

## II. ÉTUDES DE CRUES SUR UN PETIT BASSIN DE LA RÉGION DE BANGUI (OUBANGUI)

par

Jean TIXIER

*Ingénieur E.T.P.*

*Chargé de la Direction des Études Hydrologiques de l'O.R.S.T.O.M. en Oubangui de 1952 à 1954*

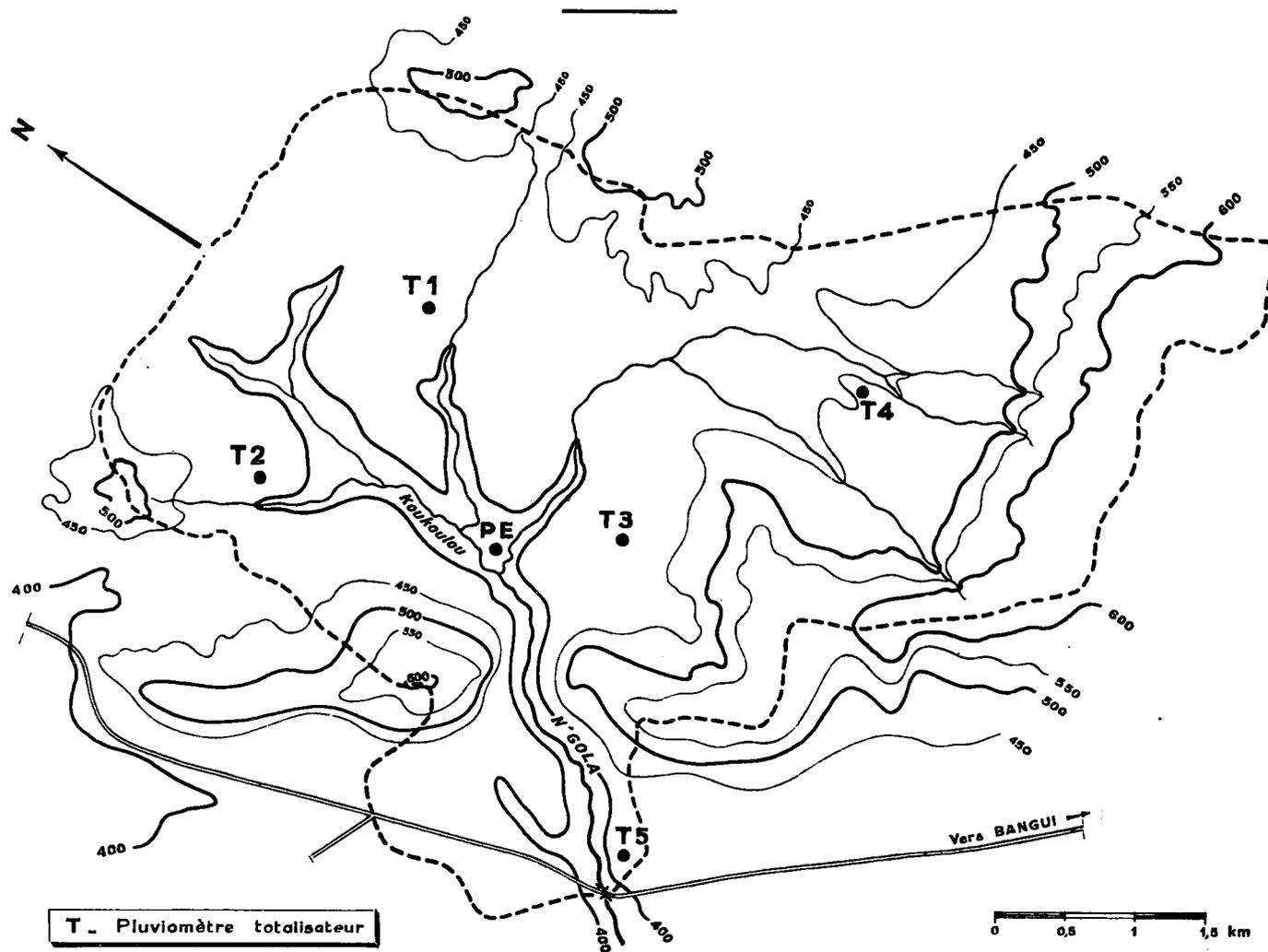
Le petit bassin de BANGUI a été aménagé en vue de la recherche de données de base sur les crues et les conditions générales de l'écoulement, en savane boisée guinéenne à relief assez accentué. Les études de crues devaient être effectuées, en principe, suivant la méthode des hydrogrammes unitaires.

Le bassin avait été choisi par M. ROCHE, premier hydrologue du centre de BANGUI, lequel avait installé, en 1952, la station de jaugeage.

L'équipement a été complété depuis. A partir de Mars 1953, le nombre de pluviomètres ordinaires était suffisant pour commencer l'étude de la répartition et de l'homogénéité des précipitations sur le bassin. A partir d'août 1953, l'installation d'un pluviomètre enregistreur a permis de commencer les études de crues.

La présente note porte sur les observations simultanées des précipitations et des crues correspondantes pour trente averses.

# BASSIN VERSANT DE LA N'GOLA



## CHAPITRE PREMIER

# CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN

### A - SITUATION - CONFIGURATION ET RELIEF DU BASSIN

Le bassin de la N'GOLA est situé à 12 km. au Nord-Ouest de BANGUI, entre 18°30' et 18°50' de longitude Est et 4°20' et 4°40' de latitude Nord, à proximité du centre de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. (Voir carte ci-contre.)

Sa surface est de 27 km<sup>2</sup>, à 3 ou 4 % près, la partie Est du bassin n'ayant jamais été déterminée avec précision. Le reste a été obtenu à partir de la carte au 1/50 000° du Service Géographique.

Il a la forme d'un rectangle qui aurait environ 7 sur 4 km. de côté. Son coefficient de forme, exprimé par la relation :

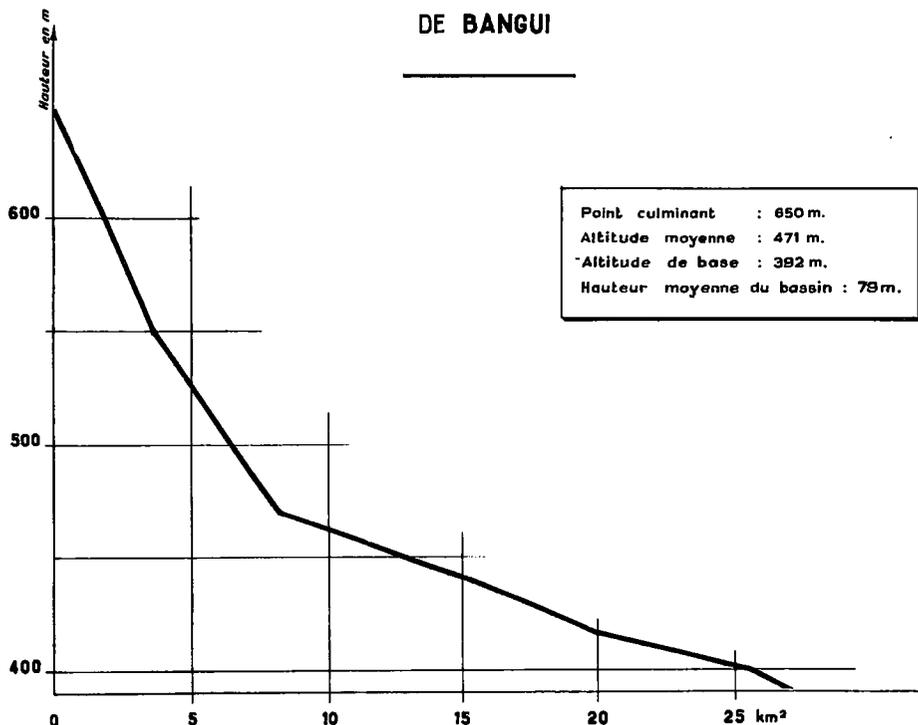
$$K_p = \frac{P}{2\sqrt{S}}$$

où P est le périmètre et S la surface, est égal à 1,4.

Son altitude moyenne est de 471 m. (nivellement provisoire I.G.N. dans lequel la station météo de BANGUI est à la cote 400,00).

Le point culminant est à 650 m. et le point de base à 392 m. (cf. courbe hypsométrique).

### HYSOMETRIE DU BASSIN EXPERIMENTAL DE BANGUI



Le coefficient de pente, exprimé par la relation :

$$K_p = \frac{d \times l}{S}$$

l : longueur totale des courbes de niveau

d : équidistance des courbes de niveau

S : surface du bassin est  $K_p = 0,135$ .

La plus grande distance parcourue par une goutte d'eau pour atteindre la station de jaugeage est de l'ordre de 12 km.

## B - RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

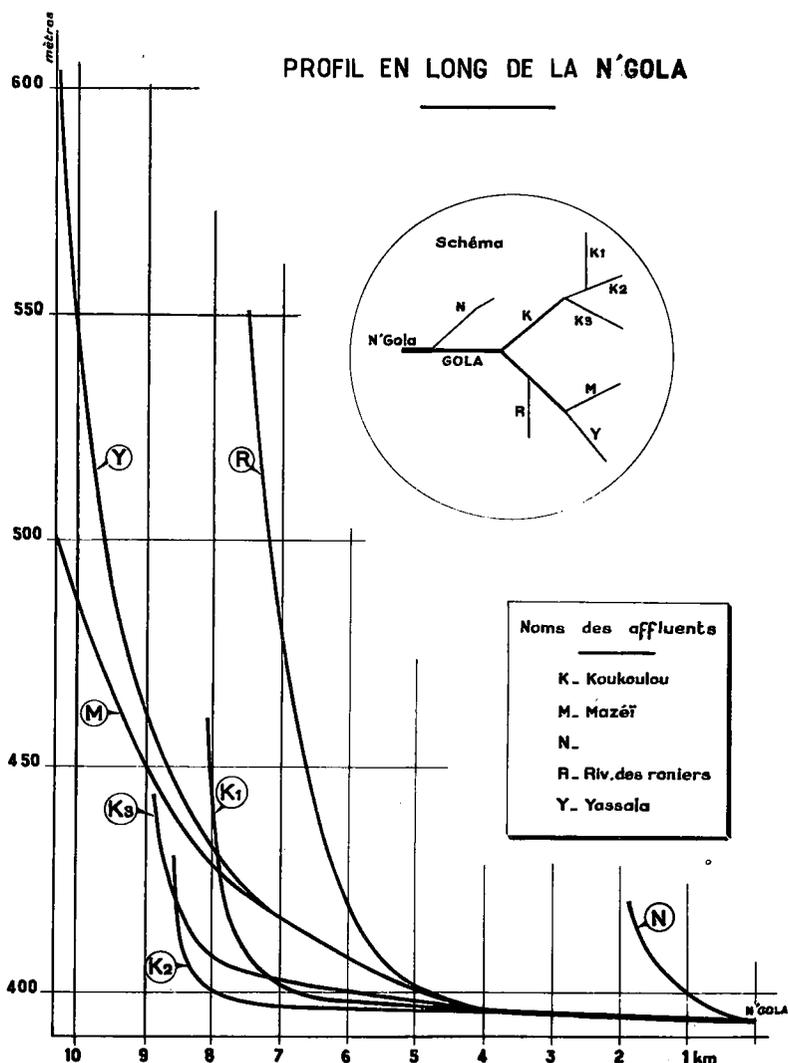
Ce réseau est assez dense. Les eaux de ruissellement créent, presque dès l'origine des talwegs, des petites rigoles à berges nettes et à fond de gravier.

La N'GOLA arrive à la station de jaugeage avec une pente de 1/1 000° depuis le confluent, à 4 km. en amont, de ses deux tributaires principaux : le KOUKOULOU et le MAZAI.

Ces deux bassins présentent une couverture végétale et des pentes très analogues, ce qui donnerait au bassin de la N'GOLA une grande homogénéité.

Malheureusement, la partie inférieure du bassin, 5 km<sup>2</sup>, présente une pente très forte où le ruissellement est considérable. Il en résulte que, même pour une averse homogène, l'écoulement provenant de cette zone arrive à la station de jaugeage nettement avant les apports du reste du bassin. Par suite, les hydrogrammes présentent une bosse qui gêne l'interprétation des résultats, comme nous le verrons plus tard.

Nous serons amenés, pour cette raison, à déplacer prochainement la station de jaugeage de 2 km. vers l'amont.



## C - GÉOLOGIE - PÉDOLOGIE

Le bassin se trouve dans un massif de quartzite très décomposée.

Une coupe, faite sur le flanc Sud de la montagne (côté station) au moment de la construction de la cave magnétique, nous a donné une idée de ce que l'on doit trouver sur le bassin.

Sur une coupe de 3 m. de profondeur, on trouve à partir du haut :

- 1°) quelques centimètres d'humus,
- 2°) 2 m. de colluvions ocre-rouge mêlés à des gros blocs de quartzites provenant d'éboulis, mais encore peu décomposés,
- 3°) une bande de 20 cm. de kaolin presque pur provenant du lessivage des couches supérieures,
- 4°) une épaisse couche de schistes très altérés à la partie supérieure et se durcissant à la base.

Cet ensemble, assez perméable, doit avoir un très gros pouvoir absorbant comme l'indique le coefficient de ruissellement.

Cette perméabilité est partiellement responsable de la valeur élevée du débit de base, 3 l/sec/km<sup>2</sup>, qui se maintient à peu près constant, même en saison sèche.

## D - VÉGÉTATION

La rétention du sol est encore renforcée par la couverture végétale particulièrement dense.

Cette couverture correspond à la savane boisée guinéenne. Elle est constituée :

- 1°) par un tapis de hautes herbes, particulièrement épais en saison des pluies, presque toujours vert. Les destructions par les feux de brousse sont très réduites. La couverture de graminées est moins dense sur les pentes;
- 2°) par des arbres de hauteur moyenne, piquetés dans les graminées. La densité est faible dans les parties basses, mais beaucoup plus forte sur les pentes et surtout sur les sommets.

Une faible partie de la superficie du bassin est couverte par des cultures de manioc correspondant à un tapis végétal moins épais.

L'ensemble constitue une couverture assez efficace contre l'érosion et dont le rôle est très important dans tous les phénomènes d'absorption.

## CHAPITRE II

### DONNÉES CLIMATOLOGIQUES

#### A - STATION MÉTÉOROLOGIQUE

Une station météorologique a été installée au centre O.R.S.T.O.M. suivant les normes prévues par l'O.N.M. Elle comprend :

- un thermomètre enregistreur
- un baromètre enregistreur
- un psychromètre qui est utilisé également pour relever la température sèche trois fois par jour
- un évaporomètre PICHE
- un pluviomètre totalisateur (P.5) qui tient lieu d'enregistreur
- un ensemble de 16 cuves évaporatoires de diverses natures qui a fait l'objet d'une étude particulière résumée plus loin.

Sur le bassin sont répartis un certain nombre de pluviomètres comme nous le verrons au chapitre suivant.

#### B - TEMPÉRATURE - HUMIDITÉ - PRESSION

Les deux tableaux suivants correspondent aux moyennes arithmétiques des mesures effectuées en 1954 à la station O.R.S.T.O.M. :

Humidité	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne %
7 h.	94	91	92	93	94	93	94	94,5	94	92	89	93	93
13 h.	61	54	58,5	60	64	64	85	82	75	64	71	62	67
19 h.	83	85	82	88	86	86	92	89	89	88	91	89	87

Température	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy.
7 h.	22°6	23°3	23°9	23°4	23°8	23°4	22°8	22°8	22°6	22°8	23°0	22°3	23°2
13 h.	34°4	33°0	32°6	32°5	31°0	30°7	28°4	29°9	30°2	30°4	30°6	31°8	31°3
19 h.	27°1	25°8	26°6	26°2	27°1	25°6	25°5	26°8	26°3	26°2	24°5	25°0	26°0

a) L'humidité relative varie légèrement de la saison sèche à la saison des pluies. L'écart entre les observations diurnes et nocturnes est notable en saison sèche, mais beaucoup plus faible que dans le climat soudanien. Il devient faible en saison des pluies.

b) La pression varie assez peu au cours de l'année. A la station, pour une altitude de 400 m. et une température moyenne de 25°, elle était égale à 730 mm.

### C - VENTS DOMINANTS

La plupart des tornades viennent du Nord et du Nord-Est; elles sont annoncées par un vent assez fort de 3 à 5 m/s qui diminue souvent après le début de la pluie.

### D - ÉVAPORATION

L'évaporation à la surface d'eau libre et dans le sol a fait l'objet d'études particulières qui seront exposées dans d'autres publications et dont nous ne donnons que les résultats.

Elle peut être caractérisée par l'évaporation Piche ou plutôt par l'évaporation sur bacs.

Le tableau suivant donne, au cours de l'année 1954, l'évaporation moyenne journalière mesurée :

- 1° - à l'évaporomètre Piche placé sous abri météo
- 2° - " " " " à l'air libre
- 3° - dans une cuve cylindrique de 0,25 m<sup>2</sup> d'ouverture
- 4° - " " " à section carrée de 0,84 m<sup>2</sup> (1 yard carré), dite "bac COLORADO"
- 5° - à BANGUI, à l'évaporomètre Piche sous abri.

Dans les lignes 6 et 7, nous donnons les valeurs des rapports évaporation  $\frac{\text{Bac rond}}{\text{Piche}}$  et  $\frac{\text{Bac Colorado}}{\text{Piche}}$

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	4,4	3,7	3,4	2,8	2,7	2,4	1,9	1,8	2,0	2,5	2,2	2,6
2	4,9	3,8	4,4	4,3	2,8	2,4	1,6	1,7	2,1	2,2	2,3	2,6
3	5,2	4,2	3,4	3,6	3,3	3,0	3,6	3,6	3,0	2,8	3,3	3,5
4							2,4	3,0	4,0	3,5	3,4	3,7
5	3,5	2,6	2,7	2,2	2,0	2,1	1,4	1,6	1,7	1,8	1,7	2,2
6	1,18	1,13	1,00	1,28	1,22	1,25	1,90	2,00	1,50	1,12	1,50	1,34
7							1,26	1,67	2,00	1,40	1,54	1,42

L'examen des rapports définis dans les lignes 6 et 7 montre que l'évaporation d'une surface libre est toujours supérieure à celle indiquée par l'évaporomètre Piche et que l'écart devient maximum en saison des pluies.

La hauteur d'évaporation annuelle mesurée dans les bacs ronds est de 1 322. En principe, de tels bacs doivent donner des résultats plus élevés que ceux des bacs Colorado. D'autre part, il s'agit de bacs enterrés, donnant des résultats plus élevés que pour un réservoir de grande superficie. Le chiffre réel doit être voisin de 1 200 mm. par an.

Nous avons essayé de préciser l'évaporation dans le sol dans le cas particulier où il n'y a ni écoulement, ni végétation, au moyen de 12 cuves remplies de sable, de gravier ou d'argile.

Nous avons pu estimer, en fonction de la nature du sol :

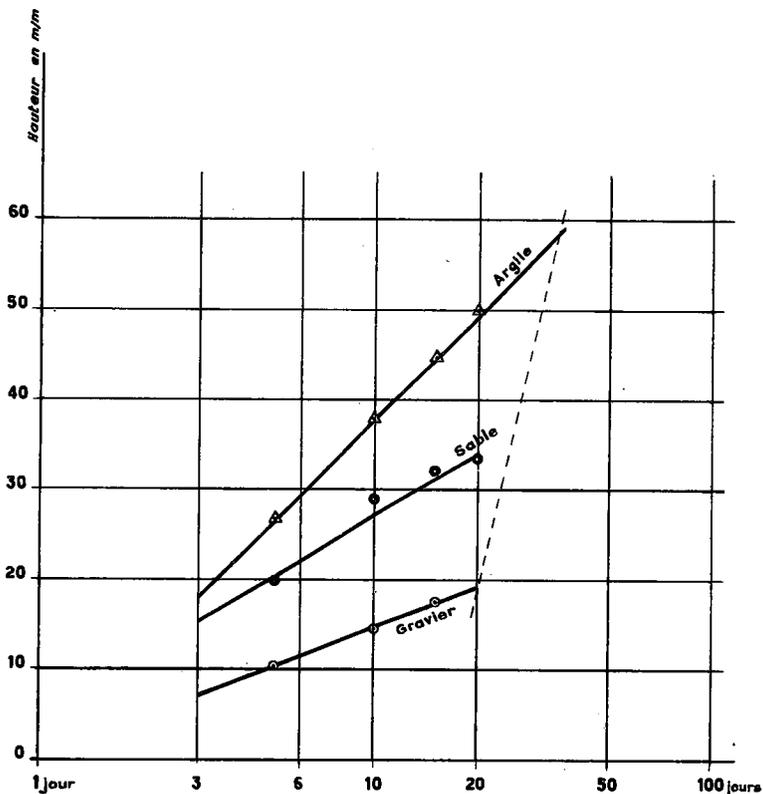
- 1° - la profondeur à laquelle se produit l'évaporation,
- 2° - la vitesse d'infiltration dans le sol,
- 3° - la vitesse et la valeur de l'évaporation.

Le tableau suivant donne un ordre de grandeur des chiffres auxquels on peut s'attendre :

	Gravier	Sable	Argile
Profondeur limite à laquelle se produit l'évaporation.....	15 cm.	35 cm.	60 cm.
Vitesse d'infiltration pour atteindre le niveau limite ci-dessus	quelques minutes	3 ou 4 j.	20 jours
Valeur de l'évaporation	10,5 mm.	20 mm.	27 mm.
( 1 à 5 j.	4,0	9	11
5 à 10 j.	3,0	3	7
10 à 15 j.	0	1	5
15 à 20 j.		0	3
20 à 25 j.			2
25 à 30 j.			0
30 à 35 j.			

On constate que les premiers jours, la vitesse d'évaporation est très forte et supérieure à sa valeur sur nappe libre. Cela signifie seulement que les premiers jours il est difficile de séparer la part due à l'évaporation et celle due à l'infiltration et cela d'autant plus que la granulométrie du terrain est plus faible. Cette vitesse d'évaporation suit une loi exponentielle. La représentation graphique est une droite en coordonnées semi-logarithmiques (évaporation en ordonnées cartésiennes et temps en abscisses logarithmiques - Voir graphique ci-dessous).

### VITESSE D'ÉVAPORATION



### CHAPITRE III

## ÉTUDE DE LA PLUVIOMÉTRIE

### A - ÉQUIPEMENT

En dehors du pluviomètre de la station, le bassin est équipé :

- d'un pluviomètre enregistreur situé au centre du bassin, bien représentatif de la pluie moyenne;
- de 5 pluviomètres Association répartis sur le bassin et dont la position est donnée sur le plan au 1/20 000°.

### B - RÉGIME PLUVIOMÉTRIQUE

Le régime est du type guinéen, variante Sud, avec saison sèche de Décembre à Mars, assez nette, mais présentant tous les ans quelques précipitations isolées. Cette courte saison sèche est suivie d'une longue saison des pluies d'Avril-Mai à Novembre marquée au début par une période orageuse.

La hauteur pluviométrique moyenne annuelle varie légèrement d'un point à l'autre de la région de BANGUI, assez accidentée. La situation de la station météorologique de BANGUI conduit à des chiffres peut-être un peu faibles : 1 595 mm. Il semble que la moyenne interannuelle pour toute la région soit légèrement supérieure à 1 600 mm.

Le tableau, ci-après, donne la répartition mensuelle pour 1953 et 1954 :

Année	Pluviométrie	J	F	M	A	M	J	J	A	O	N	D	Total
1953	-Bassin de la N'GOLA				81,8	242,1	124,2	231,2	88,0	282,5	380,7	0	
	-BANGUI	45,9	87,2	129,2	44,3	164,0	118,6	215,7	64,1	179,8	172,5	0	1370,1
1954	-bassin de la N'GOLA	5,9	81,3	48,7	129,2	141,0	45,2	202,5	170,9	172,0	96,5	17,1	1295,8
	enregistreur	1,6	83,0	43,5	137,6	125,2	53,1	169,9	168,2	181,9	95,2	19,4	1266,1
	-BANGUI	4,7	101,3	109,4	188,7	93,5	31,6	282,0	220,4	62,1	132,5	5,2	1478,9

Les résultats pluviométriques comparés à ceux de BANGUI mettent en évidence la réalité des micro-climats que l'on rencontre surtout dans ces régions assez accidentées de l'OUBANGUI et dont la présence oblige à une grande prudence lorsqu'on veut tracer des isohyètes trop précises.

Ainsi, en 1953, la présence de la montagne séparant le bassin expérimental de la station O.R.S.T.O.M. nous a conduit à éliminer complètement les résultats du pluviomètre n° 5 qui étaient de 30 % inférieurs à la moyenne du bassin.

Compte non tenu de ce pluviomètre, il tombe en 1953 35 % plus d'eau sur le bassin qu'à BANGUI et en 1954 il en tombe 10 % de moins.

Heureusement, cette dispersion dans l'espace est beaucoup moins importante à l'intérieur du bassin, du moins lorsqu'il s'agit de pluies annuelles. Les écarts extrêmes à la moyenne, en 1954, sont de 4 %. Les écarts entre valeurs mensuelles sont plus élevés, mais ils n'atteignent que rarement 20 %. Le régime pluviométrique est donc le même pour tous les points du bassin.

Les écarts journaliers peuvent atteindre de très fortes valeurs : un orage, surtout en début de saison n'intéressant pas toujours la totalité de la surface du bassin. Mais en général la dispersion est assez faible.

Dans ces conditions, l'ensemble des sept pluviomètres, dont un enregistreur, est à peu près suffisant (1). Les résultats de 1954 donnent à l'enregistreur un écart annuel

(1) Cependant un second enregistreur situé dans la partie amont du bassin permettrait d'obtenir des moyennes pondérées plus exactes de l'intensité.

avec la moyenne de 2 % seulement. Ses relevés représentent donc assez bien les averses pour l'ensemble du bassin.

Dans les tableaux suivants nous donnons :

- 1° - le coefficient de chaque pluviomètre par rapport à la moyenne annuelle,
- 2° - les surfaces couvertes par chaque pluviomètre pour le calcul de la pluie moyenne tombée sur le bassin.

Nous avons adopté pour cela la méthode géométrique des médiatrices (méthode de THIESSEN).

- TABLEAU I - COEFFICIENT CARACTERISTIQUE DE CHAQUE PLUVIOMETRE :

Pluviomètres n°	1	2	3	4	5	6	E
1953	100	0,99	1.02	0.98	0.64		
1954	99	1.03	99	101	0.95	92	98

- TABLEAU II - CALCUL DE LA MOYENNE PONDEREE-SURFACES REPRESENTATIVES

Pluviomètres n°	1	2	3	4	5	6	E	T
Km <sup>2</sup>								
Sans PE et P6	5.8	4.1	5.5	9.3	2.3			27.0
Avec PE	5.4	3.2	3.8	9.3	2.3		3.0	27.0
Tous les pluv.	5.4	3.1	3.4	9.3	1.0	2.9	1.9	27.0

### C - FRÉQUENCE DES PLUIES

Nous avons classé pour une année complète les pluies d'après leur hauteur, ce qui donne le tableau suivant :

Pluie de	Nbre de pluies	0 à 10	10 à 20	20 à 30	30 à 40	40 à 50	50 à 60	60 à 70	70 à 80	80 à 90	90 à 100
P 1	73	27	21	14	5	2	2	1			1
P 2	74	27	23	12	7		2	1			2
P 3	75	27	20	16	9	1	1			1	
P 4	75	29	22	17	3	1	1	2			
P 5	74	27	24	13	6	2	1			1	
P E	89	45	21	11	8		3			1	
Total	460	182	131	83	38	6	10	4		3	3
pr 1 an	77	30	22	14	6	1	1,9	0,8		0,7	0,6
Fréq. %		21,1	12,8	6,9	3,0	1,4	1,1	0,6	0,3	0,3	0,16
pr 1 an BANGUI	137	89	23	12	6	3,4	1,6	1	0,6	0,4	0,25

Cette courbe de fréquence a la même forme que celle établie pour les fréquences de BANGUI pour 20 années d'observations. Ces deux courbes indiqueraient qu'il y a beaucoup plus de faibles pluies à BANGUI que sur le bassin expérimental (138 j. de pluie au lieu de 77). Cela tient surtout au fait que les faibles pluies ne sont pas enregistrées séparément sur le bassin expérimental.

**- Averses maxima :**

Pour BANGUI, nous avons une période d'observations de 20 ans dans laquelle nous trouvons :

- une pluie de 105 mm. en "24 h."
- une pluie de 106 mm. en "24 h."
- une pluie de 123 mm. le 13/8/38 en 11 h.
- une pluie de 128 mm. le 31/7/37 en 6 h.30

Les intensités maxima observées sont de 150 mm/h. en 15 mn., ce qui correspond à la plus forte pluie unitaire à laquelle on puisse s'attendre pour une période de 10 ans.

Sur le bassin, la plus forte pluie observée est de 120 mm. dont 16 mm. en 5 mn. donnant une intensité de 190 mm/h.

Les pluies les plus longues sont de l'ordre de 5 ou 6 heures.

## CHAPITRE IV

### ÉTUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN

#### A - ÉQUIPEMENT DE LA STATION - MESURES DE DÉBITS

La station de jaugeage est établie à l'emplacement d'un ancien pont, ce qui donne un lit stable et des vitesses bien réparties.

Une échelle limnimétrique est lue trois fois par jour et permet de vérifier les données d'un limnigraphe à flotteur, construit avec des moyens de fortune, mais qui a donné d'excellents résultats; ce limnigraphe a l'avantage d'une grande fidélité et d'un réglage de sensibilité très rapide.

Un premier étalonnage provisoire de la station est donné par dix jaugeages de 0 à 6 m<sup>3</sup>, soit de 0,50 m. à 1,65 m. Les plus fortes crues observées sont de l'ordre de 15 m<sup>3</sup> pour une hauteur de 3 m., mais de tels jaugeages deviennent extrêmement difficiles à faire par suite de la rapidité à la fois de la crue et de la décrue.

On peut voir sur la courbe que la dispersion est acceptable. Il y aura intérêt à préciser cette courbe lors des prochaines campagnes; compte-tenu des écarts actuels, il serait illusoire de chercher à distinguer les courbes de crues et de décrues qui sont assez voisines (cf. courbe d'étalonnage page 39).

#### B - RÉGIME HYDROLOGIQUE

Le régime est du type tropical de transition (variante Sud) : la rivière type est la M'BALI à BOUALI. La période de basses eaux est courte (4 mois) coupée tous les ans de crues notables. L'étiage est relativement abondant : 3 l/sec/km<sup>2</sup>. La période de hautes eaux est longue : 5 mois. Pour les petits bassins, elle présente une série de fortes crues très rapprochées.

#### C - CLASSEMENT DES CRUES ÉTUDIÉES

150 averses ont été observées au cours des années 1953 et 1954; elles ont été classées sur un graphique à coordonnées logarithmiques en fonction de leur durée efficace (en abscisse) et de leur intensité (en ordonnée).

Nous avons pu ainsi constater que toutes les pluies d'une intensité et d'une durée inférieure à une certaine limite ne donnent lieu à aucun ruissellement. Cette limite a pu être tracée avec une assez bonne précision en considérant les temps qui séparent le début de la pluie maximum de crue. Cette détermination est très facile à faire sur les diagrammes. La limite intensité-durée en-deçà de laquelle il n'y a pas ruissellement est donnée sur un graphique en annexe.

32 averses ont donné lieu à des enregistrements simultanés des intensités et des débits; 8 ont servi à l'établissement de l'hydrogramme de ruissellement; ce sont, par ordre d'importance les crues :

- n° 27, 22, 16, 16bis, 17, 1, 12, 30.

10 ont permis de déterminer l'écoulement hypodermique. Ce sont les crues :

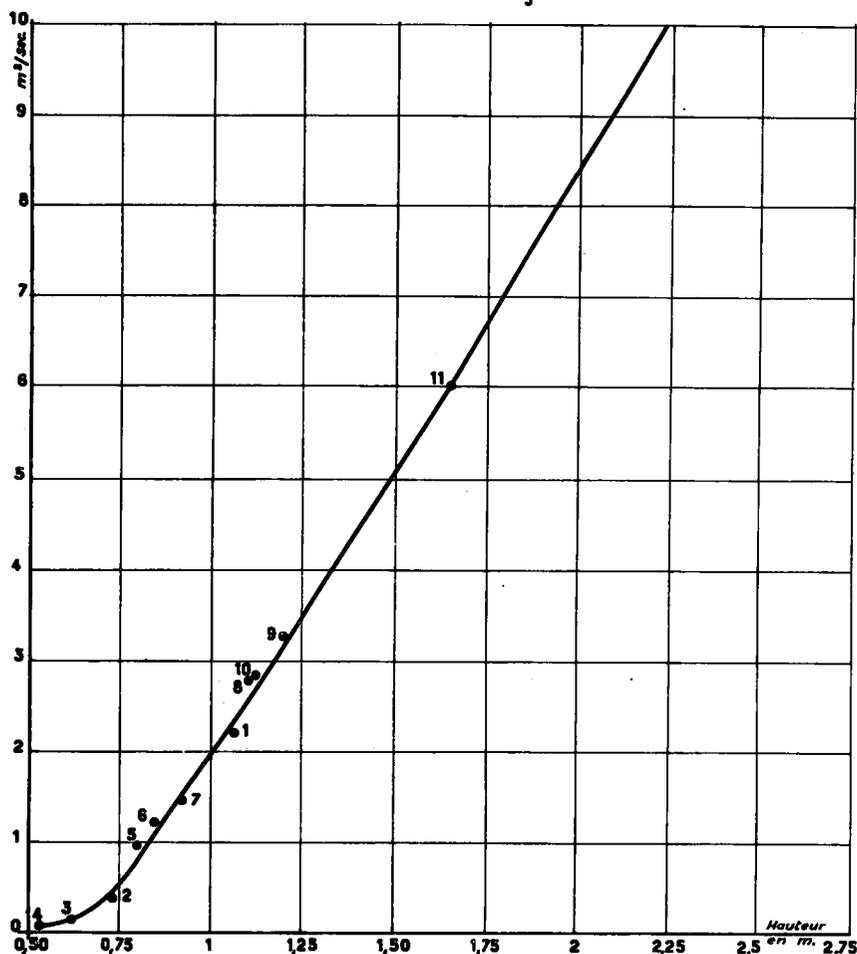
- n° 26, 24, 23, 19, 18, 8, 10, 3, 29, 32.

Les autres ont permis de contrôler les temps de montée de la crue et la vitesse de la décrue de l'écoulement hypodermique.

BASSIN DE LA N'GOLA

Courbe d'étalonnage

Gr. 5



**D - RÉSULTATS BRUTS**

Nous avons groupé dans le tableau N° III les caractéristiques nécessaires à l'étude du ruissellement sur notre bassin.

Le nombre de jours sans pluie avant l'averse étudiée (col. 3) donne une indication sur l'état de saturation préalable du sol. Il n'est pas tenu compte des pluies de très faible hauteur ou de très faible intensité.

La hauteur moyenne pondérée est donnée dans la col. 11. Il est indispensable de connaître la répartition de la pluie dans l'espace et dans le temps. Les col. 4 à 10 donnent les hauteurs observées aux divers pluviomètres.

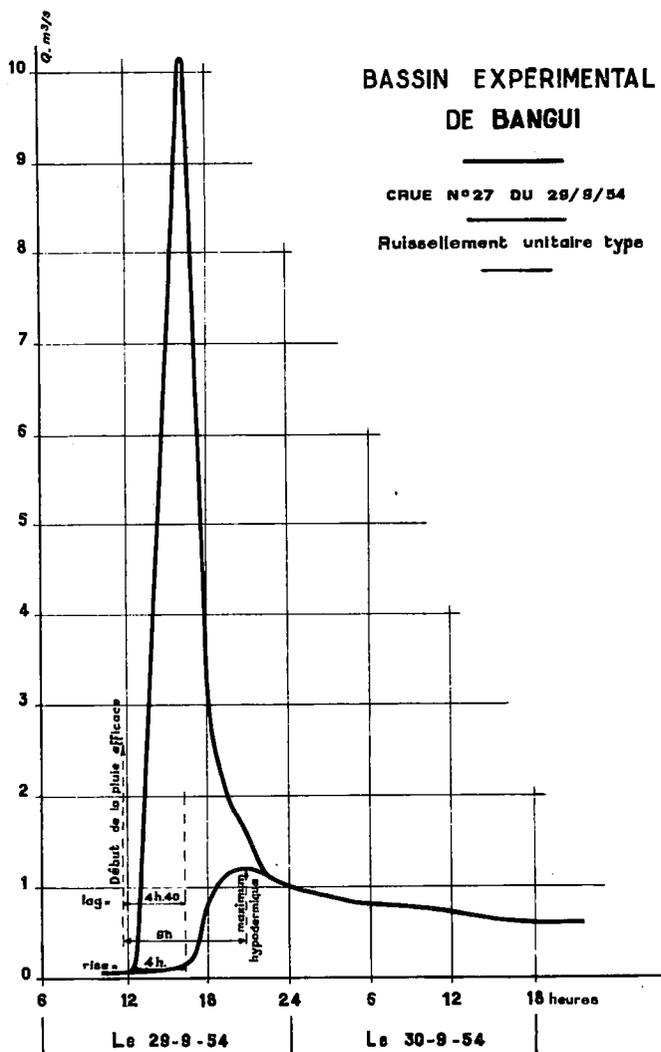
Les variations de l'intensité sont indiquées de façon très sommaire :

1°) par la durée totale de la pluie, col. 12, en éliminant toute "queue" d'averse d'intensité inférieure à 5 mm/h.

2°) par l'intensité efficace  $I_e$ , col. 13 : c'est-à-dire le quotient de la hauteur totale tombée pendant la période où il y a eu effectivement ruissellement par la durée efficace de la pluie : durée de la période effective de ruissellement, col. 20. Cette intensité tient compte à la fois de l'intensité maximum et de la durée du paroxysme de l'averse. Pratiquement, la durée efficace est très courte, de sorte que l'intensité, telle que nous la calculons, est généralement voisine de l'intensité maximum. Il est probablement le facteur le plus important pour la détermination du coefficient de ruissellement.

Le diagramme des débits est caractérisé par les facteurs suivants, tous déterminés à partir des relevés du limnigraphe :

- 1°) le délai entre pluie efficace et maximum de crue (lag) (col. 14);
- 2°) le temps de montée (rise) (col. 15);
- 3°) le volume d'eau de ruissellement (col. 17).



La détermination de ce volume est effectuée à partir de l'hydrogramme total et de l'hydrogramme de l'écoulement hypodermique tracé comme nous le montrerons plus loin;

- 4° le débit maximum de ruissellement (col. 18);
- 5° le coefficient de ruissellement (col. 19)(et non pas coefficient d'écoulement).  
Rapport du volume ruisselé au volume tombé;
- 6° la hauteur de pluie excédentaire et l'intensité correspondante (col. 21 et 22);
- 7° la capacité d'absorption.

## E - ÉCOULEMENT HYPODERMIQUE

Nous englobons, dans ce terme, toute la partie du débit qui ne correspond pas à l'écoulement superficiel. Il comprend le débit des nappes souterraines, le débit des couches superficielles du sol ou écoulement hypodermique proprement dit et l'écoulement provenant du feutrage végétal.

Nous pouvons avoir une idée de l'écoulement des nappes souterraines par le débit de base. Celui-ci est atteint après trois jours de tarissement, mais la différence est assez faible avec le débit atteint au bout de 24 h. seulement de tarissement.

Il est important de connaître la forme de la courbe correspondant à l'écoulement hypodermique.

Comment savoir sur un limnigramme donné si la crue est due à un écoulement hypodermique seul ou à sa combinaison pour une faible partie avec le ruissellement superficiel.

Il est souvent difficile de faire cette séparation. Cependant, en localisant les cas extrêmes, c'est-à-dire ceux où le ruissellement est certain étant donné l'allure très élançée de la courbe et ceux, au contraire, où le diagramme présente une bosse très arrondie et pour lesquels il n'y a pas eu manifestement de ruissellement, on constate que les diagrammes de ruissellement hypodermique présentent toujours la même forme et, qu'en particulier, le maximum se produit avec un retard constant par rapport au centre de gravité du diagramme de précipitations.

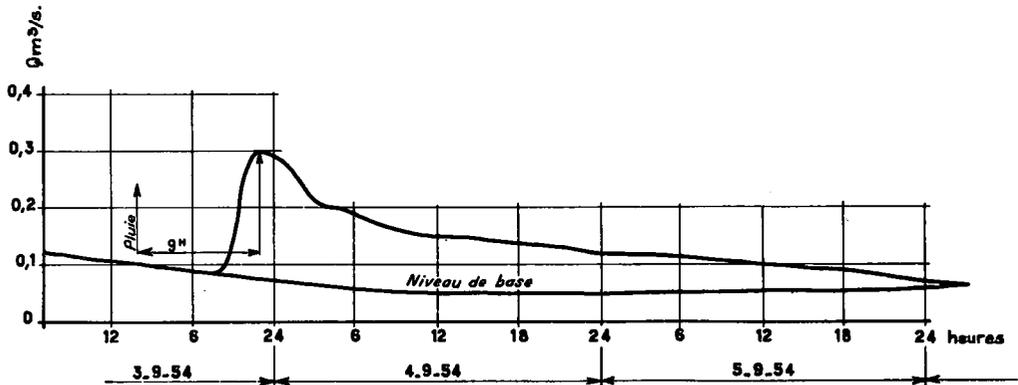
Alors que, pour un diagramme de ruissellement, ce délai ou "lag" est de 5 h., pour un diagramme de ruissellement hypodermique, il est de 9 h. Cette constatation facilite la recherche des diagrammes de ruissellement hypodermique.

Une étude comparative de tous ces diagrammes a permis de tracer un diagramme type, applicable pour les crues unitaires que nous étudions dans le chapitre suivant.

## BASSIN EXPÉRIMENTAL DE BANGUI

CRUE N° 28 DU 3/9/54

Écoulement hypodermique pur  
(Sol saturé)



## CHAPITRE V

### ESSAIS DE DÉTERMINATION DE L'HYDROGRAMME UNITAIRE

D'après la théorie des hydrogrammes unitaires, les courbes des débits de ruissellement pour des averses de durée inférieure à une durée limite, sont toutes affines.

Pour une averse durée supérieure à la durée limite, le diagramme de ruissellement s'obtient en divisant l'averse en un certain nombre d'averses unitaires et en additionnant les ordonnées correspondant aux débits de ruissellement de chaque crue unitaire.

On peut donc dire que tous les diagrammes de débit de ruissellement, pour les averses unitaires, peuvent être ramenés à un diagramme type que nous appellerons diagramme de distribution.

#### A - DÉTERMINATION DU DIAGRAMME DE DISTRIBUTION

Auparavant, il nous faut déterminer la durée limite à laquelle nous avons fait allusion plus haut. On prend généralement comme critère une fraction du temps de montée : "rise". Le tableau N° III montre que, abstraction faite des crues à écoulement hypodermique, le temps de montée moyen est de 4 h., mais le ruissellement sur la partie aval du bassin versant conduit à une déformation de la courbe de montée donnant lieu à un "rise" trop long.

TABLEAU D'OBSERVATIONS ET CARACTÉRISTIQUES DES CRUES

Tableau n° III

Crue N°	Date de la crue	Nbre de jours sans pluie	P L U I E S (m/m)										D É B I T S			R U I S S E L L E M E N T S								
			Pluies observées sur le bassin							min.			heures			10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>			m <sup>3</sup> /s					
			1	2	3	4	5	6	E	Moyenne pondérée Pt	Durée totale de la pluie.	Intensité efficace (l/s) Pe/Te	Temps de retard depuis le début de la pluie Lag	Temps de montée de la crue Rise	Volume tombé sur le bassin Qt	Volume ruisselé Qr	Débit maximum de ruissellement Qm	Coefficient de ruissellement KR %	Durée efficace de la pluie m	Pluie excedentaire PR	Intensité de la pluie excedentaire IR	Capacité d'absorption C.a.I-IR		
1	27-2-53	0					39,0					38	185	62	4,8	4	1000	21,5	1,7	2,1	30	0,75	1,50	60,5
2	3-4-53	2	20,4	17,1	26,2	8,1	39,6					18	85	63			500	2,4	0,4	0,5	30	0,08	0,18	62,8
3	2-5-53	0	48,6	49,8	43,6	47,9	32,1					46	330	10			1250							
8	12-6-53	3	11,0	9,9	10,0	11,2	8,5					10	15	75			270							
9	28-6-53	2	43,8	44,7	52,4	51,6	36,0					46	270	35			1300	5,0		0,4	50	0,18	0,22	34,8
10	2-7-53	0	71,3	72,4	73,2	69,7	54,3					70	300	23			1900							
12	5-8-53	11	62,9	64,7	78,5	67,8	50,5	53,0				64	65	109	6,5	4	1730	14,4	0,9	0,8	30	0,53	1,06	107,9
16	1-11-53	0	60,8	61,2	61,0	60,7	18,6	28,6				53	210	124	5,3	4	1430	76	5,0	5,3	5	2,81	33,6	90,4
16 bis	3-11-53	0	124,0	124,5	123,4	115,9	47,0	58				120	450	190	5	4	3250	120	10	3,7	5	4,44	53,2	136,8
17	7-11-53	1	46,2	48,6	45,9	47,5	35,3	34,2				45	200	119	10	4	1200	30	2,5	2,5	15	1,11	4,4	114,6
18	2-4-54	19	37,1	37,5	31,1	24,2	33,9	34,6				31	420	8			840							
19	16-4-54	14	22,5	23,6	34,6	28,1	31,9	34,0				28	30	56	8	2,5	765	0,06		0,008	30	0,002	0,004	56
20	26-4-54	5	15,1	11,8	13,1	26,5	26,4	11,4				19	240	22			510							
21	12-5-54	10	34,9	32,5	32,0	39,8	34,5	32,6				35	150	24			960							
22	21-7-54	1	99,4	96,9	86,7	62,4	89,7	85,0				82	140	137	7	4	2216	88	6,2	4,0	20	3,25	9,75	127,2
23	23-7-54	1	30,0	34,4	27,5	32,5	31,5	26,0				31	360	5			840							
24	18-8-54	4	7,9	19,8	16,5	16,7	20,5	16,7	15,0			15	55	32			410							
25	1-9-54	4						63,9				65					1750	80	2,8	4,6		2,96		
26	3-9-54	1		0,6	3,9	2,7	5,6	2,0				2		3			57							
27	29-9-54	4	58,8	98,4	21,8	28,4	1,9	54,5				44	165	79	4,5	4	1200	122	10	10,2	15	4,51	18,1	70,9
28	18-10-54	9	8,0	22,2	27,4	28,2	70,8	33,8	30,0			25	60	33			690							
29	26-10-54	1	22,4	21,0	31,0	39,3	40,1	36,4				32	80	48			870							
30	28-10-54	3	21,8	34,9	22,6	23,8	8,5	23,5	11,0			23	18	92	4	1,5	622	9,0	0,4	1,4	15	0,33	1,36	90,6
31	1-12-54	12	46,1	58,5	48,9	52,3	24,8	45,2	44,4			48	30	70	5	4	1300	20	1,7	1,5	15	0,74	2,96	67,0

Dans ces conditions, il serait imprudent, comme l'ont montré les premiers essais, de prendre une durée limite de 1 h. ou même 40 minutes, comme on serait en droit de le faire pour un bassin de forme plus simple. Nous nous sommes imposé 20 minutes : durée limite de "précipitation efficace", pour une tornade unitaire.

Dans ces conditions, nous trouvons 8 averses unitaires :

- n° 1, 12, 16, 16bis, 17, 22, 27 et 30.

Trois d'entre elles sont inutilisables : l'averse n° 30 n'a manifestement donné lieu à ruissellement que sur une partie du bassin versant. Pour l'averse n° 17, il est à peu près impossible de déterminer la courbe de l'écoulement hypodermique qui, en tout état de cause, doit être très grand. Pour l'averse n° 12, la forme de crue est assez complexe,

TABLEAU IV.- DIAGRAMME DE DISTRIBUTION

N° de la crue	Avant le maximum				Max.	Après le maximum (en h.)							Précipitat. tot. mm.	Haut. efficace
	4	3	2	1		1	2	3	4	5	6	7		
27	7	31	67	87	100	83	29	15	9	5	1	0	44	25
22	23	36	75	95	100	85	32	14	9	5	2	1	82	50
16	19	33	67	98	100	84	40	24	12	6	4	2	53	5
16 bis	6	32	67	95	100	84	33	15	5	1	0	0	120	7
1	9	24	75	97	100	82	36	10	0	0	0	0	38	31
Moyenne	7*	31	70	95	100	84	34	16	7	3	1,4	0,6		
Débits constants pr V, ruissellement unité.	0,9	2,7												
	0,9	2,7	5,2	6,7	7,7	6,5	3,0	1,7	0,6	0,4	0,1	0,03		

\* Compte non tenu des crues n° 22 et 16

ce qui tend à indiquer que le diagramme des intensités doit être très variables pour l'ensemble du bassin versant : il est donc prudent d'éliminer cette averse.

Pour les cinq averses restantes, les hauteurs de précipitations varient de 38 à 120 mm. (précipitations excédentaires de 0.75 à 4.5 mm.) écart suffisant pour que l'ensemble des diagrammes de distribution permette la mise au point d'un diagramme type valable.

Pour chaque hydrogramme, nous traçons la courbe de l'écoulement hypodermique à partir des éléments suivants :

- origine du ruissellement (cassure toujours bien marquée),
- abscisse du maximum, comme il a été indiqué plus haut,
- cassure de la courbe de décrue de l'hydrogramme qui marque la fin du ruissellement,
- enfin, forme de la courbe d'écoulement hypodermique qui est connue.

Si la cassure correspondant à la fin du ruissellement est bien marquée, le tracé de cette courbe est facile : c'est le cas pour les cinq averses choisies.

Nous pourrions alors tracer les courbes de ruissellement en déduisant l'écoulement hypodermique et chercher la forme moyenne de courbe de ruissellement.

Nous avons réduit les opérations graphiques en utilisant le procédé suivant, légèrement différent des méthodes classiques et qui ne peut s'appliquer que si la durée du ruissellement est sensiblement constante.

Pour chaque hydrogramme, nous avons mesuré l'ordonnée YM comprise entre le

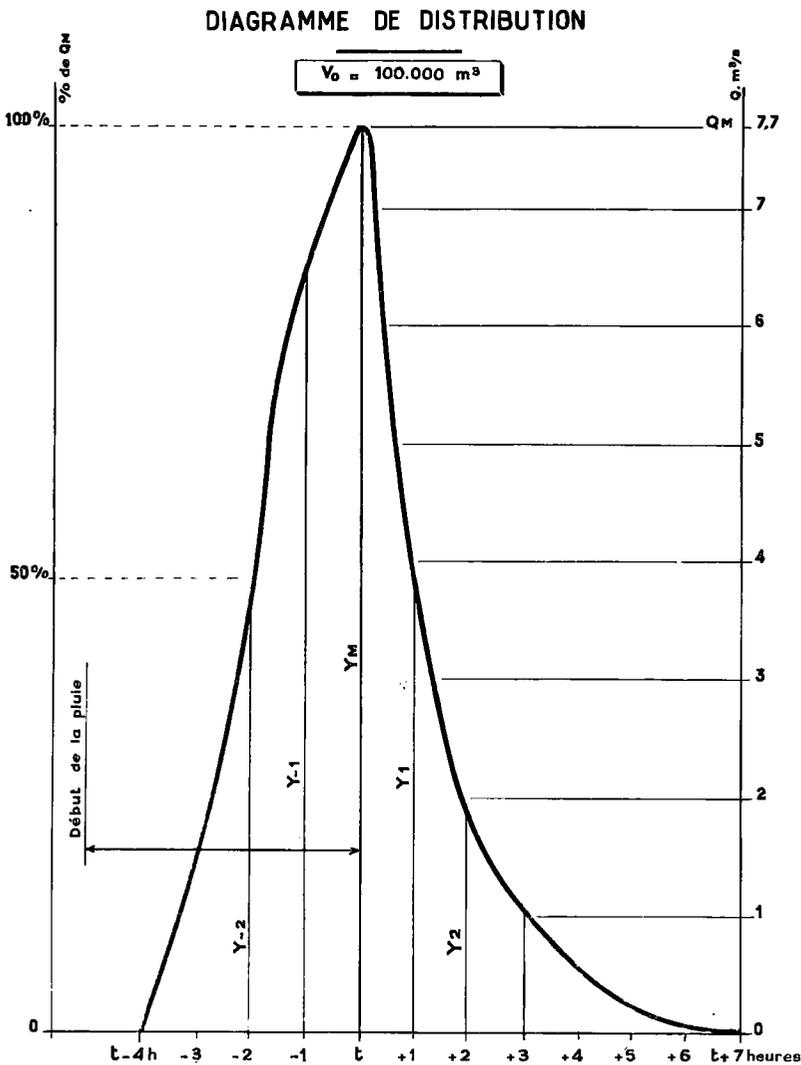
maximum de l'hydrogramme total et l'hydrogramme hypodermique, et correspondant au temps  $t$ . Nous mesurons, d'autre part, les ordonnées entre hydrogramme total et hydrogramme hypodermique pour des abscisses correspondant aux temps  $t + t_0$ ,  $t + 2 t_0$ , etc. ou  $t - t_0$ ,  $t - 2 t_0$ , etc.,  $t_0$  étant une unité de temps que nous prendrons égale à 1 h. : les ordonnées correspondantes étaient désignées par  $Y_1$ ,  $Y_2$  ou  $Y - 1$ ,  $Y - 2$ . Sur le graphique 8, ces ordonnées encadrent  $Y_M$ .

La méthode des hydrogrammes unitaires suppose que les rapports :

$$\dots \frac{Y - 2}{Y_M} \quad \frac{Y - 1}{Y_M} \quad \frac{Y_1}{Y_M} \quad \frac{Y_2}{Y_M} \dots$$

sont les mêmes pour tous les hydrogrammes unitaires. Nous avons donc calculé les valeurs de ces rapports pour nos cinq crues unitaires et nous les avons portées dans le tableau n° IV.

La moyenne donne, à un facteur constant près, les ordonnées du diagramme type ou de ruissellement ou diagramme de distribution.



Gr.8

Le début de la courbe donne lieu à certaines irrégularités dont la partie aval du bassin, à forte pente, est responsable. Ces irrégularités sont bien marquées pour les averses particulièrement abondantes au pluviomètre n° 5 (crues n° 22 et 16). On trouve même, dans certaines courbes non utilisées, une bosse bien marquée, qui a permis

l'établissement d'un petit diagramme de distribution élémentaire; le temps de montée, pour cette fraction du bassin, n'est que de 50 minutes. Il n'a pas été tenu compte des crues 22 et 16 pour l'établissement des moyennes.

D'autre part, quelques légères divergences vers la fin du diagramme sont dues aux faits suivants :

1°) dans la réalité, la courbe de ruissellement ne correspond pas à une durée rigoureusement constante,

2°) cette partie du diagramme peut être gravement affectée par les imprécisions du tracé de l'hydrogramme hypodermique; or, ce dernier tracé est loin d'être rigoureux.

Abstraction faite de ces réserves, la concordance est bonne pour la partie principale de la pointe de crue.

On notera que la montée est relativement lente, correspondant probablement au feutrage de la végétation; ceci est en rapport avec les grandes valeurs trouvées pour l'écoulement hypodermique.

Le tableau ci-dessous donne les débits maxima pour une averse produisant un volume de ruissellement unité  $V_0$ , soit 100 000 m<sup>3</sup> :

Crue n°	Débit max. Qm	Volume total ruisselé VR	$Q_m \times \frac{V_0}{VR}$
27	10,9 m <sup>3</sup>	122 000	9 m <sup>3</sup> /sec.
22	6,1 "	88 000	7 "
16	5 "	76 000	6,6 "
16 bis	9,5 "	120 000	8 "
1	1,6 "	21 500	7,4 "
		Moyenne .....	7,4 "

L'hydrogramme unitaire adopté donne 7,7 m<sup>3</sup>/sec.

## B - COEFFICIENT DE RUISSÈLEMENT

Pour reconstituer la courbe de crue correspondante à une averse donnée la connaissance du diagramme de distribution est nécessaire, mais il faut également connaître les caractéristiques d'absorption du bassin. Une première notion de l'absorption peut être obtenue par l'examen du coefficient de ruissellement.

Nous avons essayé de classer par ordre croissant les coefficients de ruissellement et de les comparer avec divers autres paramètres :

- la quantité d'eau totale tombée
- la durée de la pluie
- l'intensité efficace  $I_e$
- l'état de saturation préalable du sol.

Nous n'avons que 14 pluies ayant donné lieu à ruissellement. Ce nombre est beaucoup trop faible pour effectuer la comparaison.

Il faudrait disposer d'averses en quantité suffisante pour lesquelles un seul paramètre soit variable, alors que les autres resteraient constants, afin de pouvoir dégager des relations simples entre ces paramètres et le coefficient de ruissellement. D'autre part, il est probable que le nombre de paramètres à envisager dépasse de loin ceux que nous désignons plus haut. L'époque de la pluie, l'heure, la végétation jouent également un rôle important.

On ne peut donner que les limites dans lesquelles il a été observé. Ces limites vont de 0 à 10 % du volume tombé.

Le coefficient de ruissellement reste très faible :

Une averse pondérée de 44 mm. a pu donner un ruissellement de 10,2 %, mais ce facteur anormal correspond à une répartition très irrégulière, un des pluviomètres ayant accusé 98,4 mm.

Les valeurs les plus courantes vont de 0 à 6 %. Des averses assez fortes de 53, 65 mm. ont donné respectivement 5,3 et 4,5 %, mais, par contre, une averse de 64 mm. n'a donné que 0,8 %. Ce très faible rendement correspond bien aux faibles vitesses d'écoulement et à l'importance de la rétention.

Le seul paramètre qui semble présenter un rapport relativement simple avec le coefficient de ruissellement est ce que nous avons appelé l'intensité efficace. Cette inten-

sité est obtenue sur les diagrammes de pluie. Comme nous ne possédons qu'un seul pluviomètre enregistreur l'intensité efficace indiquée sur le diagramme a été multipliée par le rapport qui lie la quantité d'eau totale tombée à l'enregistreur à la moyenne pluviométrique pondérée du bassin. C'est cette valeur qui figure dans le tableau n° III, Ie, Col. 13.

Exception faite des averses 27 et 1, toutes les averses correspondant à des intensités moyennes supérieures à 100 mm/h. ont donné des coefficients de ruissellement supérieurs à 1 % et plus généralement variables entre 3 et 5 %. Nous reverrons ce point de plus près dans le paragraphe suivant.

On pourrait admettre, pour une forte crue, un coefficient de 5 %. Mais, si l'étude exige de se prémunir contre les conditions les plus défavorables, il serait prudent de prendre des valeurs plus élevées, comme nous le verrons au chapitre VI.

### C - CAPACITÉ D'ABSORPTION

La seule donnée que l'on puisse définir avec assez de précision est la capacité limite d'absorption du sol en fonction de la durée et de l'intensité de la pluie; nous en avons déjà parlé dans le paragraphe IV au sujet du classement des crues.

La capacité d'absorption est déterminée de la façon suivante :

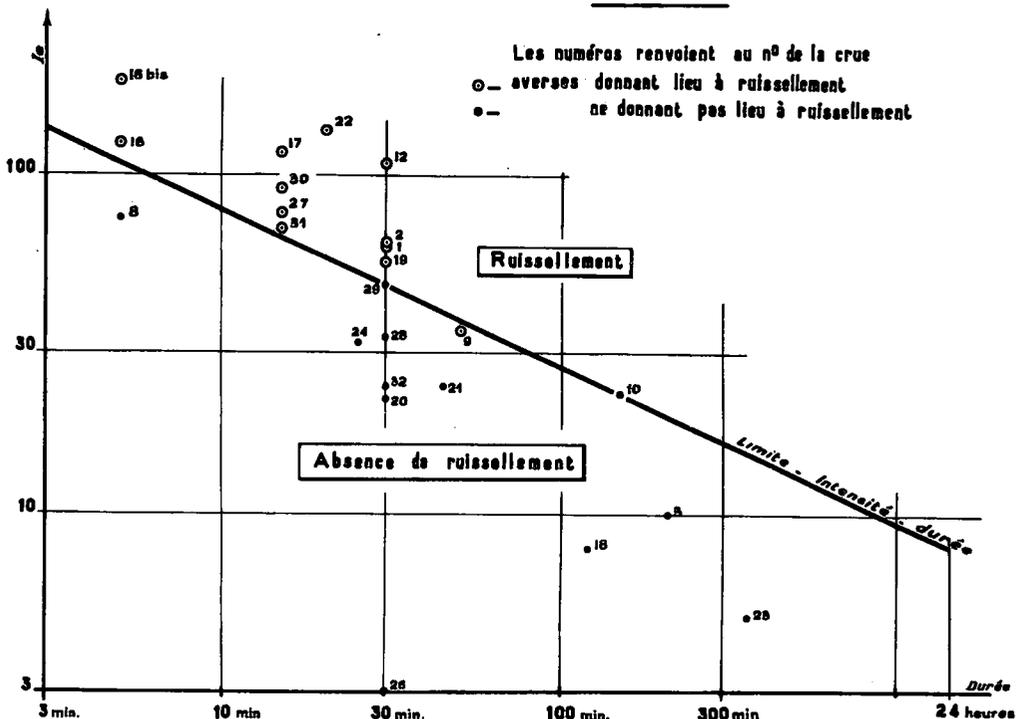
Pour une pluie d'intensité constante donnant lieu à un volume VH, on soustrait le volume de ruissellement correspondant VR (ou volume de pluie excédente) tel qu'il peut être déterminé par l'hydrogramme de la crue. On divise cette différence par la durée effective de l'averse T.

Le rapport  $\frac{VH - VR}{TS}$  (S = superficie du bassin versant) est la capacité d'absorption en mm/h. Ce facteur fait intervenir les pertes par infiltration, l'écoulement hypodermique proprement dit et toutes les pertes par évaporation et transpiration qui sont ici considérables compte-tenu de la densité de la végétation et de la lenteur relative de l'écoulement.

Lorsque la capacité d'absorption est égale à l'intensité des précipitations pour une pluie d'intensité constante, le ruissellement est nul et on obtient une courbe d'écoulement hypodermique limite suivant la définition très large que nous avons donnée de ce genre d'écoulement.

Nous avons donc établi un graphique portant en abscisse la durée de la pluie efficace, en ordonnée les intensités "moyennes" de la pluie. Il est possible de tracer sur ce gra-

### CLASSEMENT DES AVERSES



phique une droite en-dessous de laquelle il n'y a pas de ruissellement, ce qui peut s'exprimer ainsi :

-	une pluie de durée inférieure à 5 mn.			
	est entièrement absorbée si . . . . .	le	<	110 mm/h.
-	" " " 15 mn. . . . .	le	<	65 "
-	" " " 30 mn. . . . .	le	<	45 "
-	" " " 1 h. . . . .	le	<	35 "
-	" " " 2 h. . . . .	le	<	25 "
-	" " " 3 h. . . . .	le	<	21 "
-	" " " 4 h. . . . .	le	<	18 "
-	" " " 5 h. . . . .	le	<	16 "
-	" " " 10 h. . . . .	le	<	12 "
-	" " " 24 h. . . . .	le	<	8 "

Ces limites sont très élevées. On peut admettre en première approximation qu'elles définissent une courbe de la capacité moyenne d'absorption en fonction du temps dans des conditions assez favorables au ruissellement.

### CHAPITRE VI

## DÉTERMINATION DE L'HYDROGRAMME POUR UNE PLUIE DONNÉE

D'après ce que nous avons dit du coefficient de ruissellement, nous ne connaissons encore que les limites observées et nous n'avons pu dégager aucune relation reliant ce coefficient à une intensité donnée.

Compte-tenu de nos observations et en attendant que les études ultérieures permettent de préciser ce point nous avons admis des valeurs de coefficients très supérieures à ceux qui ont été observés.

Nous avons essayé de déterminer le débit maximum pour un certain nombre d'averses de fréquence décennale telles qu'elles ont été relevées par l'appareil enregistreur de la station météorologique de BANGUI (voir article de M. ROBERT dans l'Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer 1951).

On aboutit aux résultats suivants :

Intensité moyenne	Durée	Débit maximum.(1)	Volume de ruissellement
150 mm/h.	15 min.	11,5 m <sup>3</sup> /sec.	150 000 m <sup>3</sup>
81 "	1 h.	19 "	256 000 "
64 "	1 h.30	20 "	291 000 "
53 " (2)	2 h.	24 "	339 000 "

Pour les deux dernières averses, nous avons pris les coefficients de ruissellement suivants correspondant aux hydrogrammes successifs de 20 minutes chacun :

6 %	10 %	12 %	15 %	15 %	
0 (3)	8 %	12 %	15 %	18 %	18 %

Ces chiffres correspondent à de simples indications; il est possible que nos coefficients de ruissellement soient beaucoup trop élevés.

Les débits maxima sont relativement faibles : 24 m<sup>3</sup>/sec. correspondent sensiblement à 900 l/sec/km<sup>2</sup>.

Pendant les deux ans d'études, le maximum relevé a été de 10 m<sup>3</sup>/sec., soit 380 l/sec/km<sup>2</sup>.

### CONCLUSIONS

Les études effectuées sont suffisantes pour préciser le diagramme de distribution, mais leur durée est beaucoup trop courte pour définir de façon précise les variations de capacité d'absorption.

Il est possible d'affirmer que l'absorption par la végétation et les couches superficielles du sol conduisent à un freinage considérable du ruissellement : forme progressive de la montée, importance de l'écoulement hypodermique, valeur relativement faible des maxima de crue

(1) De ruissellement.

(2) Ces chiffres correspondent aux lectures du pluviographe avec un coefficient d'abattement de 95 % pour passer du maximum ponctuel à un maximum sur une surface de 27 km<sup>2</sup>

(3) Voir chapitre précédent.