d'une tornade que d'une saison des pluies. Il est plus important de savoir qu'un passage de buse drainant quelques hectares devra évacuer 6 tonnes de sable et 2 tonnes de matières en suspension en 1 h., plutôt que 20 tonnes de sable et 10 tonnes de matières en suspension en 5 mois.

02

ÉTUDE
des bassins versants expérimentaux
du MAYO-KERENG



ANNEXES

A N N E X E S

1ère partie

Campagne 1956

Emplacement	N° des échantils	% de terre fine				% total
		Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	
Radier	11	18	10	36,5	35,5	6,5
	12	14	7,5	38,5	40	23
	13	26	14	33	27	1,4
	14	17	8	43	32	0
P1	21	9,5	8,5	28	54	16,1
	22	9,5	9,5	31	50	0
P2	31	18,5	12,5	50	19	7,1
	32	31	8	29,5	31,5	0
P3	41	33	9	31	27	10,4
	42	26	12	29,5	32,5	0
	43	17	14	39	30	3,2
P4	51	14	8,5	36	41,5	26,6
	52	11,5	11,5	36,5	40,5	20,7
	53	10,5	13,5	46	30	3,9
P4	61	9	8,5	43,5	39	2,6
	62	25	12,5	31,5	31	0,5
	63	24	11	34	31	0,64
P5	71	7	7	50	36	4,5
	72	12	8,5	37	42,5	5,8
	73	7	8	54	31	2,8
	74	21	11,5	26,5	41	0,55
P5	81	10	9,5	40,5	40	46,5
	82	18	14	48	20	2,1
P6	91	23,5	14	40,5	22	0
	92	21,5	11	42,5	25	0

Emplacement	N° des échantils	% de terre fine				% total
		Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	
P7	101	32	11,5	38,5	18	23,7
	102	17,5	35,5	28,5	18,5	48,9
P7	111	16	9	39	36	7
	112	26,5	14,5	35,5	23,5	7,2
	113	19	15	45	21	0,9
	114	16	14,5	46	23,5	0,6
PA	115	16	14	44,5	25,5	0,7
	121	18	11	30	41	2,5
PB	132	33	18	38	12	18,8
P8	141	23,5	11,5	46	19	10,2
	142	9	37	35	19	5,6
	143	13,5	15	45,5	26	0,9
P9	151	11,5	7,5	46,5	34,5	4,1
	152	19	8,5	34	38,5	9,7
	153	12,5	12,5	37,5	37,5	0
P10	161	9	8	35,5	47,5	26,8
	162	12	9	28,5	50,5	22,3
	163	13	11,5	36	39,5	3,8
P11	171	11,5	10	46	32,5	54,5
	172	32	8,5	25	34,5	14,2

CAM. 6911

ED:

LE: OCT. 57

DES: GROTTARD

VISA:

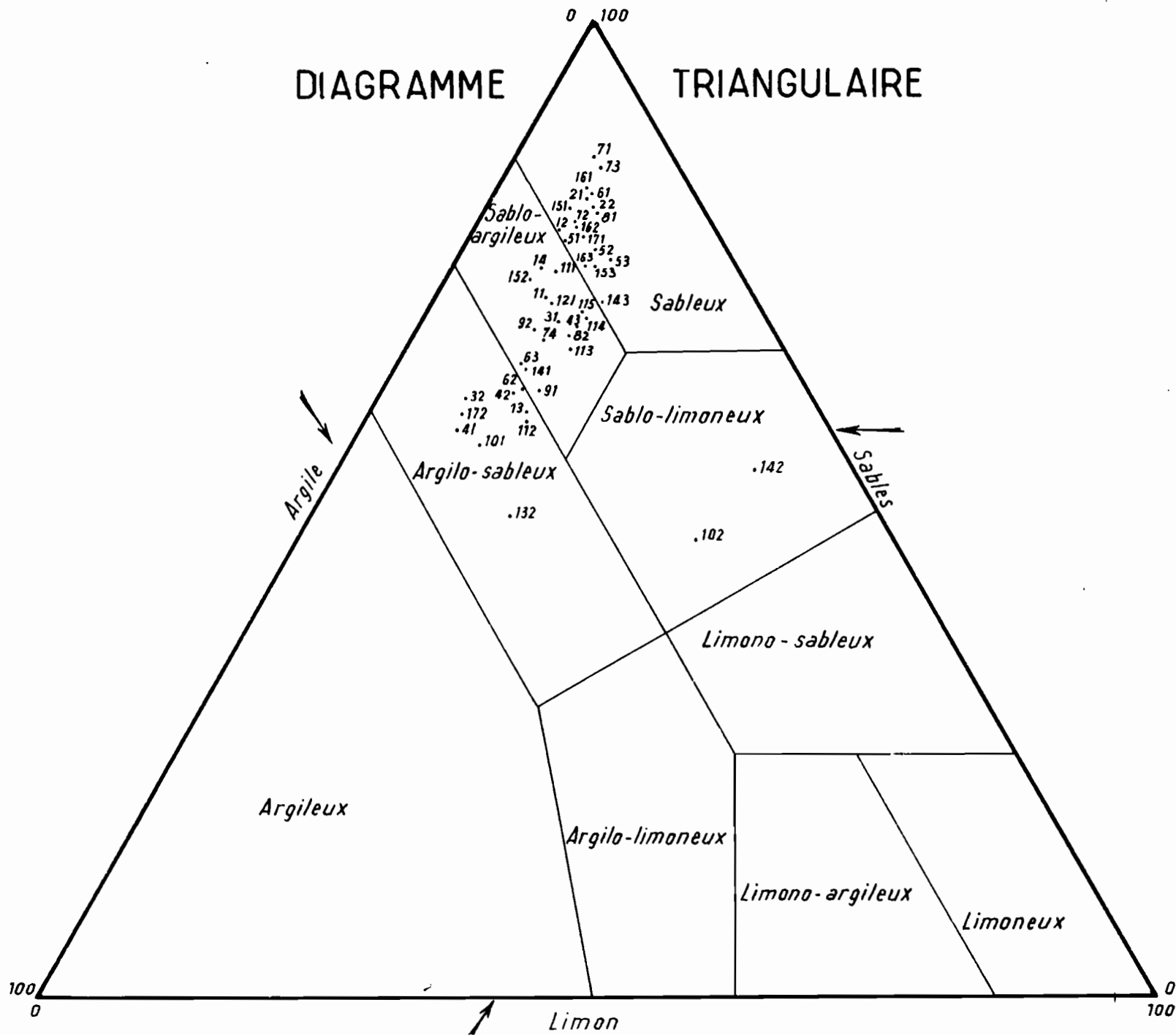
TUBE N°:

AO

ELECTRICITE DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

DIAGRAMME

TRIANGULAIRE



MAYO KERENG PLUVIOMETRIE en juillet . août . septembre 1955

Ki = $\frac{H_{max}}{H_{min}}$ Ka = $\frac{H_{moy}}{H_{max}}$

Annexe 3

DATE	N° de l'averse	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	A	B	H.moy.	Ki	Ka
29 Juin	1.5	2,7	3,2	4,1	3,9	4,2	1,9	3,3	3,5	3,8			4	3,5	3,04	2,20	0,72
8 Juill.	2.5	17,6	22,6	21,2	19,1	23,6	18,8	19,4	18,5	17,6			20,7	19,1	20,01	1,32	0,85
12 "	3.5	7,2	3,6	5,3	6,8	4,6	7,4	5,6	5,2	8,6			3,7	7,1	6,10	2,44	0,69
15 "	4.5	5,5	5,6	5,9	5,9	6,2	5,7	5,6	5,7	5,5			5,1	5,4	5,55	1,21	0,89
18 "	5.5	2	2,2	2,9	2,9	3,3	1	1,9	1,4	3,2			1,5	2,4	2,24	3,30	0,68
19 "	6.5	1	1,2	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,4	1			1,6	1,1	1,26	1,60	0,79
20 "	7.5	40,3	27	29,8	35,4	46,7	36,1	35,8	41,2	29,6			35,2	31,4	35,32	1,73	0,78
21 "	6.5	1,1	2,1	2,2	0,2	1,7	0,3	1,5	4	1,7			1,5	1,7	1,64	20	0,41
22 "	9.5	26,7	24,9	25	26,1	25,3	33,4	33,4	33,1	26,4			32,1	25,7	28,35	1,34	0,85
26 "	10.5	3,2	4,8	5,1	5,6	2,5	3,7	2,1	2,6	5,1	4,3	4,5	2	4,3	3,63	2,80	0,68
27 "	11.5	0,7	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,4	0,6	0,8	0,60	2	0,75
28 "	12.5	98,4	55,6	63,8	62,3	72	80	91,4	90,8	60,7	69	63	89,6	65	74,95	1,74	0,78
31 "	13.5	2,4	1,8	1,9	2,2	2,1	2,4	2,3	2	1,8	2	2	2	1,9	2,06	1,33	0,86
Totaux		207,0	155,0	166,6	194,2	194,2	192,4	204,4	210,2	165,8			199,6	169,4	164,95		
1 Août	14.5	28,4	20,7	21,1	27,8	28,7	26,8	29,5	33,5	21	23,8	22,4	29,9	23,9	25,95	1,62	0,77
3 "	15.5	0,9	1	0,9	0,8	0,9	1	1,1	0,8	0,8	1	1	1	0,8	0,92	1,38	0,84
5 "	16.5	7,9	5,8	7,4	6	7	9,1	8	13,5	7,2	5,9	6,4	7,8	5,3	7,60	2,55	0,58
6 "	17.5																
	18.5	11	13,6	11,8	12,6	15	17,7	26,6	14,4	13,2	12,9	13,2	21,5	11,8	15	2,42	0,56
9 "	19.5	1,7	2,9	3,4	2,7	2,3	1,5	0,8	0,7	3,5	3,1	3	0,7	2,4	2,21	5	0,63
12 "	20.5	21,4	25,2	22,9	24,1	26,7	24,5	24,1	22	25,4	24,2	23,6	21,5	23,7	23,80	1,25	0,89
14 "	21.5	3,5	3,7	4,7	2	3,1	1,2	1,2	1,4	4,3	2,7	2,8	1,5	1,4	2,57	3,90	0,83
15 "	22.5	18,5	14	18,9	18,7	20,3	18,1	22	31	16,5	16,5	15,7	21	17,2	18,95	2,20	0,61
16 "	23.5																
17 "	24.5	4,1	0,5	0,9	2	2,4	1,7	0	0,3	0,7	1,8	1,5	0	4,2	1,81		0,43
19 "	25.5	6,5	7,8	7,3	6,9	9	8,4	9,4	9,1	8,1	9,4	8,5	8,5	7,1	8,45	1,32	0,90
21 "	26.5	32,2	22,3	24,1	35,4	24,7	32,9	38,1	33,8	26,5	29,5	27,3	34,2	26,4	29,95	1,71	0,79
24 "	27.5	1,8	4,9	4,9	1,9	2,4	1,7	0,9	1,1	5,6	2,4	2,5	1,3	2	2,57	6,20	0,46
25 "	28.5	3,7	0	0	2,9	2,1	3,2	3,6	3,5	0	2,3	2,4	3,4	2,5	2,90		0,81
26 "	29.5	25,7	31,1	30,4	26,1	24,8	26,9	24,3	22,8	29	26,4	28,1	23,3	26,2	26,70	1,30	0,66
28 "	30.5	1	1,1	1,1	1,1	0,8	1,3	1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	0,9	1,09	1,63	0,84
29 "	31.5	0,9	0,2	0,5	0,6	0,7	0,8	1,3	1,2	0,4	0,7	0,7	1	0,5	0,73	6,50	0,58
31 "	32.5	40,8	34,7	36,1	39,1	30,2	40,3	47,8	47,8	37,5	36,1	36,2	48	35,2	39,20	1,59	0,82
Totaux		212,0	189,3	194,2	212,7	200,9	216,9	239,7	237,8	202,9	201,6	196,5	225,7	191,5	210,40		
3 Sept	33.5	2,3	2,8	2,3	2,2	2,2	2	2	2,1	2,3	2,3	2,3	1,9	2,1	2,20	1,37	0,85
5 "	34.5	42,9	34,2	32,3	47	35,8	41,5	38,6	35,1	46	51	47,6	38,5	47,5	41,20	1,56	0,81
7 "	35.5	31,8	38,1	35,2	32,9	32	33,7	33,9	32,1	36,6	33,9	33,6	33,6	31,8	33,62	1,16	0,92
10 "	38.5	21,8	17,8	22,9	21,6	18,2	20,6	20,4	17,9	23,2	23	21,7	19,5	22,1	20,80	1,30	0,90
14 "	37.5	23,2	25,4	25,8	25,1	25,1	22,8	23	24	26,3	24,3	24,6	24	24,5	24,47	1,15	0,93
19 "	38.5	9	8,3	10	9,2	6,6	9,2	10,3	7,8	9,6	9,6	9,6	11	8	9,26	1,41	0,84
20 "	39.5	1	1,1	1,2	1,4	1,4	1,2	0,8	0,9	1,1	1,3	1,2	0,7	1,3	1,15	2	0,82
22 "	40.5	22,7	23,9	24,7	23,5	18,5	17,4	18,8	18,2	24,7	23,8	23,7	17,6	22	17,50	1,42	0,87
25 "	41.5	6,2	7,4	7,4	8	6,3	7,5	6,7	9,7	8,1	7,5	7,6	6,5	7,3	8,02	1,32	0,83
27 "	42.5	26,3	29,4	29,5	30	29	20	21,6	28	31,7	28,9	28,7	24	25,4	27,13	1,59	0,85
Totaux		189,4	186,2	191,3	200,9	179,1	175,9	178,3	175,8	209,6	205,6	201,0	179,3	192,0	189,35		

CAM. 7509

Annexe 3
(Suite)

DATE	N° de l'averse	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	A	B	H moy.	Ki	Ka
24 Juin	1-6		29,5	27	30	26							26	33,3	29,30	1,23	0,88
25 "	2-6	1	1,4	1,3	1,3	1,5	1,3	0,7					1	1,5	1,20		
29 "	3-6	1,3	1,8	1,3	1,1	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5	1,3	1,8			
Totaux		2,3	32,5	29,6	32,4	31,0							30,3	36,4			
4 Juillet	4-6	6	6,1	9	3,4	7,8	6,5	9,3	6,7	6,8	7,5	6,1	7	9	7,78	2,74	0,64
8 "	5-6	5,4	5,6	5,5	4,7	5,7	10	9,9	6,7	6,6	9,4	9,9	7	7,5	7,66	2,12	0,77
11 "	6-6	2,1	2,5	2,5	2,5	2,4	2,3	2,4	2,3	2,3	2,3	2,4	1,9	2,3	1,96	1,32	0,97
14 "	7-6	1,1	0,6	0,3	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0,2	0	0,21		
15 "	8-6	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6	1,4	1,6	1,67	1,29	0,93
16 "	9-6	11,2	13	11,9	1,8	5,4	4,5	5,3	5,6	7,5	11,5	12	12,6	4,2	6,21	3,10	0,63
17 "	10-6	1,4	1,3	1,3	1,4	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	1	1	1,1	1,5	1,35	1,80	0,75
20 "	11-6	12,6	12,3	12,6	12	12,2	12	12,6	12,6	12,6	11,6	12	11,3	12	12,20	1,11	0,97
22 "	12-6	7,5	7,6	6,5	12,2	12,7	12,6	12	9	6,1	7,8	7,5	7,5	13	9,72	1,73	0,75
22 "	13-6	0,5	2,7	1,6	4,2	21	21,6	3,6	20	5,5	6	6	5,9	22,5	7,33	14,70	0,326
24 "	14-6	40,3	41,2	40,9	47,4	47	46,2	45,7	36,2	45,6	37,2	40,7	39	45	42,20	1,26	0,69
26 "	15-6																
26 "	16-6	51,5	53,4	55,3	49	64,5	56,6	52,5	46,5	51,2	52,3	53,6	47,6	39,2	51,70	1,65	0,60
29 "	17-6	23,2	21,8	23,4	10,8	29,6	21,4	20,6	20,7	21,3	21,2	20,7	20,7	21	21,30	1,43	0,72
31 "	18-6	24,6	19,6	18,6	21,5	20,4	17,6	17,1	17,2	16,3	16,2	16,8	15	16	15,00	1,65	0,61
Totaux		191,2	191,8	193,4	172,5	232,0	217,2	194,9	194,7	186,9	186,0	195,1	176,4	194,6	66,29		
2 Août	19-6	5,3	5,6	5,8	6,6	6,1	6,2	7,3	6	6,6	5,9	5,7	5,6	7,7	6,66	1,62	0,78
4 "	20-6	66,2	67,4	66,5	64	60,6	69,6	67	69,1	66,3	69,9	71,6	66,3	66	67,70	1,18	0,94
5 "	21-6	26,1	26,3	24,7	15,6	9,7	9,5	13,2	7,6	13,3	16,4	19,2	9,3	15,2	16,16	3,72	0,57
10 "	22-6	0,3	0,6	0,6	1,1	2,6	1,4	1	1,1	1,1	0,6	0,7	0,6	1,4	1,07	9,30	0,36
13 "	23-6	1,6	2	2,4	3,1	4,7	2,9	3,4	2,2	2,3	1,9	1,6	3,2	1,9	2,56	2,60	0,55
14 "	24-6	90,9	91,9	94,6	95	96,5	79,6	100,5	70,1	93	66,2	67,1	65,1	61,3	66,25	1,43	0,67
16 "	25-6	26,1	29,1	26,4	25,7	16,6	16,4	23	16	22	26,9	30,7	16,6	27,6	24,21	1,67	0,79
20 "	26-6	2,6	2,2	2	1,6	1,1	1,6	1,4	1,3	1,6	2	2,1	0,9	1,7	1,70	2,90	0,65
23 "	27-6	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	0,7	0,7	0,62	1,29	0,91
25 "	28-6	2,1	2,3	2,4	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,2	2,4	2,4	2,3	2,3	2,32	1,14	0,97
27 "	29-6	13,9	15,5	14,7	13,1	14,6	16,5	15,5	16,1	17,9	16,5	16,3	16,6	15,9	15,56	1,37	0,66
28 "	30-6	27,2	34,7	34,3	36,6	36,6	62,6	72	72	65	44,2	35,1	65,2	47	50,53	2,64	0,70
Totaux		265,4	260,7	279,5	269,6	277,0	271,3	307,5	266,7	292,3	260,9	273,6	274,6	270,9	277,56		
15 Sept.	31-6																
2 "	32-6	27,5	26,6	29,2	29,9	26,1	35,9	35,4	35,6	33,1	26,6	29	35,7	26,6	31,20	1,30	0,87
5 "	33-6	12,4	13,3	12,3	11,4	5	4	7,1	3,7	6,3	9,2	10,7	3,4	6,9	6,26	3,90	0,62
7 "	34-6	6,5	9,6	10,2	11,3	6,6	9	11,2	11,1	11,6	10,8	10,6	9,5	11	10,26	1,39	0,67
9 "	35-6	75,2	62,4	61,4	76,1	66	66,4	77	73	66	64,2	60,3	72,6	79	76,69	1,30	0,69
12 "	36-6	6,6	6,6	6,5	9,3	6,5	7,1	7,1	7,2	9,3	9	9,2	6,9	7,7	6,36	1,31	0,91
13 "	37-6	46	49,6	48,9	46	40,7	40,2	44,5	46	56,6	49	46,9	39,6	51	47,02	1,42	0,63
16 "	38-6	6,2	7,1	7,2	7,6	11	6,2	7,9	7	6,2	7,2	7,3	6,2	6,9	7,66	1,60	0,71
19 "	39-6	3,1	3,5	3,5	4,1	4,6	5,6	4,6	6,3	4,7	4,2	4	5,5	3,9	4,47	1,31	0,71
23 "	40-6	27,6	30,6	31,4	25,3	22,7	26,5	26,6	34,5	29,2	30,6	31,6	30,5	26,4	29,22	1,52	0,65
26 "	41-6	4,2	5,3	5,2	6	4,6	3,9	5,7	5,1	5	5,4	5,4	3,9	5,1	4,96	1,54	0,63
29 "	42-6												1,2	1,2			
30 "	43-6												4,4	3,5			
Totaux		223,3	236,6	237,6	229,2	200,2	206,6	229,4	229,7	250,2	236,6	237,2	223,6	235,2	226,56		
4 Oct.	44-6																
	45-6	33,6	36,6	40	32	24,6	19,9	27	24	26,1	33,4	33,6	19,7	31,6	29,71	2,03	0,74
	46-6																
	47-6	6,5	6,6	9	6	5	3,5	4,5	4,2	5,3	7,6	6,6	3,3	6,3	6,35	2,73	0,705

TABLEAU ANALYTIQUE DES RÉSULTATS
1955-1956

Annexe 4

* Averse unitaire

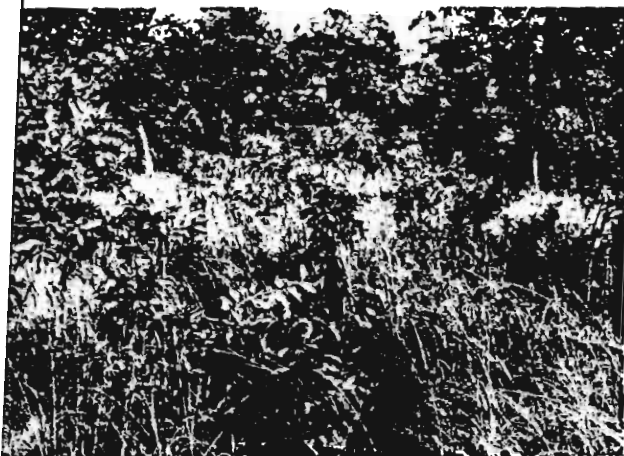
Date	N° des Averses	Ecart à la pluie précédente	Hauteur (mm)			Volume précipité (m³)	Durée totale (h)	Durée plus efficace (minutes)	Volume efficace (m³)	Intensité efficace (mm/h)	Lag (minutes)	Rise (minutes)	Durée du ruissellemt. (minutes)	Débit max. (m³/sec)	Volume ruisselé (m³)	Coefficient de ruissellemt.	Hauteur ruisselée (mm)	Intensité excédent. (mm/h)	Capacité d'absorption (mm/h)
			Moy.	Maxi.	Mini.														
20.7	7.5	108"	35,3	48,7	27	141000	4"34	38	84000	24,8	75	7	90	3,2	7380	10,9%	1,84	2,9	21,9
22.7	9.5	48"	28,4	33,4	24,9	113 600	2"18	24	75000	48	32	22	75	18,4	31800	42%	7,95	18,5	27,5
29.7	12.5	80"	75	98,4	55,8	300000	2"45	56	264000	64,5	93	28	114	40,4	124000	47%	30,3	32,5	32
2.8	14.5	88"	28	33,5	20,7	104000	2"55	27	86400	36	35	8	60	10,3	16320	24,6%	4,08	9,1	26,9
5.8	16.5	96"	7,2	13,5	5,1	28800	1"	7	13300	27,8	105	7	60	0,33	472	3,6%	0,118	1	26,8
6.8	17.5	28"				31200	0"43'	8	19800	36,3	96	6	60	0,90	1140	5,6%	0,285	2,1	34,2
7.8	18.5	30"	13,8	28,6	11	32000	0"27'	10	27300	40	50	6	60	3,7	5770	21,2%	1,44	8,6	31,4
12.8	20.5	72"	23,8	28,7	21,4	95000	1"35'	37	44000	17,5	78	8	58	0,75	1233	2,8%	0,308	0,5	17
15.8	22.5	70"	18,6	31	13	74500	10"13'	5	10250	30	37	6	59	2,05	2820	2,78%	0,705	8,4	21,8
16.8	23.5	11"					2"45'	12	14600	17,8	<i>Crue double</i>		102	1,05	3150	21,6%	0,787	3,9	13,9
21.8	26.5	72"	30	38,1	22,3	120000	2"20'	24	106700	65	30	7	60	13,5	17400	16,3%	4,35	10,9	54,1
26.8	29.5	24"	26,7	31,1	22,8	107000	3"40'				80								
31.8	32.5	v125"						10	53300	80	33	18	51	5,8	7680	14,5%	1,92	11,5	68,5
	33.5	v 0"26'	39,2	47,8	30,2	158 700	1"10'	7	59000	123	32	25	65	14,2	28200	48%	7,05	60,5	62,5
5.9	34.5	113"	41,5	48,8	32,3	166000	3"	35	102500	43	36	14	98	6,9	19650	19,1%	4,92	8,4	34,6
7.9	35.5	v 48"	33,7	36,6	31,8	134 700	4"50'	5	18800	55,4	90	25	85	0,7	1500	8%	0,375	4,4	51
		v 1"45'						45	58000	19,1	50	45	180	5	20800	36%	5,2	6,9	12,2
10.9	36.5	80"	20,8	23,2	17,8	83200	2"30'	22	63100	42	50	30	95	2,6	6980	11%	1,74	4,7	37,3
22.9	40.5	72"	15,7	19,7	12,4	62800	0"12'	12	62200	76	40	20	68	6,1	11500	18,4%	2,88	14,4	61,6
27.9	42.5	48"	27,2	31,7	20	108800	2"14'	39	72500	27,2	45	15	138	2,8	8970	12,4%	2,24	3,4	23,8
<i>Écoulement hypodermique et ruissellemt local</i>																			
22.7	13.6	11"	13	22,5	1	52000	0"10'	10	52000	78	43	7	60	8,7	11650	22,4%	2,91	17,5	60,5
24.7	14.6	14"	42,2	47,4	37,2	168800	6"	60	158400	39,6	48	34	110	18,2	60020	38%	15	15	24,8
26.7	16.6	5"30'	43			172000	2"25'	91	146000	24	33	55	112	21,3	68580	47%	17,1	11,3	12,7
31.7-1.8	18.6	39"	19,45	30,6	15	77800	2"30'	39	54800	21	43	6	100	3,3	6440	11,8%	1,61	2,5	18,5
4.8	20.6	36"	67,5	71,8	60,6	270000	4"12'	14	107000	114,5	29	29	220	20,5	49920	48,6%	12,5	53,5	61
5.8	21.6	24"	16,8	28,3	7,6	66400	1"07"	12	38400	48	31	18	60	5,1	8430	22%	2,11	10,5	37,5
14.8	24.6	1"30'	87,5	100,5	70,1	350000	9"	39	203200	78,2	36	30	85	52	112500	55,4%	28,1	43,2	35
16.17.8	25.6	46"	24,6	30,7	16,4	98400	2"55'	20	44000	33	35	20	86	2,6	3720	8,5%	0,93	2,8	30,2
27.8	29.6	33"	15,6	17,9	13,1	62400	3"	6	32040	80,1	130	25							
28.8	30.6	26"	48,9	72	27,2	195800	1"18'	15	114000	114	32	16	87	32,6	67600	56,4%	18,9	67,8	48,4
1.9	31.6	90"	5,3			21 200	0"24'	8	17800	68	15	5	60	1,08	1638	9,3%	<i>N'a pas intéressé tout le B</i>		
2.9	32.6	18"	25,6	30,9	27,5	102400	3"	9	27600	46	35	21	200	1,6	4500	18,3%	1,12	7,5	38,5
5.9	33.6	75"	8,5	13,3	3,4	34100	0"19'	8	20800	38,9	33	8	50	0,21	313	1,5%	0,08	0,6	38,3
7.9	34.6	40"	10	11,8	6,4	40000	1"13'	16	23600	22,2	61	10	75	0,30	605	0,025%	0,15	0,8	21,8
9.9	35.6	4"24'	77,1	86	68	308000	4"	39	165000	71,3	27	27	126	26,2	105000	56,7%	26,2	40,3	31
13.9	36.6	72"	8,55	9,3	7,1	34 200	3"06'	11	24000	32,6	100								
13.14.9	37.6	18"	46,2	56,6	34,7	185000	3"49'	37	120300	46,6	25	25	110	18,2	49920	41,5%	12,5	20,2	28,4
16.9	38.6	15"30'	7,58	11	3,9	30400	8"	6	14350	35,9	180	11							
25.9	40.6	105"	28,8	34,5	22,7	115000	2"20'	15	69700	69,7	43	10	100	2,3	4060	5,8%	1,02	4,1	65,6
4.10	44.6	82"				35000	1"18'	10	23000	34,5	30								
4.10	45.6	8"				28500	0"08'	8	28500	85	21	6	35	0,33	264	0,92%	0,066	0,5	84,5
4.10	46.6	140"	29,8	40	19,9	49 400	0"34'	7	25400	54,5	47	9	60	0,40	578	2,3%	0,14	1,2	53,3

1 0 5 5

1 0 5 0

CAM. 7511

Végétation sur le MAYO-KERENG au mois de septembre

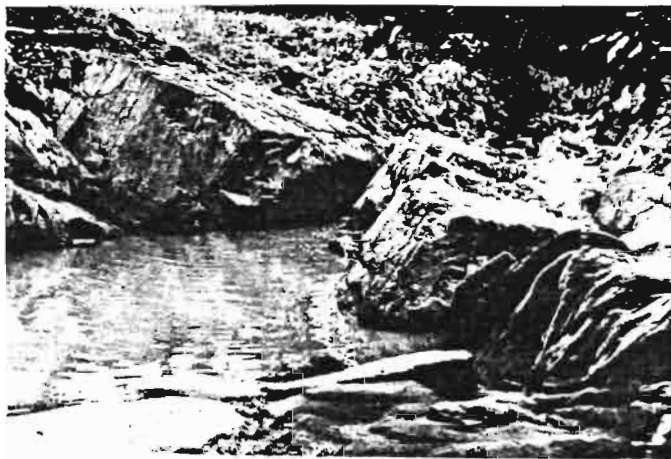




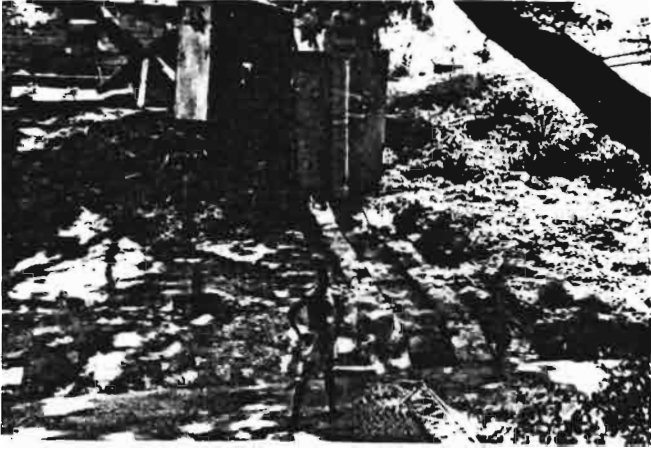
Pluviomètre enregistreur à
augets basculeurs



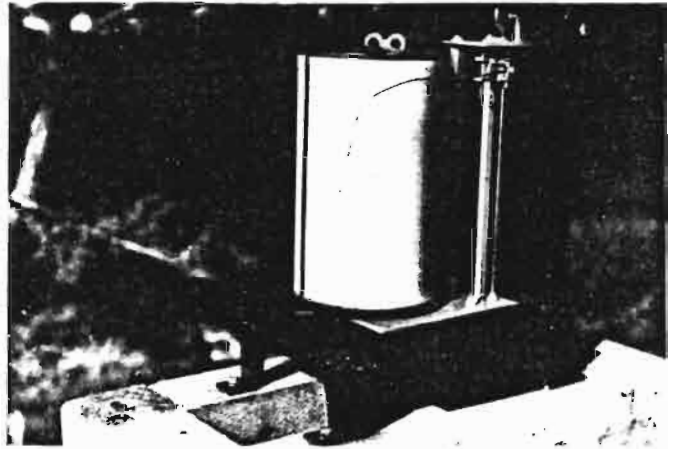
Pluviomètre à lecture directe



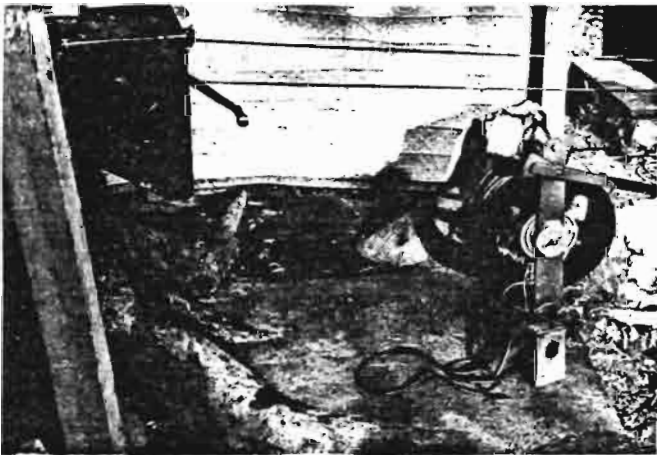
Cascade



Traille pour jaugeages de crues
Limnigraphe RICHARD - Echelles



Limnigraphe RICHARD



Treuil de manoeuvres du moulinet



Jaugeage d'une crue

MAYO "B"

Annexe 5

TABLEAU ANALYTIQUE DES RESULTATS
1955-1956

Date	N° des Averses	Ecart à la pluie précédente	Hauteur (mm)			Volume précipité (m³)	Durée totale (h)	Durée plus efficace (mn)	Volume efficace (m³)	Intensité efficace (mm/h)	Lag (mn)	Rise (mn)	Volume écoulé (m³)	Déb. maxi (m³)	Volume ruisselé (m³)	Coefficient de ruissellemt.	Hauteur ruisselée (mm)	Intensité excédent (mm/h)	Capacité d'absorption (mm/h)
			Moy.	Maxi.	Mini.														
6 Août	17.5	41"	9,9	11,7	6,1	654	0"47'	12'	496	37,7	13'	12'	60	0,1	46,2	9,3%	0,7	3,5	34,2
12 "	20.5	80"	22,8	24,2	19,6	1505	1"34'	36'	753	19	41'	20'	40	0,0176	Ecoulé	hypodermique		19,1	
26 "	29.5	24"	27,2	28,4	26,1	1795	5"	30'	706	21,4	26'	11'	173,5	0,250	150	21,2%	2,27	4,6	16,6
31 "	32.5	46"	35,7	36,2	35	2355	3"45'	8'	645	73,4	16'	14'	225	0,452	213	33%	3,22	24,2	49,2
5 Sept.	34.5	39"	46	51	45,5	3170	3"24'	27'	1837	55	10'	9'	670	0,640	402	58,4%	6,09	52	40,5
7 "	35.5	46"	33,2	33,9	31,8	2190	3"50'	13'	370	25,6	24'	10'	36	0,017	Ecoulé	hypodermique		29	
10 "	36.5	76"	22,3	23	22,1	1470	3"21'	26'	700	24,5	15'	12'	496	0,31	342	49%	5,2	12	12,5
13 "	37.5	100"	24,3	24,6	24	1603	3"26'	20'	1010	45,9	6'	6'	324	0,372	306	30,2%	4,6	13,9	32
13 "	37.5	100"	24,3	24,6	24	1603	3"26'	32'	1072	30,4	13'	12'	173	0,121	159	14,6%	2,4		25,9
22 Juillet	13.6	11"10'	5,67	6	5	374	0"05'	5'	374	66	10'	3'	57	0,149	55	14,7%	0,83	10	56
24 "	14.6	37"	39	37,2	40,7	2575	5"	26'	1505	52,6	10'		601	0,620	736	49%	11,2	25,6	26,6
26 "	16.6	5"30'	41,6			2760	2"16'	27'	606	20,4	13'	11'	330	0,475	330	54,3%	5	11,1	9,3
31 "	16.6	39"	16,2	19,6	17,9	1200	2"06'	52'	626	14,5		9'	163	0,126	136	16,6%	2,1	2,4	12,1
4 Août	20.6	36"	66,4	71,6	62,2	4520	4"12'	18'	624	41,6		13'	576	0,540	460	58,3%	7,3	24,3	17,3
5 "	21.6	24"	17	19,2	15,2	1120	0"50'	18'	735	41,6		6'	555	0,640	423	57,6%	6,4	24	17,6
16 "	25.6	46"	26,4	30,7	26	1673	2"43'	32'	616	23,3	30'	16'	216	0,176	204	25%	3,1	5,6	17,5
27 "	29.6	33"	16,3	16,5	15,9	1080	3"13'	12'	1656	126		6'	976	1,74	760	47%	11,6	59	67
28 "	30.6	26"	36,1	44,2	27,2	2360	1"22'	11'	364	29,4		9'	222	0,26	160	51%	2,73	14,9	14,5
2 Sept.	32.6	16"	26,7			1763	4"25'	25'	762	30		9'	552	0,36	504	66%	7,63	16,3	11,7
5 "	33.6	75"	10,35	12,6	8,9	663	0"15'	13'	600	56	20'	10'	420	0,44	394	49,2%	5,97	27,6	26,4
7 "	34.6	40"	10,6	11	10	700	1"09'	22'	906	37,6	20'	10'	466	0,44	367	42,6%	5,66	16	21,6
9 "	35.6	4"24'	7,9	64,2	7,3	5220	3"37'	5'	496	90,5	10'	4'	106	0,213	67,4	17,5%	1,32	15,9	74,6
12 "	36.6	72"	6,5	9,2	7,7	561	4"	12'	1470	70,5	16'	12'		Perurbation	avale				
13 "	37.6	16"	49,2	51	46	3250	4"	9'	256	26	16'	10'	43	0,046	32,7	12,7%	0,5	3,3	22,7
25 "	40.6	105"	31,7	33,6	30,5	2090	2"50'	15'	663	41,2	19'	11'	76	0,097	66	10%	1,03	5,62	35,6
4 Oct.	45.6	6"	10,3			660	0"05'	12'	423	31,9	16'	10'	642	0,097	50,4	11,9%	0,76	3,62	26,1
4 "	46.6	1"40'	12,2			605	1"39'	30'	2870	60,6	22'	9'	1940	1,66	1570	59%	23,6	47,6	33,2
								45'	1900	36,4	15'	8'	900	0,60	550	34%	9,6	13,1	25,3
								9'	323	32,5	20'	9'	156	0,019	11,9	3,7%	0,16	1,2	31,3
								22'	2005	62,9	13'	6'	1230	1,66	1146	57%	17,3	47	35,9
								17'	1320	70,5	13'	6'	256	0,417	240	16,2%	3,64	12,6	57,7
								5'	660	123	7'	6'	174	0,355	153	22,6%	2,32	27,6	95,2
								6'	317	35,9	12'	11'	54	0,062	45	14,2%	0,66	5,1	30,6

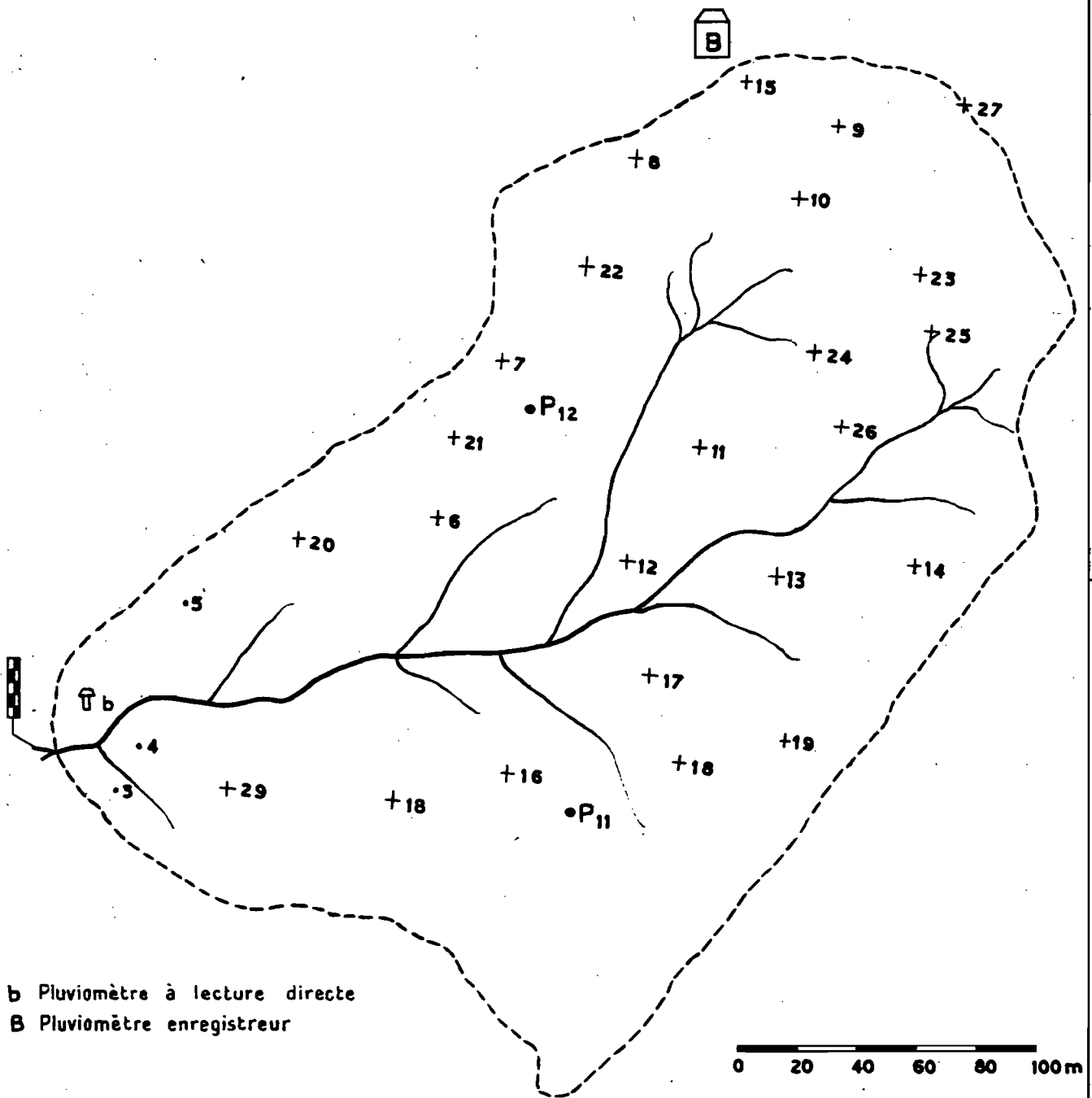
1955
1956

A N N E X E S

2ème partie

KERENG MAYO B

EMPLACEMENT DES ESSAIS D'INFILTRATION



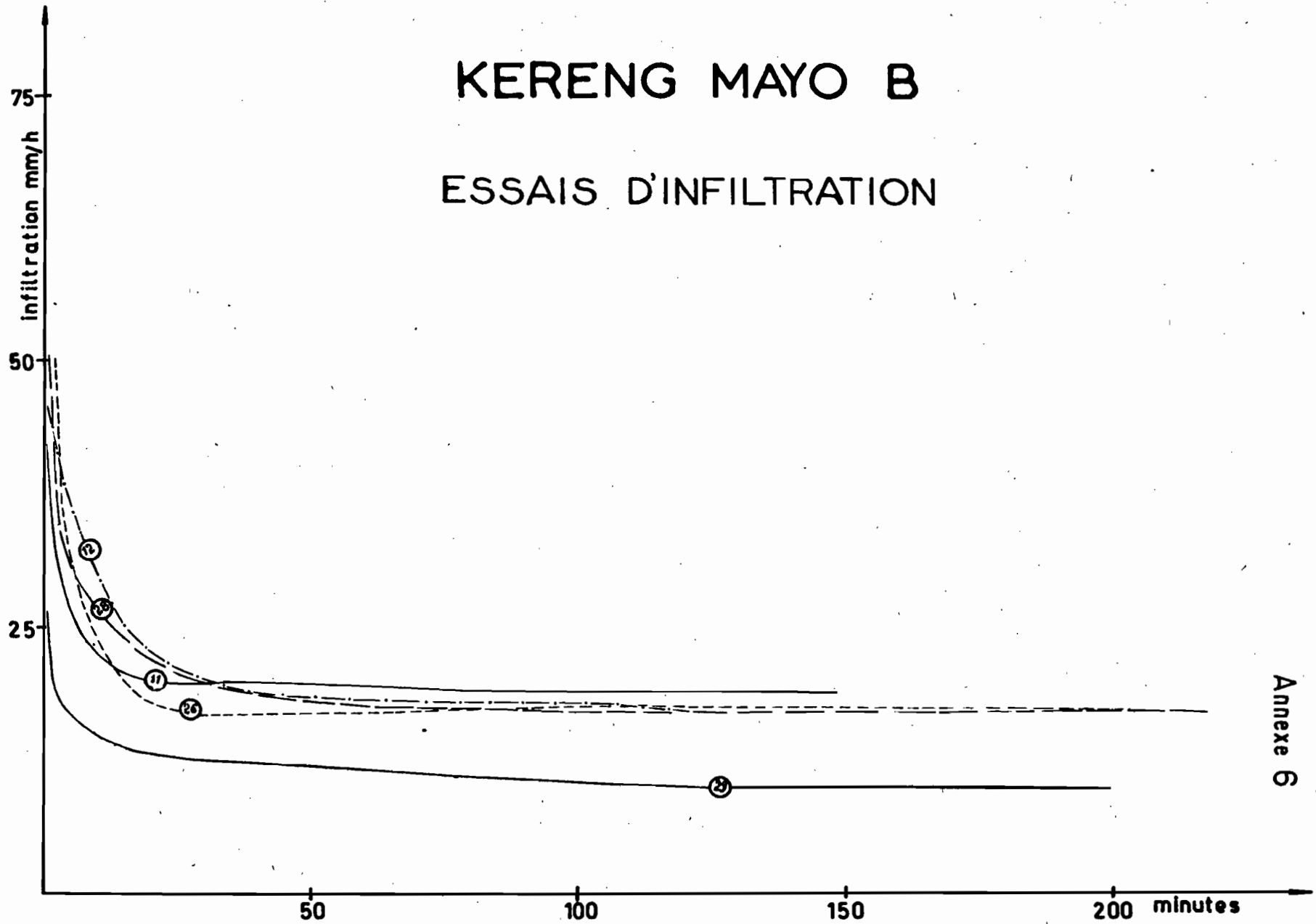
b Pluviomètre à lecture directe
B Pluviomètre enregistreur

0 20 40 60 80 100 m

CAM. 7365

KERENG MAYO B

ESSAIS D'INFILTRATION

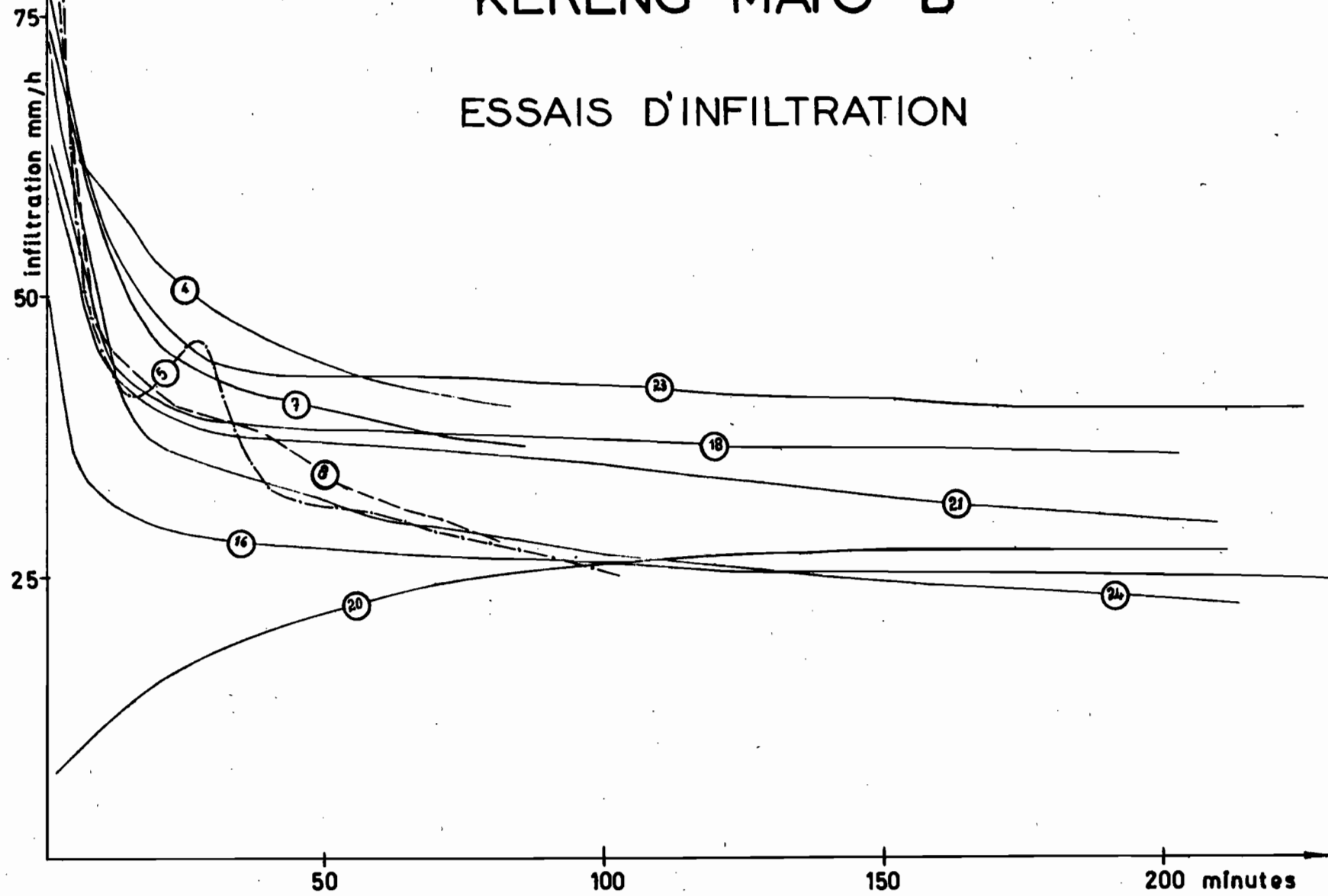


Annexe 6

CAM. 7366

KERENG MAYO B

ESSAIS D'INFILTRATION

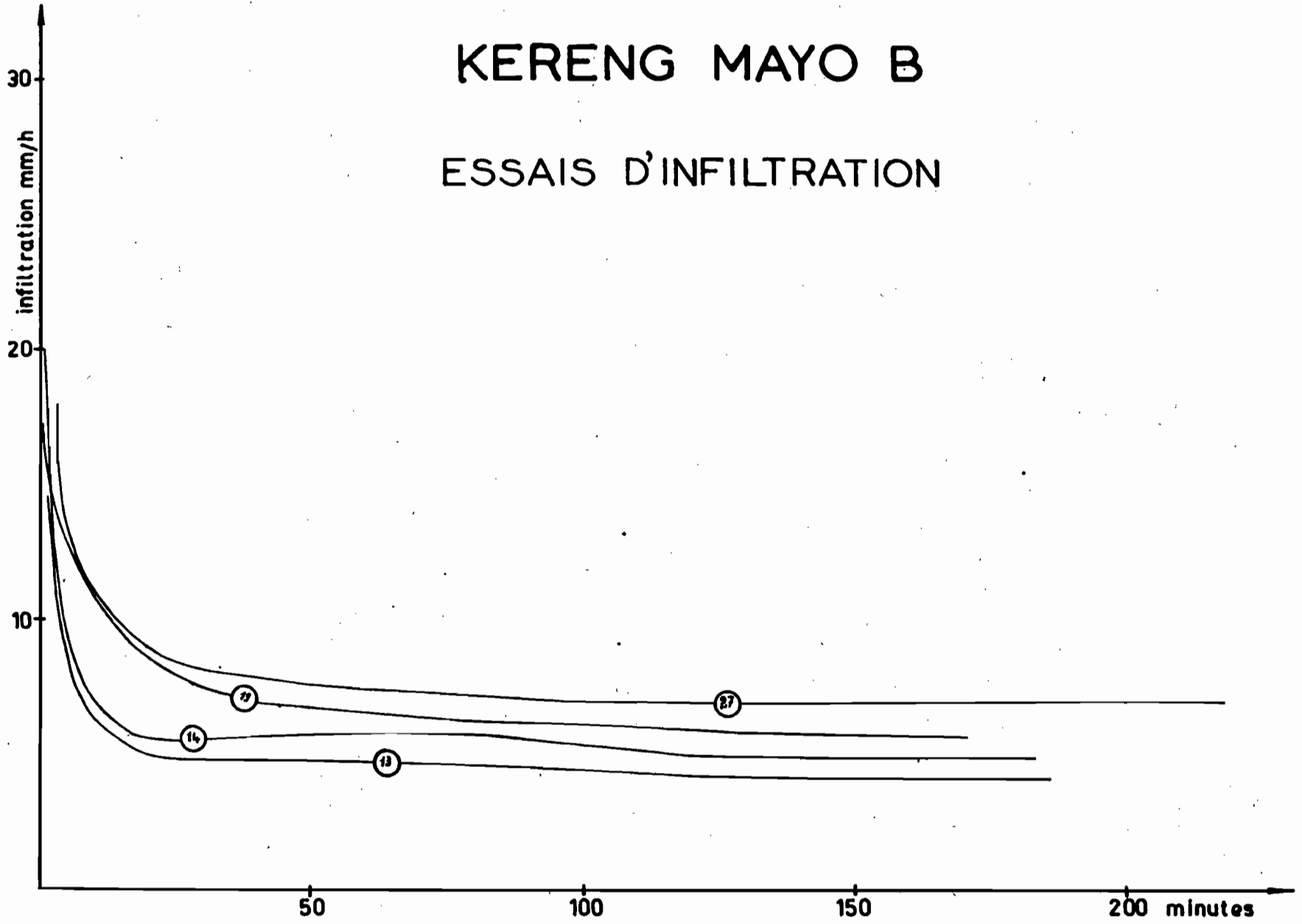


Annexe 6

KERENG MAYO B

ESSAIS D'INFILTRATION

CAM. 7367

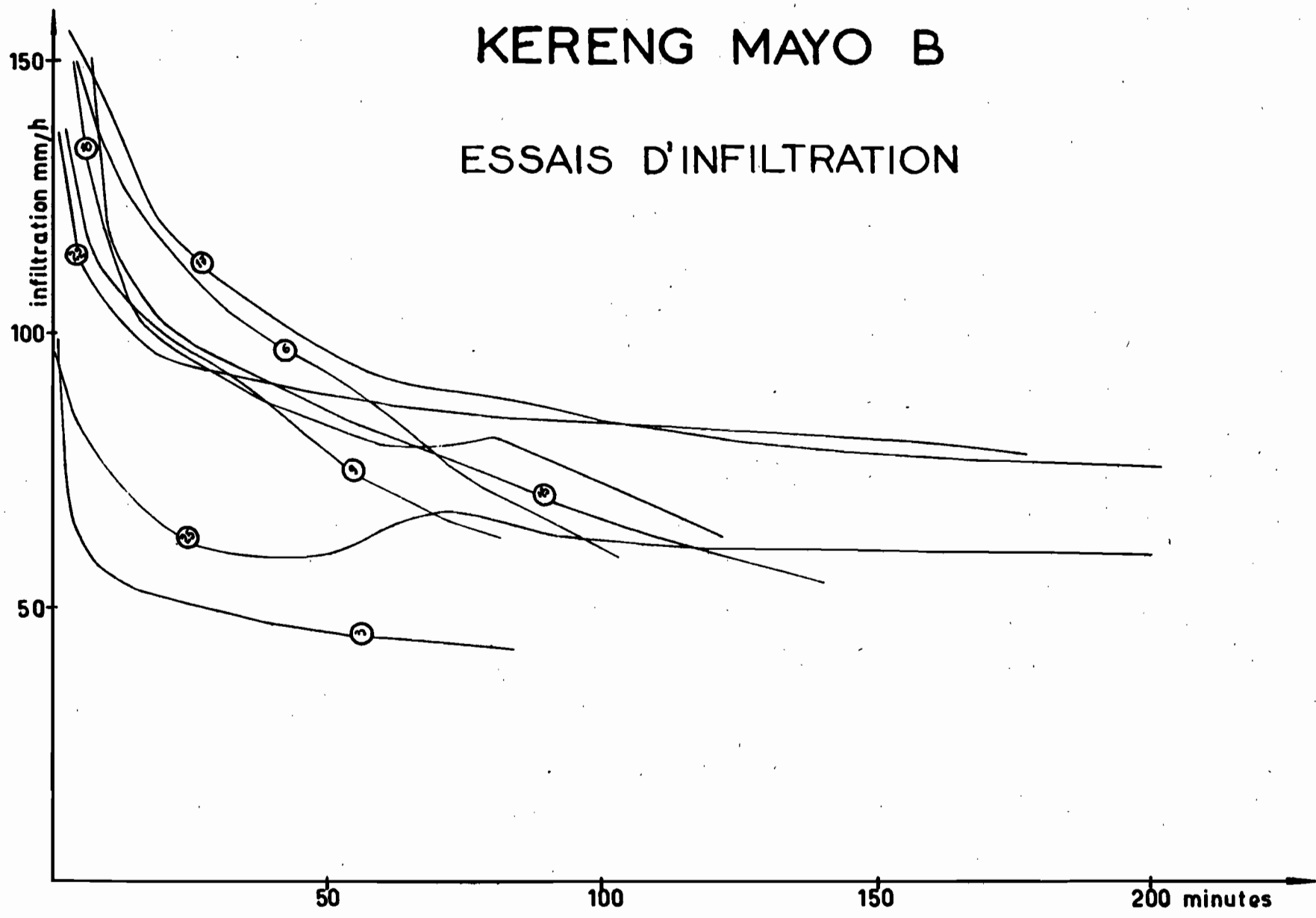


Annexe 6

KERENG MAYO B

ESSAIS D'INFILTRATION

CAM. 7368



KERENG MAYO B

Annexe 7

ESSAI DE RECONSTITUTION DE LA TORNADO 21_6

$H_{\text{moy}} = 5,97\text{mm.}$

Pluie décomposée en trois averses

1^{re}: H: 2,15_{mm} V: 142 m³

2^{de}: H: 2,32_{mm} V: 153 m³

3^{de}: H: 1,50_{mm} V: 99 m³

Temps mn.	Q pour 100 m ³	1 ^{re} tornade	2 ^{de} tornade	3 ^{de} tornade	Σ	Q. de base	Total	Q. observé
1	0,045	0,064			0,064	0	0,064	0,043
2	0,105	0,149			0,149	0,001	0,150	0,160
3	0,152	0,216			0,216	0,001	0,217	0,326
4	0,218	0,310			0,310	0,002	0,312	0,387
5	0,246	0,350			0,350	0,003	0,350	0,440
6	0,236	0,335	0,069		0,404	0,003	0,407	0,440
7	0,193	0,274	0,161		0,435	0,004	0,439	0,440
8	0,155	0,220	0,232		0,452	0,005	0,457	0,430
9	0,110	0,156	0,333		0,489	0,005	0,494	0,420
10	0,082	0,116	0,377		0,493	0,006	0,499	0,440
11	0,058	0,082	0,361	0,045	0,488	0,007	0,495	0,402
12	0,038	0,053	0,291	0,104	0,448	0,007	0,455	0,386
13	0,020	0,028	0,237	0,150	0,415	0,008	0,423	0,386
14	0,008	0,012	0,168	0,216	0,396	0,008	0,404	0,355
15			0,125	0,244	0,369	0,009	0,378	0,325
16			0,089	0,234	0,323	0,010	0,333	0,294
17			0,058	0,191	0,249	0,011	0,260	0,238
18			0,031	0,153	0,184	0,011	0,195	0,186
19			0,012	0,109	0,121	0,012	0,133	0,138
20				0,081	0,081	0,013	0,094	0,117
21				0,057	0,057	0,014	0,071	0,097
22				0,037	0,037	0,015	0,052	0,077
23				0,020	0,020	0,016	0,036	0,068
24				0,008	0,008	0,017	0,025	0,060

CAM 7369

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: FEVRIER 1950

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

KERENG MAYO B

Annexe 8

CALCUL DU DÉBIT MAXIMUM A REDOUTER

TORNADE TYPE : 150 mm/h PENDANT 15 mn.

Temps mn	Diagramme %	1 ^{ère} Pluie m ³	2 ^{ème} Pluie m ³	3 ^{ème} Pluie m ³	Total m ³	Q m ³ /sec
1	2,7	6,1			6,1	0,102
2	6,3	14,2			14,2	0,240
3	9,1	20,6			20,6	0,340
4	13,1	29,6			29,6	0,500
5	14,7	33,2			33,2	0,550
6	14,2	32,1	17,8		49,9	0,830
7	11,6	26,2	41,6		67,8	1,130
8	9,3	21	60		81	1,350
9	6,6	14,9	78,4		93,3	1,550
10	4,9	11,1	97		108,1	1,800
11	3,4	7,5	94	18,3	119,8	2
12	2,3	5,2	69,6	42,7	117,5	1,960
13	1,2	2,9	61,4	61,6	125,9	2,100
14	0,5	1,1	43,5	88,8	133,4	2,200
15			32,3	99,5	131,8	2,200
16			21,8	96,2	118	1,960
17			15,2	78,5	93,7	1,560
18			7,8	63	70,8	1,180
19			3,3	44,7	48	0,800
20				33,2	33,2	0,553
21				22,4	22,4	0,373
22				15,6	15,6	0,260
23				8,8	8,8	0,147
24				3,4	3,4	0,057

CAM. 7370

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: FEVRIER 56

DES: GROTARD

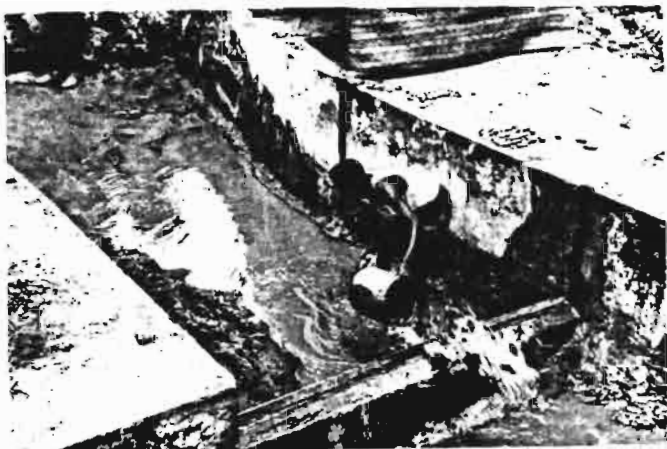
VISA:

TUBE N°:

AO

A N N E X E S

3ème partie



Vue générale du déversoir et de la fosse à sable



Mesure des hauteurs d'eau et
comptage des seaux de sable
extraits de la fosse



Érosion en nappe au voisinage du déversoir
de mesure



Tamissage des échantillons de sable