

RÉPUBLIQUE DU DAHOMEY

---

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

---

Arrondissement de l'hydraulique

Études hydrologiques de petits bassins versants  
au DAHOMEY

---

RAPPORT GÉNÉRAL

O . R . S . T . O . M

Service Hydrologique

FÉVRIER 1960

République du DAHOMEY

-----

MINISTERE des TRAVAUX PUBLICS

-----

Arrondissement de l'Hydraulique

-----

ETUDES HYDROLOGIQUES DE PETITS BASSINS VERSANTS  
AU DAHOMEY

-----

RAPPORT GENERAL

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

-----

Février 1960

-----

## PREAMBULE

Le Service de l'Hydraulique de la République du DAHOMEY a demandé au Service hydrologique de l'ORSTOM de lui remettre un rapport analytique des observations effectuées sur les petits bassins versants expérimentaux de la LHOTO et de la TERO.

Les études des bassins de la LHOTO, réalisées par le Service hydrologique de l'ORSTOM, ont duré quatre ans, de 1956 à 1959; chaque campagne hydrologique fait l'objet dans ce rapport d'un chapitre particulier; le dernier chapitre, relatif à 1959, reprend bien entendu les résultats des campagnes précédentes pour l'interprétation des crues observées.

Effectuées par le personnel du Service de l'Hydraulique, les observations sur le bassin de la TERO n'ont eu lieu qu'en 1956 et 1957. Nous avons fait l'interprétation des documents qui nous ont été remis sur ces deux campagnes, en un seul chapitre.

Une conclusion replace ces études dans leur contexte géographique et permet d'en apprécier l'intérêt et les possibilités d'utilisation pratique.

## lère PARTIE

### OBSERVATIONS EFFECTUEES SUR LES BASSINS VERSANTS DE LA LHOTO (Région de DASSA-ZOUME)

-----

#### CHAPITRE I

-----

#### - CAMPAGNE 1956 -

#### A) DESCRIPTION SOMMAIRE DU BASSIN -

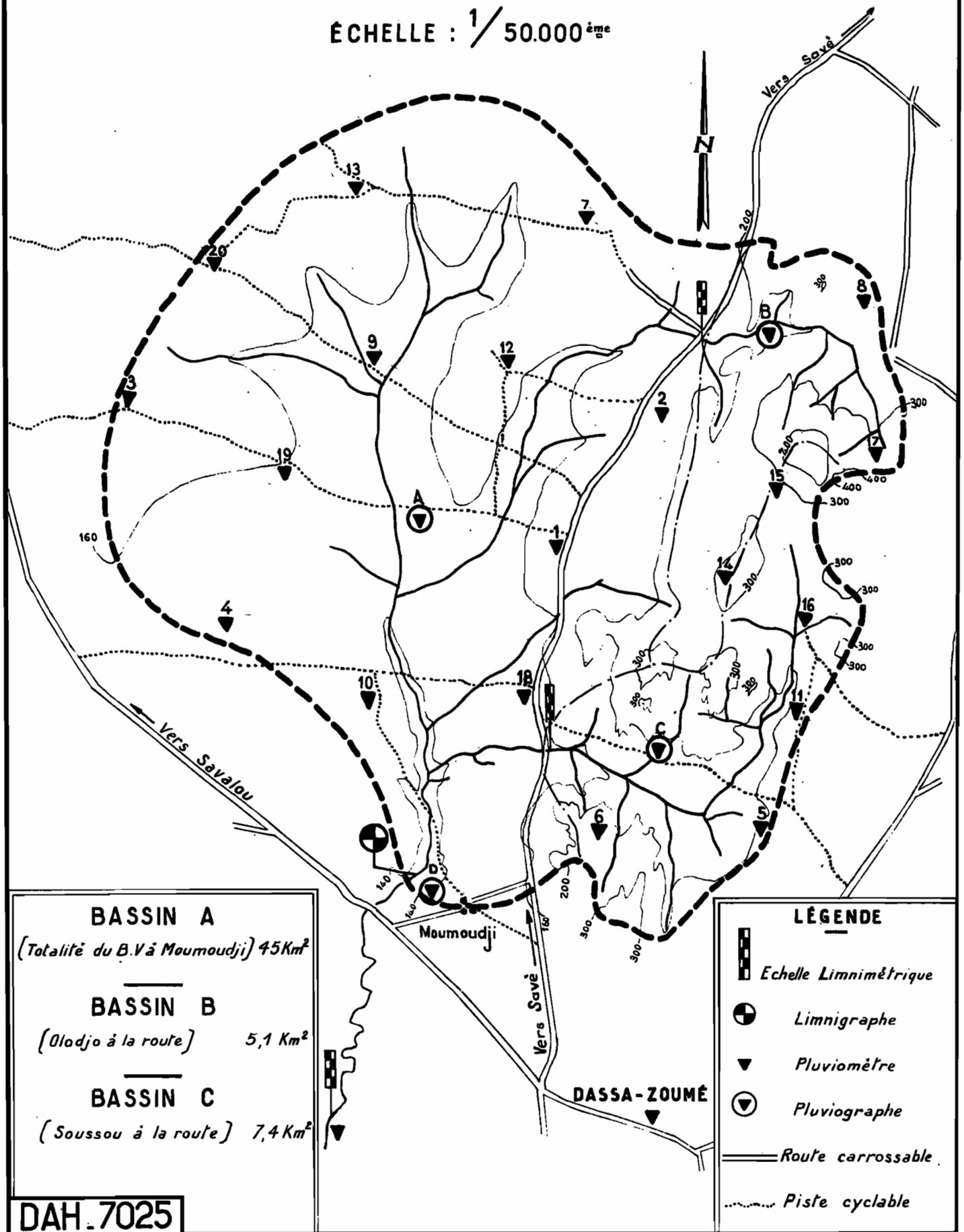
La LHOTO est un affluent de l'AGBADO, principal affluent du ZOU. Le régime de ces rivières est du type tropical de transition, variante dahoméenne. La saison des pluies est très longue et pour la LHOTO, dont la latitude est assez faible, le régime est très voisin du régime équatorial de transition : il y a très souvent un ralentissement des pluies au milieu de l'été. Dans ce régime, les précipitations sont peu abondantes et très dispersées ; les débits de la période de hautes eaux sont relativement faibles. L'étiage est très sévère et très long. Les premières pluies de l'hivernage ne produisent aucun écoulement. En fait, les variations de débits sont assez différentes du régime tropical de transition et se rapprochent plutôt du régime tropical pur, mais le régime de la LHOTO diffère par la présence de crues isolées sur une période plus longue et celle de petites pointes de débit qui ne sont pas exclues en Mars ou Avril. Il en diffère également par une plus forte irrégularité interannuelle.

La station principale de notre bassin, située à quelques kilomètres de la localité de DASSA-ZOUME, a les coordonnées géographiques suivantes :

- Latitude ..... 7° 48' N
- Longitude ..... 2° 10' E

# BASSIN VERSANT DE LA LHOTO

ÉCHELLE : 1 / 50.000<sup>ème</sup>



## BASSIN A

(Totalité du B.V à Moumoudji) 45 Km<sup>2</sup>

## BASSIN B

(Olodjo à la route) 5,1 Km<sup>2</sup>

## BASSIN C

(Soussou à la route) 7,4 Km<sup>2</sup>

## LÉGENDE

-  Echelle Limnimétrique
-  Limnigraph
-  Pluviomètre
-  Pluviographe
-  Route carrossable
-  Piste cyclable

DAH.7025

La superficie du bassin, mesurée sur la carte au 1/50.000° du Service Géographique de l'A.O.F., est de 45 km<sup>2</sup> à la station principale et, respectivement, de 7,4 km<sup>2</sup> (SOUSSOU) et 5,1 km<sup>2</sup> (OLODJO) aux deux stations secondaires (voir carte n° 1).

Le coefficient de forme est le suivant :

$$Kf = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} = 1,13$$

La distance de la source principale (OLODJO) à la station est de 11,7 km ; la pente moyenne sur ce parcours est de 2,2% ; de la source à la route la pente est de 7,4%.

La SOUSSOU, de sa source au confluent de l'OLODJO, a une pente moyenne de 2% (voir profil en long).

L'hypsométrie du bassin se répartit comme suit :

-	altitude comprise entre	138 et 160 m	.....	35,5 %
-	"	"	160 et 200 m	..... 33,3 %
-	"	"	200 et 300 m	..... 26,5 %
-	"	"	300 et 400 m	..... 4,3 %
-	"	"	400 et 465 m	..... 0,4 %

(voir courbe hypsométrique)

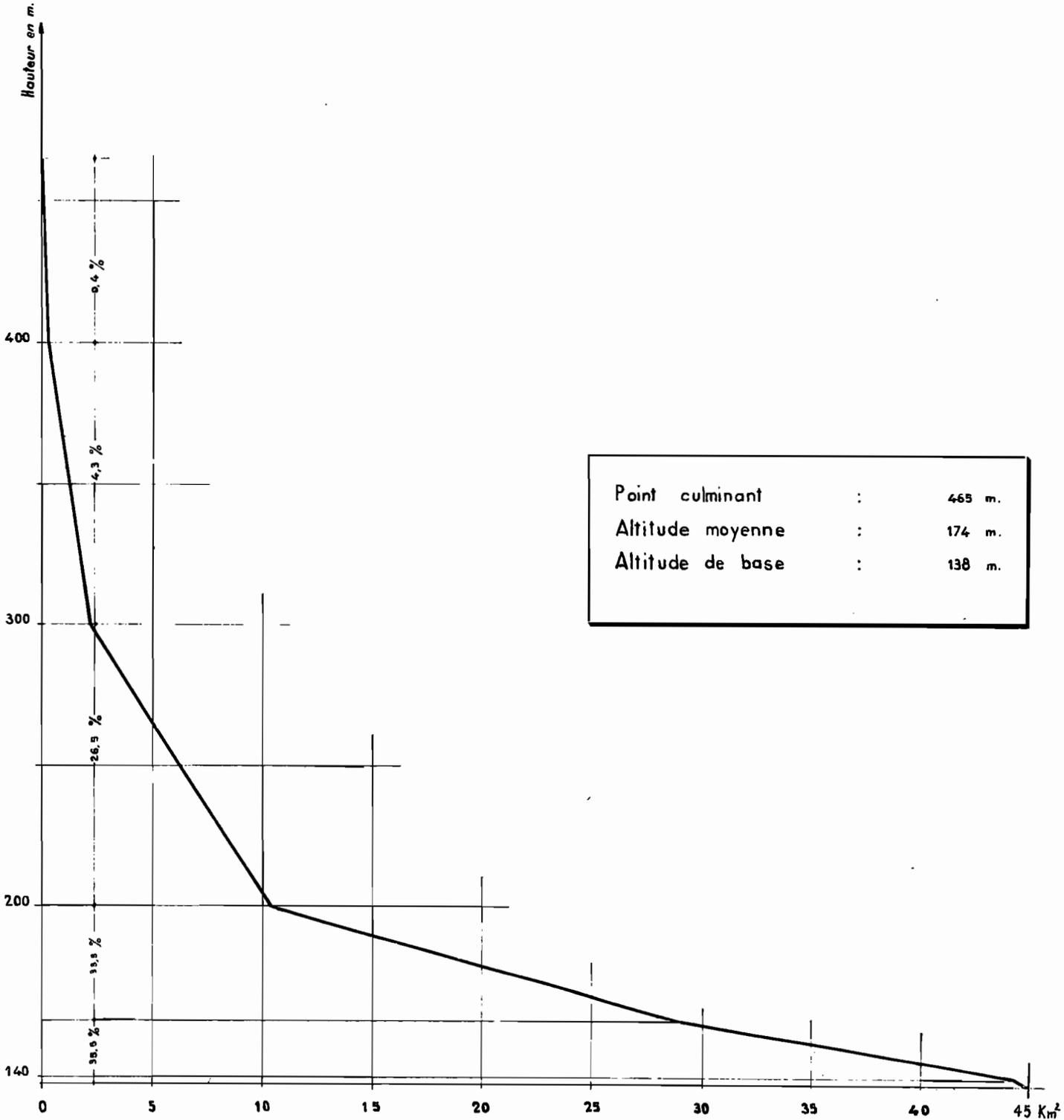
Au point de vue géologique, le bassin est situé dans une zone granitique ; 1/5 du bassin est constitué par le massif de DASSA-ZOUME où l'on rencontre les différents faciès suivants (d'après M. R. POUGNET, Ingénieur Géologue I.G.M.) :

- Faciès porphyroïde à biotite et à deux micas (c'est le faciès le plus fréquent)
- Granite à biotite et muscovite
- Granite migmatitique

Les deux principaux affluents de la LHOTO ont leur source dans ce massif (long de 10 km et d'une largeur moyenne de 2 km) ; leur cours supérieur dévale de ces monts dans des thalwegs encombrés d'éboulis et dont les pentes dépassent parfois 15 % (OLODJO) ; il chemine ensuite entre ces monts dans les colluvions sableuses, épaisses par endroits de plusieurs mètres.

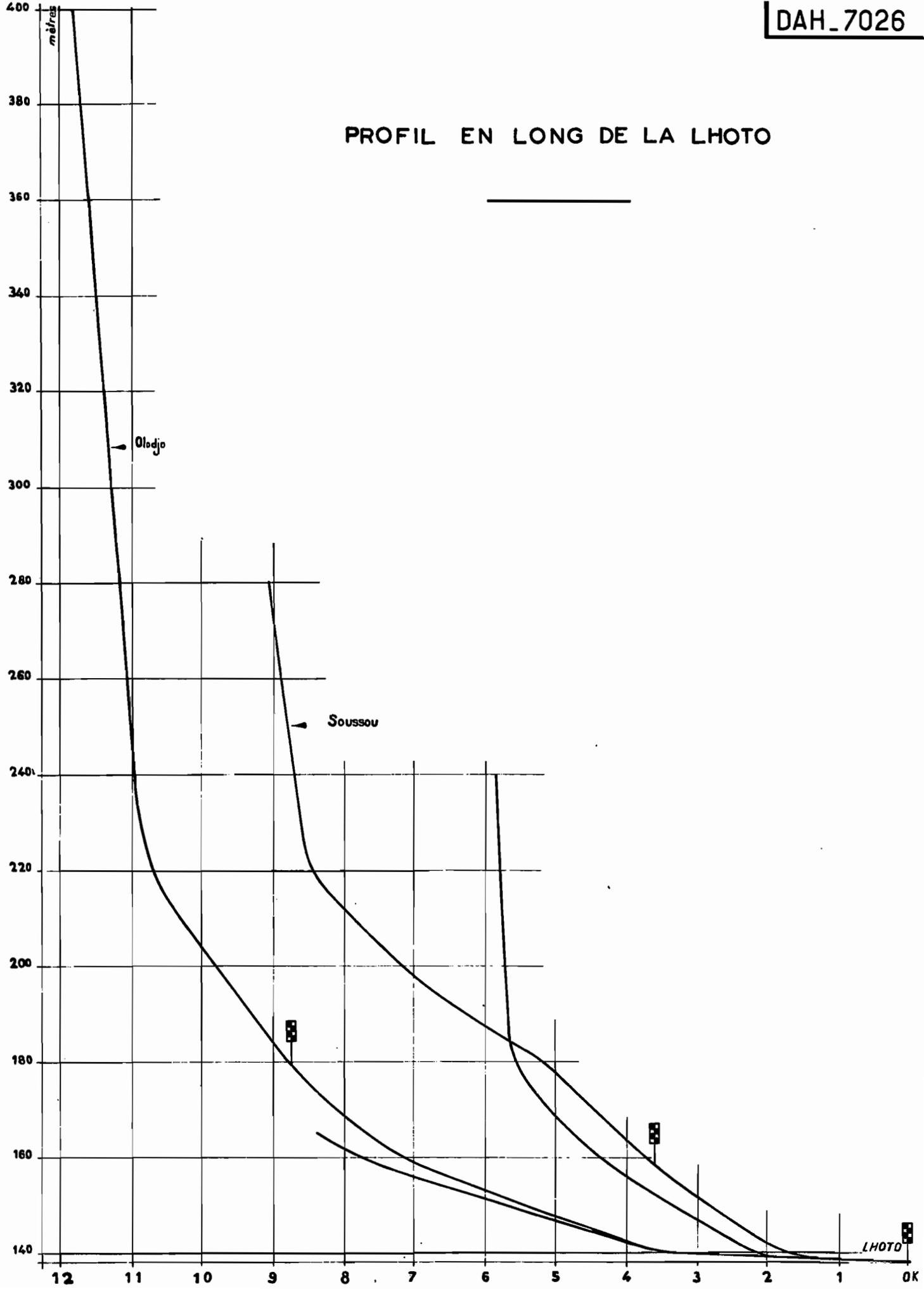
# HYPSONÉTRIE DU BASSIN EXPÉRIENTAL DE LA LHOTO

---



Point culminant	:	465 m.
Altitude moyenne	:	174 m.
Altitude de base	:	138 m.

# PROFIL EN LONG DE LA LHOTO



Le réseau hydrographique en provenance des monts est assez net et bordé d'une légère galerie forestière (OLODJO et SOUSSOU) ; le lit de ces marigots devient cependant assez imprécis au débouché dans la plaine, en amont de la route, aux points d'accumulation des colluvions sableuses contre la ceinture souterraine argileuse (et peut-être par endroits rocheuse) qui borde l'ouest du massif et forme, à notre avis, le réservoir des eaux emmagasinées à l'amont dans les éboulis, arènes granitiques et colluvions sableuses.

Au nord et à l'ouest, le réseau hydrographique est constitué de larges et molles dépressions ; ce n'est que plus au sud, après avoir reçu l'OLODJO d'abord, et la SOUSSOU ensuite, que le profil en travers de la LHOTO devient bien marqué, trapézoïdal en général, mais avec un lit très encombré par la végétation, où le socle apparaît par endroits.

B) LES SOLS DU BASSIN DE LA LHOTO - Rapport pédologique de M. LAMOUREUX, pédologue de l'ORSTOM -

Nous passons d'une végétation forestière autour du massif (forêt classée de DASSA-ZOUME nord) à une savane arborée souvent très dégradée dans le reste du bassin. Si la zone forestière est relativement protégée depuis son classement, il n'en est pas de même de la savane arborée qui brûle tous les ans et est soumise à un défrichement intense. Parmi les Andropogonées nous retrouvons les arbres habituels des savanes du Moyen-TOGO DAHOMEY : Parkia, Vitex, Isoberlinia, Cochlospermum etc...

L'assolement triennal pratiqué dans cette région est à base de plantes vivrières :

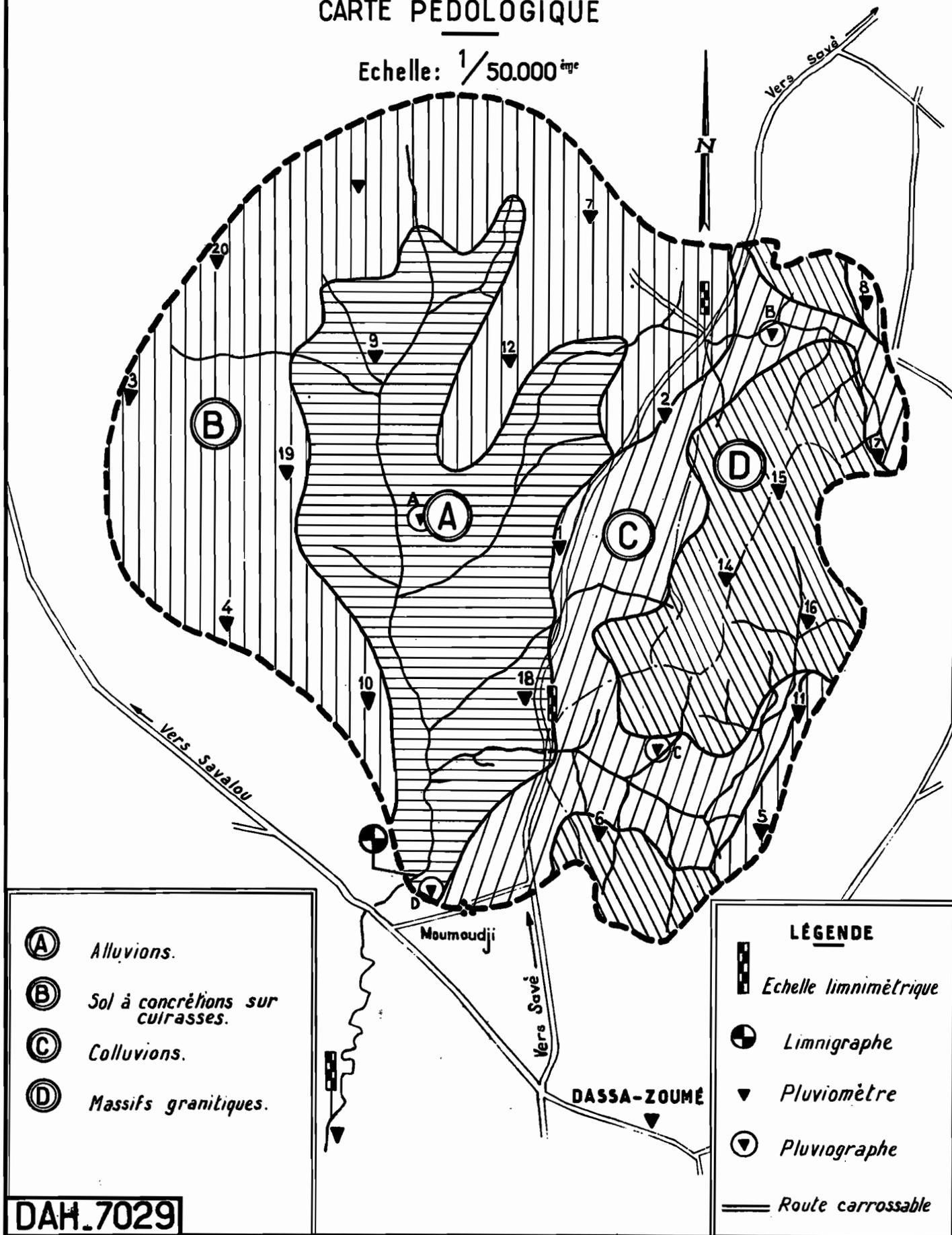
{ Igbame - Maïs  
{ Maïs - Arachide  
{ Mil - Tabac (peu de manioc)

Il est à noter que le coton a tendance à disparaître dans le centre DAHOMEY au profit des cultures de tabac, pratiquées ici sur une très petite échelle.

# BASSIN VERSANT DE LA LOTO

## CARTE PÉDOLOGIQUE

Echelle: 1/50.000<sup>ème</sup>



- Ⓐ Alluvions.
- Ⓑ Sol à concrétions sur cuirasses.
- Ⓒ Colluvions.
- Ⓓ Massifs granitiques.

### LÉGENDE

- Echelle linimétrique
- Limnigraphie
- Pluviomètre
- Pluviographe
- Route carrossable

DAH.7029

Les sols épuisés, abandonnés à la jachère, sont couverts d'Iperata et soumis aux feux annuels. Les jachères non protégées ne redonnent pas au sol sa fertilité initiale même après 10 et 15 ans, et nous allons dans cette région de DASSA-ZOUME, comme autour de tous les Centres urbains, vers une dégradation inquiétante des sols. Il est vrai que nous sommes là à un croisement de routes important et que ces montagnes ont été le refuge des cultivateurs à l'époque des guerres esclavagistes.

### LES SOLS DU BASSIN DE LA LHOTO

Nous distinguons génétiquement des sols peu évolués, les sols squelettiques de montagnes et les alluvions sableuses qui sont à leurs pieds.

Des sols évolués : Sols sur colluvions, faisant suite aux colluvions sableuses, sols à concrétions de plateau et de pente, sols plus ou moins hydromorphes du centre du bassin.

#### 1 - Le Massif granitique et ses colluvions

Dans cette zone rocheuse où nous avons tantôt des roches, tantôt des failles où les sables se sont accumulés, il est difficile de dissocier les sols squelettiques des sols de colluvions. Pourtant nous distinguons nettement aux pieds des massifs des colluvions très épaisses. Ainsi en A sur une pente de 4 à 5% et sous une savane à Combretum, Terminalia, Ximenia etc... nous avons de 0 à 80 cm un sable très pur, sans couche superficielle humifère, du fait d'une érosion de nappe importante.

De 80 à plus de 120 cm : un sable beige, faiblement argileux, avec quelques taches ferrugineuses ocre rouille.

Ces sables ont une très grande perméabilité et doivent permettre à l'eau de s'accumuler dans les failles et les petites dépressions entre les pointements rocheux.

Dans les petits thalwegs entre les massifs et le long de la grande route, les colluvions ont nettement évolué et forment des sols hydromorphes en bas-fond et des sols faiblement ferrallitiques à concrétions

en marge du massif granitique, du fait des pentes moins fortes et d'un lessivage latéral moins important.

Nous n'avons pas analysé les colluvions sableuses qui à priori nous paraissent très perméables et excessivement pauvres.

SOLS SUR COLLUVIONS (Bordure des alluvions)

(En % de terre fine séchée à l'air)

Echantillons	Lo 21	Lo 22	Lo 23	Lo 131	Lo 132	Lo 133
Profondeur	30-40	60-80	150-160	0-15	30-50	100-110
Terre fine %	95,5	100	98	85	98	75,5
Humidité %	0,26			1,22	6,02	8,4
Argile %	5			19,5	35,25	40
Limon %	7			2,75	4,5	7,75
Sable fin %	81,75			61	33	17,5
Sable gros	5,25			26,5	20,75	26
C %				0,435		
N %				0,039		
C/N				11,2		
Agrégats %				57	55	54
pH	5,5	5,6		5,3	5,1	5,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total %				0,215	0,215	0,215
N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				1,82		
<u>Bases échangeables</u> meq %						
Ca	0,72	5,10	13,49			
Mg	0,20	2,20	3,80			
K	0,04	0,15	0,17			
Na	0,10	0,11	0,34			
Somme	1,06	7,56	17,80			

## 2 - Les sols à concrétions sur cuirasse

Le nord et l'ouest du bassin sont bordés par un plateau semi-circulaire dont les pentes souvent fortes vers le centre du bassin, laissent apparaître des blocs de cuirasse aux ruptures de pente.

A l'est, près de la voie ferrée, nous retrouvons ce type de sols, n'intéressant le bassin que sur une faible bande.

Sur ce plateau les savanes arbustives que nous commençons à bien connaître nous situent à peu près la fertilité des sols.

Sur le haut du plateau nous retrouvons de petites forêts sèches d'Isoberlinia doka, sur un sol rougeâtre, avec cuirasse plus ou moins démantelée. Ces sols que nous voyons un peu partout dans le Moyen-TOGO DAHOMEY et dans les mêmes conditions climatiques et topographiques, ont été relativement épargnés par l'érosion qui pénéplanise le socle cristallin. Ce sont de très bons sols de culture comme tous ces sols faiblement ferrallitiques, mais les cultures abusives les transforment, en une dizaine d'années, en sols lessivés, concrétionnés, à cuirasse proche de la surface. Ainsi en bordure du pluviomètre 3, nous avons prélevé le profil Lo 50 dans un champ de culture en voie de dégradation. Mêmes cultures de mil, de maïs rouillé, d'arachides détruites par la rosette sur un sol très peu humifère :

0 - 15 cm Horizon beige clair, sableux un peu limoneux. Quelques concrétions.

15 - 120 cm Horizon brun rouge de concrétions (90%) les racines pénètrent jusqu'à 50 cm

En Lo 90 sous une savane à Butyrospermum parkii, Bauhinia thoningii, Entada sp. Hymenocardia acida etc ...

de 0 à 25 cm Horizon brun foncé, faiblement grumeleux, sableux, peu humifère

25 à 70 cm Horizon ocre rouillé, polyédrique, argileux à concrétions ferrugineuses

70 à 80 cm Les concrétions sont très abondantes et nous trouvons la cuirasse à 80 cm

Sur les pentes, la végétation claire à Hyménocardia, Entada, Cochlospermum etc... marque nettement la dégradation du sol. Au pluviomètre 10 la cuirasse apparaît entre 20 et 30 cm sur une pente de 3 à 4 %, au pluviomètre 5 nous la trouvons à 50 cm.

Les sols à concrétions sont très lessivés en surface, sur le plateau les colloïdes s'accumulent en profondeur et contribuent à former les concrétions et certaines cuirasses. Sur les pentes ils sont lessivés latéralement et sont emportés par les eaux ou forment un horizon de concrétions dans les sols alluviaux (Lo 40, Lo 11). Cette texture sablo-gravillonnaire donne à ces sols une grande perméabilité et une assez faible capacité de rétention pour l'eau.

SOLS A CONCRETIONS SUR CUIRASSES  
(en % de terre fine séchée à l'air)

Echantillons	Lo 51	Lo 52	Lo 91	Lo 92
Profondeur	0-15	40-60	0-15	30-60
Terre fine %	95	30	96,7	79,5
Humidité %	0,44	5,06	1,56	9,22
Argile %	5,75	32,75	9,75	45,5
Limon %	7,25	8,25	8	9,5
Sable fin %	71,25	30,5	65	19,9
Sable gros %	13,75	23,5	12,5	15,6
C %	0,62		0,715	
N %	0,05		0,061	
C/N	12,4		11,8	
Agrégats %	18,5	48,5	28,5	48
pH	6,3	5,7	5,6	5,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total %	0,100	0,190	0,190	0,140
N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5		3,2	
Bases				

### 3 - Les sols alluviaux du centre du bassin

Il est difficile dans ce type de sols de savoir quelle est la part de l'alluvionnement et quelle est celle du colluvionnement, mais l'ensemble présente une certaine unité et des caractères communs.

En Lo 1 sur une pente de 30% environ et sous une végétation dégradée de savane, nous avons de 0 à 12 cm un horizon gris clair, faiblement structuré, peu humifère, sableux, avec quelques gravillons ferrugineux.

- |              |  |
|--------------|--|
| 12 - 65 cm   | Horizon brun beige à taches ferrugineuses ocre rouille, sableux un peu limoneux, mais très lessivé |
| 65 - 90 cm   | Horizon de concrétions tendant au cuirassement   |
| 90 - 145 cm  | Horizon d'argile bleue à trainées ferrugineuses ocre rouille, compact                              |
| 145 - 180 cm | Horizon ocre rouille d'une roche mère altérée à nombreux quartz                                    |

En Lo 3 sur le bord du plateau, nous trouvons une savane d'andropogonées avec Daniella oliveri et Terminalia macroptera, indiquant un sol sableux et argileux humide en profondeur.

Sur 30 centimètres sol très sableux, puis brusquement un horizon gris olive apparaît à structure cubique, imperméable en profondeur.

Sols lessivés en surface, peu organiques (0,040 % d'azote), très faible structure (16 à 30% d'agrégats). Le pH un peu acide en surface, entre 5,5 et 6, descend à 5 et 5,3 en profondeur.

Dans une étude détaillée, il conviendrait peut-être de traiter à part les sols des berges, mais nous ne rentrerons pas ici dans ces détails.

SOLS SUR ALLUVIONS

(En % de terre séchée à l'air)

Echantillons:	Lo 11:	Lo 12:	Lo 14:	Lo 41:	Lo 42:	Lo 31:	Lo 32:	Lo 33:
Profondeur	0-15	35-55	100-120	0-15	70-90	0-15	20-30	80-100
Terre fine %	76	97	96	96	84	100	91	94,5
Humidité %	0,64	1,4	8,98	0,86	2,44			
Argile %	8,5	11	47,25	5,5	12,5			
Limon %	4,5	10,25	16,5	9,75	18			
Sable fin %	76,25	56,75	18,75	72,25	47,5			
Sable gros %	10,5	20	9	11,25	18,75			
C %	0,8	0,12		0,42	0,09			
N %	0,045			0,042				
C/N	17,8			10				
Agrégats %	32,2	26,5		16,5	31,55			
pH	5,6	5		5,7	5,3	6,1		6,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total %	0,075	0,065		0,075	0,150			
N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6							
Bases échangeables meq %								
Ca	2,5	1,21	10,59	2,35	3,07	3,14	1,71	10,13
Mg	0,6	0,70	6,5	0,30	0,60	1,80	1,10	7,30
K	0,04	0,04	0,19	0,08	0,06	0,08	0,04	0,28
Na	0,07	0,09	0,51	0,09	0,14	0,10	0,12	0,89
Somme	3,21	2,04	17,79	2,82	3,87	5,12	2,97	18,60

Perméabilité des sols du bassin

Considérons maintenant la perméabilité des sols du bassin : elle est très forte en surface de 1 à  $5 \times 10^5$  m/s (sauf en Lo 133 où les concrétions augmentent cette perméabilité) mais diminue brusquement vers 80 centimètres où les valeurs de K atteignent 2 à  $10^{-6}$  m/s. Les sols sableux colluvionnaires sont extrêmement perméables et absorbent l'eau très rapidement, il en est de même des sols à concrétions sur cuirasse. Les alluvions sablo-argileuses seraient

plus imperméables, surtout en profondeur, mais leur surface sableuse et un peu humifère absorbe l'eau très rapidement ; si nous considérons une perméabilité telle que  $K = 2.10^{-5}$  m/s, elle représente en 10 minutes l'infiltration d'une lame d'eau de 12 mm dont 30 à 40% et souvent plus seront retenus par le sol, le reste s'écoulera lentement dans les horizons inférieurs. Ce calcul n'a absolument rien de rigoureux, mais il permet de comprendre que des petites pluies et même des orages courts n'arrivent pas à saturer le sol et ne permettent pas d'écoulement mesurable.

### Les eaux d'écoulement

La forte perméabilité et le degré de rétention des sols du bassin et l'imperméabilité relative des alluvions du centre nous font penser que l'eau mesurée dans les marigots provient essentiellement du ruissellement à l'ouest du bassin et du drainage des sols dans la partie est montagneuse.

Dans les sols à concrétions sur cuirasse, les eaux pénètrent facilement et peuvent circuler en partie sur cette cuirasse pour ressortir et former de nombreux petits marigots à la limite des sols sablo-argileux. Mais les pentes relativement fortes de ces sols à concrétions et les horizons sablo-argileux des alluvions permettent un ruissellement superficiel important.

Dans la région montagneuse, les massifs granitiques forment un immense impluvium dont les eaux pénètrent dans les sables colluviaux, d'autant plus que la végétation fait ici obstacle au ruissellement.

Cette eau collectée sur les pentes rocheuses lessivent les sables qui permettent une certaine circulation des eaux dont une grosse partie alimente les trois petits marigots entaillant la montagne.

PERMEABILITE

Echan- tillons:	Profondeur:	Capacité de réten- tion %	Perméabilité K = m/sec après 6 H	Méthode utilisée
Lo 11	0 - 15	37,1	2,18	10-5: Un cylindre en verre de
Lo 12	35 - 55	27,8	1,19	10-5: 7 cm de diamètre environ
Lo 14	100 - 120	69	1,6	10-6: est fermé à sa partie infé-
Lo 21	30 - 40	21	2,1	10-5: rieure par un fin grillage
Lo 22	60 - 80	47	1,25	10-5: sur lequel est mise une cou-
Lo 23	150 - 160	59	3	10-6: che de sable grossier, 300
Lo 31	0 - 15	37,5	1,5	10-5: gr de la terre étudiée sont
Lo 33	80 - 100	63	3,05	10-6: mis au-dessus du sable ; à
Lo 42	70 - 90	35,4	1,5	10-6: l'aide d'un flacon de Ma-
Lo 62	80 - 100	67,5	1,97	10-6: riotte on maintient sur la
Lo 81	50 - 70		0,99	10-5: terre une lame d'eau dont
Lo 91	0 - 15	38,6	1,7	10-5: la hauteur L égale celle de
Lo 101	30 - 50	44,6	4,7	10-5: la terre H
Lo 111	50 - 70	44,2	0,98	10-5: Selon la loi de Darcy
Lo 121	50 - 70	37,5	3,35	10-5: nous avons $Q=KHS$ où Q est
Lo 131	0 - 15	30	5,5	10-5: le débit calculé, S la sec-
Lo 132	30 - 50		2	10-5: tion du cylindre et K le
Lo 133	100 - 110	52	1,18	10-5: coefficient de perméabilité
				que nous cherchons.

C) CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES -

Nous avons vu plus haut que le régime est du type tropical de transition, variante dahoméenne caractérisée généralement par :

- la saison sèche de Novembre à Mars
- la grande saison des pluies d'Avril au 15 Juillet
- la petite saison sèche du 15 Juillet à fin Août (très peu marquée d'une façon générale)
- la petite saison des pluies de Septembre à fin Octobre.

1°) Précipitations :

Nous donnons ci-dessous les hauteurs des précipitations mensuelles à DASSA-ZOUME et à SAVALOU (moyennes mensuelles calculées depuis la mise en service des pluviomètres) ainsi que les précipitations mensuelles à DASSA, SAVALOU et sur notre bassin en 1956 :

	DASSA-ZOUME		SAVALOU		B.V.
	moyenne	1956	moyenne	1956	1956
	14 ans		23 ans		(+)
Janv.	9,7	0,0	7,0	0,0	
Fév.	27,0	37,1	41,0	4,6	
Mars	64,8	51,6	85,4	123,5	
Avr.	118,3	121,4	122,5	72,0	68,0
Mai	154,9	128,1	133,1	58,0	111,8
Juin	147,3	164,9	186,4	94,0	190,4
Juil.	135,7	52,6	172,6	54,8	15,7
Août	83,5	43,8	159,2	81,1	19,4
Sept.	175,1	153,0	151,7	196,7	106,7
Oct.	152,1	134,9	139,2	93,8	129,3
Nov.	30,0	61,9	31,6	82,3	110,7
Déc.	12,5	53,0	6,7	23,5	53,0
Totaux	1.110,9	1.002,3	1.236,4	884,3	(900)

(+) Moyenne des pluviomètres du bassin versant. En Novembre et Décembre un seul pluviomètre en service.

Les précipitations durant l'année 1956 accusent un déficit de 100 à 200 mm par rapport à la moyenne, avec une très mauvaise répartition.

2°) Vents :

Le vent au sol est un vent de sud-ouest, d'une vitesse moyenne de 2 à 4 km/h ; la rencontre de ce vent humide et frais avec le vent sec et chaud du nord-est (harmattan) déclenche la plupart des averses qui abondent le bassin par le nord-est ou le nord, tout au moins en 1956 (Cf. rapport campagne 1957).

3°) Températures :

Les moyennes journalières des températures minimales et maximales mesurées à la station sont données dans le tableau ci-dessous :

1956	Jun	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Minima	20° 8	20° 5	20° 1	21° 2	21° 1	21° 2	19° 2
Maxima	30° 9	28° 7	29° 6	31° 2	32° 1	33° 4	33° 3

Les moyennes journalières des températures relevées sous abri à la station sont les suivantes :

1956	Jun	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
7h.	23° 4	22° 2	21° 8	22° 6	22° 4	23° 1	21° 2	22° 4
11h.			26°	28° 6	29° 1	28° 8	28°	1
15h.	29° 1	27° 3	28° 3	30°	31° 3	33° 4	32° 6	30° 2
19h.	27° 4	27° 2	27° 7	27° 3	27° 2	27° 5	26° 3	27° 2
22h.			23°	23° 9	24° 9	22° 8	23° 5	23° 8

4°) Humidité :

Le tableau ci-après donne l'humidité relative mesurée à MOUMOUDJI (station principale) :

1956	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy. %
7h.	90	91	92	95	97	94	96	94
11h.				78	73	66	64	70
15h.	59	70	66	62	60	51	42	58
19h.	73	70	60	77	83	80	75	74
22h.				93	95	90	82	90

5°) Evaporation :

Tableau comparatif des hauteurs d'eau évaporées au bac Colorado enterré (1 x 1 m) et à l'évaporomètre Piche, à MOUMOUDJI en 1956 :

Mois	Bac Colorado		Evapor. Piche		Rapport Colorado : Piche
	H mm	mm/j	H mm	mm/j	
Juin	92,4	4,2	45,7	2,1	2
Juillet	119,1	3,8	71,2	2,3	1,65
Août	113,7	3,7	79,6	2,6	1,42
Septembre	114,9	3,8	66,4	2,2	1,73
Octobre	135,8	4,5	69,9	2,3	1,95
Novembre	147,7	5,1	85,1	2,9	1,76
Décembre	132,7	4,3	91,3	2,9	1,48
Total moy.	856,3	4,2	509,2	2,5	1,7

Ceci correspond à une évaporation annuelle de 1.600 à 1.700 mm.

D) EQUIPEMENT DU BASSIN -

Le bassin était équipé du matériel suivant :

- 4 pluviographes à augets basculeurs (dont 1 Richard appartenant aux Travaux Publics)
- 20 pluviomètres Association (les premières averses ont été observées avec 9 pluviomètres, ensuite avec 12, 17 et enfin avec 20 à la fin de la Campagne).

La station météorologique comportait :

- 1 abri météo comprenant :
  - 1 évaporomètre Piche
  - 1 thermomètre sec
  - 1 " humide
  - 1 " à minima
  - 1 " à maxima
  - 1 " enregistreur (T.P.)
  - 1 hygromètre enregistreur (T.P.)
- 1 bac Colorado enterré, de 1 m sur 1 m.

La station de jaugeages principale, équipée d'une passerelle en rails et tubes Mills, avait été installée près du village de MOUMOUJJI, à faible distance de la station météorologique.

Un limnigraphe Ott, type XV, doublé d'une échelle, y avait été installé.

Les stations secondaires avaient été installées sous les ponts de la route ; elles étaient simplement pourvues d'échelles limnimétriques.

Quatre bicyclettes permettaient de circuler assez rapidement sur le bassin versant.

L'organisation était la suivante :

M. JARRE, Hydrologue de l'ORSTOM, et M. PETEL, Hydrologue du Service des Travaux Publics, étaient chargés des études et se sont relayés sur le bassin, chacun utilisant le véhicule de son service ; la présence ininterrompue d'un européen a été assurée du 1er Avril au 31 Octobre.

Un dessinateur africain avait été recruté à COTONOU et affecté au bassin versant où, en plus des travaux de bureau, il était chargé du limnigraphe et de la station météo ; il a également été formé à toutes les mesures (jaugeages, infiltration, etc...) et il sera parfaitement apte lors de la campagne prochaine à remplacer l'hydrologue dans les cas d'urgence.

Trois jeunes africains, recrutés sur place, avaient chacun la charge d'un pluviographe et d'un certain nombre de pluviomètres ; doté chacun d'une bicyclette ils effectuaient la tournée des pluviomètres après chaque averse, ainsi que le changement des diagrammes des pluviographes chaque matin ; ils avaient la charge d'une échelle et s'y rendaient au début de chaque averse.

Tous les pluviomètres ou pluviographes étaient pratiquement accessibles en bicyclette, soit que des pistes existaient déjà, soit qu'elles aient été ouvertes par nous ; des sentiers ont été débroussés ou créés pour permettre une circulation aisée dans la montagne où un bon nombre de pluviomètres avait été placé.

Le campement était installé au village de MOUMOUDJI, à 3 km de DASSA-ZOUME ; il avait été rendu accessible en voiture par la construction d'une piste de 800 m à partir de la route de SAVALOU ; de ce village une autre piste carrossable, construite par nous, permettait d'atteindre la station principale située à 700 m.

Les deux stations secondaires étaient situées sur la route DASSA - SAVE.

Le logement du personnel (Européen et Africain) et du matériel était assuré par la location de cases indigènes qui ont été remises en état et aménagées sommairement ; quelques dépendances en matériaux locaux ont été construites.

E) AVERSES OBSERVEES -

Les averses observées pendant la période du 1er Avril au 31 Décembre se répartissent comme suit :

Mois	:0 à :10mm	:10 à :20mm	:20 à :30mm	:30 à :40mm	:40 à :50mm	:50 à :60mm	:60 à :70mm	Total
Avril	7	1	1					
Mai	9	3	1					
Juin	6	2	5					
Juillet	6							
Août	9	9						
Septembre	13	2	2					
Octobre	16	1		1			1	
Novembre	1	1	1				1	
Décembre	1	2	1					
	68	21	11	1			2	103

Les intensités maximales enregistrées sont

Averses	Intensité moyenne		
	Date	H moy	Valeur
4 Octobre	61 mm	140 mm/h	20'
22 Juin	11 mm	132 mm/h	5'
11 Octobre	15 mm	120 mm/h	5'
1er Juin	21 mm	96 mm/h	10'
21 Juin	50 mm	92 mm/h	17'
27 Mai	29 mm	81 mm/h	17'

Aucune averse n'a donné lieu à ruissellement

Un faible écoulement hypodermique a été mesuré le 12 Octobre à la station principale.

- Débit maximum ..... 40 l/s
- Volume total écoulé ..... 4.700 m<sup>3</sup> (du 12/10 à 22 h au 16/10 à 8 h).

Cet écoulement a été localisé à l'ouest du bassin, c'est-à-dire que ce débit provenait uniquement du plateau, sans aucun apport des affluents "montagneux".

A notre avis, cet écoulement correspond à la restitution d'une partie des eaux infiltrées au cours des averses n° 13 du 1er Octobre (H moy. 36 mm) et n° 14 du 4 Octobre (H moy. 61 mm) qui avaient saturé les couches superficielles du sol et avaient presque réuni les conditions indispensables à un ruissellement sur cette partie du bassin ; malheureusement, l'averse suivante (averse n° 15 du 11 Octobre : H moy. 15 mm, I max. 120 mm/h pendant 5') a été trop faible pour bénéficier des conditions favorables créées par les deux averses précédentes.

Un certain nombre de mesures d'infiltration a été effectué sur les différents types de sols ; les valeurs minimales et maximales de la capacité d'infiltration montrent l'hétérogénéité des sols à l'intérieur d'un même type, mais il y a lieu de noter que, pour chaque type de sol, les essais ont été effectués en divers points du bassin, ce qui tend à augmenter la dispersion des résultats :

	Minimums		Maximums	
	I.moy:	Durée	I.moy:	Durée
	mm/h		mm/h	
Alluvions	160	80' (+)	530	170' (+)
Sols à concrétions sur cuirasse	50	35'	600	75'
Colluvions	110	140'	460	65'
Arènes et colluvions sableuses	260	entre 100 et 160'		

(+) Valeur moyenne sur la durée de l'essai.

Bien qu'il ne faille pas accorder à ces chiffres une valeur absolue, ils montrent combien sont sévères les conditions à réunir pour provoquer un écoulement :

- grosses averses à forte intensité
- ou pluies moyennes se succédant à une cadence ne permettant pas le ressuyage.

Ces faits peuvent s'expliquer facilement par les trois causes suivantes :

- a) perméabilité du terrain,
- b) végétation beaucoup plus dense que ne laisserait supposer une pluviométrie de 1.100 mm
- c) averses espacées dans le temps et réparties sur une période de 6 mois.

Ces trois conditions ne correspondent pas uniquement à l'année 1956 ; elles sont permanentes. En particulier, la densité de végétation correspondrait presque à des précipitations annuelles de 1.400 et 1.500 mm. La répartition des pluies dans le climat dahoméen est très favorable à la végétation. Par ces deux premières conditions, le bassin de la LHOTO se rapproche de celui de la N'GOLA en OUBANGUI où, comme sur la LHOTO, des averses bien réparties de 125 mm/h pendant 1/4 d'heure ne donnent pas lieu à ruissellement ; mais, de plus, sur la LHOTO, les averses sont trop espacées pour donner lieu à saturation, contrairement à la N'GOLA où la saison des pluies est un peu plus courte et où il tombe 1.700 mm/an.

A première vue, les crues seraient peu dangereuses ; cependant si, pour une année particulière, les pluies d'août et Septembre sont bien groupées, le terrain sera saturé et on trouvera des débits spécifiques de crues modérés (peut-être 200 à 300 l/s x km<sup>2</sup>). En valeur absolue, ces crues seront absolument sans aucune mesure avec les crues moyennes annuelles ; on s'explique ainsi la très grande irrégularité des crues de cette partie du DAHOMEY ; c'est pourquoi il est de la plus grande importance de poursuivre les études dans cette région.

Même si aux abords immédiats de notre bassin certains versants ont été mieux arrosés, on peut affirmer que, d'une façon générale, le régime pluviométrique a provoqué une hydraulicité fortement déficiente et beaucoup d'autres cours d'eau, d'une superficie égale ou même supérieure, n'ont enregistré aucun ruissellement. La végétation, cependant, ne semble pas avoir beaucoup souffert de ce déficit.

Il est certain que beaucoup d'averses nous ont passé "par-dessus la tête" ou se sont déversées à l'est et au nord-est de la barrière rocheuse ; doit-on conclure que cette barrière, d'une hauteur moyenne de 200 m, forme écran ou disperse les averses qui, rappelons-le, viennent toutes de cette direction, mettant ainsi la partie occidentale de notre bassin dans une zone "d'ombre pluviométrique" ? Nous ne saurions l'affirmer. Même si cette influence orographique semble marquer certaines averses, il serait aventureux de généraliser et il se peut que la prochaine campagne nous favorise au détriment cette fois des bassins voisins.

Le bassin peut être divisé en deux parties :

- plateaux à concrétions sur cuirasse
- massif granitique

la seconde étant, contrairement aux apparences, encore plus perméable que la première. Au cours de la campagne 1957, nous séparerons ces deux types de bassin en créant une station secondaire supplémentaire sur l'affluent drainant le plateau à concrétion latéritique.

Enfin, la très grande perméabilité du terrain laisse à penser que les réserves souterraines sont considérables dans le massif granitique et au voisinage ; d'ailleurs, le grand nombre d'arbres exigeants en eau tels que Elacis, fromagers et même cocotiers, poussant dans le bassin, donnent des indices intéressants à ce sujet ; il y aurait le plus grand intérêt à ce que l'hydrogéologue soit mis fréquemment au courant des études concernant ce bassin.

## CHAPITRE II

### - CAMPAGNE 1957 -

#### A) GENERALITES -

On se reportera utilement au rapport préliminaire de la campagne 1956 pour la description complète du bassin de la LHOTO : situation, superficie, hypsométrie, hydrographie, pédologie, climatologie etc...

Nous rappellerons ici les caractères essentiels de ce bassin.

La LHOTO, sous-affluent du ZOU, coule dans une région soumise à un régime que l'on peut rattacher au régime équatorial de transition : une longue saison des pluies d'Avril à Octobre, présentant 2 maxima : Mai et Septembre, et une période intermédiaire (Juillet-Août) qui peut être presque sèche, certaines années (en 1956, par exemple, il n'est tombé que 35 mm durant ces 2 mois).

Ce climat humide et pluvieux, 8 à 9 mois par an, favorise la croissance de la végétation, laquelle présente des caractères que l'on trouve normalement sous l'isohyète annuelle 1.500 mm, et non sous 1.100 mm (moyenne à DASSA-ZOUME) ; des plantes exigeantes comme le palmier à huile, le fromager et même le cocotier vivent à l'aise dans les vallées du massif granitique.

La constitution du sol et du sous-sol influe considérablement sur la formation du ruissellement. Monsieur LAMOUREUX avait décrit en 1956, les principaux types de sols :

- à l'Est, un massif granitique décomposé en boules, avec arènes et colluvions sur le piedmont (35 % de la superficie du bassin), dans lequel la majeure partie des pluies s'infiltrent sans ruisseler pour constituer un réservoir d'eau important.
- un plateau latéritique à concrétions (au Nord et à l'Ouest) avec cuirasse en profondeur est relativement perméable et ne ruisselle que lorsqu'il est gorgé d'eau (40 %).
- des alluvions sablo-argileuses occupent les thalwegs et ruissellent plus facilement (25 %).

Comme il n'y a eu en 1956 aucun ruissellement par suite d'un déficit pluviométrique marqué, il a été décidé d'étudier, durant la seconde campagne, chaque zone en particulier pour mettre en évidence leurs capacités réciproques d'absorption.

En plus de la station principale de MOUMOU DJI, deux stations secondaires placées sur des affluents (SOUSSOU et OLODJO) à la sortie de massif granitique ont permis d'étudier le ruissellement : nous examinerons plus spécialement la SOUSSOU à MODJI (7,4 km<sup>2</sup>).

Pour estimer la capacité de ruissellement du plateau latéritique, une nouvelle station a été placée sur la LHOTO en amont du confluent de l'OLODJO, à BOHMI -BOHM (12,5 km<sup>2</sup>) ; nous y analyserons aussi les crues observées.

## B - EQUIPEMENT du BASSIN -

Le réseau d'observations pluviométriques était particulièrement bien pourvu :

- 3 pluviographes à augets basculeurs : A au centre du bassin de la LHOTO amont, B et C respectivement sur les bassins de l'OLODJO et de la SOUSSOU.
- 21 pluviomètres association, régulièrement répartis, complétaient cette installation, qui permettait une excellente couverture du bassin de la LHOTO (45 km<sup>2</sup>), puisqu'elle correspondait à un appareil pour 1,5 km<sup>2</sup>.

La station météorologique, installée à MOUMOU DJI depuis 1956, fonctionnait toujours en 1957, et comprenait

tous les appareils nécessaires à la détermination des facteurs conditionnels de l'évaporation (thermomètres, évaporomètres, psychromètre, anémomètre, bac Colorado).

La station de jaugeages principale sur la LHOTO à MOUMOUDJI comprenait :

- 1 limnigraphe OTT type XV
- 1 échelle limnimétrique
- 1 passerelle en tubes
- 1 abri pour le lecteur

Au droit de BOHM-BOHM, le lit de la LHOTO est assez peu marqué, et divague au milieu des herbes ; l'hydrologue a procédé à son aménagement pour pouvoir y effectuer des jaugeages corrects, en construisant une section en maçonnerie de 3 mètres de large, prolongée sur les rives par une digue de protection. Il n'y avait qu'une échelle limnimétrique.

La station de MODJI sur la SOUSSOU a nécessité un aménagement semblable ; elle était en outre dotée d'un limnigraphe OTT type X, d'un abri pour lecteur et d'une passerelle en tube pour les mesures.

Il y avait de même une section en maçonnerie et une passerelle sur l'OLODJO.

Enfin une station préexistante à l'étude du bassin, située en aval de MOUMOUDJI, sur la LHOTO, a été conservée ; les hauteurs d'eau étaient lues sur une échelle, et les jaugeages effectués en pirogues.

En 1957, les observations pluviométriques et hydro-métriques ont été effectuées du 1er Mai à fin Octobre, sans interruption.

#### C - La PLUVIOMETRIE de 1957 et les CONDITIONS LIMITES d'ECOULEMENT -

En 1956, il était tombé 1000 mm de pluie à DASSA - ZOUME, et il n'y avait pas eu de ruissellement sur le bassin de la LHOTO. Par contre, en 1957, la hauteur totale des

précipitations s'élevait, toujours à DASSA-ZOUME, à 1327 mm et on observait 34 crues sur la LHOTO à MOUMOU DJI.

Cet écart important, puisqu'il est supérieur à 30 % a permis aux sols du bassin de la LHOTO de s'imbiber suffisamment, d'atteindre leur capacité de rétention et aux pluies excédentaires de ruisseler. Dans un pays comme le DAHOMEY, où la saison des pluies s'étale en longueur sans apporter un total annuel important, l'abondance de la végétation et la perméabilité de certains sols font que le déficit d'écoulement annuel est notable et quasi équivalent à la pluviométrie. Il suffit d'une année sèche (1956) pour que le déficit d'écoulement ne soit pas comblé ; un léger excédent de quelques 100 mm, par rapport à la moyenne interannuelle, et on observera (1957) de nombreuses crues.

Sur les 16 années de relevés pluviométriques à DASSA-ZOUME (1942 - 1957) l'année 1957 avec 1327 mm vient en 4ème rang (fréquence d'apparition 0,25, soit 1 éventualité sur 4 ans) alors que 1956 n'arrive qu'en 11ème position avec ses 1000 mm ; la valeur moyenne admise pour ces 16 années, est de 1115 mm. Il est vraisemblable que, pour la plupart des années déficitaires, les précipitations ne peuvent pas combler le déficit d'écoulement, aussi correspondent-elles à des années sans écoulement.

Cela n'est peut-être pas aussi simple, car il est certain que la répartition de la pluie, au cours de l'année, intervient, en permettant ou non aux sols d'atteindre leur capacité de rétention.

Si de petites crues isolées ne sont pas impossibles pendant les 4 premiers mois et les deux derniers de l'année, on peut cependant admettre que la quasi-totalité de l'écoulement est le fait des pluies de Mai à Octobre inclus, lesquelles apportent en moyenne 75 % du total annuel.

La comparaison, établie sur le tableau I, des hauteurs d'eau mensuelles recueillies, en 1956 et 1957, à DASSA-ZOUME et sur le bassin de la LHOTO (hauteurs moyennes) est très suggestive. On remarquera que la période Mai-Octobre n'a fourni que 67 % en 1956 du total annuel à DASSA-ZOUME contre 84 % en 1957. Ce qui est particulièrement significatif, et s'observe bien sur les moyennes du bassin, c'est la variation d'une année à l'autre des pluies de Juillet et Août. En 1956, le front intertropical (F.I.T.) est monté en zone tropicale vers des latitudes élevées, ce qui a favorisé l'établissement de la petite saison sèche typique du régime équatorial

TABLEAU N° 1

PLUVIOMETRIE NIHO 1957

en mm

Mois	DASSA-ZOUME 1957	Moyens B.V. MOUNOUDJI 1957	DASSA-ZOUME 1956	B.V. MOUNOUDJI 1956
Janvier				
Février			37,1	
Mars	100,8	(100)	51,6	
Avril	71,5	(70)	121,4	68
Mai	243,2	235,8	128,1	111,8
Juin	231,8	168,5	164,9	190,4
Juillet	132	141,6	52,6	15,7
Août	105,3	148,8	43,8	19,4
Septembre	264,7	187,1	153	106,7
Octobre	135,1	115,0	134,9	129,3
Novembre	43	39,0	61,9	110,7
Décembre		10,0	53	53
Total Mai-Octobre	1112,1	996,8	677,3	573,3
Total annuel	1327,4	(1220)	1002,3	(900)
Moyenne sur 16 années	1115		1115	

sur la région (35 mm en 2 mois) par contre cette petite saison n'apparaît pour ainsi dire pas en 1957, si ce n'est par une légère diminution des hauteurs mensuelles, mais on atteint malgré tout 290 mm pour Juillet et Août. Cette continuité de la pluviométrie durant ces 2 mois est particulièrement favorable au maintien de la teneur en eau des sols au voisinage de la capacité de rétention, atteinte et même dépassée lors de la 1ère partie de l'hivernage (Mai-Juin) ; ce qui permet aux pluies de Septembre et d'Octobre d'être plus aisément cause de ruisselllements notables.

On a observé en effet, 14 crues en Septembre et Octobre 1957, à MOUMOU DJI contre 9 en Mai et Juin.

En résumé, jusqu'ici, nous avons constaté que la possibilité d'écoulement, sur le bassin de la LHOTO, dépendait :

- 1) d'une abondance pluviométrique annuelle égale ou supérieure à la hauteur moyenne.
- 2) d'une pluviométrie soutenue en Juillet et Août.

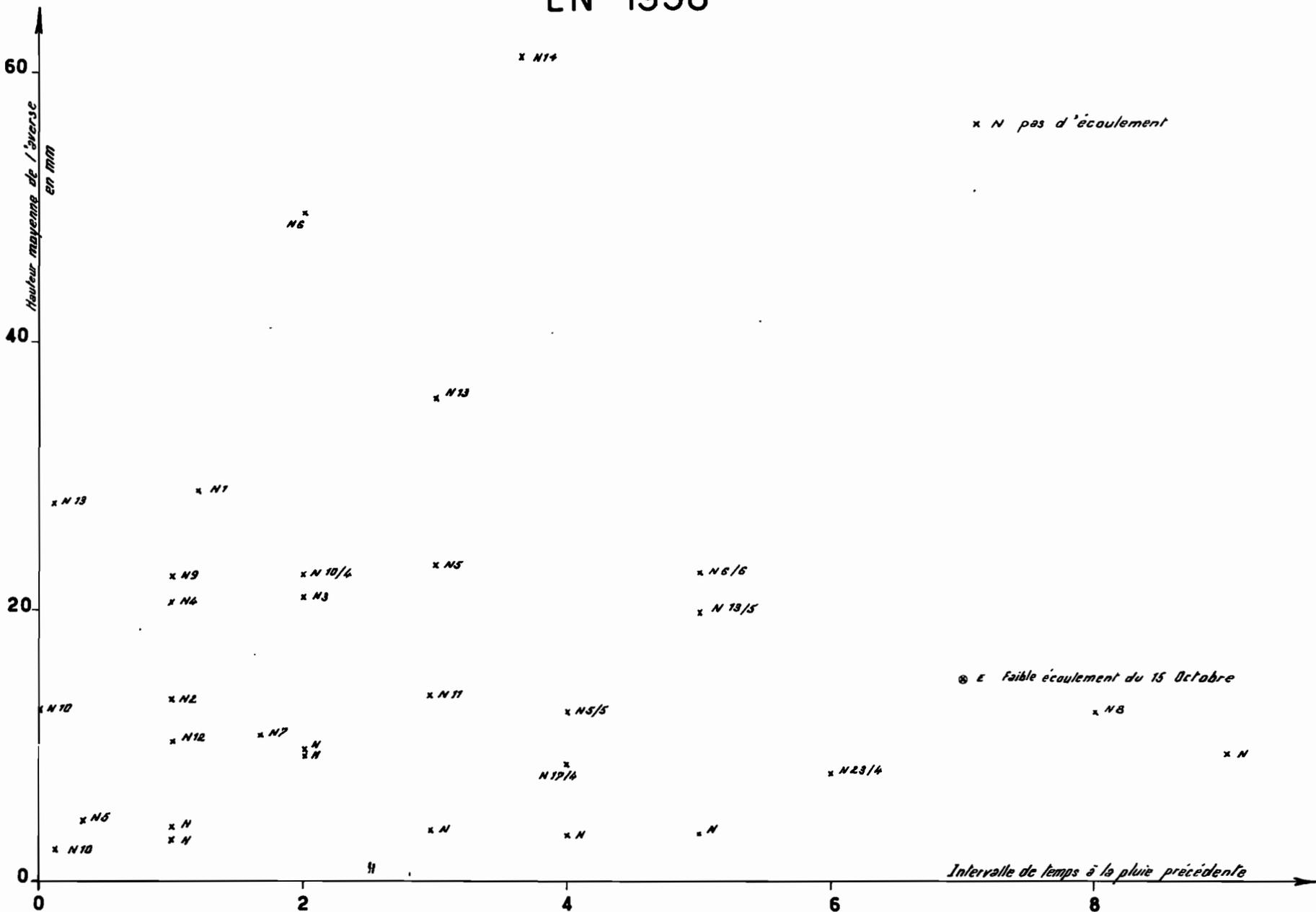
A ces conditions générales d'apparition de l'écoulement, nous voudrions ajouter des conditions particulières à chaque averse, c'est-à-dire rechercher si, en fonction de l'intervalle de temps la séparant d'une pluie antérieure (intervalle qui représente bien la plus ou moins grande sécheresse du sol), il y a une hauteur de précipitation limite, au dessous de laquelle ne se produit jamais d'écoulement. Sur tous les bassins versants, situés dans des régions tropicales, que nous avons étudiés, cette précipitation limite est nette et se place entre 2 et 10 mm, en général, suivant la perméabilité des sols et, pour des intervalles de temps à la pluie précédente inférieurs à 5 jours.

Le graphique I présente cette recherche pour les averses de 1956 ; mais, comme il n'y a jamais eu d'écoulement, nous ne pouvons donner qu'une valeur inférieure de la précipitation limite, à savoir :

15 mm	1	heure	après	une	pluie
30 mm	3	-	-	-	-

# PRÉCIPITATION LIMITE D'ÉCOULEMENT A MOUMOUDJI EN 1956

Gr I



DIV 9246

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

AO

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

DIV 9263

ED:

LE:

DES:

VISA:

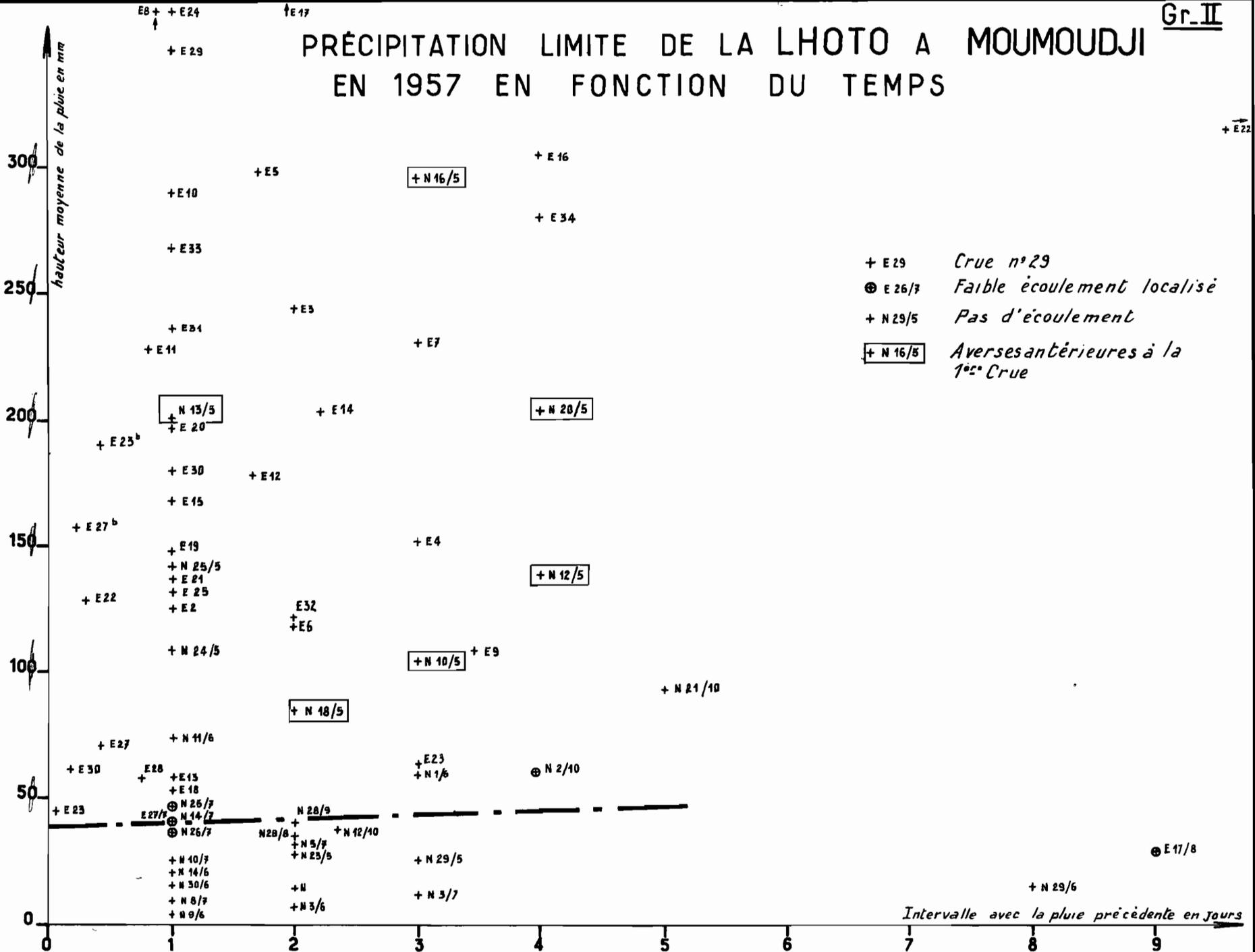
TUBE N°:

AO

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

# PRÉCIPITATION LIMITE DE LA LHOTO A MOUMOUDJI EN 1957 EN FONCTION DU TEMPS

Gr. II



+ E 22

⊕ E 17/8

+ N 29/6

Intervalle avec la pluie précédente en jours

40 mm	24 heures	après	une	pluie
50 mm	48	-	-	-
60 mm	3 jours	-	-	-

Cette précipitation limite semble énorme, et peu vraisemblable. En effet, si nous poursuivons l'analyse avec les pluies de 1957, nous constatons qu'il y a une précipitation limite bien nette et peu élevée puisqu'elle correspond à 4 mm de hauteur d'eau, après 4 jours au moins sans pluie (graphique 2). Mais il y a 6 cas aberrants constitués par 6 averses importantes tombées avant la pluie du 21 Mai qui a déclenché la lère crue de l'année, pour lesquelles la précipitation limite, comme en 1956, semble être excessive.

On peut donner une explication à ces anomalies apparentes, en remarquant que le bassin de la LHOTO présente 2 particularités :

- ses sols sont très perméables,
- les arènes et colluvions granitiques constituent un réservoir d'accumulation d'eau d'infiltration considérable (le plateau latéritique et les alluvions ont une capacité d'emménagement moindre, mais réelle).

Tant qu'un certain seuil d'emménagement dans ces terrains perméables n'est pas franchi, la notion de précipitation limite n'est pas valable. Quelle que soit la hauteur d'une précipitation, il ne s'ensuivra pas d'écoulement. Il est vraisemblable que ce seuil doit être du même ordre de grandeur que la capacité normale de rétention du sol.

Il ne peut être atteint que si une certaine quantité d'eau est tombée, depuis le début de l'hivernage, sur le bassin. On rejoint ici une notion évoquée au début de ce paragraphe, à savoir que les conditions limites de l'écoulement dépendent de l'abondance pluviométrique.

Nous avons recherché s'il n'existait pas pour une averse donnée une limite d'écoulement en fonction de la hauteur d'eau moyenne tombée sur le bassin durant la

décade précédente. Les averses, suivies ou non d'écoulement, ne se séparent pas distinctement sur le graphique, ce qui prouve que 10 jours est une période insuffisante pour caractériser l'accumulation dans les terrains perméables. En portant en ordonnée la hauteur d'eau tombée pendant le mois précédant chaque averse et en abscisse les hauteurs de chaque averse (graphique III), nous arrivons à tracer une limite convenable, en dessous de laquelle ne se produit aucun écoulement généralisé sur l'ensemble du bassin. On trouve cependant, en dessous de la courbe, quelques petites crues provenant uniquement de l'aval du bassin ; et au dessus, encore 6 ou 7 pluies de 1956.

Cette courbe a une asymptote verticale pour  $x = 4$  mm, ce qui est naturel puisqu'il n'y a jamais d'écoulement pour une pluie inférieure à cette valeur (graphique II). Elle s'infléchit ensuite, et passe par les valeurs suivantes :

une pluie de 10 mm ruisselle s'il est tombé au moins 150 mm le mois précédent.

une pluie de 20 mm ruisselle s'il est tombé au moins 100 mm le mois précédent.

une pluie de 40 mm ruisselle s'il est tombé au moins 60 mm le mois précédent.

Au delà de ces 3 jalons, il semble que la courbe reste horizontale ; autrement dit, quelle que soit la hauteur d'une averse supérieure à 40 mm, elle ne sera suivie d'écoulement que s'il est tombé plus de 60 mm le mois précédent.

Nous avons fait la même analyse en considérant la hauteur durant les 2 mois précédents (graphique IV), et nous obtenons cette fois une séparation bien nette entre des averses sans écoulement et celles ayant engendré des crues.

Nous retrouvons l'asymptote pour 4 mm, mais la courbe s'infléchit rapidement pour rejoindre une horizontale égale à 220 mm environ, pour les averses supérieures à 20 mm. Ces conditions sont plus sévères que celles extraites du graphique n° III, pour les fortes averses. En effet, le total de pluies du mois précédent correspondant à l'horizontale devrait être moitié de 220 mm ; on remarquera que cela aurait été possible s'il n'y avait pas eu la crue n° 22 qui nous a obligé à descendre la courbe jusqu'à 60 mm de pluie antérieure.

DIV 9260

ED:

LE:

DES:

VISA:

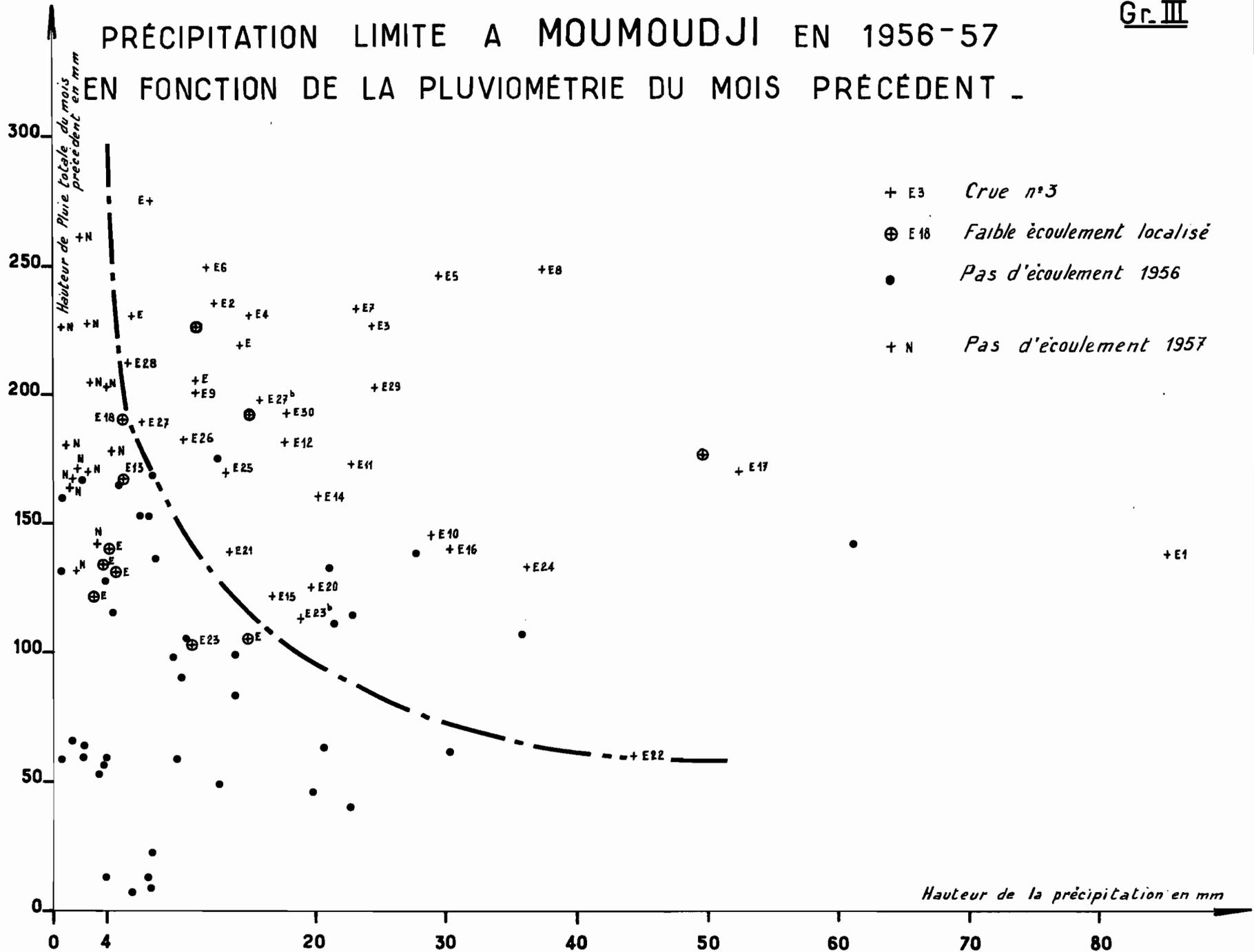
TUBE N°:

AO

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

Gr. III

PRÉCIPITATION LIMITE A MOUMOU DJI EN 1956-57  
EN FONCTION DE LA PLUVIOMETRIE DU MOIS PRÉCÉDENT





L'influence de la pluviométrie de Juillet-Août sur les possibilités d'écoulement en Septembre-Octobre, se justifie donc par l'analyse tirée du graphique n° IV ; on peut comprendre alors pourquoi la forte pluie du 4 Octobre 1956 (H moy = 61,1 mm) n'avait pu ruisseler, le mois d'Août ayant été très déficitaire.

En conclusion, nous dirons que l'écoulement dans le bassin de la LHOTO n'est possible, à la suite d'une averse donnée, que si :

- 1°) Cette averse, si elle excède 20 mm, a été précédée durant 2 mois par au moins 200 mm de précipitations.
- 2°) Pour 10 mm de hauteur d'eau, la pluviométrie antécédente doit être de 250 mm.

Enfin, il n'y a jamais d'écoulement pour une averse inférieure à 4 mm.

Cette analyse étant particulièrement longue, nous ne l'avons pas refaite pour les bassins secondaires de la LHOTO amont, et de la SOUSSOU. Il est vraisemblable que nous aurions trouvé des conditions du même ordre de grandeurs peut-être un peu plus sévères pour la SOUSSOU.

Nous avons, cependant, établi le graphique donnant la précipitation limite sur le bassin de la SOUSSOU, en fonction de l'intervalle avec la pluie antérieure, pour 1957 seulement. Ce graphique 1 bis analogue au graphique I pour MOUMOUJJI donne évidemment une limite plus élevée que pour ce bassin :

5 mm	pour	12 heures
7 mm	-	24 -
10 mm	-	48 -
15 mm	-	5 jours (environ)

On s'explique que cette limite croît avec le temps, les sols sableux se ressuyant très vite, et l'apport nécessaire au renouvellement de la capacité de rétention augmentant avec la durée de la sécheresse. Il est en outre évident que la présence d'une forêt classée, composée d'essences grosses consommatrices d'eau, est un facteur supplémentaire d'accroissement de l'évapo-transpiration sur ce bassin.

DIV 9264

ED:

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

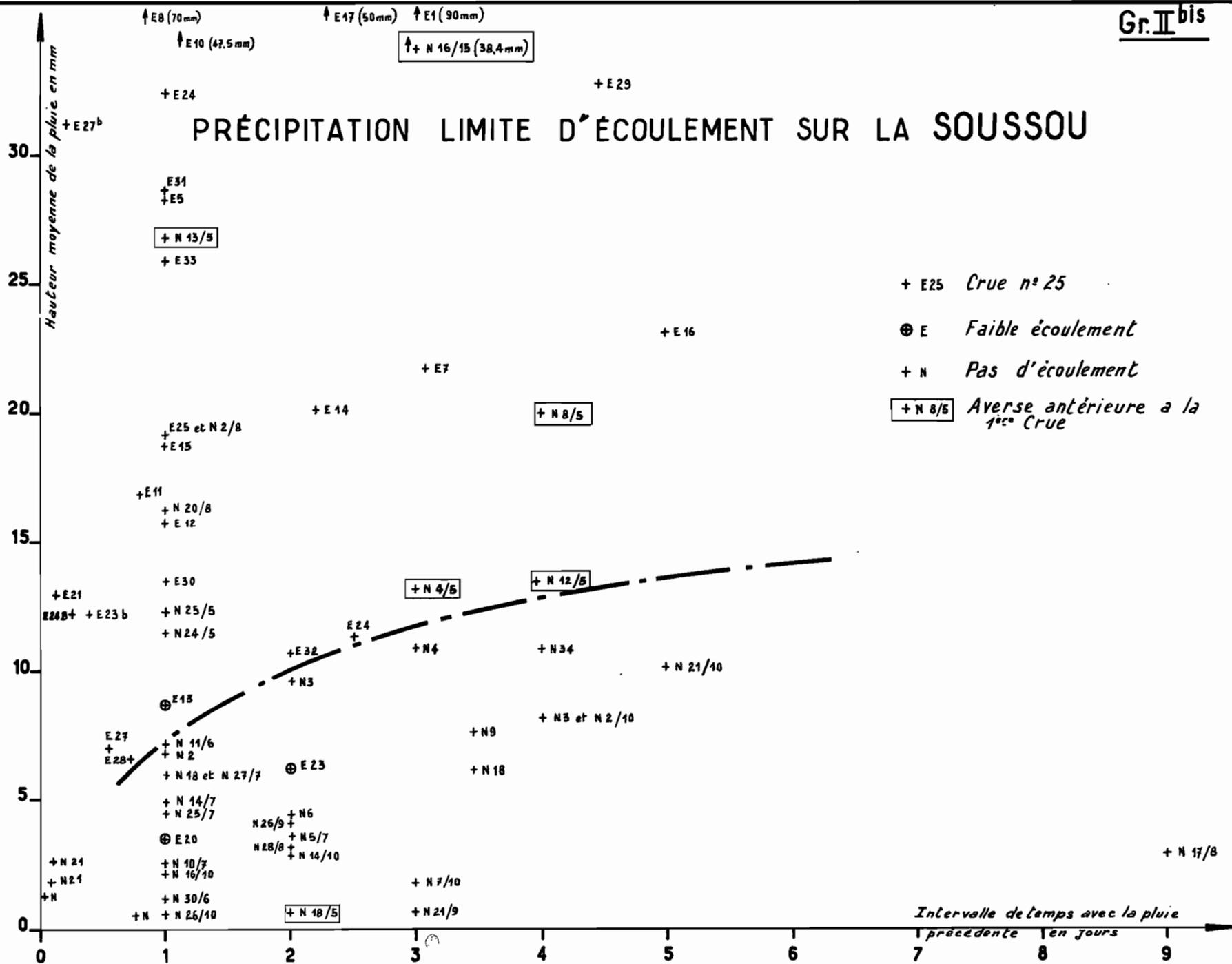
LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

AO



Pour la LHOTO amont, il semble que la courbe limite d'écoulement se place entre celles de la SOUSSOU et de HOUNOUDJI, mais sans croître pratiquement avec le temps (maximum environ 8 mm).

D - LES AVERSES OBSERVEES -

Une éventualité sur 4 ans, telle est la fréquence d'apparition que l'on accorde aux 1327 mm tombés en 1957 à DASSA-ZOULE. La pluviométrie moyenne sur le bassin de la LHOTO, connue avec précision pour la période Mai-Octobre, a été estimée à 1220 mm pour l'ensemble de l'année, ce qui équivaut à 92 % d'abattement (voir tableau n° 1). On remarquera que pour la période d'observations de Mai à Octobre, la hauteur moyenne reçue est de 998 mm, contre 1150 mm au pluviomètre n° 5 (point le plus arrosé du bassin), soit un abattement de 87 %.

En 1956, on s'était inquiété de voir la majeure partie des pluies tomber sur les limites Nord-Est du bassin, et plus particulièrement sur les hauts-bassins de l'OLODJO et de la SOUSSOU, c'est-à-dire avant la crête secondaire qui sépare ces hauts bassins du reste du bassin de la LHOTO, et comme si cette crête servait d'écran aux orages en provenance du Nord-Est. On aurait pu craindre que le bassin de la LHOTO se trouve dans des conditions moyennes de pluviométrie déficitaires, par rapport au reste de la région. Il n'en est heureusement rien, comme l'a fait remarquer de suite, dans son rapport d'activité de Mai 1957, P. JARRE, hydrologue responsable des études sur la LHOTO. En 1957, toutes les averses sont venues du Sud-Ouest, sous l'influence du régime de mousson, le front intertropical - comme nous l'avons déjà souligné au paragraphe précédent - est monté suffisamment haut pour repousser pratiquement toutes les tornades de N-E, qui avaient seules régné en 1956.

Le tracé des isohyètes pour la période Mai-Octobre est très suggestif à cet égard. Les nuages empruntant les vallées axées NE-SW, TAMAMA, SOUSSOU et OLODJO ont apporté des pluviométries excédentaires à la moyenne à DASSA-ZOULE (1112mm), au pluviographe C (1104 mm), aux pluviomètres 9 (1048 mm) et 16 (1078 mm).

Les hauteurs ont été quelque peu négligées, et les hauts bassins de la SOUSSOU et de l'OLODJO reçoivent des pluies déficitaires : de 800 à 900 mm (P n° 17-18 et 21).

Le rôle de l'orientation du relief du bassin par rapport aux vents chargés d'humidité peut se résumer comme suit :

- 1) quand la mousson atteint la région, elle apporte des pluies abondantes, principalement dans le S.W et dans les vallées, c'est-à-dire sur les terrains les plus propices au ruissellement.
- 2) un régime de tornades seules, correspondant à une faible pluviométrie annuelle, n'atteint que les hauts bassins granitiques les moins favorables au ruissellement, et ainsi s'accroît l'écart entre les années sèches et pluvieuses, quant à l'importance du ruissellement.

Le tableau n° 1 bis récapitule toutes les précipitations observées sur le bassin de la LHOTO, de Mai à Octobre, aux 24 pluviomètres. Il y en eut 91 qui intéressèrent tout ou partie du bassin. Leur importance est mise en évidence, dans le tableau ci-dessous, où sont classées les pluies observées au pluviographe A, assez central.

Mois	Total des pluies	0/10 mm	10/20 mm	20/30 mm	30/40 mm	40/50 mm	50/70 mm	70/80 mm
Mai	13	6	6	-				1
Juin	13	7	1	3	1	1		
Juillet	17	14	2	1	-			
Août	13	9	1	-	2			1
Septembre	15	10	1	2	2			
Octobre	12	8	1	1	2			
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>54</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>1</b>		<b>2</b>

Sur ce lot bien fourni en faibles et moyennes précipitations, 34 averses ont donné lieu à un écoulement à MOUMOU DJI. Deux d'entre elles sont importantes, sans être exceptionnelles.

L'averse n° 1, du 21 Mai, atteint 110 mm,5 au maximum, pour une hauteur moyenne de 85,3 mm (abattement de 77 %). Cette averse, tombée en début d'hivernage, est encore une tornade ; sa répartition est irrégulière ; les hyétogrammes enregistrés aux différents pluviomètres sont peu comparables. Elle a duré environ 6 heures, avec 2 ou 3 séries de fortes intensités (plus de 40 mm/h ; 120 mm/h au maximum) pendant des périodes de 20 à 40 minutes. Elle a surtout servi à combler le déficit en eau des sols du bassin et amorcer l'écoulement. Un mois plus tard, elle aurait donné une très forte crue, peut-être supérieure à toutes nos observations.

L'averse n° 17, du 4 Août, cause de la plus forte crue, a fourni 52,3 mm de hauteur moyenne, pour un maximum ponctuel de 80,4 mm (66 % d'abattement). La précipitation n'a duré qu'une heure environ, avec de fortes intensités presque continuelles (70 à 100 mm/h pendant 30 à 45 minutes).

On remarquera l'importance de l'abattement pour ces 2 pluies ; importance que l'on retrouve pour les autres précipitations, et qui semble due à la fois à la superficie et au relief perturbateur (crête secondaire déjà citée).

## E - Les CRUES OBSERVEES -

De Mai à Octobre, la LHOTO a eu 34 crues à MOUMOU DJI. Certaines d'entre elles ont été suffisamment importantes pour permettre à l'hydrologue de réaliser un étalonnage correct de la station ; ce travail était facilité par la lenteur de l'écoulement, qui rendait possible l'exécution de jaugeages complets. Au total 45 mesures ont été effectuées, entre 0m,15 et 2m,60, c'est-à-dire du litre à 10,5 m<sup>3</sup>/s. Les résultats sont bien groupés, la courbe d'étalonnage est précise tout au moins pour les moyennes eaux. En effet, bien que le lit repose sur le granit, les alluvions sont susceptibles d'être remaniées après de violentes crues, comme cela s'est produit le 4 Août, après la crue maximum (3 m,10 à l'échelle). Les débits d'étiage mesurés postérieurement ont été systématiquement plus forts, mais le grand

# BASSIN VERSANT DE LA LHOTO

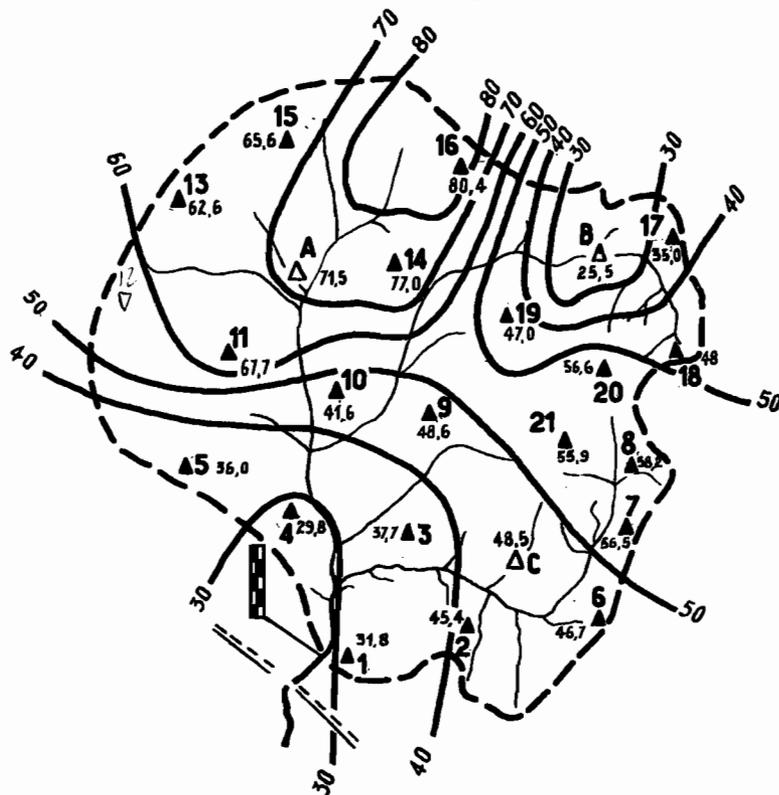
©

▲ Pluviomètres

△ Pluviographes



0 1 2 3 4 5 kms



H min : 25,5 mm

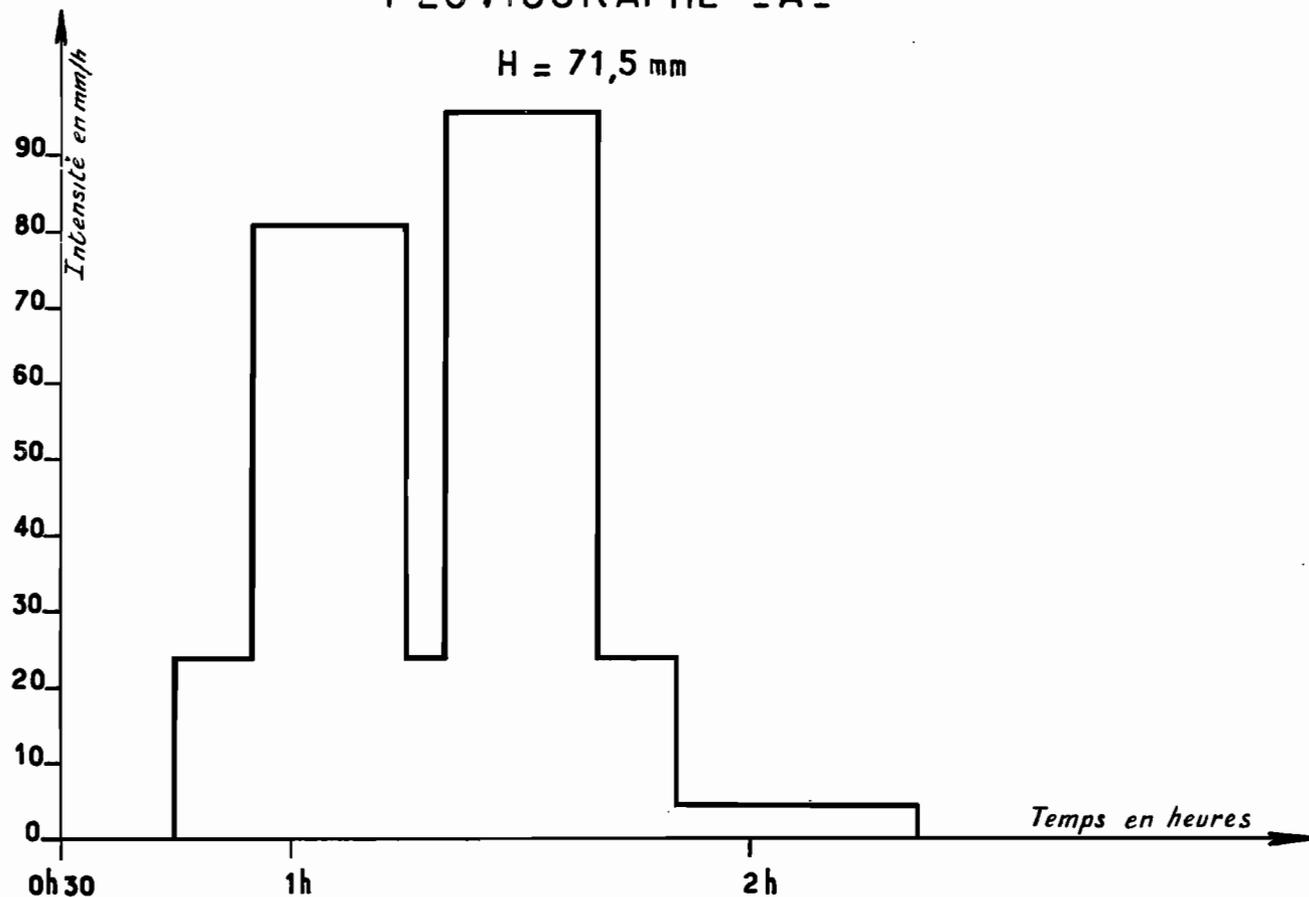
H max : 80,4 mm

H moy : 52,3 mm

Isohyètes pour l'averse du : 4-8-57

## PLUVIOGRAPHE - A -

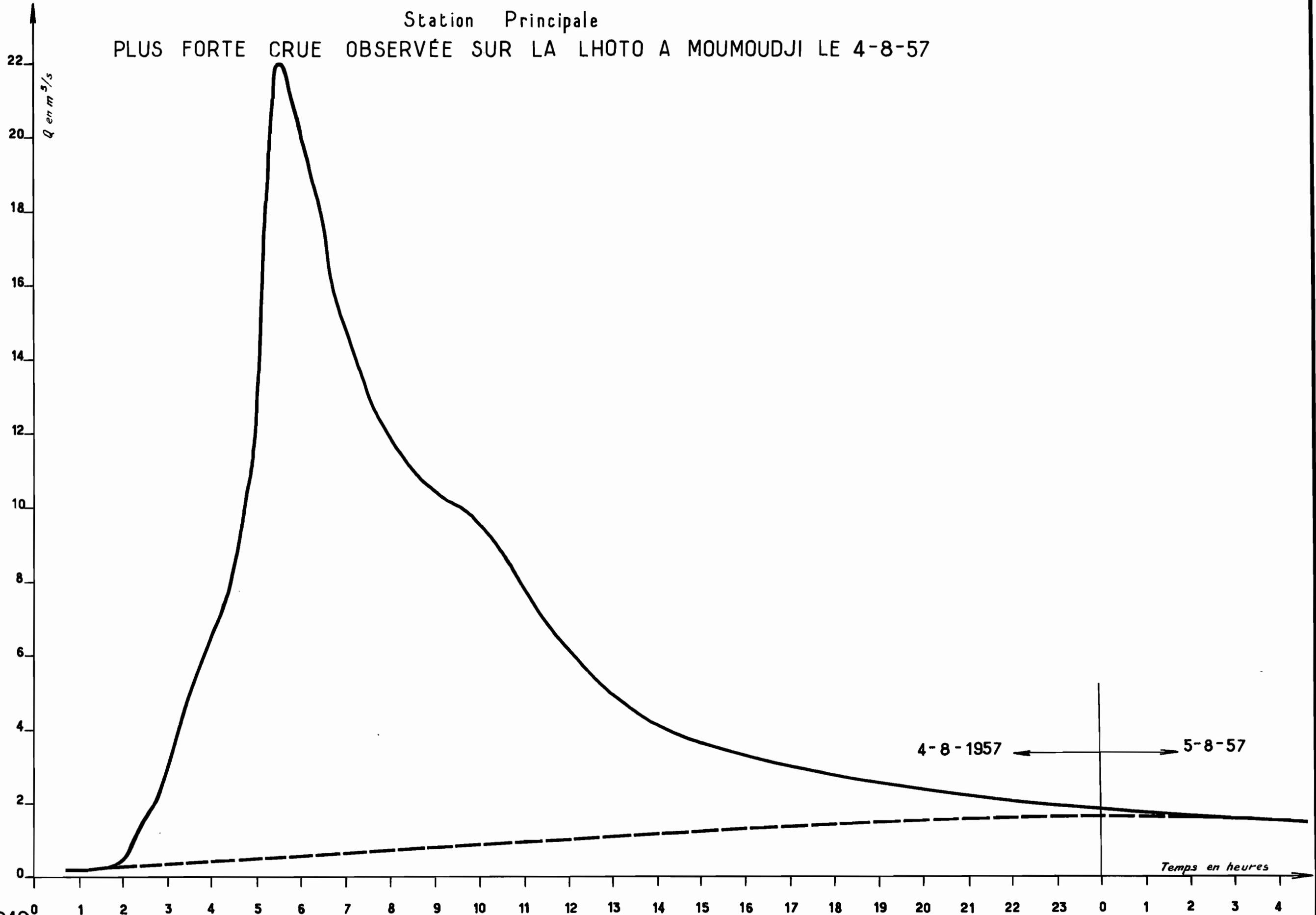
H = 71,5 mm



# BASSIN VERSANT DE LA LHOTO

Station Principale

PLUS FORTE CRUE OBSERVÉE SUR LA LHOTO A MOUMOUDJI LE 4-8-57



nombre de points permet de tracer, sans erreur grossière, une courbe moyenne (Graphique V). Il y a débordement sur les rives au-delà de 2m30 à l'échelle ; 3 jaugages fournissent le début de la partie haute, plus raide, de la courbe d'étalonnage, ce qui a facilité l'extrapolation jusqu'à 3 m,10.

Aux principales averses mentionnées au paragraphe précédent, ne correspondent pas toujours les plus fortes crues, l'état du sol et la position du centre de la pluie jouent un rôle prépondérant quant à l'importance du ruissellement.

L'averse n° 1 du 21 Mai (H moy = 85,3 mm) n'a donné qu'une crue très faible ; étant la 1ère de l'année, elle a surtout contribué à franchir le seuil de saturation des sols du bassin.

L'averse n° 22 (H = 44,3 mm) ayant eu 2 pointes séparées ne donne qu'une crue modeste.

La crue la plus importante, et de beaucoup, résulte de l'averse n° 17 du 4 Août (H moy = 52,3 mm) ; elle a fourni un débit de pointe estimé à 22 m<sup>3</sup>/s, soit 490 l/s.km<sup>2</sup>.

La crue du 18 Juin (averse n° 8, H moy = 37,5 mm) vient en 2e position, avec seulement 11 m<sup>3</sup>/s comme débit de pointe, mais elle a été défavorisée par la mauvaise répartition de la pluie.

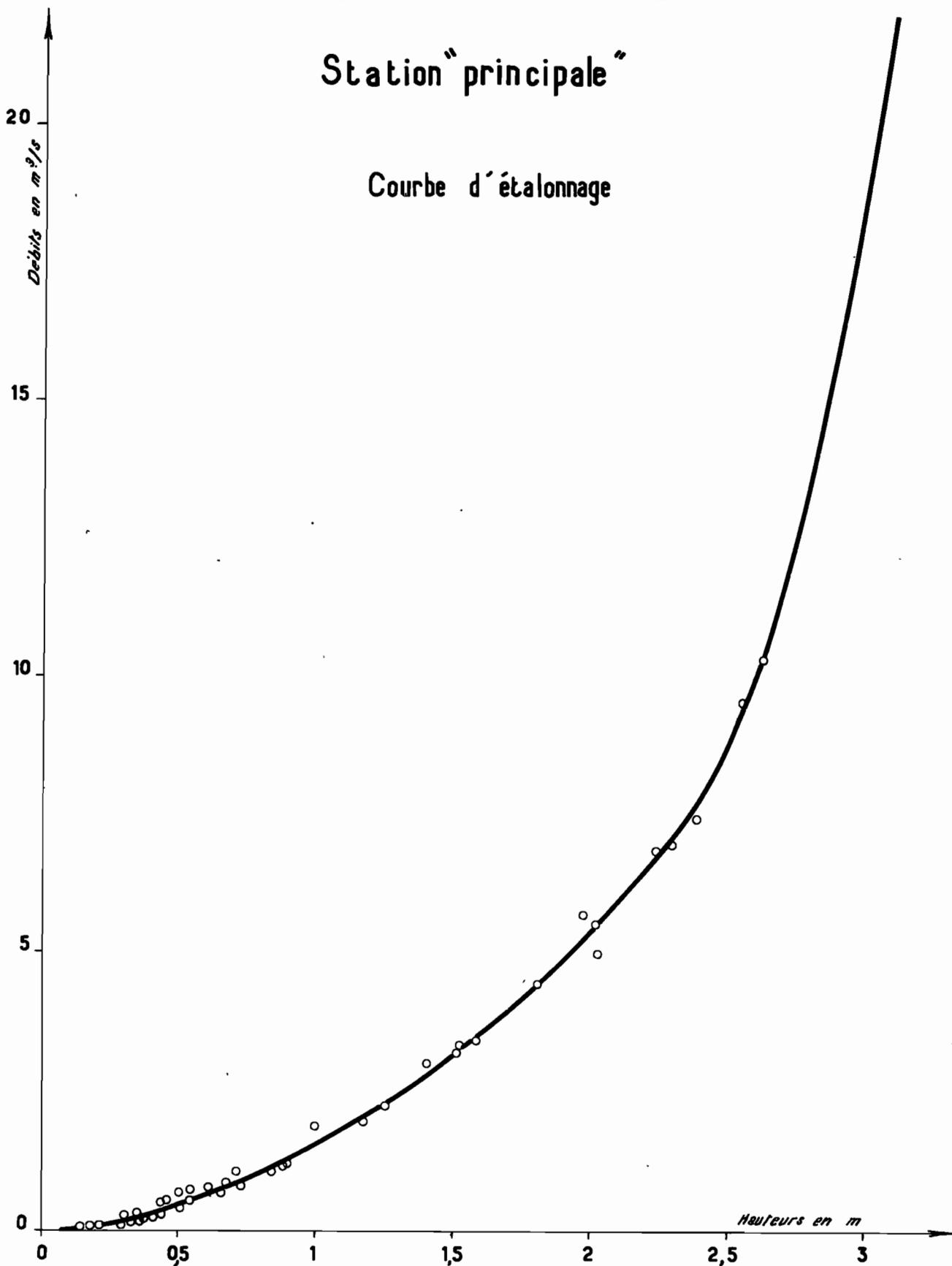
On trouve ensuite la crue n° 24 du 13 Septembre (H moy = 36,2 mm) avec une pointe de 9,7 m<sup>3</sup>/s, et celle du 15 Octobre (n° 33, H moy = 28,1 mm) avec 9,2 m<sup>3</sup>/s.

Toutes ces crues sont parfaitement connues, grâce aux enregistrements réalisés par le limnigraphe OTT.

Il en est de même pour les crues de la SOUSSOU à MODJI, qui sont au nombre de 26 ; certaines averses dont la hauteur d'eau était trop faible sur le massif granitique n'ont ruisselé que sur l'Ouest du bassin. Les conditions de jaugages étaient ici moins bonnes qu'à MOUMOUDDJI. La section de mesures avait dû être implantée à proximité de la route COTONOU - SAVE, par suite de l'ampleur des débordements amont et aval ; elle avait été rectifiée par un ouvrage en maçonnerie, dont le radier a été affouillé par la

Station "principale"

Courbe d'étalonnage



DAH 7675

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

ED:

LE: XXVI - 11 - 1963

DES: XXVI - 11 - 1963

VISA:

TUBE N°:

AO

violente crue du 18 Juin. On n'a donc tenu compte pour tracer la courbe d'étalonnage, que des jaugeages effectués le 18 Juin et postérieurement ; il y en a 16 qui s'échelonnent de 0,01 mm à 0 m,74 ( $Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Un remous, dû vraisemblablement au passage sous la route, rend difficile les mesures de hautes eaux, ce qui entraîne des erreurs appréciables, aussi la courbe d'étalonnage (Graphique VI) n'est-elle pas très précise, bien que l'extrapolation ne porte que sur 20 cm (cote maximum : 0 m,93).

L'averse n° 8 du 18 Juin centrée sur le bassin de la SOUSSOU ( $H \text{ moy} = 70,3 \text{ mm}$ ) a donné une forte crue :  $5,1 \text{ m}^3/\text{s}$  de débit de pointe, soit  $785 \text{ l/s.km}^2$ .

La crue n° 17, contrairement à MOUMOUJJI, ne vient qu'en second rang, avec une pointe de  $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$  (averse de 50,6 mm).

On trouvera ensuite les crues n° 27 bis du 18 Septembre ( $H \text{ moy} = 31,3 \text{ mm}$ ) et 29 du 23 Septembre ( $H \text{ moy} = 32,8 \text{ mm}$ ) avec respectivement des pointes de  $1,75 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

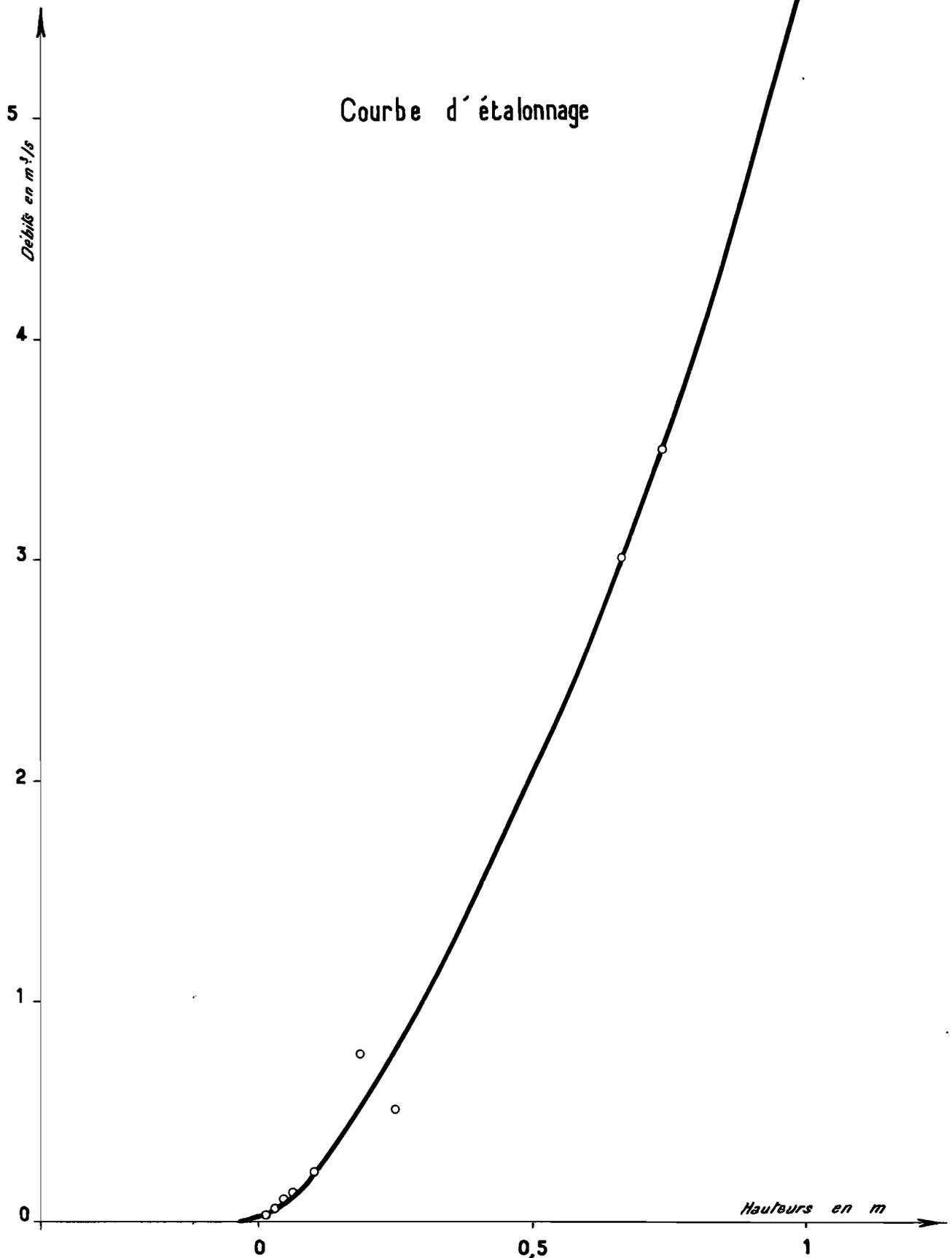
Comme sur le bassin principal, l'averse du 21 Mai n'a pu donner qu'un écoulement très faible. D'autres averses, bien que supérieures à 30 mm en moyenne (n° 10 - 22 - 24), ont présenté des pointes d'intensités trop espacées pour donner lieu à une crue unique et importante, le temps de réponse du bassin étant assez court.

Il n'a été observé que 12 crues à BOHI-BCHI sur le haut bassin de la LHOTO. Neuf jaugeages ont été effectués en dessous de 0 m,70 ( $Q = 1,86 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Il a fallu extrapoler la courbe d'étalonnage (Graphique VII) jusqu'à 1 m,33 (cote maxima 1957) ce qui était aisé grâce à la rectification du profil en travers et la construction d'une section de jaugeage en maçonnerie limitée par des digues. Les débits de pointe des principales crues oscillent entre 1 et  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Seule l'averse n° 17 du 4 Août ( $H \text{ moy} = 66 \text{ mm}$ ), centrée sur le Nord du bassin, a engendré une forte crue dont le débit maximum est de  $6,3 \text{ m}^3/\text{s}$  soit  $525 \text{ l/s.km}^2$ .

La différence de perméabilité entre les types de sols, et la superficie déjà notable ( $45 \text{ km}^2$ ) du bassin à MOUMOUJJI justifient partiellement la complexité des crues de la LHOTO qui, comme nous le verrons plus loin, présentent presque toujours plusieurs pointes et des formes d'hydrogrammes disparates.

# LA SOUSSOU A MODJI

GR V



DAH 7677

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

ED:

LE: 11/11/61

DES: J-P. Hoch

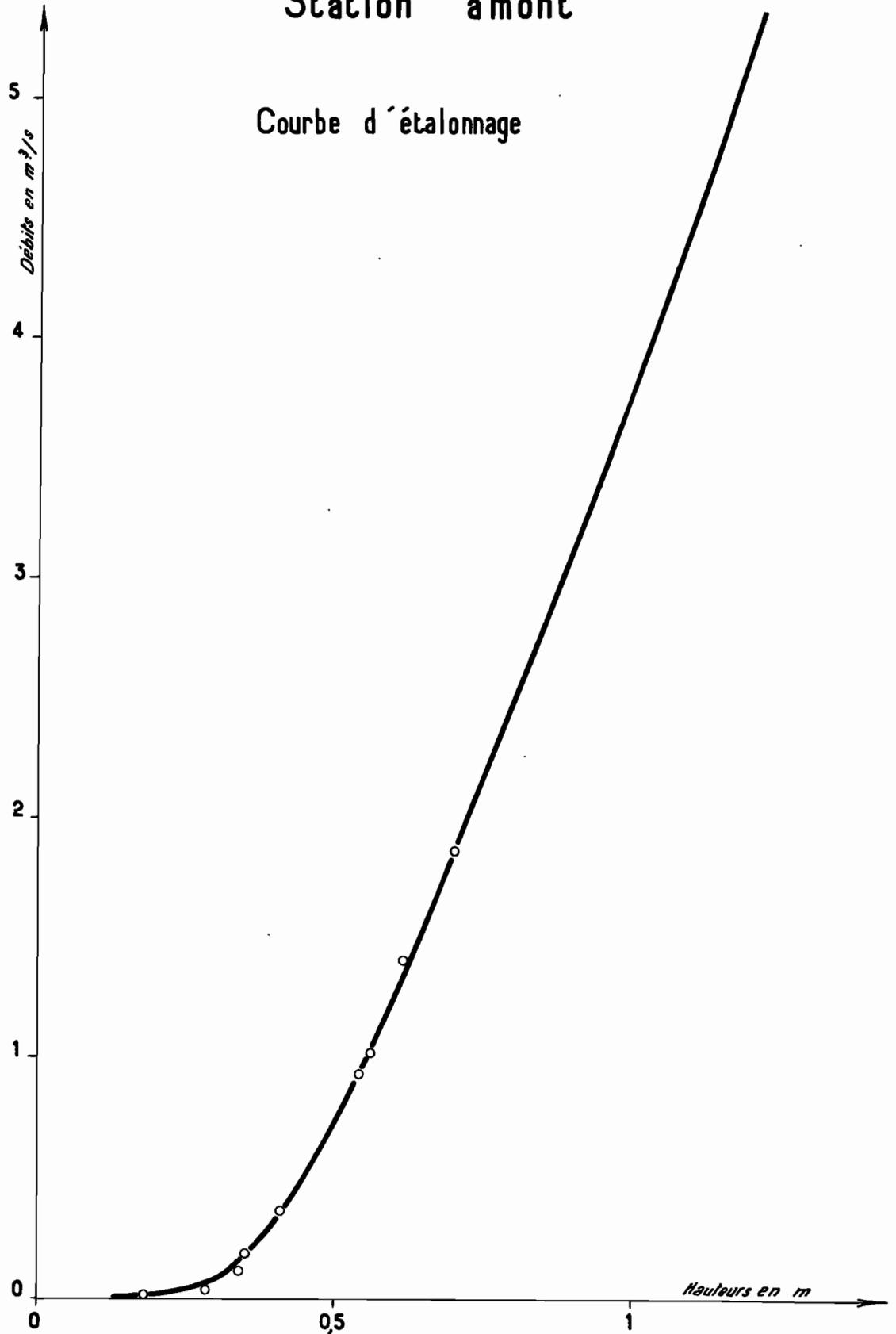
VISA:

TUBE N°:

AO

Station "a mont"

Courbe d'étalonnage



DAH 7673

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

ED:

LE: *XXIV-01-MCMXX*

DES: *J.-P. Hoeltich*

VISA: .

TUBE N°:

AO

Nous estimons plus judicieux d'étudier d'abord les crues de la SOUSSOU, puis de la LHOTO à BOHM-BOHM qui nous renseigneront sur le ruissellement en terrains granitiques et sur le plateau latéritique. L'analyse des crues de la LHOTO, combinaison de ces ruissellements partiels, sera entreprise en dernier.

F - Le BASSIN de la SOUSSOU à MODJI -

La SOUSSOU, affluent de rive gauche de la LHOTO, draine essentiellement une région granitique de 7,4 km<sup>2</sup> composée par :

60 % de massifs granitiques proprement dits : éboulis rocheux, sols squelettiques dans les interstices.

40 % de colluvions granitiques sableuses et très perméables sur le piedmont, et dont la proportion d'éléments fins s'accroît, au fur et à mesure que la pente diminue et que l'eau s'avance dans la vallée, jusqu'à constituer des sols hydromorphes qui s'appuient sur un fond argileux. Celui-ci constitue vraisemblablement le masque derrière lequel s'accroissent les eaux d'infiltration qui sourdent par déversement pour former l'écoulement de base de la SOUSSOU, (comme de l'OLODJO).

La SOUSSOU coule du Nord au Sud au fond d'un thalweg étroit serré entre 2 crêtes d'éboulis granitiques dont l'une est la limite orientale du bassin de la LHOTO, et l'autre sépare la SOUSSOU de l'OLODJO. Le lit du marigot est alors pentu (10 % pendant le 1er kilomètre) bien marqué, et bordé d'une légère galerie forestière. La végétation arbustive est en effet abondante sur le massif granitique où la forêt en voie de reconstitution est classée.

La SOUSSOU évite un autre massif, situé au Sud, dans l'axe de son lit en incurvant son cours pour couler vers l'Ouest ; la station de mesures est installée au droit de la route de SAVE, 5,500 km après la source ; la pente moyenne du lit est de 2 %.

### Interprétation des crues observées

Le bassin versant a une forme allongée, ce qui nuit à l'homogénéité des crues, d'autant plus que la partie amont est composée uniquement d'éboulis granitiques et que les colluvions sont massés dans la partie aval.

Ces colluvions de l'aval, un peu argileuses sont certainement les sols qui ruissellent le mieux et le plus vite du bassin. Il est en effet difficile d'estimer l'importance du ruissellement dans les zones d'éboulis où l'eau de pluie circule entre les blocs, en s'infiltrant plus ou moins dans l'arène. La présence d'une végétation dense ne fait qu'accroître le freinage des eaux d'écoulement.

Cette hétérogénéité de structure du bassin réagit sur la formation des crues, dont les hydrogrammes sont difficilement comparables ; ils présentent en général 2 pointes de crues plus ou moins bien différenciées. Les terrains de la partie basse voisine de la station ruissellent assez rapidement après une pluie et donnent une première pointe de crue ; si l'averse n'intéresse que l'aval du bassin, ou se trouve centrée dessus, cette première pointe restera unique ou sera suivie deux heures après environ par un palier gonflant le tarissement ; pour la plupart des autres positions de l'averse, la 2<sup>e</sup> pointe de crue est beaucoup plus importante.

La conjugaison de ces 2 flots de crue conduit à des hydrogrammes très dissemblables ; si le ruissellement immédiat de l'aval est bien du ruissellement superficiel, le flot de crue en provenance de l'amont doit contenir une forte proportion de ruissellement hypodermique car dans les éboulis granitiques, cette forme de ruissellement semble la plus plausible ; nous pensons même que le ruissellement hypodermique constitue la majeure partie du volume ruisselé ; il est quasi-impossible de le séparer du ruissellement superficiel, ce qui, d'ailleurs, dans le cas de ce type de bassin n'aurait pas de signification. Nous nous sommes contentés de faire apparaître sur chaque hydrogramme la courbe limite de l'écoulement de base, afin d'extraire le volume total du ruissellement (superficiel et hypodermique).

Sur les 26 crues observées à MODJI, il n'y en a guère que 10 dont le volume de ruissellement soit notable, les 16 autres ne présentent qu'un léger gonflement de l'écoulement de base, avec des débits atteignant 200 et 300 l/s au maximum ; il faut pourtant bien admettre qu'il

s'agit de ruissellement puisque les temps caractéristiques de ces crues sont du même ordre de grandeur que ceux des crues importantes. On consultera avec profit le tableau n° 2 qui récapitule les données caractéristiques de ces 26 averses.

En effet, les temps de réponse (lag) des crues sont assez bien groupés autour d'une médiane égale à 2 h 3/4 ; les valeurs extrêmes sont 1 h 3/4 et 4 h 1/4.

En général ces temps de réponse correspondent aux 2èmes pointes de crue, les plus fortes, qui arrivent plus ou moins vite suivant la position du centre de l'averse sur le bassin, et l'état de saturation préalable du terrain.

Hors série, on trouve deux valeurs de 20' et 40' qui correspondent aux crues n° 27 et 14 résultant d'averses n'ayant intéressé que l'aval du bassin, et donc pour lesquelles seule s'est produite la 1ère pointe de crue.

Les temps de montée sont du même ordre de grandeur que les temps de réponse, et correspondent aussi à la pointe de crue principale. Les 28 valeurs oscillent entre 1 h et 4 h 3/4, avec 2 h 1/2 comme valeur médiane. La difficulté d'apprécier le début exact du ruissellement explique l'étalement plus grand de cette série de temps. On trouve ici aussi, 3 faibles valeurs correspondant aux crues 14 (45'), 27 (40') et 15 (45'), pour les mêmes raisons que ci-dessus. Bien que le bassin versant soit petit, ces temps ne sont pas excessifs, et il faut supposer que la forte pente du terrain contrecarre l'action retardatrice de la végétation et des éboulis granitiques.

Comme on devait s'y attendre, après la recherche des conditions limites de l'écoulement, effectuée dans un paragraphe précédent, le ruissellement, bien qu'il se produise souvent et pour de faibles averses quand les terrains sont bien saturés, est très faible et conduit à des volumes et à des coefficients de ruissellement dérisoires.

Onze crues, parmi les plus faibles, ont un coefficient de ruissellement inférieur à 2 %. Pour les crues plus fortes, qui correspondent à un ruissellement généralisé sur le bassin, les coefficients s'échelonnent entre 2 et 8 %. La lecture du tableau suivant fait apparaître un accroissement des coefficients Kr lors de la 2e partie de l'hivernage, par rapport à ceux des crues de Mai et Juin.

DIV 9256

ED:

LE: Moy. Ann. 00

DES: 00 - JPH -

VISA:

TUBE N°:

AO

SOUSSOU A MODJI - 1957 - (7,4 Km<sup>2</sup> -)T2

Date	N° crue	H max <sup>en</sup>	H min <sup>mm</sup>	H moy	Hu mm.	Tu	I max	VH m <sup>3</sup>	VR m <sup>3</sup>	Kr %	Kruz	Q max m <sup>3</sup> /s	Lag	Rise	Tr	CA mm/h	I	Observations
21-5	1	104	80	90,7	—	—	45	740.000	309	0,04	—	0,145	—	1 <sup>h</sup> 50'		—		
5-6	5	38	24	27,3	25,8	25'	61	202.000	750	0,4	0,4	0,145	3 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>		62		
17-6	7	32	5	22,3	16,6	23'	90	165.000	600	0,4	0,5	0,145	2 <sup>h</sup> 30'	2 <sup>h</sup> 25'		43		
19-6	8	88	16	70,3	60	40'	115	520.000	36.200	7	8,1	5,08	2 <sup>h</sup> 10'	2 <sup>h</sup> 5'		83		
6-7	10	65	12	47,5	44,5	47'	150	352.000	4.290	12	1,3	0,54	2 <sup>h</sup> 45'	2 <sup>h</sup> 30'		56		
7-7	11	28	12	16,8	9,4	63'	11	124.500	1.390	1,1	2	0,23	4 <sup>h</sup> 15'	2 <sup>h</sup> 45'		9		
9-7	12	27	3	11,1	10,5	13'	75	81.500	2.940	3,6	3,8	0,37	2 <sup>h</sup> 45'	3 <sup>h</sup>		47		
11-7	13	11	4	8,6	7'	10'	53	63.600	570	0,9	1,1	0,20	2 <sup>h</sup> 15'	1 <sup>h</sup> 10'		41		
13-7	14	32	8	18,4	17,4	22'	80	136.000	2.680	2	2,1	0,35	40'	45' 30'		46		
19-7	15	30	8	19,5	6,8	7'	77	144.000	408	0,3	0,8	0,32	2 <sup>h</sup> 40'	45'		58		
1-8	16	35	12	23	19,2	31'	66	203.000	2.380	1,2	1,7	0,20	1 <sup>h</sup> 45'	1 <sup>h</sup> 30'		37		
4-8	17	58	37	50,6	44,4	40'	70	374.000	29.350	7,8	8,9	2,22	3 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup> 5'		61		
25-8	21	28	6	19,3			36	266.000	1.450	0,5		0,21	—	(3 <sup>h</sup> )		—		
7-9	22	60	27	51,6	24	26'	60	382.000	970			0,26	3 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup> 15'		55		
					11,2	26'	27		3.320	1,1	4	0,42	2 <sup>h</sup> 45'	3 <sup>h</sup>		25		
10-9	23 <sup>bis</sup>	24	5	12,2	5,5	24'	26	90.400	1.040	1,1	2,5	0,34	3 <sup>h</sup> 45'	4 <sup>h</sup> 15'		13		
13-9	24	40	22	33,2	10,5	22'	120	245.500	500	3,8	0,6	0,18	(3 <sup>h</sup> )	1 <sup>h</sup> 15'		29		
					(7,4)	2 <sup>h</sup> 30'	7		9.030	(16,5)		0,66	3 <sup>h</sup>	4 <sup>h</sup> 45'		25		
15-9	25	28	4	19,1	18,4	28'	120	141.500	11.700	8,3	8,6	1,08	2 <sup>h</sup> 45'	2 <sup>h</sup> 45'		36		
17-9	27	15	1	8	5,6	10'	46	59.200	2.280	3,8	5,7	0,4	20'	40'		32		
												0,53	3 <sup>h</sup> 10'	3 <sup>h</sup> 30'				
18-9	27 <sup>bis</sup>	41	11	31,3	20,8	135'	22	231.500	17.730	7,7	11,5	1,75	3 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup> 20'		8		
19-9	28	15	3	6,6	4	40'	6	48.800	1.860	3,8	6,3	0,60	1 <sup>h</sup> 45'	2 <sup>h</sup>		7		
23-9	29	43	18	32,8	21,8	145'	75	242.500	21.340	8,8	13,2	1,24	3 <sup>h</sup> 30'	3 <sup>h</sup> 30'		8		
4-10	31	41	10	34,2	—	—	9	253.000	9.360	3,7	—	0,79	3 <sup>h</sup> 30'	3 <sup>h</sup>		—		
15-10	33	62	9	24,8	20,5	21'	62	183.500	7.420	4	4,9	0,94 0,60	1 <sup>h</sup> 4 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup> 2 <sup>h</sup> 45'		55		

1/ Averse antérieure < 10 mm  
 2/ Averse antérieure de 10 à 20 mm  
 3/ Averse antérieure > 20 mm  
 \* Pluie préliminaire

Périodes	$K_R$			
	0 à 1 %	1 à 2 %	2 à 5 %	5 à 10 %
Mai	1			
Juin	2	-	-	1
Juillet	2	2	2	-
Août	1	1	-	1
Septembre	-	2	3	3
Octobre	-	-	2	-

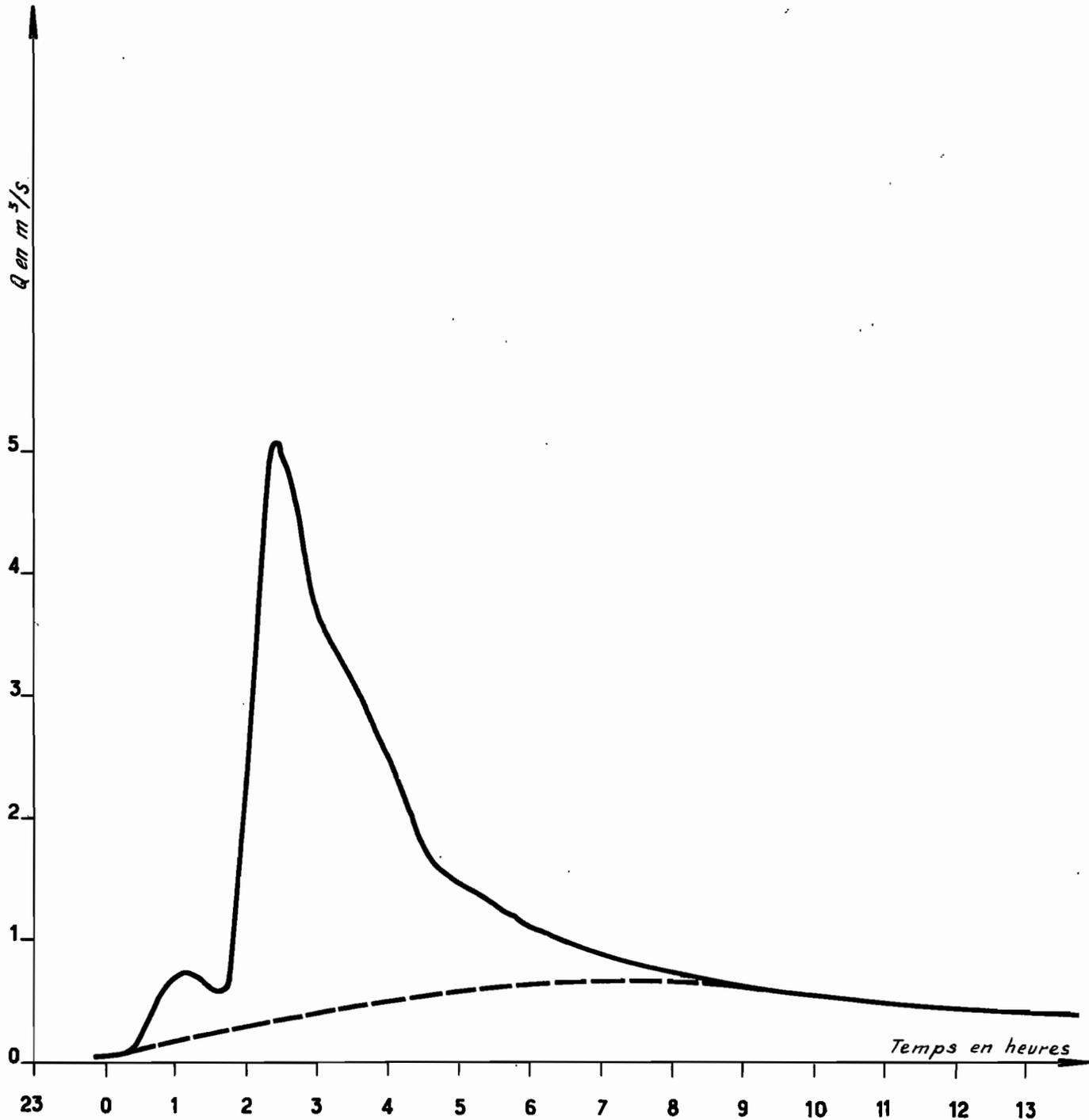
Il faut admettre que l'action de la végétation ne croît pas **en fin d'hivernage**, les conditions climatiques favorables aux plantes leur permettent en effet de végéter normalement toute l'année sans subir le flétrissement de saison sèche comme cela se produit quelques centaines de kilomètres au Nord, en zone sahélienne. Les précipitations, supérieures à la moyenne en Août et Septembre ont facilité l'approvisionnement en eau des sols perméables et maintenu ceux-ci dans un état proche de la saturation, ce qui a favorisé le ruissellement.

La plus faible crue résulte de la plus forte pluie : l'averse n° 1 du 21 Mai ( $H_{\text{moy}} = 90,7 \text{ mm}$ ) a surtout permis d'atteindre la capacité de rétention des sols, et ce n'est qu'une infime partie qui a ruisselé :  $300 \text{ m}^3$  ( $K_R = 0,04 \%$ ).

La plus forte crue ( $5,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) survenue le 19 Juin a fourni l'un des ruissellements les plus élevés :  $7 \%$  ; elle résulte d'une grosse pluie ( $H_{\text{moy}} = 70,3 \text{ mm}$ ) centrée sur le Sud du bassin, bien groupée dans le temps, avec de très fortes intensités : 32 minutes à  $115 \text{ mm/h}$ , ce qui représente une violence exceptionnelle et explique qu'une crue de Juin ait donné un tel coefficient de ruissellement. Les 4 autres valeurs de  $K_R \%$  supérieures à  $7 \%$  n'apparaissent que pour des crues d'Août et Septembre.

# BASSIN VERSANT DE LA SOUSSOU

## CRUE CARACTÉRISTIQUE DU 19 au 20-6-57



DIV. 9247

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

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

AO

L'averse n° 17 (4 Août) trouve un sol assez bien saturé, et couvre le bassin d'une manière homogène (H moy = 50,6 mm) et avec une certaine violence (30 mm à 70 mm/h). La crue n° 17 a un  $K_r$  égal à 7,8 %.

L'averse n° 22, bien que centrée sur le Sud du bassin, et fournissant une hauteur moyenne voisine (51,6 mm) n'a donné qu'une faible crue ( $K_r = 1,1$  %) parce qu'elle s'est produite le 7 Septembre après une période de 10 jours sans pluie, et 13 jours après le dernier ruissellement.

L'état de saturation préalable du sol joue un grand rôle, comme on le voit ; c'est d'ailleurs, pour avoir trouvé des conditions favorables de saturation, que les averses n° 25 et 27 bis, bien que d'importance moyenne ont permis à leurs crues d'atteindre des  $K_r$  de 8,3 et 7,7 %.

Le coefficient de ruissellement le plus élevé (8,8 %) est celui de la crue n° 29, due à une pluie de 32,8 mm survenant fin Septembre sur un terrain bien saturé, et qui après une courte pointe à 75 mm/h, durera plus de 4 heures, tombant en pluie fine. C'est l'un des exemples, et il y en a d'autres, des possibilités de ruissellement des traînes de pluie (d'intensité de l'ordre de 5 mm/h) tombant après une période plus intense, donc sur un sol ruisselant déjà. On avait déjà remarqué, en d'autres régions, que des sols sableux lorsqu'ils sont bien imbibés et qu'ils viennent d'être tassés par une pluie intense, ruissellent aisément, d'autant plus s'ils sont en pente, comme c'est le cas pour les terrains du bassin de la SOUSSOU.

Nous ne nous étendrons pas aussi longtemps sur les coefficients de ruissellement  $K_{ru}$ , par rapport à la pluie utile. En effet, la détermination de cette dernière n'est pas aisée ; si l'on peut facilement enlever 4 mm en début d'averse pour tenir compte de la précipitation limite, on ne dispose pas de repères suffisants pour savoir à quelle intensité arrêter cette pluie utile. On a vu, en effet, que les faibles intensités pouvaient causer du ruissellement ; mais il est impossible de leur attribuer sûrement le gonflement d'une courbe de tarissement quand on connaît la disparité de formes des hydrogrammes ; ce gonflement peut très bien provenir aussi de l'amont du bassin, et la différenciation des 2 origines n'est pas possible.

Par voie de conséquence les capacités d'absorption sont mal définies et oscillent entre quelques millimètres et 85 mm/h suivant l'importance que l'on a donné aux faibles intensités dans la pluie utile. Evidemment aux pluies fines (n° 11, 24 bis, 27 bis, 28 et 31) correspondent des capacités inférieures à 10 mm/h. La valeur la plus élevée (83 mm/h) s'applique à la crue n° 8 dont nous avons noté la violence de l'averse.

#### Choix d'un hydrogramme type

C'est une opération hasardeuse de vouloir, pour ce bassin hétérogène, comparer des hydrogrammes disparates et proposer une forme moyenne représentative des crues.

Sur le lot de 26 crues, une fois éliminés les ruissellements trop faibles au nombre de seize et ceux qui résultent de pluies trop hétérogènes ou non unitaires, il ne nous reste guère que 8 crues ; encore avons-nous conservé pour la conformité de leur hydrogramme, les crues n° 27 bis et 31 dont l'averse unitaire a certainement excédé la moitié du temps de montée moyen (2 h  $\frac{1}{2}$ ).

On a ramené ces hydrogrammes à un volume de ruissellement égal à 10.000 m<sup>3</sup> et calculé les valeurs des débits à des intervalles de temps donnés, de part et d'autre du maximum, sans aller trop loin pour ne pas tomber soit sur la décrue de la 1ère pointe, soit sur le gonflement du tarissement de la 2ème pointe de crue, selon la forme de l'hydrogramme observé. Ces 8 diagrammes se répartissent en 2 groupes distincts :

- 1) 5 crues survenues dans la 2e partie de l'hivernage, correspondent à des averses de répartition homogène sur le bassin, c'est-à-dire dont la pointe de crue principale est la seconde. Mis à part le tarissement de la crue 22 B, l'ensemble est heureusement homogène, comme le montre le tableau ci-dessous, où les débits sont en m<sup>3</sup>/s pour un volume de 10.000 m<sup>3</sup>.

Date	N° crue	- 1 h	- 30'	- 15'	Q max	+ 15'	+ 30'	+ 1 h	+ 2 h
4-8	17	0,24	0,58	0,66	0,89	0,69	0,63	0,41	0,30
7-9	22 B	0,30	0,48	0,54	0,66	0,63	0,62	0,60	0,51
15-9	25	0,40	0,59	0,60	0,65	0,64	0,58	0,43	0,34
18-9	27 bis	0,25	0,56	0,69	0,73	0,69	0,58	0,42	0,29
4-10	31	0,38	0,54	0,63	0,69	0,67	0,64	0,58	0,41
Hydrogramme-type									
		0,31	0,53	0,62	0,72	0,66	0,61	0,49	0,37

L'hydrogramme-type proposé, qui est la moyenne des 5 crues, peut être considéré comme représentatif du bassin dans les conditions énoncées ci-dessus.

- 2) lorsque les averses sont mal centrées sur le bassin, que leur centre se place à l'aval, et que le gradient de variation des hauteurs d'eau tombée est important, on observe des crues plus violentes, puisqu'elles intéressent principalement les colluvions de la vallée plus propices au ruissellement. Voici les hydrogrammes des 3 crues répondant à ce schéma :

Date	N° crue	- 1 h	- 30'	- 15'	Q max	+ 15'	+ 30'	+ 1 h	+ 2 h
19-6	8	0,12	0,39	0,78	1,32	1,18	0,99	0,77	0,42
6-7	10	0,65	0,81	0,95	1,03	0,98	0,86	0,67	0,30
15-10	33	0,1	0,31	0,97	1,13	0,99	0,69	0,56	(0,58)

La disparité est plus grande surtout pour la montée, ce qui est normal. Nous ne proposerons pas de moyenne, mais nous signalerons que le diagramme le plus dangereux est celui de la crue n° 8 due à l'averse la plus intense et la plus élevée. Il s'agit en fait d'une aversé bien groupée H moy = 70,3 mm, soit 80 % de la hauteur maximum observée, et dont la pluie utile (60 mm) représente 85 %, ce qui est un pourcentage élevé. Cette précipitation n'est pas d'une hauteur à fréquence très rare (environ une année sur trois) mais l'intensité observée, 115 mm/h pendant 32 minutes, est certainement un fait beaucoup moins fréquent, responsable pour une bonne part, de l'importance de la crue.

G - Le BASSIN de la LHOTO AMONT à BOHM-BOHM -

La LHOTO prend naissance au bord du plateau à concrétions sur cuirasse latéritique ; ce n'est d'ailleurs qu'une large dépression sans relief notable, encombrée de végétation ; le lit de la LHOTO ne prendra son profil définitif, trapèzoidal, que plus aval après avoir reçu les affluents du massif granitique, OLODJO et SOUSSOU. A BOHM-BOHM où une station de mesures a été installée en 1957, la LHOTO draine un bassin de 12 km<sup>2</sup> constitué aux 2/3 par le plateau latéritique ; les alluvions sablo-argileuses des vallées occupent le reste de la superficie, et se situent au centre et au Sud du bassin, à proximité de l'exutoire, les sols sur cuirasse formant le pourtour du bassin. Sur une longueur de 3,500 km depuis sa naissance, la LHOTO a une pente moyenne de 0,55 %, bien inférieure à celle des affluents du massif granitique.

Le plateau latéritique lui-même a une pente notable d'environ 2 à 3 %, suffisante pour permettre le ruissellement superficiel ; les sols à concrétions qui le recouvrent sont très perméables, et ne ruisselleront que s'ils sont assez saturés. Mais leur capacité de rétention est plus faible que celle des colluvions granitiques, et leur épaisseur réduite autour de 30 à 50 cm ; au-dessous, on trouve la cuirasse, sur laquelle les eaux infiltrées coulent pour sourdre plus aval soit en bordure du plateau quand la cuirasse affleure, soit au contact des alluvions. Il y a certainement là des possibilités de ruissellement hypodermique non négligeables.

Quant aux alluvions, elles doivent être imbibées en surface pour ruisseler, mais ce phénomène se produit rapidement car leur perméabilité est réduite, du fait de l'accroissement du taux d'argile avec la profondeur.

### Interprétation des crues observées

Comme le laisse présager l'examen des caractères typiques du bassin, les crues seront certainement moins violentes et plus lentes que sur les terrains granitiques, mais une fois le sol saturé, les volumes ruisselés pourront être notables. Les alluvions sont à la fois plus propices au ruissellement, et plus proches de BOHM-BOHM que le plateau latéritique, aussi n'est-il pas étonnant de voir des moutonnements se produire dans la courbe de montée des hydrogrammes de crue. Le ruissellement sur les alluvions arrive avec plus ou moins d'avance sur celui provenant du plateau latéritique, suivant la position de l'averse et sa violence.

Il n'y a eu que douze crues observées durant la campagne 1957, mais l'absence de limnigraphe a fait manquer un certain nombre de petites crues à l'observateur qui venait de MOUMOU DJI.

On notera que la grosse pluie du 21 Mai, qui a déclenché l'écoulement sur la SOUSSOU et à MOUMOU DJI, bien qu'atteignant 80 mm en moyenne sur le bassin de la LHOTO amont, n'y a pas engendré de crue. Il a fallu attendre 5 jours plus tard pour que l'averse n° 2 soit suivie d'un léger écoulement (270 l/s). A l'exception des crues n° 10, 14 et 15, très faibles, toutes les autres crues observées ont une allure voisine, avec un débit de pointe se situant entre 1 et 1,5 m<sup>3</sup>/s.

La plus forte crue observée (n° 17) dépasse de beaucoup ces chiffres, puisqu'elle atteint 6,3 m<sup>3</sup>/s au maximum. L'averse responsable (H moy = 66 mm), bien que centrée sur le Nord du bassin, et rencontrant un sol dont l'état de saturation n'a rien d'exceptionnel, est cependant très violente (l'intensité est restée supérieure à 80 mm/h pendant 40 mn) ce qui explique qu'elle ait donné naissance à une telle crue. On constatera aussi que le débit de pointe élevé obtenu est dû à une exacte conjonction des flots de crue de la zone alluvionnaire et du plateau, conjonction favorisée, peut-être, par le fait que la pluie était plus violente sur le plateau d'où une vélocité accrue des eaux ruisselant de cette partie du bassin.



On trouve d'ailleurs, pour cette crue n° 17 des temps de réponse et de montée valant 2 h 10 et 2 h  $\frac{1}{2}$ , c'est-à-dire inférieurs de moitié aux temps normalement observés. On ne rencontre une telle disparité que dans la crue n° 12 où bizarrement la crue présente 2 pointes nettement séparées, sans que la forme de la précipitation puisse être mise en cause. Néanmoins, le maximum de l'averse ayant, dans ce cas, intéressé l'aval du bassin, on peut supposer que les 2 flots de crue en provenance des alluvions et du plateau se sont trouvés séparés dans le temps, plus que de coutume.

Dans la majorité des cas, les temps caractéristiques du bassin sont homogènes (consulter le tableau n° 3). Les temps de réponse varient entre 5 h  $\frac{1}{2}$  et 8 h ; les temps de montée sont un peu plus courts, allant de 4 h à 7 h 15. Si l'on se souvient des valeurs moyennes correspondantes obtenues sur la SOUSSOU, et qui sont inférieures de moitié pour des terrains aussi perméables et un bassin plus allongé, on en déduira l'influence notable de la pente (0,5 % sur la LHOTO contre 2 % sur la SOUSSOU), qui semble ici presque seule en cause pour justifier cet écart.

Les suppositions émises, au début de ce paragraphe, quant à l'influence des sols sur l'importance du volume ruisselé, se vérifient à l'examen des coefficients de ruissellement  $K_r$  % observés.

Les valeurs oscillent entre 2 et 15 %, bien supérieures à celles de la SOUSSOU ; 8 sont supérieures à 5 %, et parmi elles 3 dépassent 10 %. Il ne semble pas y avoir d'accroissement du  $K_r$  %, avec la 2<sup>ème</sup> partie de l'hivernage mais ce coefficient dépend étroitement de l'état de saturation préalable et de la position du centre de la pluie.

Alors que l'averse n° 10 (H moy = 25,1 mm) tombe sur l'Est du bassin, et rencontre des terrains ressuyés, la crue résultante atteint seulement 3,6 % de  $K_r$  ; le lendemain, l'averse 11, aussi mal centrée, sur le Nord du bassin, et d'importance comparable (H moy = 22,7) ruissellera à 6 % grâce à la saturation du terrain. L'averse n° 12 qui suit, favorisée à la fois par la saturation du sol et son centrage sur le Sud du bassin, permettra, malgré sa faible hauteur moyenne (13,3 mm), à la crue résultante d'atteindre 14,7 % de  $K_r$ , c'est-à-dire la plus forte valeur de l'année.

Les deux autres coefficients de ruissellement dépassant 10 % sont ceux des crues n° 8 (sol saturé) et n° 17 (très grosse pluie).

Nous avons rencontré, comme pour la SOUSSOU, les mêmes difficultés de détermination de la pluie utile. Les coefficients de ruissellement correspondants  $K_{ru}$  oscillent entre 2 et 20 %. Quant aux capacités d'absorption, on les trouve groupées entre 10 et 30 mm/h, sauf pour les crues n° 12 et 17 où de fortes intensités de pluie élèvent par voie de conséquence les capacités d'absorption à 49 et 56 mm/h.

#### Choix d'un hydrogramme type.

Etant donné la lenteur des temps de montée, les averses peuvent toutes être considérées comme unitaires. Nous n'écarterons donc que les crues trop faibles (n° 2-14-15) et la n° 12 dont les 2 pointes ne sont pas séparables. Les volumes de ruissellement des 8 crues rescapées, sont ramenés à 10.000 m<sup>3</sup>. Les débits calculés à des instants choisis par rapport au maximum sont comparables, sauf pour la période de montée où la disparité reste grande. On trouvera dans le tableau n° IV la liste de tous ces hydrogrammes, et le diagramme moyen proposé qui s'accorde avec la majorité d'entre eux. En fait, deux crues (17 et 20) présentent un caractère plus accentué au moment de la pointe dont les valeurs (0,65 et 0,60 m<sup>3</sup>/s) excèdent de 25 à 35 % celle du diagramme moyen (0,48 m<sup>3</sup>/s). ces deux crues résultent de précipitations centrées sur l'amont du bassin, et dont les intensités furent élevées ; on peut expliquer ces gros débits maxima par l'accroissement de vitesse des eaux venant du plateau, dont le flot de crue arrive à BOHM-BOHM en même temps que celui de l'aval du bassin. Nous pensons que, pour la détermination des crues exceptionnelles, le diagramme de la crue n° 17 doit être pris en considération de préférence au diagramme moyen.

#### H - INTERPRETATION des CRUES OBSERVEES sur la LHOTO à

##### MOUMOUJJI -

L'hétérogénéité du bassin de la LHOTO a été suggérée au début de ce chapitre et mise en lumière par les analyses des crues de la SOUSSOU et de la LHOTO amont à BOHM-BOHM.

TABLEAU N° 4

HYDROGRAMME de RUISSELLEMENT de la LHOTO à BOHM-BOHM

VR = 10.000 m<sup>3</sup>

Date	N° crue	- 5 h	- 3 h	- 2 h	- 1 h	- 30'	Q max m <sup>3</sup> /s	+ 30'	+ 1 h	+ 2 h	+ 3 h	+ 5 h
17-6	7	-	0,07	0,13	0,42	0,45	0,48	0,47	0,43	0,36	0,27	0,14
18-6	8	0,13	0,26	0,36	0,37	0,38	0,40	0,39	0,33	0,26	0,19	0,07
6-7	10	0,04	0,21	0,22	0,32	0,36	0,43	0,41	0,34	0,28	0,22	0,13
7-7	11	0,04	0,12	0,33	0,43	0,45	0,46	0,44	0,36	0,28	0,24	0,07
4-8	17	-	-	0,09	0,28	0,34	<u>0,65</u>	0,59	0,49	0,36	0,28	0,17
24-8	20	-	0,03	0,05	0,40	0,54	0,60	0,59	0,56	0,44	0,34	0,10
23-9	29	0,02	0,09	0,24	0,34	0,39	0,44	0,435	0,43	0,35	0,32	0,12
4-10	31	0,02	0,15	0,25	0,36	0,40	0,41	0,40	0,38	0,33	0,26	0,12
Diagramme												
Moyen		(0,03)	(0,13)	(0,22)	0,36	0,41	<u>0,48</u>	0,46	0,43	0,33	0,26	0,11

L'examen des hydrogrammes des 34 crues observées est édifiant à ce sujet : pointes de crues multiples, allures disparates des courbes de montée et de tarissement. Grâce aux 2 séries d'analyse effectuées sur les bassins intermédiaires, on peut essayer de reconstituer l'histoire de chaque crue à MOUMOU DJI.

Tout d'abord, le tableau T 5 nous fournit les volumes ruisselés à MODJI et BOHM-BOHM, leur somme et la comparaison avec le volume obtenu à MOUMOU DJI, cela pour les 9 crues observées aux 3 stations. Les 2 bassins intermédiaires précités couvrent  $12 + 7,4 = 19,4 \text{ km}^2$  soit 43 % de la superficie totale drainée par la LHOTO à MOUMOU DJI. On constate immédiatement que le total des volumes apportés par ces 2 bassins est inférieur de beaucoup à ce pourcentage, sa valeur oscille entre 14 et 32 %.

Nous mettons à part la crue n° 31, où, un axe déficitaire en pluviométrie, allant du SW au NE, intéressait tout le bassin résiduaire de la LHOTO ; SOUSSOU et Haute-LHOTO, favorisées par la précipitation, ont fourni 51 % du volume ruisselé à MOUMOU DJI.

Ces quelques chiffres se justifient si l'on considère que la basse vallée de l'OLODJO et la LHOTO en aval de BOHM-BOHM drainent essentiellement des alluvions, terrains plus propices au ruissellement que les granits et le plateau latéritique.

En second lieu, la présence à MOUMOU DJI de plusieurs pointes de crue, après chaque averse, nous incite à en rechercher les origines, en étudiant les délais de parcours des ondes de crue en provenance de la SOUSSOU et de la LHOTO amont. Cet examen va de pair avec celui des temps de réponse (lag) à MOUMOU DJI qui se trouvent inscrits avec les autres valeurs caractéristiques sur le tableau n° 6. On a tenu, sur ce tableau, dans la colonne "lag", à faire apparaître chaque pointe de crue évidente, en calculant le temps de réponse lui correspondant. Remarquons que l'établissement du hyétogramme moyen n'a pas été facile ; nous disposions à cet effet de 3 pluviographes, dont les enregistrements se correspondent en général, car les pluies sont assez régulières en intensité ; mais la difficulté s'accroissait avec le choix de la fraction de pluie utile, car certaines faibles intensités n'étaient causes de ruissellement que sur une partie du bassin.

TRANSMISSION de l'ONDE de CRUE sur le BASSIN de la LHOTO

VR en m<sup>3</sup>

Date	N° crue	VR à BOHM- BOHM	VR de la SOUSSOU	Total	VR à MOUMOU DJI	REPORT
						VR SOUSSOU + B.B. VR MOUMOU DJI
17-6	7	25.345	600	25.945	82.120	32
18-6	8	28.690	36.200	64.890	295.700	22
6-7	10	10.730	4.290	15.020	53.360	28
7-7	11	16.500	1.390	17.890	98.150	18
9-7	12	23.500	2.940	26.440	142.300	18
13-7	14	9.220	2.680	11.900	82.800	14
4-8	17	87.400	29.350	116.750	420.000	28
23-9	29	19.445	21.340	40.785	211.100	19
4-10	31	31,890	9.360	41.250	81.200	51 (1)

(1) OLODJO  
déficitaire

Etant donné la lenteur de réaction aux pluies de la LHOTO, l'incertitude sur le centre de la précipitation était négligeable en face du temps de parcours; les inconvénients sont, au contraire plus graves, lorsqu'il s'agit d'estimer les coefficients de ruissellement par rapport à la pluie utile.

Revenons à nos temps de réponse, pour constater qu'ils peuvent se classer en 4 groupes correspondant chacun à une forme d'averse et un type de crue de discrimination relativement aisée.

a) 4 valeurs seulement allant de 30' à 1 h 3/4 correspondent aux crues de Mai et Juin pour lesquelles les terrains alluvionnaires du pourtour immédiat de MOUMOU DJI ruissellent avant le reste du bassin. Cette succession de pointes de crue correspondant à chaque type de sol ou à chaque affluent est surtout nette en début de saison des pluies où l'écoulement est encore réduit; prenant de l'ampleur avec le temps par suite de la saturation des sols et freinés par la végétation croissante, les divers écoulements s'harmonisent entre eux pour former en général une pointe unique, plus ou moins déformée à la montée ou à la décrue.

b) onze valeurs s'échelonnent de 2 h 20 à 4 h 1/2, et correspondent aux pointes de crue du bassin aval de la LHOTO, de l'OLODJO inférieur, c'est-à-dire des terrains alluvionnaires, principalement, auxquelles s'associe la 1ère pointe de crue sur les colluvions de la basse SOUSSOU. Lorsque les régions situées au Sud et au centre du bassin reçoivent le maximum de précipitation, nous observons les très fortes crues; n° 8 - 12 - 16 - 17 - 25.

En général, les grosses et violentes averses intéressant tout le bassin créent un ruissellement rapide qui arrive à MOUMOU DJI après 4 h et 4 h 1/2.

c) la plus grande partie des temps de réponse observés (23 valeurs) se groupe entre 5 h et 7 h 1/2, avec 6 h comme valeur médiane et la plus fréquente. Cette pointe de crue, à MOUMOU DJI, vient en général en 2ème position après celle du type B; les eaux responsables proviennent de la SOUSSOU (temps de réponse de 3 h + temps de parcours d'environ 2 h à 3 h entre MODJI et MOUMOU DJI), de l'OLODJO moyen et du plateau latéritique drainé par la basse LHOTO.

Si des averses sont spécialement centrées sur l'Est du bassin (massifs granitiques drainés par SOUSSOU et OLODJO), cette 2<sup>e</sup> pointe de crue peut être prépondérante sur celle de type B : cas des crues n° 27 bis et 29.

d) on trouve enfin des pointes de crue arrivant avec 8 à 12 h de retard sur la pluie (14 valeurs) ; elles sont dues essentiellement à la LHOTO amont (6 à 7 h de temps de réponse + 3 à 4 h de temps de parcours entre BOHM-BOHM et MOUMOUJJI). Cette pointe de crue tardive peut-être la plus élevée si l'averse n'a ruisselé que sur le Nord du bassin : crues n° 23 bis - 24 - 34.

Suivant la position du centre de l'averse et son importance, l'un de ces types de pointe de crue sera prédominant, les autres, forment alors des pointes séparées très nettes en début d'hivernage ou s'estompent de plus en plus après Août jusqu'à ne plus être que des gonflements de l'onde de crue principale ou de la courbe de tarissement. En général plus la pluie est violente, plus la forme de la crue se régularise.

Quoi qu'il en soit, ces diverses pointes de crue se chevauchent de trop près pour que l'on puisse calculer d'autres temps de montée que celui de la 1<sup>ère</sup> pointe ou de la pointe principale, si la montée n'est pas trop déformée.

Les valeurs obtenues sont évidemment très variables on les trouve entre 2 h et 8 h apparentées au type de pointe de crue correspondant, et légèrement inférieures, en général, au temps de réponse correspondant.

Le tableau ci-dessous récapitule par mois les coefficients de ruissellement  $K_r$  % suivant leur ordre de grandeur :

Mois	$K_r$ %	0 à 5 %	5 à 10 %	10 à 15 %	15 à 20 %	+ de 20 %
Mai		2				
Juin		3	2	1	1	
Juillet		2	2	1	1	
Août		-	3	1	1	
Septembre		2	2	1	4	1
Octobre		-	2	2	-	-
Total		9	11	6	7	1

Le ruissellement, d'importance faible en début d'hivernage, prend de l'ampleur en Septembre. Les valeurs du tableau ci-dessus sont supérieures à celles de BOHM-BOHM du fait de l'accroissement des terrains alluvionnaires. La valeur maximum ( $K_p = 23,7 \%$ ) est due à l'averse n° 25 parce qu'elle a trouvé le terrain saturé, et n'a intéressé que l'aval du bassin, particulièrement propice au ruissellement, la hauteur moyenne de la pluie restant modeste : 13,2 mm.

On remarque d'ailleurs que la hauteur de pluie n'est pas le facteur principal du ruissellement, mais qu'elle cède le pas devant l'état initial du terrain et la position du centre de l'averse. Les 7 crues à  $K_p$  supérieurs à 15 % correspondent à des averses trouvant un sol très saturé (n° (n° 12-23 bis-27bis) et intéressant aussi des zones aptes à ruisseler (n° 8-24-29).

La lecture du tableau n° 6 permet de multiplier ces exemples à l'infini. On observera que les capacités d'absorption sont peu élevées, parce que les longues pluies ruissellent souvent avec de faibles intensités, ce qui diminue la valeur moyenne de l'intensité utile. La série des 34 valeurs s'éparpille entre 5 et 60 mm/h.

#### Choix d'un hydrogramme-type.

Pour les pointes principales de chaque crue, nous avons évalué le débit maximum correspondant à un volume de ruissellement ramené à 100.000 m<sup>3</sup>. Cela permet de vérifier, ce qui pouvait se deviner sans trop de mal, que les débits de pointe maxima, pour les crues à pointes multiples sont inférieures à ceux des crues à pointe unique. Autrement dit, les crues les plus dangereuses ne peuvent provenir que d'une forte averse dont la répartition est telle que le ruissellement soit à pointe unique.

Nous avons rassemblé, dans le tableau 7, les crues à pointe unique résultant d'une averse unitaire (vu la longueur du temps de montée, nous n'avons éliminé que la crue n° 24, comme non unitaire). Le nombre de ces crues est réduit à 5 ; nous leur en avons adjoint 6 autres dont le débit maximum était assez fort, mais qui subissaient des déformations soit à la montée soit à la décrue, de telle sorte que ce débit se trouve inférieur de 20 à 30 % à celui des 5 principales crues unitaires.

DIV 9245

ED:

LE: 10/10/1974

DES: J. P. P. 1974

VISA:

TUBE N°:

AO

## TABLEAU D'OBSERVATIONS ET CARACTÉRISTIQUES DES CRUES

T6

S = 45 km<sup>2</sup>

N° de la crue	Date	Nombre de jours sans pluie	PLUIES						DEBITS				RUISSELLEMENT				Observations	
			P min. mm	P max. mm	P moy. mm	T	Hu mm	Tu	I max.	Lag	Rise	Q max. m <sup>3</sup> /s	CA mm/h	VH m <sup>3</sup>	VR m <sup>3</sup>	Kr %		Kru %
1	21-5	3j	72,1	110,5	85,3	7 <sup>h</sup> 50	57,6	80'	120	30 <sup>h</sup> 2 <sup>h</sup> 1/2/6 <sup>h</sup>	20'	0,30/0,11/0,215	43	3.860.000	4.805	0,12	0,19	Complexe
2	26-5	1j	2,7	33,1	12,5	3 <sup>h</sup> 40	7,9	32'	20	70 <sup>h</sup> 3 <sup>h</sup> 1/4/6 <sup>h</sup> 1/2	7 <sup>h</sup> 1/2	0,70/0,91/0,76/0,49	14	562.500	24.870	4,4	7	Max. SW - Est nul
3	5-6	2j	5,2	52,9	24,4	2 <sup>h</sup> 15	22,6	27'	95	6 <sup>h</sup> /11 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup> 20'	0,595/0,595	49	1.098.000	18.670	1,7	1,8	Max. W - Est nul
4	8-6	3j	9,6	35,7	15,1	1 <sup>h</sup> 40	11,4	25'	52	12 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	0,525	27	680.000	10.880	1,8	2,1	Max. Nord - Est nul
5	10-6	40h	20,0	41,6	29,7	6 <sup>h</sup> 11	27,6	26'	80	6 <sup>h</sup> 20'/9 <sup>h</sup> 1/2	5 <sup>h</sup> 10'	1,34/1,85	61	1.395.000	54.830	4,1	4,4	Max. Nord - homogène
6	13-6	2j	0,0	57,0	11,8	4 <sup>h</sup> 10	7,8	41'	35	6 <sup>h</sup> /9 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	2,01/2,17	9,5	531.500	57.010	10,7	18,2	Nord seul
7	17-6	2j	5,9	44,1	23,1	3 <sup>h</sup>	16,1	27'	90	3 <sup>h</sup> 10'/7 <sup>h</sup> 45'	3 <sup>h</sup> 3/4	1,54/2,34	30	1.038.000	82.120	7,9	12,1	Max. sud
8	18-6	20h	6,0	88,0	37,5	5 <sup>h</sup>	29,6	31'	115	1 <sup>h</sup> 3/4/3 <sup>h</sup> 1/2	2 <sup>h</sup>	9/11	45	1.685.000	293.700	17,5	22,2	Max. SE - NE faible
9	21-6	3j 1/2	3,6	23,1	10,9	1 <sup>h</sup>	7	7'	88	7 <sup>h</sup> /10 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup> 1/4	1,28/1,98	51	490.500	44.870	9,1	14,3	Max. Nord
10	6-7	1j	7,6	64,5	29,1	1 <sup>h</sup> 49	25,8	27'	190	5 <sup>h</sup> 20'/11 <sup>h</sup> 1/2	4 <sup>h</sup> 3/4	2,05/0,96	55	1.310.000	53.360	4,1	4,6	Max. SE - Pluie complexe
11	7-7	20h	12,5	57,9	22,9	5 <sup>h</sup> 20	13,4	56'	47	2 <sup>h</sup> 5 <sup>h</sup> 20'/10 <sup>h</sup> 1/2	2 <sup>h</sup> 1/2	1,4/2,38/2	12	1.030.000	98.150	9,5	16,2	Max. Sud
12	9-7	40h	0,0	38,1	17,9	7 <sup>h</sup> 04	14,5	25'	75	5 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup> 30'	6,82	27	805.000	142.300	17,7	21,8	Centre
13	11-7	1j	2,3	11,0	5,3	0 <sup>h</sup> 34	3,6	71'	54	4 <sup>h</sup> 10'/6 <sup>h</sup> 10'	3 <sup>h</sup> 40'	0,74/0,75	18,5	238.500	8.040	3,4	4,9	Max. Est
14	13-7	2j	6,4	50,4	20,3	2 <sup>h</sup> 10	18,9	23'	110	2 <sup>h</sup> 3/4	2 <sup>h</sup> 15	1,75/3,72	43	914.000	82.800	9,1	10	Max. N.E.
15	19-7	1j	3,4	57,9	16,8	2 <sup>h</sup> 10	11,5	22'	77	2 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	3,66	26,5	755.000	79.900	10,6	15,4	Sud seul
16	1-8	4j	12,8	54,5	30,5	2 <sup>h</sup> 41	26,4	49'	68	4 <sup>h</sup> 1/2	3 <sup>h</sup>	5,58	29	1.372.000	128.050	9,3	18,8	Max. Centre
17	4-8	3j	25,5	88,4	52,3	2 <sup>h</sup> 17	48,8	43'	100	4 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup> 3/4	22	48,5	2.355.000	420.000	17,8	19,2	Max. Nord
18	6-8	2j 1/2	2,2	7,9	5,3	2 <sup>h</sup>	2,6	18'	15	5 <sup>h</sup> 1/2	4 <sup>h</sup> 45'	1,46	7,5	238.500	26.280	11	22,5	Centre seul
20	24-8	1j	0,5	42,0	19,8	5 <sup>h</sup> 10	12,8	30'	60	7 <sup>h</sup> /11 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup> 40'	2,12/2,39	22	890.500	87.010	9,8	15,1	Max. N.E.
21	25-8	1j	1,4	27,5	13,4	10 <sup>h</sup> 30	6,1	1 <sup>h</sup>	24	6 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	1,65	5	603.000	49.900	8,3	18,1	Max. SE
22	7-9	10j	27,2	60,7	44,3	11 <sup>h</sup> 07	29,7	46'	85	7 <sup>h</sup> /15 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	1,58/3,95	35	1.995.000	118.350	5,8	8,6	Max. Sud, 2 pointes
23	10-9	3j	3,0	17,0	10,6	2 <sup>h</sup> 35	6,9	40'	21	7 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	0,95	5,7	477.500	11.140	2,4	3,9	Max. Centre
23 bis	10-9	10h	3,5	23,4	19,0	6 <sup>h</sup> 55	15	72'	25	8 <sup>h</sup> 1/2	8 <sup>h</sup>	3,72	9,9	855.000	160.000	16,4	20,7	Max. centre - Pluie complexe
24	13-9	3j	22,2	49,4	36,2	12 <sup>h</sup> 20	22	3 <sup>h</sup> 45	16	8 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup> 40'	-9,63	4,8	1.630.000	288.350	17,8	28	Max Nord - homogène
25	15-9	7j	2,3	27,5	13,2	1 <sup>h</sup> 19	10,3	17'	120	4 <sup>h</sup>	4 <sup>h</sup>	6,82	25	594.000	140.500	23,7	38,3	Sud seul
26	18-9	7j	(0,0)	(7,0)	?	0 <sup>h</sup> 16	-	-	-	-	4 <sup>h</sup>	2,17	-	-	-	-	-	Incomplet
27	17-9	2j	1,0	15,0	7,1	1 <sup>h</sup> 14	4,1	8'	47	4 <sup>h</sup> 3/4	4 <sup>h</sup> 15'	1,86	29	319.500	9.820	3,1	5,9	Max. Centre / S.E.
27 bis	17-9	4 <sup>h</sup> 30	1,7	40,8	15,7	9 <sup>h</sup> 45	11	40'	44	6 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup> 20'	5,87	12,1	706.000	131.850	18,6	26,6	Max Est
28	18-9	18 <sup>h</sup>	2,1	14,7	5,9	2 <sup>h</sup> 14	4,5	25'	30	(6 <sup>h</sup> )	5 <sup>h</sup> 10'	2,81	10	265.500	23.780	9	13,7	Centre aval
29	23-9	4j 1/2	18,0	43,9	24,7	6 <sup>h</sup> 31	18	70'	75	6 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup> 1/4	7,68	11,4	1.111.000	211.100	19	26	Max Est
30	26-9	3j	5,2	35,0	18,0	8 <sup>h</sup> 38	13,7	42'	65	5 <sup>h</sup> 40'/4 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	3,38/3,14	16	810.000	108.750	13,2	17,2	Max NE / 2 pluies
31	4-10	1	9,0	40,9	22,9	8 <sup>h</sup> 06	14,2	60'	32	4 <sup>h</sup> /10 <sup>h</sup>	4 <sup>h</sup> 10 <sup>h</sup>	1,6/2,82	12,4	1.030.000	81.260	7,9	12,7	Min. centre
32	9-10	1 <sup>(4)</sup>	6,2	16,9	11,8	1 <sup>h</sup> 52	11,1	65'	38	7 <sup>h</sup> 1/2/12 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	0,90/0,75	9,6	531.000	31.480	5,9	6,9	Homogène
33	15-10	1 <sup>(5)</sup>	8,4	82,9	28,1	4 <sup>h</sup> 04	24,6	38'	62	-	2 <sup>h</sup> 30'	9,21	33	1.265.000	163.000	12,9	14,7	Max. S.W.
34	25-10	3	8,8	65,3	30,9	2 <sup>h</sup> 21	27,3	37'	58	9 <sup>h</sup> 20	8 <sup>h</sup>	5,87	39	1.390.800	159.800	11,5	13	Max. NW.

Intervalle sans pluie : 1j : pluie précédente ≤ 10 mm  
: 2j : pluie précédente entre 10 et 20 mm  
: 3j : pluie précédente > 20 mm

NOTA : Dans les colonnes Lag, Rise et Qmax sont portées plusieurs valeurs correspondant aux différentes pointes de crue

Pour ces 6 crues (n° 4-8-10-14-25 et 28) en remarquera la bonne homogénéité des débits obtenus 1 h avant le maximum, pour ce maximum et durant toute la décrue.

Evidemment, c'est la courbe de montée qui se trouve la plus modifiée selon la position de l'averse et l'origine de la pointe de crue principale considérée. Les mêmes remarques peuvent être faites devant les diagrammes des crues n° 12-16-17-26 et 33. Nous ne pouvons pas, devant l'hétérogénéité du matériau observé, proposer de diagramme type ; on retiendra cependant que le débit de pointe moyen plausible est de 4,8 m<sup>3</sup>/s. Seule la crue n° 33 s'écarte de cette valeur puisqu'elle présente l'hydrogramme le plus aigu : Q max = 5,5 m<sup>3</sup>/s. Il faut reconnaître que les conditions de précipitations ont été exceptionnellement favorables : plus de 80 mm à MOUMOU DJI contre 10 à 20 mm sur le haut bassin, averse en 2 fractions, la 1<sup>re</sup> ayant surtout intéressé le Nord du bassin dont le ruissellement a dû arriver à MOUMOU DJI en même temps que celui issu de la 2<sup>e</sup> fraction, 3 heures après et provenant, lui, de l'aval.

Rapporté à une lame d'eau ruisselée de 1 cm, ce débit de pointe moyen de 4,8 m<sup>3</sup>/s devient égal à 480 l/s.km<sup>2</sup>. Il est alors intéressant de le comparer aux valeurs correspondantes obtenues sur la SOUSSOU : 1200 l/s.km<sup>2</sup> et 650 l/s.km<sup>2</sup> pour la LHOTO à BOHM-BOHM. Ce qui doit nous amener tout naturellement à rechercher l'importance à chacune de ces stations de la crue exceptionnelle, disons de fréquence décennale.

## I - ESTIMATION des CRUES DECENNALES -

En premier lieu, nous devons rechercher la pluie de 24 heures de fréquence décennale. Le service Météorologique de l'Afrique Occidentale a effectué une analyse semblable sur la période 1920-1949, et pour les stations observées depuis plus de 25 ans. Les 2 stations les moins éloignées du bassin de la LHOTO sont ABOMEY et ZAGNANADO, dont le régime pluviométrique est comparable. En ABOMEY, la hauteur de 100 mm en 24 heures est dépassée 1 fois tous les 5 ans ; 1 fois tous les 15 ans seulement à ZAGNANADO, mais nous pensons que cette fréquence est trop faible, car elle est inférieure à celle de tous les autres postes du DAHOMEY. On peut admettre que la pluie de fréquence décennale est supérieure à 100 mm.

Nous avons essayé de préciser ce point en recherchant les précipitations journalières supérieures à 60 mm, durant la période 1953-1957 pour 7 stations du centre du DAHOMEY et de régime pluviométrique comparable à celui qui règne sur le bassin de la LHOTO.

TABLEAU N° 7

HYDROGRAPHIES de RUISSELLEMENT à MOUMOU DJI

VR = 100.000 m<sup>3</sup>

Date	N° crue	- 4 h	- 3 h	- 2 h	- 1 h	Q <sub>max</sub> m <sup>3</sup> /s	+ 1 h	+ 2 h	+ 4 h	+ 6 h	10 h
8-6	4	-	(0,07)	(0,08)	2,6	4	3,9	3,2	2,1	1,4	0,5
19-6	8	-	0,7	(2,9)	3	3,7	3,3	2,8	1,6	1,2	0,5
6-7	10	-	0,2	1,4	2,9	3,7	3,3	2,5	1,5	(1,5)	(0,8)
13-7	14	(1,5)	(1,6)	1,8	2,9	3,8	3,3	2,3	1,2	1	0,5
15-9	25	0,1	1,1	2,4	3,3	3,8	3,3	2,6	1,7	1,3	0,5
18-9	28	0,7	1,5	2,5	3,3	3,7	3,5	3	1,9	1,2	0,1
9-7	12	-	0,8	3	4	4,5	3,9	2,7	1,5	1,1	0,4
1-8	16	-	0,1	1,1	3,2	4,2	3,7	2,9	1,7	1,3	0,7
4-8	17	-	0,2	1	1,8	5,1	4,2	3	2,2	1,4	0,5
16-9	26	-	0,7	2,2	3,7	4,6	4,2	3,4	1,9	1,1	0,2
15-10	33	-	0,1	0,6	4	5,5	4,9	3,4	1,6	1	0,4

- Entre parenthèses, valeurs douteuses dues à des déformations de l'onde de crue.

DIV 9 248

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

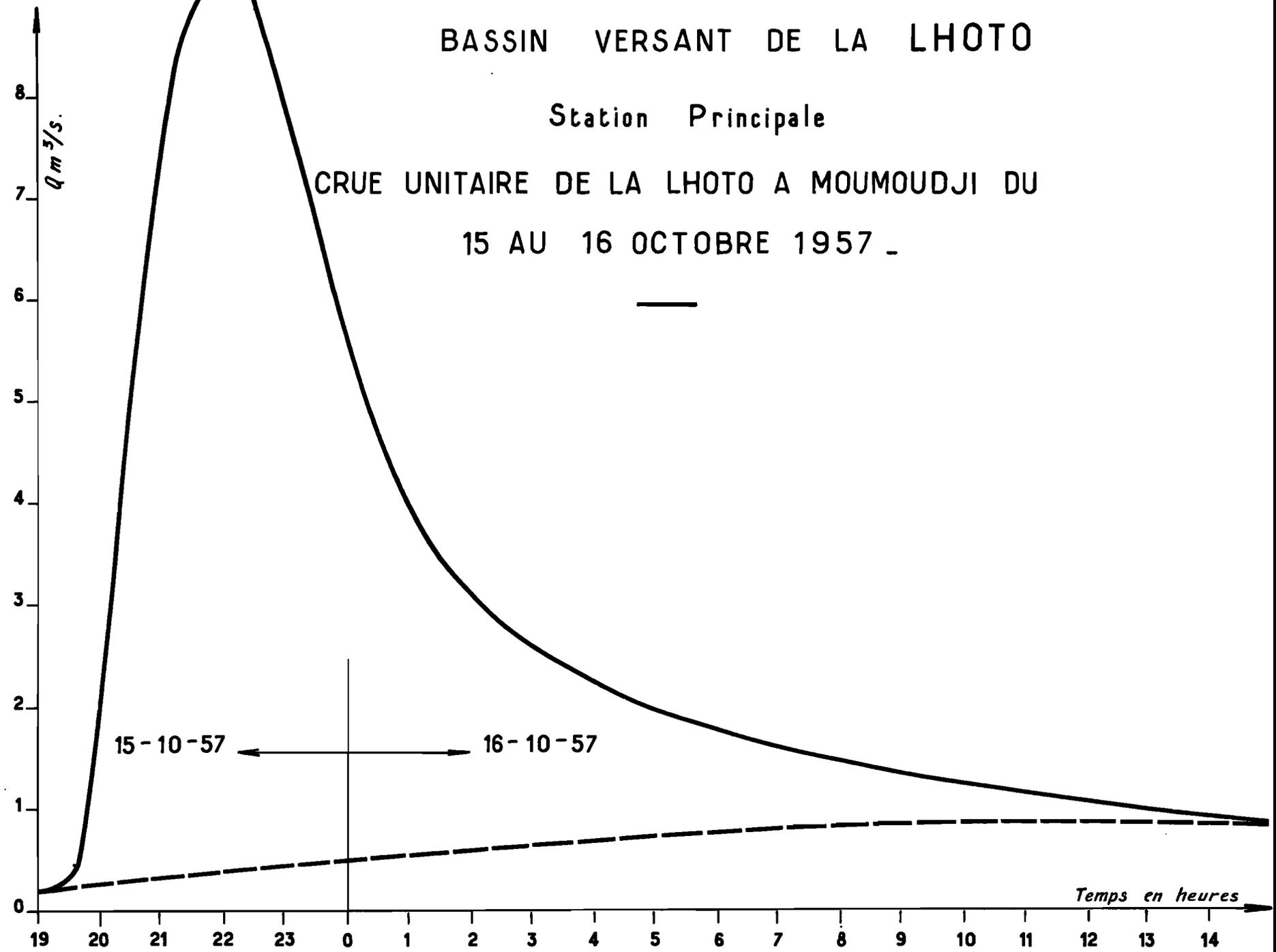
AO

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

# BASSIN VERSANT DE LA LHOTO

## Station Principale

### CRUE UNITAIRE DE LA LHOTO A MOUMOU DJI DU 15 AU 16 OCTOBRE 1957



Temps en heures

Il s'agit de DASSA-ZOUME, ABOMEY, BANTE, KETOU, SAVALOU, SAVE et ZAGWANADO. Nous disposons ainsi de 35 stations années. Le classement des averses par ordre décroissant est le suivant :

1) 157,9 mm	6) 109,6 mm
2) 138,2 -	7) 102,3 -
3) 138 -	8) 99,1 -
4) 127 -	9) 98,5 -
5) 123 -	10) 96,9 -

La pluie de fréquence décennale peut être prise égale à 130 mm, valeur intermédiaire entre les 3e et 4e rangs du classement.

Pour la LHOTO à MOUMOU DJI, dont le bassin de 45 km<sup>2</sup> est déjà grand, compte tenu des grosses averses observées en 1957, on peut admettre un abattement de 75 % sur la pluie ponctuelle de 130 mm, ce qui conduit à envisager une pluie moyenne de 100 mm. Un coefficient de ruissellement  $K_r$  égal à 30 % est plausible ; si l'on envisage une pluie utile de 80 mm (20 % de perte) avec un  $K_{ru}$  de 35 %, on arrive à un volume ruisselé équivalent de  $1.200.000 \text{ m}^3$ . Le débit de pointe moyen admis pour un  $V_r = 100.000 \text{ m}^3$  est de 4,8 m<sup>3</sup>/s, le débit de crue décennal sera de  $4,8 \times \frac{1.200.000}{100.000} = 57,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . En tenant compte de

l'écoulement de base, on peut prendre une valeur de 60 m<sup>3</sup>/s soit 1330 l/s.km<sup>2</sup>.

Sur le bassin amont de la LHOTO, la dispersion sera moindre ; estimée à 80 % l'abattement conduit à une pluie moyenne de 105 mm. Le coefficient de ruissellement retenu est de 20 % (25 % par rapport à la pluie utile, qui vaudrait ici 85 mm), et donne un volume ruisselé de 250.000 m<sup>3</sup>. Le diagramme de la crue n° 17 considéré comme le plus dangereux, présentait un débit de pointe de 0,65 m<sup>3</sup>/s pour 10.000 m<sup>3</sup> de ruissellement. Le débit de crue décennale sera de :  $0,65 \times \frac{250.000}{10.000} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$

Compte tenu du débit de base, on admettra 18 m<sup>3</sup>/s, soit 1500 l/s.km<sup>2</sup>

La même analyse pour le petit bassin de la SOUSSOU, conduit à une pluie moyenne de 110 mm (85 % d'abattement) qui ruissellera à 15 % : le volume ruisselé égale 125.000 m<sup>3</sup>.

En prenant une valeur moyenne relativement aux 3 diagrammes forts observés sur ce bassin, à savoir  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  pour  $10\ 000 \text{ m}^3$  de ruissellement, on arrive à un débit de crue décennale de l'ordre de  $1,2 \times \frac{125\ 000}{10\ 000} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$ .

10 000

Avec un  $\text{m}^3/\text{s}$  de débit de base, on obtient les valeurs de  $16 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $2\ 150 \text{ l/s.km}^2$ .

Ces valeurs de crue décennale, ainsi mises en évidence, appellent quelques restrictions. On doit se souvenir que la recherche des conditions limites de l'écoulement entreprise au début de cette étude, nous avait conduit à dire qu'aucune averse ne peut engendrer d'écoulement si elle n'a pas été précédée, durant les 2 mois antérieurs à son apparition, par un total de précipitation d'au moins 200 mm. Dans le cas présent, il faut admettre que l'apparition d'une crue maximum, telle que nous venons de la calculer, ne peut se faire que sous 2 conditions :

a) qu'il y ait une averse de fréquence décennale.

b) que cette averse puisse ruisseler, c'est-à-dire remplisse les conditions limites de l'écoulement rappelées ci-dessus. Autrement dit, les années déficitaires, comme 1956, où jamais le total de précipitations tombées en 2 mois n'excède 200 mm, une averse décennale ne ruisselle pas et il n'y aura pas de crue "décennale". Il va sans dire que cette condition restrictive à l'apparition d'une telle crue résultant d'une averse décennale, nous oblige à considérer la crue que nous venons de calculer comme étant d'une fréquence inférieure à 1/10.

On pourrait peut-être chercher à estimer la valeur réelle de cette fréquence en analysant la corrélation des 2 phénomènes : abondance pluviométrique et averse décennale, mais cela nous entraînerait trop loin, sans être sûr d'atteindre un résultat bien précis, étant donné la complexité du problème. Nous ferons donc, pour ce premier stade de nos études, comme si les crues calculées étaient décennales.

## J - Le TARISSEMENT -

Deux lectures quotidiennes d'échelle ont été effectuées sur la LHOTO et la SOUSSOU, jusqu'à l'arrêt de l'écoulement apparent. Alors que cet arrêt survient le

12 Décembre à MOUMOUDJI, et 3 jours plus tard à la station de la SOUSSOU, début Novembre. Ce très rapide tarissement du massif granitique, qui constitue cependant le réservoir d'eau le plus important, confirme l'existence d'un seuil argileux ou rocheux au débouché de la vallée de la SOUSSOU, comme nous l'avions suggéré préalablement pour expliquer certaines anomalies de l'écoulement.

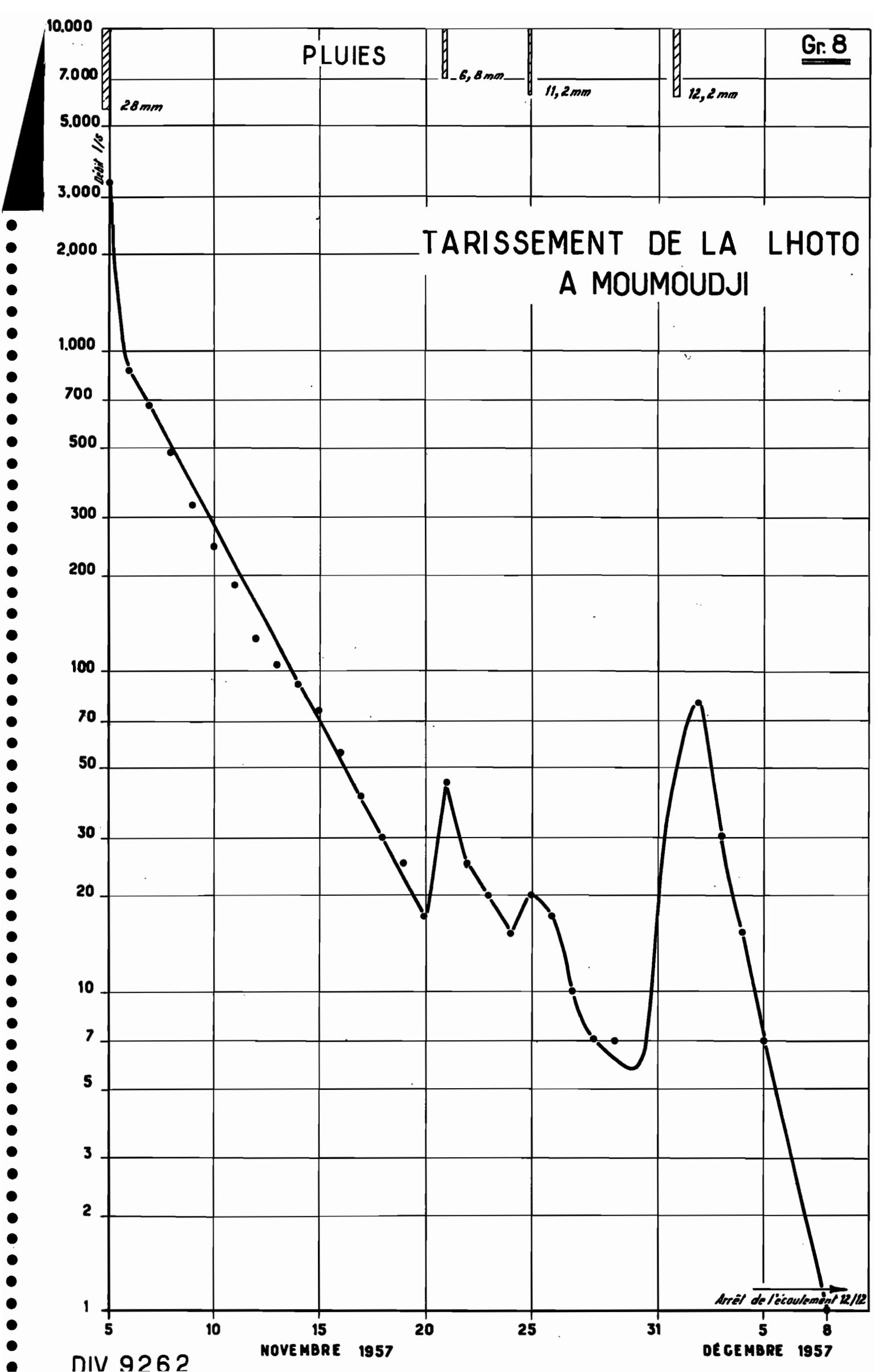
Le tarissement de la LHOTO, considéré comme une exponentielle décroissante, est représenté sur le graphique n° 8. Il est perturbé dans la dernière décade de Novembre, par 3 pluies qui regonflent l'écoulement. La période du 5 au 20 Novembre est suffisante pour montrer l'exactitude de cette assimilation mathématique. ( $Q = Q_0 e^{-\alpha t}$ ) ; le coefficient  $\alpha$  calculé sur cette quinzaine, vaut 0,28. L'étude des courtes périodes de tarissement, entre chaque crue, durant l'hivernage, nous avait conduit à un coefficient moyen du même ordre de grandeur.

Ce tarissement peut sembler rapide, il n'en fournit pas moins un volume d'écoulement non négligeable en Novembre et Décembre, comme on le verra au paragraphe suivant. Ce volume aurait certainement doublé si le seuil n'existait pas à l'issue des vallées granitiques, car pratiquement seuls les sols latéritiques et alluvionnaires (soit 28 km<sup>2</sup> sur 45) alimentent la LHOTO à la décrue. Pour la LHOTO à BOHM-BOHM, durant l'hivernage, on trouve un coefficient d'environ 0,07 ; c'est-à-dire que le tarissement serait plus lent qu'à MOUMOUDJI. Cela peut s'expliquer en supposant qu'entre BOHM-BOHM et MOUMOUDJI, les eaux en provenance du plateau ne servent, après le 12 Décembre, qu'à compenser l'évaporation dans les alluvions du lit, et n'atteignent pas la station aval (l'échelle de BOHM-BOHM n'a pas été lue en Novembre).

#### K -- BILAN HYDROLOGIQUE --

Les tableaux n° 8 et 9 récapitulent ces bilans effectués pour les 3 bassins, et la période Mai-Octobre 1957. Leur lecture appelle quelques remarques :

- 1) - mis à part les mois de Janvier à Avril dont l'apport pluviométrique est inférieur à l'évapotranspiration des bassins, le mois de Mai, très pluvieux, sert surtout à reconstituer les réserves en eau du sol. L'écoulement y est insignifiant : 1 à 3 %.



DIV 9262

NOVEMBRE 1957

DÉCEMBRE 1957

- 2) - les coefficients mensuels croissent régulièrement jusqu'en Octobre, où ils atteignent leurs valeurs maxima : 36 à 41 %.
- 3) - On n'attachera qu'une faible importance à ces coefficients mensuels, par suite de l'existence d'un débit de base continu en hivernage. Si l'on se reporte aux dates de tarissement, qui ont lieu généralement 30 à 40 jours après les dernières crues, on peut considérer que le temps de parcours des eaux infiltrées jusqu'à l'exutoire est du même ordre de grandeur ; et qu'ainsi l'écoulement souterrain d'un mois correspond grossièrement aux apports pluviométriques infiltrés le mois précédent.
- 4) - contrairement à ce que l'on observe pour le ruissellement (favorisé sur les sols alluvionnaires de la basse LHOTO) les écoulements sont plus abondants sur la SOUSSOU et la LHOTO amont qu'à MOUMOU DJI. Cela tient à l'importance des apports souterrains. Mais si cela se conçoit bien pour la SOUSSOU, il est cependant curieux de noter que la LHOTO à BOHM-BOHI a des coefficients d'écoulements légèrement supérieurs à ceux de la SOUSSOU, alors que ses apports souterrains devraient être proportionnellement moindres.
- 5) - pour l'année entière, on arrive à un coefficient d'écoulement de 16,1 % pour la LHOTO à MOUMOU DJI, et 1030 mm de déficit d'écoulement. En 1956, avec une pluviométrie moyenne de 900 mm, inférieure à ce déficit, on n'avait observé aucun écoulement (en fait 4.500 m<sup>3</sup> vers le 15 Octobre).

Il semble bien que toutes les années sèches, de pluviométrie inférieure à 1000 mm, ne doivent pas donner lieu à écoulement, dans la mesure où cette sécheresse se retrouve sur le plan de la répartition des pluies dans le temps (moins de 220 mm en 2 mois, cf paragraphe C).

L'année moyenne (environ 1020 à 1050 mm) ne doit pas engendrer d'écoulement important, certainement moins de 5 %. Une année très humide, bénéficiant en outre d'une crue exceptionnelle, ce qui ne fut pas le cas de 1957, pourrait peut-être donner lieu à un coefficient d'écoulement annuel, de 20 à 25 %, ce qui serait un maximum.

## BILANS HYDROLOGIQUES 1957

BASSIN de la SOUSSOU 7,4 km<sup>2</sup>

Période	H mm	VH m <sup>3</sup>	V <sub>e</sub> m <sup>3</sup>	LE mm	D.E. mm	K <sub>e</sub> %
Mai	239,0	1.770.000	54.960	7,4	231,6	3,1
Juin	173,5	1.284.000	284.530	38,5	135	22,1
Juillet	155	1.148.000	317.030	42,8	112,2	27,6
Août	150	1.110.000	349.110	47,2	102,8	31,5
Septembre	209	1.547.000	614.690	83,1	125,9	39,7
Octobre	101	747.000	173.180	23,4	77,6	23,2
Nov. Déc.	(57)	422.000	# 0	-	57	-
Mai Déc. 1957	1084,5	8.028.000	1793.500	242,4	842,1	22,3
Année 1957	1220 (1)	9.050.000	1793.500	242	978	19,8

BASSIN de la LHOTO à BOHM-BOHM 12 km<sup>2</sup>

Période	H mm	VH m <sup>3</sup>	V <sub>e</sub> m <sup>3</sup>	LE mm	D.E. mm	K <sub>e</sub> %
Mai	223,0	2.675.000	55.300	4,6	218,4	2
Juin	177,0	2.122.000	468.000	39,0	138,0	22
Juillet	119	1.428.000	370.600	30,9	88,1	26
Août	172	2.062.000	743.600	62,0	110	36
Septembre	193	2.317.000	893.000	74,5	118,5	38,5
Octobre	126	1.512.000	621.900	52	74,0	41
Nov. Déc.	(57)	684.000	(200.000)	17	(40,0)	(29)
Mai à Déc. 1957	1.067	12.800.000	3.352.400	280,0	787	26,2
Total 1957	1.220(1)	14.650.000	3.352.400	280	940	22,8

(1) Estimé d'après DASSA-ZOUME pour Janvier - Avril

TABLEAU N° 9

BILAN HYDROLOGIQUE 1957

BASSIN de la LHOTO à MOUMOU DJI 45 Km<sup>2</sup>

Période	H mm	VH en m <sup>3</sup>	V <sub>e</sub> m <sup>3</sup>	Le mm	D.E. mm	K <sub>e</sub> %
Mai	236	10.620.000	138.200	3,1	232,9	1,3
Juin	169	7.600.000	1.034.200	22,6	146,4	13,6
Juillet	142	6.380.000	1.074.800	23,9	118,1	16,8
Août	149	6.700.000	1.515.400	33,7	115,3	22,6
Septembre	187	8.410.000	3.044.700	67,7	119,3	36,2
Octobre	115	5.170.000	1.169.000	26	89	22,6
Nov. Déc.	57	2.565.000	947.000	(21)	(36)	(37)
Total						
Mai - Déc.	1.055	47.445.000	8.923.300	198,0	857,0	18,8
	(1)	(1)				
Année 1957	1.228	55.260.000	8.923.300	198,0	1030,0	16,1

(1) Chiffres estimés d'après la pluviométrie à DASSA-ZOUME pour Janvier à Avril.

## CHAPITRE III

- CAMPAGNE 1958 -

### A) PROGRAMME ET MOYENS MIS EN OEUVRE

L'abondante masse de documents fournis par les observations de 1957 et les résultats qui en découlent nous ont incité à apporter quelques modifications au plan d'équipement des bassins versants.

#### 1°) Hydrométrie

La station de l'OLODJO, qui fait double emploi avec celle de la SOUSSOU, a été convertie en simple échelle à maximums. Les observations sur la SOUSSOU, cours d'eau caractéristique du massif granitique, ont bien entendu, continué en 1958.

La station de BOHM-BOHM sur la LHOTO amont, représentative du plateau latéritique a, elle aussi, été muée en échelle à maximums ; son éloignement du campement de MOUMOUDJI rendait précaire l'observation complète des crues et les jaugeages de très hautes eaux.

Elle a été remplacée par une nouvelle station implantée sur la KOLOMANDJE. Ce cours d'eau est un affluent de rive droite de la LHOTO dans laquelle il se jette environ 700 mètres aval de MOUMOUDJI, pratiquement à la traversée de la route de SAVALOU. La station de mesures a été placée environ 500 mètres amont du confluent ; elle se compose d'un limnigraphe OTT et d'une échelle limnimétrique de contrôle de 2 mètres. A cet endroit, le bassin drainé par la KOLOMANDJE est de 13 km<sup>2</sup> (la LHOTO à BOHM-BOHM drainait 12 km<sup>2</sup>) ; il est de forme allongée : 6 km environ sur 2 à 2 km,5 de largeur maximale.

Le cours d'eau suit l'axe du bassin, sensiblement nord-ouest - sud-est. Il coule dans une vallée évasée occupée par des alluvions sablo-argileux; le reste du bassin, c'est-à-dire environ 50 à 60% est recouvert de sols à concrétions sur cuirasses. Les terrains sont les mêmes que ceux du bassin de la LHOTO.

Les caractéristiques de sols et de végétation sont les mêmes sur les bassins de la KOLOMANDJE et de la LHOTO amont. Le bassin de la KOLOMANDJE a des pentes légèrement plus faibles et un coefficient de forme moins bon, ce qui peut réduire quelque peu son aptitude au ruissellement.

## 2°) Pluviométrie

Les observations continues ont duré du 1er Mai au 1er Octobre, comme les années précédentes. La répartition des pluviomètres a été un peu modifiée pour tenir compte des nouveaux objectifs de la campagne sur le bassin de la LHOTO, il y avait :

- deux pluviographes seulement, le N° 1 au centre du bassin amont de BOHM-BOHM et le N° II au centre du bassin de la SOUSSOU
- 21 pluviomètres occupant la plupart les mêmes emplacements qu'en 1957.

Sur le bassin de la KOLOMANDJE, l'hydrologue a installé un pluviographe N° IV dans le centre sud, dès le 6 Mai. Un second pluviographe, N° III, placé à LYAOUA à l'extrême nord du bassin et 3 pluviomètres complétèrent l'installation courant Juillet.

DAH 9395

ED:

LE: 10-1-1961

DES: J. H. G. G. G.

VISA:

TUBE N°:

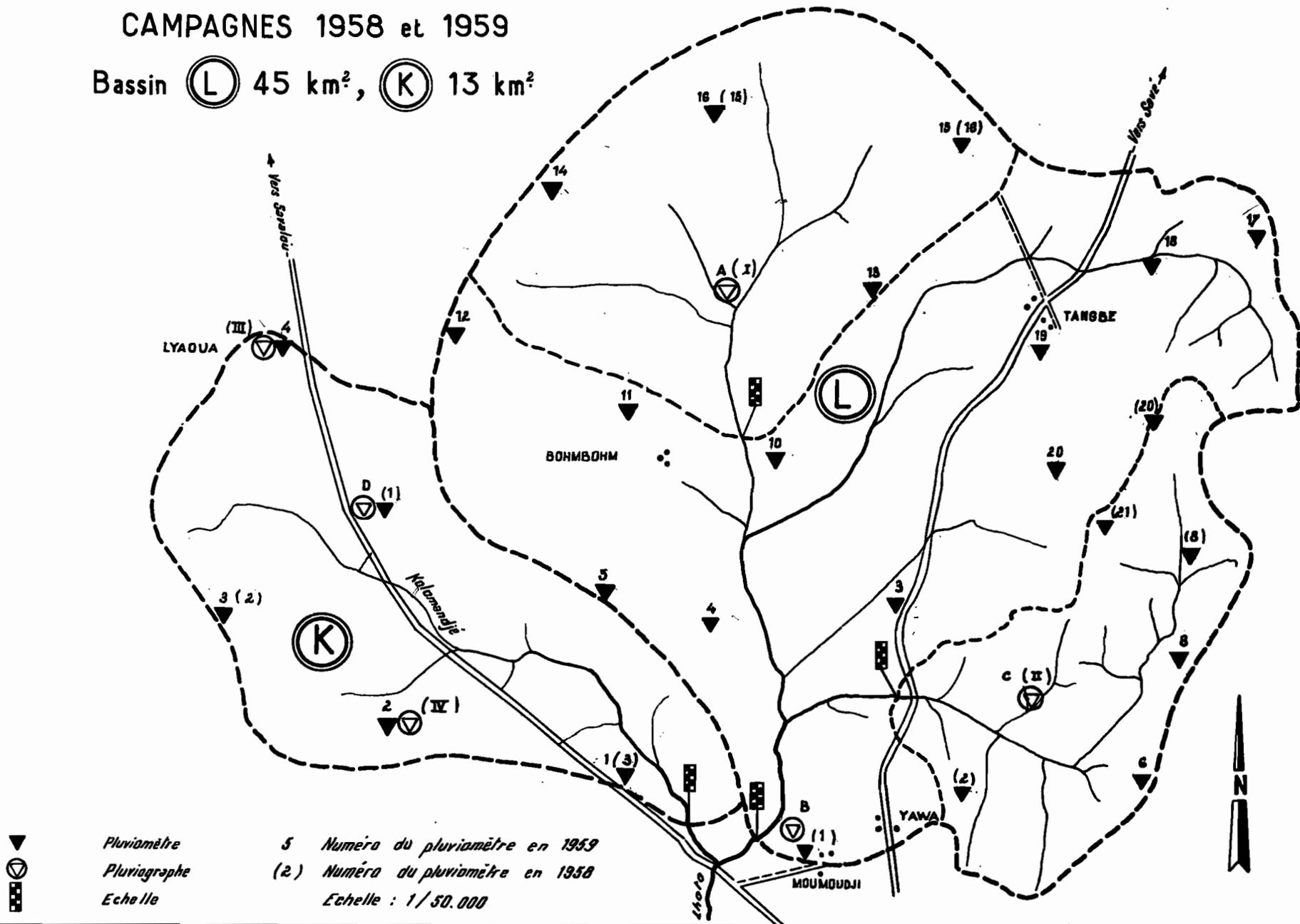
AO

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

# Bassins Versants de la LHOTO et de la KOLOMANDJE (DAHOMÉY)

CAMPAGNES 1958 et 1959

Bassin (L) 45 km<sup>2</sup>, (K) 13 km<sup>2</sup>



## B) OBSERVATIONS PLUVIOMETRIQUES

### B.1 - Pluviométries mensuelles et annuelle

La répartition mensuelle de la pluviométrie en 1958 est donnée par le tableau n° 1 pour la station de DASSA-ZOUME, d'une part, pour les moyennes pondérées sur les bassins de la LHOTO et de la KOLOMANDJE, d'autre part.

Il n'est tombé que 762 mm à DASSA-ZOUME en 1958 ; une telle sécheresse laisse supposer qu'aucun écoulement n'a pu se produire à MOUMOU DJI. C'est effectivement ce que les hydrologues ont constaté durant leur campagne.

Tout d'abord, l'année 1958 à DASSA-ZOUME est l'une des plus sèches observées depuis 1942 ; elle arrive en 16ème rang sur 17. Seule l'année 1948 avait reçu une pluviométrie inférieure, égale à 671 mm. La sécheresse de 1958 est donc plus accusée que celle de 1956 (1001 mm), année qui vient quand même en 11ème position sur 17. L'analyse statistique des totaux pluviométriques annuels relevés à DASSA-ZOUME ne dispose que de trop peu de matériaux avec 17 ans, pour donner des conclusions précises. L'irrégularité interannuelle importante semble de règle dans le DAHOMEY ; en première estimation, on peut concevoir que l'année 1958 est de fréquence décennale au plus, et certainement plus rare encore.

Le schéma de répartition mensuelle des pluies est le même qu'en 1956 ; mais la sévérité de la petite saison sèche est plus forte : pas de précipitations en Juillet, 45 mm en Août. Ce qui met à priori les pluies de Septembre et Octobre dans de très mauvaises conditions pour ruisseler.

Sur le bassin de la LHOTO, le total recueilli de Mai à Octobre atteint 454 mm contre 544 mm à DASSA-ZOUME, soit un coefficient de passage de 83%. Il est donc vraisemblable, en admettant un pourcentage du même ordre pour les autres mois, d'envisager que le total annuel des précipitations n'a pas excédé 650 à 680 mm sur le bassin de la LHOTO.

Le bassin de la KOLOMANDJE, plus petit, bénéficie d'un coefficient de passage meilleur pour la période Mai-Octobre : 89% correspondant à 485 mm. Le total annuel doit être voisin de 700 mm.

La lecture des hauteurs moyennes mensuelles sur le bassin de la LHOTO laisse présager qu'aucune averse n'a pu bénéficier d'un terrain suffisamment saturé pour ruisseler. Nous avons montré dans le rapport sur la campagne 1957 (paragraphe C "La pluviométrie de 1957 et les conditions limites d'écoulement") qu'une averse ne pouvait donner lieu à écoulement que si le total des précipitations tombées au cours des 2 mois précédents dépassait 220 mm. Nous avons examiné toutes les averses observées en 1958, par rapport au total pluviométrique des deux mois antérieurs. Deux d'entre elles, seulement, ont dépassé 200 mm de pluies antérieures, et atteint 215 mm :

- la première de 2 mm n'aurait pas pu ruisseler car la limite inférieure est de 4 mm, même si le sol est bien saturé
- la seconde avec 12 mm aurait pu ruisseler si les pluies antérieures avaient dépassé 240 mm.

Aucun écoulement n'a été observé sur le bassin de la KOLOMANDJE. Il est vraisemblable que les conditions limites y sont comparables à celles du bassin de la LHOTO.

#### B.2.- Les averses observées

Pendant les 6 mois d'observations, on a enregistré 42 et 38 averses ayant respectivement couvert tout ou partie des bassins de la LHOTO et de la KOLOMANDJE.

Pour étudier leur importance, nous allons prendre le pluviomètre n° 1 placé à MOUMOUJJI. Voici la répartition en fréquences des pluies observées :

Mois	0 à 10mm	10-20mm	20-30mm	30-40mm	40-50mm	50-60mm	Total
Mai	8	-	1		1	1	11
Juin	5	4					9
Juillet							0
Août	4	1			1		6
Septembre	5	1		1	1		8
Octobre	4	1	3				8
Total Mai	26	7	4	1	3	1	42
Octobre							

On constatera que si le pourcentage des pluies inférieures à 10 mm est élevé (plus de 60%), il y a cependant un certain nombre d'averses notables qui, si elles avaient rencontré un sol suffisamment saturé, auraient donné des crues assez abondantes.

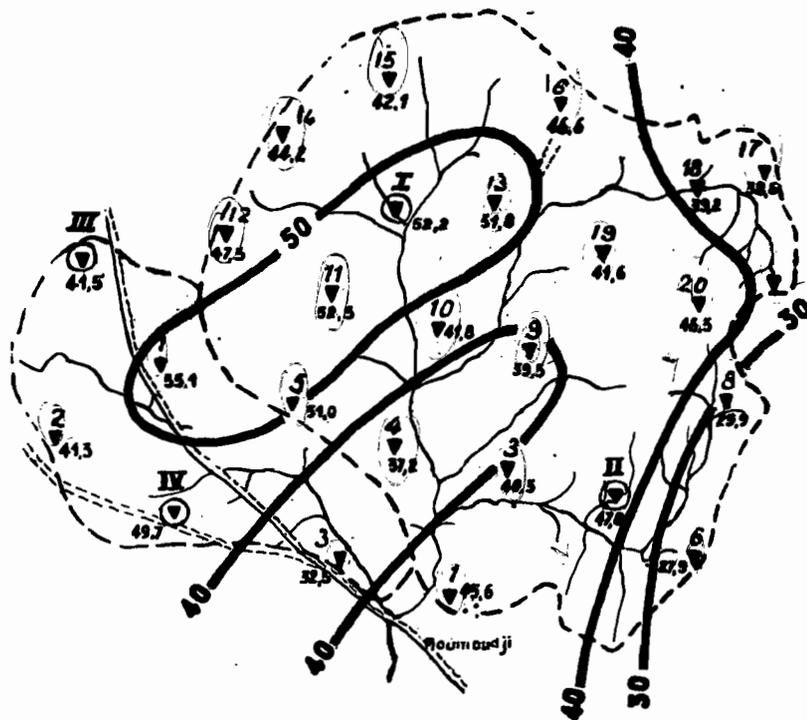
Les deux plus fortes précipitations observées sont tombées, l'une le 31 Mai, l'autre le 15 Août, succédant toutes deux à des totaux de pluies inférieurs à 100 mm pour les deux mois antérieurs.

- le 31 Mai, la hauteur maximale fût de 57,5 mm à MOUMOUDJI et subit 67% de réduction pour donner 38,5 mm de pluie moyenne. Il s'agit d'une tornade survenant brutalement avec violence : 30 minutes à 90 mm/h et 60 mm/h aux deux enregistreurs ; une traine de 45 à 90 minutes fait suite à cette rafale.

- le 15 Août 1958 (voir le graphique joint) la précipitation est centrée sur le haut bassin de la LHOTO : 52,5 mm au pluviographe n° 1.

Le coefficient de réduction est normal : 84% (P = 44,1 mm). Mais cette apparente homogénéité dans les hauteurs relevées ne se retrouve pas dans la répartition dans le temps, il s'agit d'une tornade arrivant par l'est vers 16 h 50' et n'atteignant la limite ouest du bassin qu'à 18 h ; la pluie dure jusqu'à 19 h 30' à l'est et 21 h 45' à l'ouest. Les pointes d'intensité sont nombreuses et ne se retrouvent pas aux divers pluviographes.

Bassin versant de la LHOTO



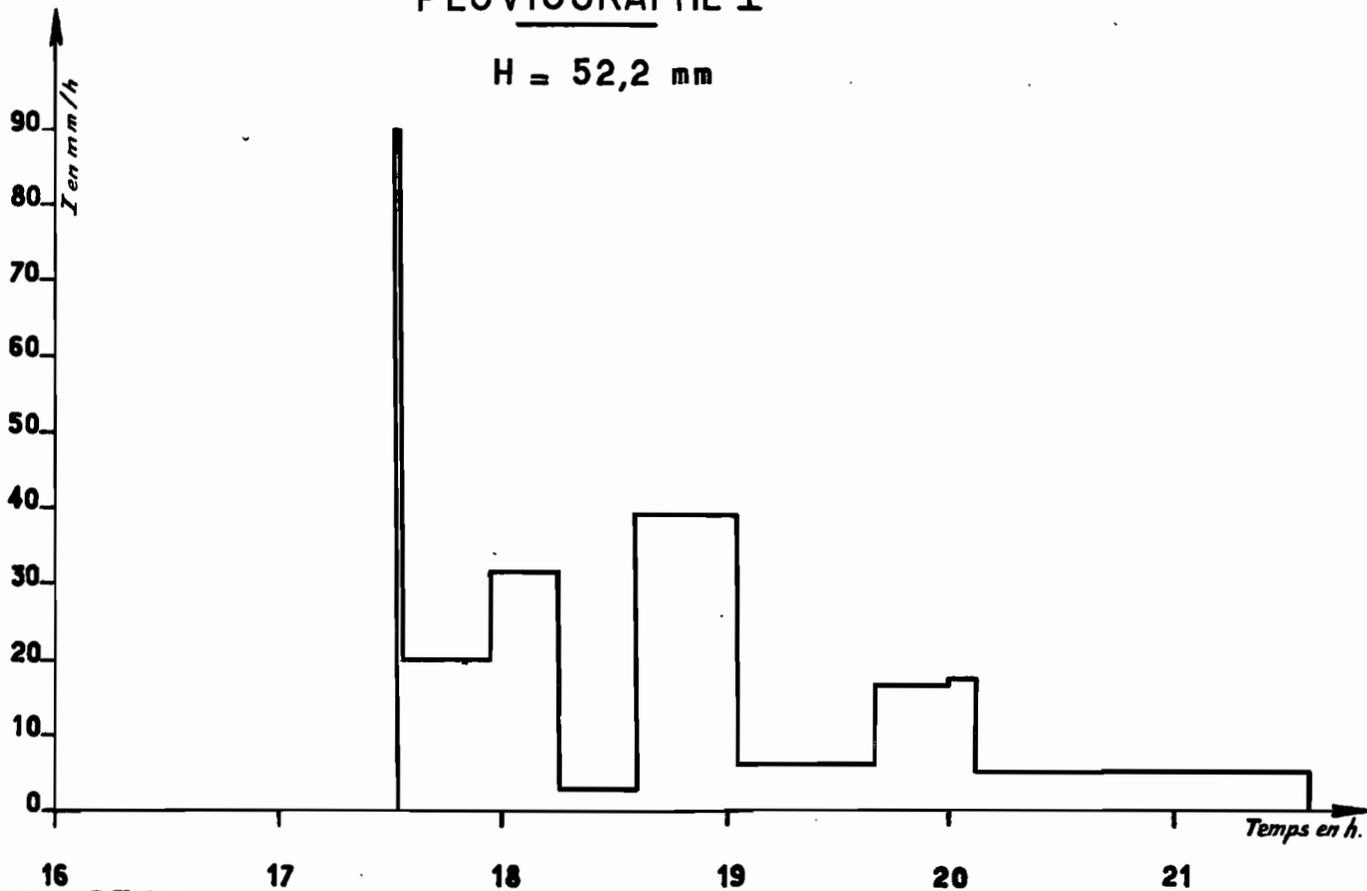
▼ Pluviomètre  
 Ⓞ Pluviographe

$P_m = 27,9 \text{ mm}$   
 $P_M = 55,1 \text{ mm}$   
 $P = \begin{cases} 44,1 \text{ mm} & \text{Lhoto} \\ 44,8 \text{ mm} & \text{Kolomandjé} \end{cases}$

Isohyètes pour l'averse du 15-8-58

PLUVIOGRAPHE I

$H = 52,2 \text{ mm}$



Il est inutile de s'étendre plus longuement sur 1958. Année d'une remarquable sécheresse, elle permet de confirmer les hypothèses émises en 1957 sur les conditions limites d'écoulement telles qu'elles ressortaient de l'analyse des campagnes 1956 et 1957.

Le point essentiel ainsi dégagé est qu'à une irrégularité notable de la pluviométrie en correspond une beaucoup plus grande de l'écoulement sur ces sols du centre du DAHOMEY.

1956	1.000 mm de pluie à DASSA-ZOUME	env. 0%	d'écoulement	
1957	1.327 mm	"	"	16%
1958	762 mm	"	"	0%

Tableau n° 1

REPARTITION MENSUELLE DE LA PLUVIOMETRIE EN 1958

(en millimètres)

Mois	DASSA	Moy. s/B.V.		Nombre de jours de pluie		
	ZOUME	LHOTO	KOLOMANDJE	s/la LHOTO	s/la KOLOMANDJE	
Janv.	5					
Févr.	0					
Mars	18					
Avril	162					
Mai	130	123 (1)	150 (1)	11		8
Juin	89	82	69 (1)	9		6
Juil.	0	0	0	0		0
Août	45	69	71	6		6
Sept.	170	106	119	8		9
Oct.	110	74	76	8		9
Nov.	33					
Déc.	0					
Total						
Mai- Octobre	544	454	485	42		38
Année 1958	762					

(1) Moyenne estimée à partir de quelques pluviomètres seulement.

## CHAPITRE IV

### CAMPAGNE 1959

#### A.1 - MOYENS MIS en OEUVRE

Comme il n'y a eu aucune crue en 1958, le dispositif d'observations installé cette année-là a été maintenu en 1959.

Au point de vue hydrométrique, les stations principales restent celles de la LHOTO à MOUHOUDJI (45 km<sup>2</sup>) et de la KOLOMANDJE (13 km<sup>2</sup>). Au point de vue pluviométrique, quelques modifications de détails ont été apportées au plan de 1958 :

- 4 pluviographes se répartissent comme suit : A sur la Haute-LHOTO, C sur la SOUSSOU, B à MOUHOUDJI et D sur la KOLOMANDJE.
- 20 pluviomètres dont les emplacements correspondent généralement à ceux de 1958, quelques numéros d'ordres étant différents.

Comme les années précédentes, les observations continues ont duré 6 mois, de Mai à Octobre.

#### A.2 - EVAPORATION

En dehors du Chapitre I sur la campagne 1956, dans lequel nous avons indiqué les valeurs observées de Juin à Décembre sur bac Colorado enterré à MOUHOUDJI, il n'a pas été fait allusion aux mesures d'évaporation sur eau libre.

Ces mesures ont été poursuivies en 1957, 1958 et 1959 selon les disponibilités en personnel. L'ensemble est cohérent et la précision des relevés excellente. Nous

donnons ci-dessous les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation sur bac Colorado, en millimètres par jour, pour toute la période étudiée.

:Année:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1956						4,2	3,8	3,7	3,8	4,5	5,1	4,3
1957	4,8	6,7	6,7	5,2	5,1	3,7	3,1	2,8	3,2	3,5	4,1	3,6
1958	3,9	6,0	7,6	5,7	4,9	3,9	4,8	4,3	3,2	4,2		
1959					5,4	4,6	3,6	3,5	3,3	4,2		
Moy.	4,4	6,3	7,2	5,4	5,1	4,1	3,8	3,6	3,4	4,1	4,6	3,9

Les valeurs mensuelles de l'évaporation suivent celles de la température et de l'hygrométrie. Elles passent par un maximum de saison sèche qui se situe en Mars, mois où l'évaporation peut atteindre 8 mm certaines journées, en restant toujours supérieure à 6 mm, les jours sans pluie. L'évaporation diminue graduellement jusqu'à son minimum d'Août de l'ordre de 3 mm. Suivant les caractéristiques pluviométriques de l'année, ce minimum sera très prononcé (2,8 mm en 1957) ou sera à peine marqué comme en 1958. On observe un maximum secondaire en Novembre, l'évaporation en Décembre étant inférieure à celle du premier trimestre : ceci résulte de l'influence des vents du Nord-Est qui soufflent quelques jours par an, au cours de cette saison sèche. Seule l'année 1957 a été observée complètement. L'évaporation totale est de l'ordre de 1590 mm ; il s'agit d'une année très pluvieuse au cours de laquelle l'évaporation a été faible.

On remarque en effet que la sécheresse de 1958 a été de pair avec une forte évaporation : 1475 mm durant les 10 premiers mois. En estimant l'évaporation de Novembre et Décembre comparable à celle de 1956, autre année peu arrosée, on arrive à un total annuel de 1750 mm pour 1958.

L'implantation du bac Colorado à proximité du lit de la LHOTO, dans une zone peu ombragée, sous climat équatorial de transition, nous incite à admettre que les relevés effectués donnent sensiblement, sans correction, l'évaporation sur une grande nappe d'eau libre.

On peut admettre que l'évaporation moyenne dans la région de DASSA-ZOUME est d'environ 1650 mm. Pour des années très sèches ou très humides - de fréquence décennale par exemple - on pourra admettre des valeurs de 1550 et 1750 mm.

## B. LES OBSERVATIONS PLUVIOMETRIQUES

### B.1. L'année 1959 et les conditions d'écoulement

On trouvera sur le tableau n°1 rassemblées toutes les données relatives à la pluviométrie de l'année à DASSA-ZOUME et sur les deux bassins versants de la LHOTO et de la KOLOMANDJE.

Le total des précipitations recueillies à DASSA-ZOUME atteint 1157 mm, chiffre légèrement supérieur à la moyenne. Mais, contrairement aux trois années précédentes, la station a été défavorisée vis-à-vis du bassin de la LHOTO lequel reçoit davantage d'eau. On a en effet relevé 940 mm sur ce dernier (et 928 mm sur celui de la KOLOMANDJE) entre le 1er Mai et le 31 Octobre, contre 850 mm à DASSA-ZOUME. Le total pluviométrique annuel atteint 1200 mm sur le bassin de la LHOTO, ce qui est très proche de celui de 1957 : 1228 mm. Il n'a par contre été observé que 22 crues contre 34 en 1957. Nous en verrons les raisons plus loin.

Si l'on reprend l'analyse statistique des pluviométries annuelles à la station de DASSA-ZOUME, pour la période 1942-1959, soit sur 18 ans, on constate que l'ajustement par une loi de GAUSS caractérise le phénomène par ces deux variables :

- la pluviométrie moyenne  $P = 1100 \text{ mm}$
- l'écart-type  $= 250 \text{ mm}$

L'échantillon de 18 valeurs est un peu faible, et il est difficile de voir si l'ajustement effectué est correct. Quoiqu'il en soit, c'est un moyen simple d'évaluer les fréquences à attribuer à certaines années. Avec l'écart-type de 250 mm, on trouve des pluviométries décennales sèche et humide valant respectivement 780 et 1420 mm.

Tableau n°1

REPARTITION MENSUELLE de la PLUVIOMETRIE en 1959

Mois	DASSA-ZOUME	Hauteur moyenne en mm		Nombre de jours de pluie	
	en mm	LHOTO	KOLOMANDJE	LHOTO	KOLOMANDJE
Janv.	71	(60)	(60)		
Fév.	43	(35)	(35)		
Mars	60	65 (1)	65 (1)		
Avril	114	95 (1)	95 (1)		
Mai	146	162	106	10	9
Juin	73	129	111	10	10
Juillet	167	151	215	15	16
Août	99	136	107	8	8
Sept.	252	186	204	11	11
Oct.	113	176	185	11	11
Nov.	19	5 (1)	5 (1)		
Déc.	0	0	0		
Mai -					
Oct.	850	940	928	65	65
Total					
1959	1157	1200	1188		

(1) Moyennes estimées d'après les relevés du pluviomètre n° 1 à MOUMOU DJI, le seul observé ces 3 mois-là.

Les chiffres entre ( ) sont estimés d'après DASSA-ZOUME.

Nous avons réuni dans le tableau ci-dessous les 4 années d'observations avec leur rang dans la série des 18 valeurs et la fréquence au dépassement attribuée dans l'hypothèse de l'ajustement.

Année	Pluviométrie	Rang	Fréquence
1956	1001	12ème	0,66
1957	1327	4	0,18
1958	763	17	0,912
1959	1157	8	0,40

Nous vérifions ainsi ce que nous avons dit dans les chapitres précédents, à savoir que la pluviométrie de 1957 était de fréquence quinquennale humide, et celle de 1958 de fréquence décennale sèche.

Quant aux années 1956 et 1959, leurs pluviométries s'éloignent peu de celle de l'année moyenne et, si l'une est déficitaire et l'autre excédentaire, leur éventualité d'apparition est voisine de 1 année sur 3.

En 1959, la répartition mensuelle a présenté les particularités suivantes :

- précipitations excédentaires en Janvier et Février
- déficit accusé en Juin et en Octobre
- abondance relative d'Août et Septembre, la petite saison sèche étant à peine marquée.

Ce schéma entraîne deux conclusions quant aux possibilités de ruissellement :

- faiblesse de la première saison des pluies
- abondance de la deuxième saison.

Pratiquement, on a en effet observé la première crue en fin Juillet seulement, le lit de la LHOTO étant resté à sec tout le premier semestre. Il est certain que l'exceptionnelle sécheresse de 1958 a dû abaisser notablement le niveau des réserves, que les précipitations du premier semestre 1959 ont tout juste pu compenser.

Si l'on entre dans le détail des conditions de ruissellement propres à chaque averse, on retrouve pratiquement les résultats mis en lumière en 1957 et confirmés en 1958. Une averse ne peut ruisseler sur le bassin de la LHOTO que si le total des précipitations des deux mois précédents excède un certain seuil. Peut-être, par suite de la sécheresse de 1958, ce seuil est légèrement plus élevé en 1959 qu'en 1957. Il est de :

- 200 mm pour toute averse quelle que soit sa hauteur
- 230 mm pour une averse de 20 mm (220 mm en 1957)
- 260 mm (contre 250 mm en 1957) pour une averse de 10 mm

On conviendra que cet écart est peu important, compte tenu de la lourdeur du procédé qui consiste à additionner toutes les averses sans tenir compte ni de leur importance, ni de leur répartition dans l'espace.

Cette condition limite du ruissellement n'est pas un cas particulier pour la LHOTO seule, car nous l'avons vérifié pour le bassin de la KOLOMANDEJE. La juxtaposition sur un même graphique des averses de 1958 et 1959 sur ce bassin, (leur hauteur en abscisses et le total des précipitations des deux mois précédents en ordonnées) fait apparaître une courbe limite d'allure comparable à celle du bassin de la LHOTO. En voici les résultats chiffrés :

- jamais d'écoulement pour une averse inférieure à 4 mm
- nécessité de 300 mm de pluies antérieures pour que ruisselle une averse de 10 mm,
- la limite s'abaisse à 240 mm pour une averse de 20 mm,
- pour des averses supérieures à 40 mm, nous n'avons pas d'éléments, mais il semble bien que la limite reste supérieure à 200 mm.

Dans l'ensemble, ces conditions sont légèrement plus sévères que celles de la LHOTO.

B.2 - Les averses observées

Pendant la période de Mai à Octobre qui a pratiquement reçu la totalité des précipitations de l'année, on a relevé 65 averses ayant intéressé tout ou partie des bassins de la LHOTO et de la KOLOMANDJE.

L'examen de ces averses au pluviographe B de MOUMOU DJI permet d'en connaître l'importance ; on en trouvera ci-dessous la liste classée par tranches de pluies de 10 mm.

Mois	0-10mm	10-20mm	20-30mm	30-40mm	40-50mm	50-60mm	Total
Mai	4	2	2		1		9
Juin	5	3	2				10
Juillet	10	2	2	1	1		16
Août	5	1		1	1		8
Septembre	4	5		1		1	11
Octobre	3	5	2		1		11
Total Mai Octobre	31	18	8	3	4	1	65

Si l'on veut bien se rappeler les résultats de l'année 1957, on constatera que pendant la même période Mai-Octobre :

a) le nombre de jours de pluie, 65, est nettement inférieur à celui de 1957, égal à 83

b) les précipitations supérieures à 10 mm sont plus nombreuses en 1959, par contre : 34 contre 29.

Au total, les possibilités de ruissellement sont donc comparables. Quant aux très fortes précipitations, elles n'atteignent pas celle de Mai 1957 dont la hauteur maximale ponctuelle fut de 110 mm. Par contre, les deux plus fortes averses de 1959 sont supérieures à celle du 4-8-57 qui venait en 2ème rang en 1957 ; il s'agit des pluies du 31 Août et du 16 Septembre.

- l'averse n° 2 du 31 Août a une hauteur maximale de 87,6 mm au pluviomètre n° 18, situé sur le bassin de l'OLODJO (N.E.) et admet un coefficient de réduction  $K = 60\%$ , la majeure partie du bassin n'ayant pas reçu plus de 40 mm. La hauteur moyenne vaut 52,9 mm. Tombée après une période sans pluie de 20 à 30 jours (fin Juillet-20 août), cette averse n'a pas entraîné de crue importante.

- l'averse du 26 Septembre présente une importance comparable. Centrée sur le milieu du bassin de la KOLOMANDJE et l'est de celui de la LHOTO, elle atteint 86,5 mm à la limite de ces bassins (pluviomètre n° 5). Le coefficient de réduction est très faible  $K = 52\%$  pour la LHOTO, tout le nord du bassin n'ayant pas reçu plus de 20 mm. La pluie moyenne est de 45,5 mm. Il s'agit en fait de 3 averses successives dont la première fournit 90% du total tombé environ. Cette première averse a duré 45 minutes sur tout le bassin couvert en même temps ; les intensités enregistrées vont de 45 à 60 mm/h pour les zones peu arrosées à 100 et 150 mm/h au pluviographe D, placé près de l'épicentre de la précipitation. Sur le bassin de la KOLOMANDJE, la pluie est plus homogène, avec un coefficient de réduction de 77% ( $P = 67$  mm en moyenne). Les crues résultantes comptent parmi les plus remarquables des deux cours d'eau.

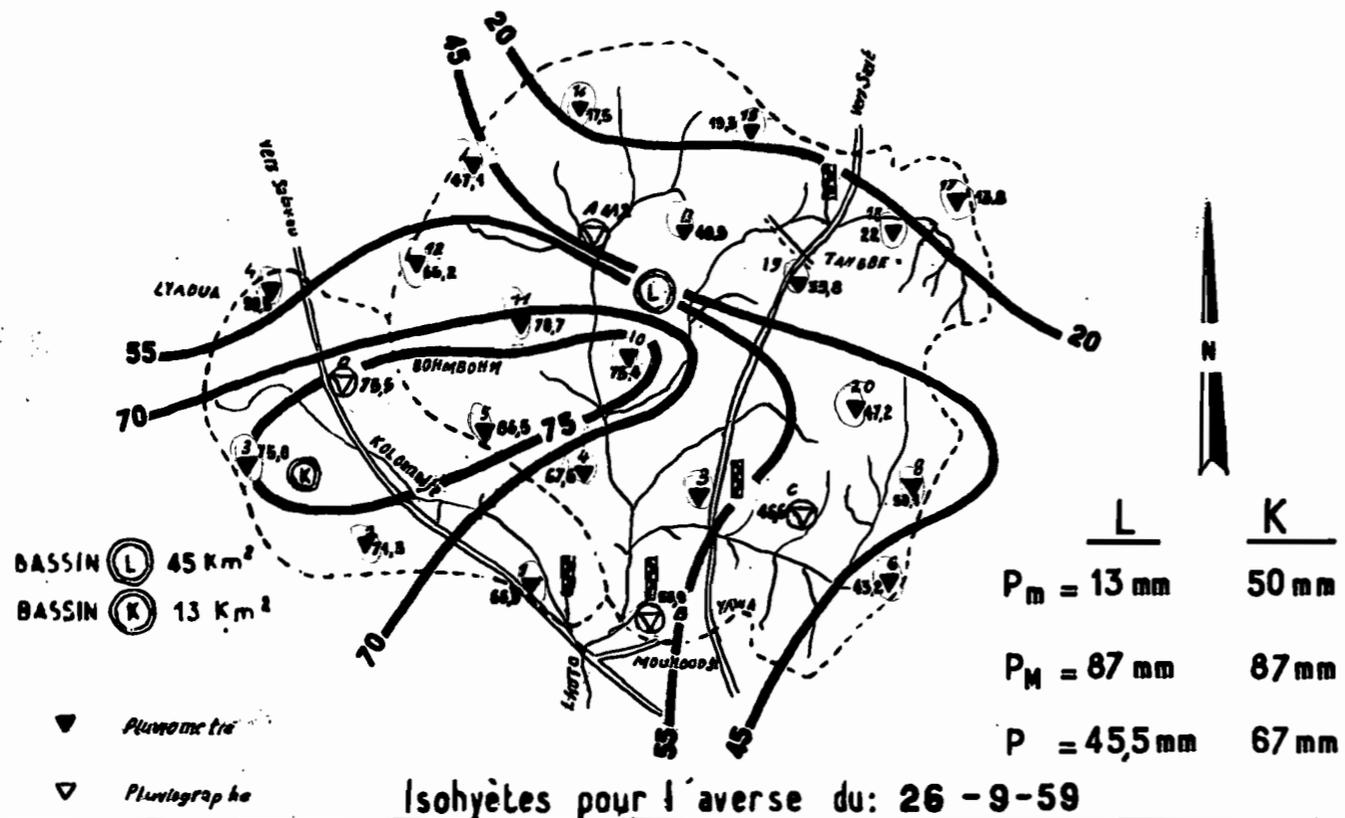
Il nous faut encore signaler une averse moins importante certes, mais qui ayant bénéficié de bonnes conditions de saturation d'une part, et de répartitions dans le temps et l'espace favorables, a entraîné de fortes crues. Il s'agit de l'averse du 9 Octobre, centrée sur l'aval du bassin de la LHOTO, ( $P_M = 53,8$  mm au pluviographe C). L'homogénéité est bonne et le coefficient de réduction élevé atteint 70% pour la LHOTO et 82% pour la KOLOMANDJE ; les pluies moyennes sont respectivement de 37,8 et 42 mm.

La précipitation a été très courte et très intense ; elle a duré de 30 à 45 minutes avec des intensités de 40 à 60 mm/h atteignant plus de 100 mm/h (150 mm/h au plus) à tous les enregistreurs pendant 5 à 10 minutes.

Aucune de ces précipitations n'est exceptionnelle. Celles dont les hauteurs maximales ont atteint 85 mm peuvent être considérées comme étant de

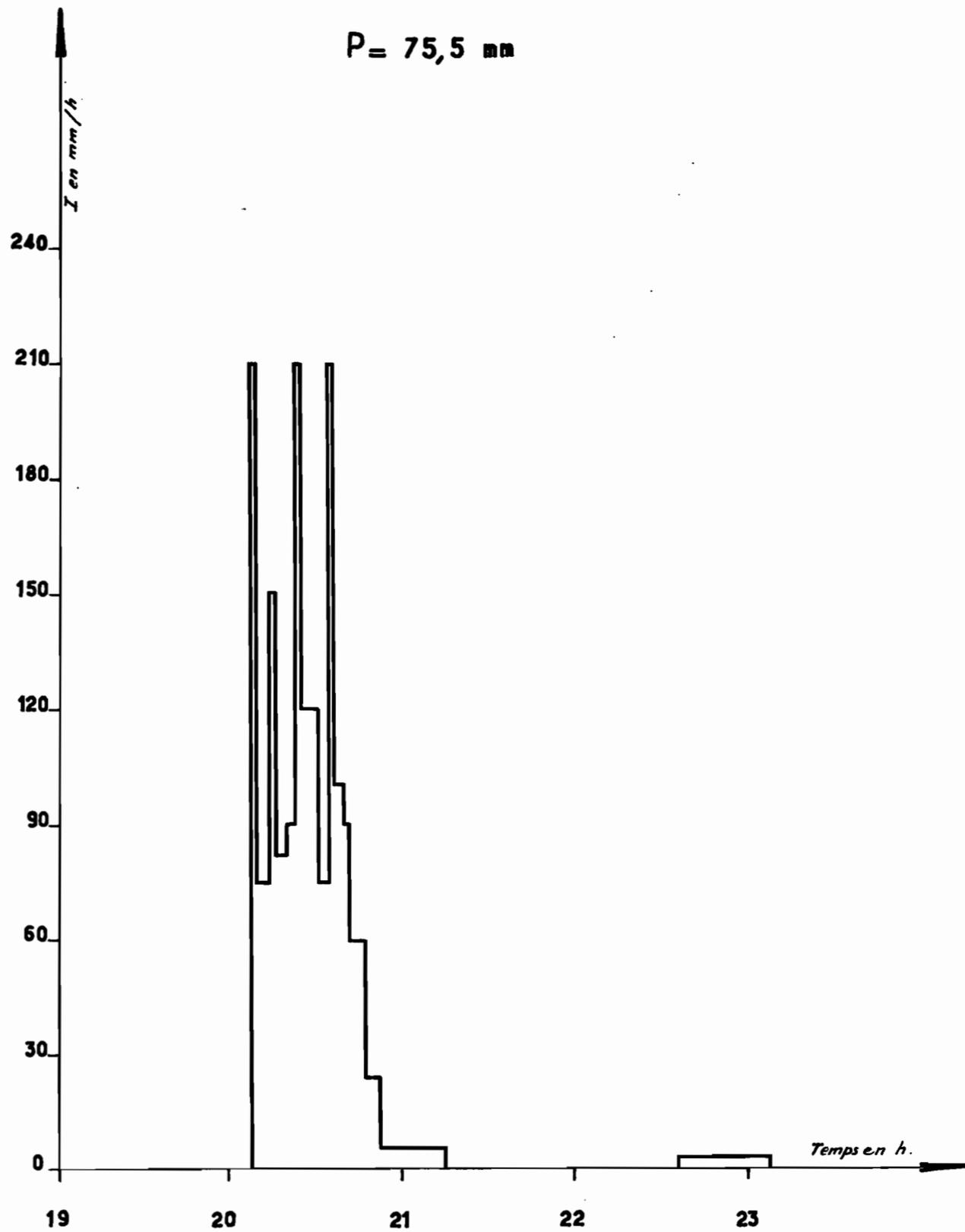
# BASSINS VERSANTS DE LA LHOTO ET DE LA KOLOMANDJE

AVERSE N°9



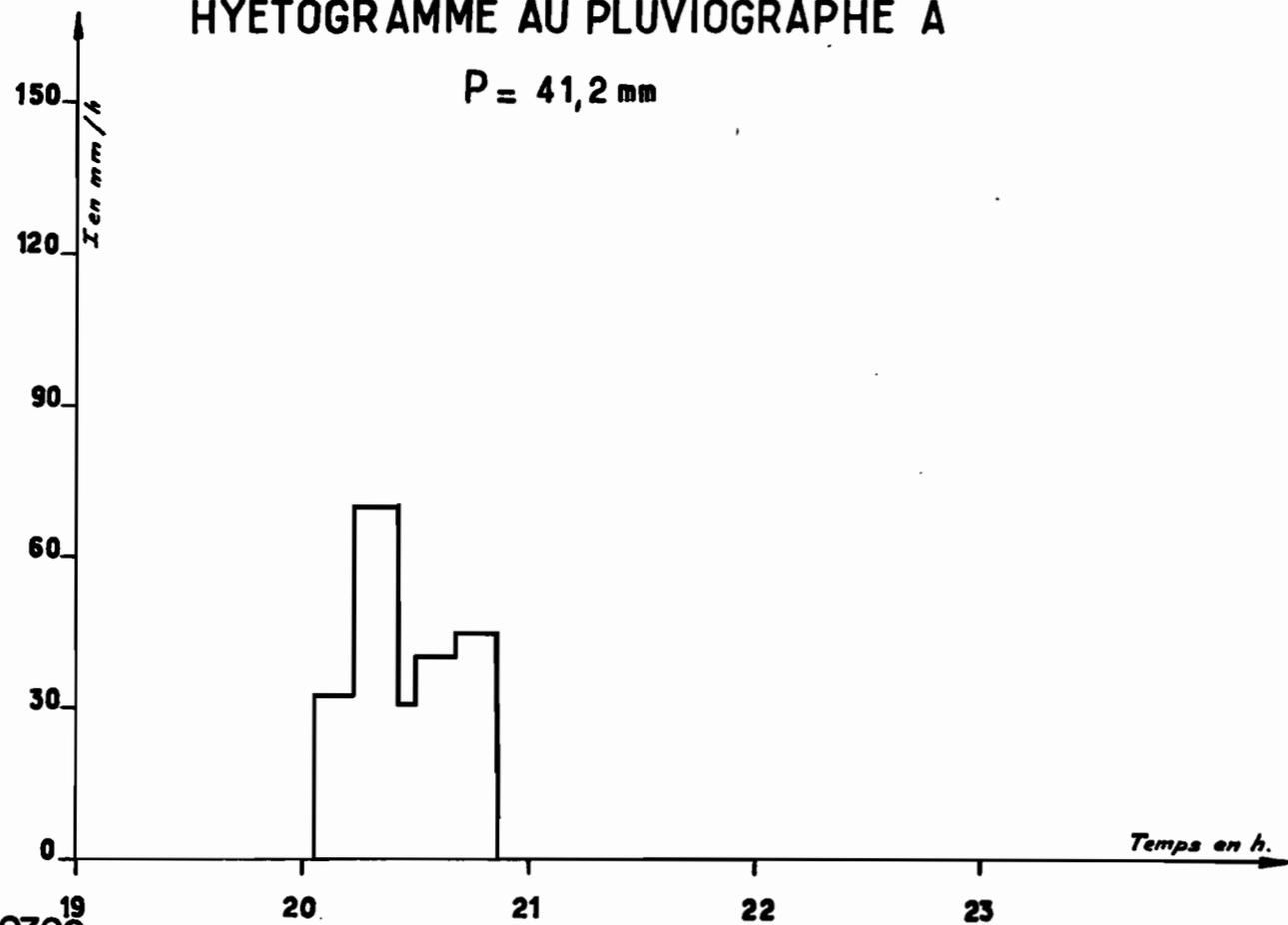
# HYÉTOGRAMME AU PLUVIOGRAPHE D

P = 75,5 mm



# HYÉTOGRAMME AU PLUVIOGRAPHE A

P = 41,2 mm



fréquence légèrement inférieure à la fréquence annuelle, celle-ci s'appliquant à une précipitation de 70 à 75 mm environ. Mais nous sommes très en dessous de l'averse décennale telle qu'on l'a définie en 1957 et dont le maximum serait de 130 mm environ.

### C) LES CRUES OBSERVEES -

Bien que l'étalonnage de la station de MOU-MOUDJI ait été réalisé correctement en 1957 par de nombreux jaugeages, nous avons tenu à contrôler cette courbe de tarage en 1959. En effet, on avait remarqué en 1957 que le fond du lit composé d'alluvions sableuses pouvait être fortement remanié à la suite de crues importantes.

Druze jaugeages de contrôle ont été effectués en 1959, entre 0m,20 et 2m,73. La cote maximale atteinte était de 2 m,78 et l'écoulement cesse entre 0,07 et 0 m,10. Toute la gamme des hauteurs d'eau est ainsi explorée. On constate que les résultats obtenus sont supérieurs à ceux de 1957, sauf pour les très basses eaux.

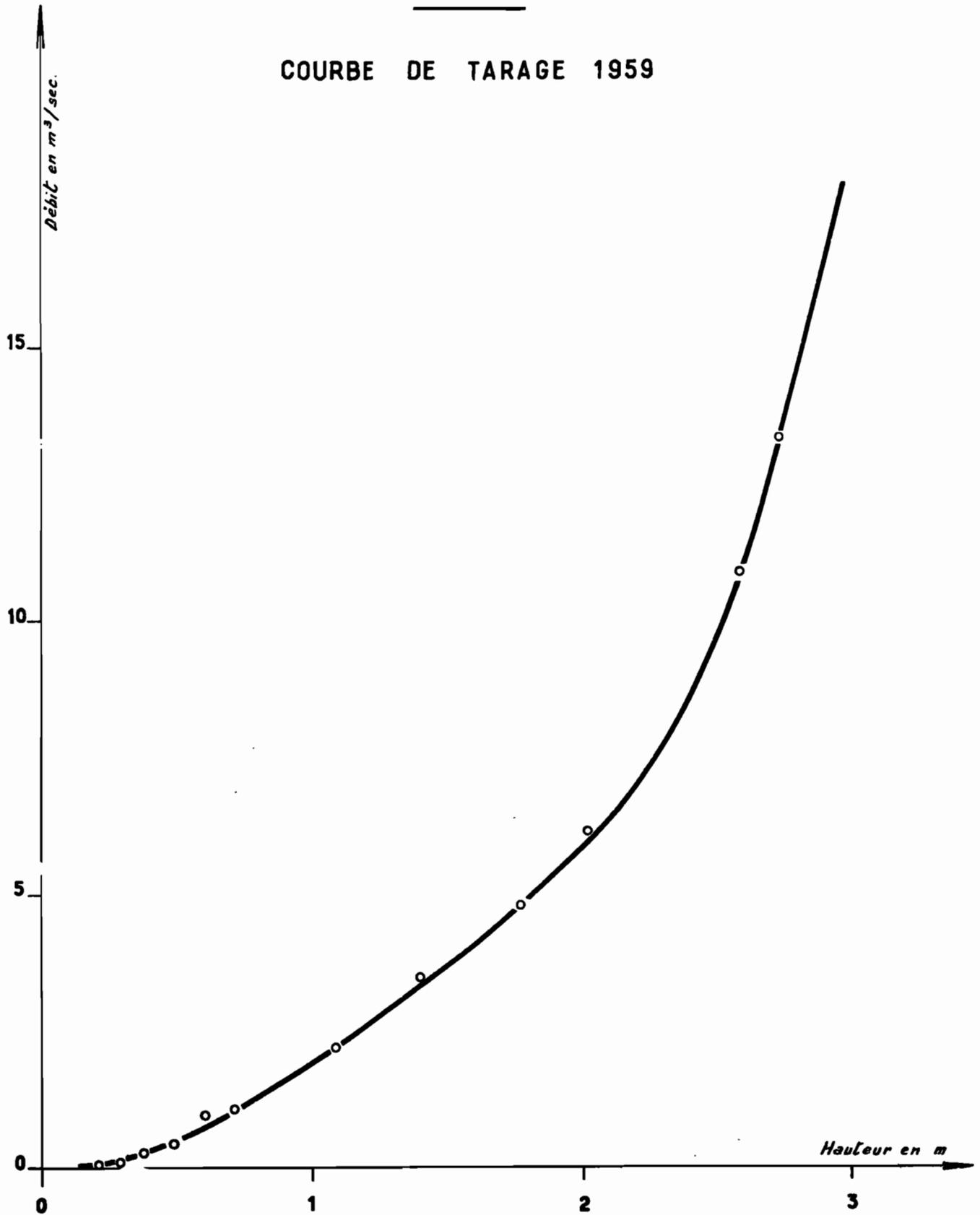
Nous avons été amenés, par souci de précision, à retracer une nouvelle courbe de tarage pour 1959 qui :

- coïncide avec celle de 1957 en dessous de 0m,45
- lui est supérieure au-delà ; le décalage passe par un maximum de 29% pour 1,00 m à l'échelle et redescend rapidement à 15% pour 1 m,50 et 9% pour 2 m, valeur à laquelle il se maintient pour des cotes supérieures.

Les 65 averses observées entre Mai et Octobre, et dont il est fait état au paragraphe précédent, ont entraîné 22 crues. L'importance de celles-ci tient à la fois à la hauteur de l'averse causale et surtout aux conditions de saturation qu'elles ont rencontrées. Ainsi la plus forte crue de 1959, celle du 9 Octobre, n'est pas due à une averse extraordinaire ( $P_M = 53,8$  mm  $P = 37,8$  mm) ; mais celle-ci survient après les abondantes pluies de Septembre et tombe avec violence sur l'aval du bassin où les terrains sont les moins per-

# LA LHOTO A MOUMOU DJI

## COURBE DE TARAGE 1959



DAH 9387

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

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

AO

méables. Le débit maximal s'élève à  $14 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit  $310 \text{ l/s.km}^2$ , ce qui place cette crue juste après celle du 4/8/57 ( $Q_M = 22 \text{ m}^3/\text{s}$ ), en seconde position quant à son importance.

Vient ensuite la crue du 26/9/59 due à la plus forte précipitation de l'année et dont le débit de pointe atteint  $11,4 \text{ m}^3/\text{s}$  ; elle arrive en 3ème position sur les deux années d'écoulement juste avant la crue de  $11 \text{ m}^3/\text{s}$  du 18/6/57.

On trouve encore 6 crues en 1959 dont les débits maximaux dépassent  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit  $100 \text{ l/s.km}^2$ .

Dans l'ensemble, il y a eu moins de crues qu'en 1957 : 22 contre 34. On peut trouver trois raisons à ce décalage :

- d'abord, les jours de pluie ont été moins nombreux en 1959 : 65 contre 83
- ensuite, le total des précipitations recueillies en Mai et Juin 1959 atteint 162 et 129 mm contre respectivement 236 et 169 mm en 1957. Il en résulte un écart de plus de 100 mm pour cette période du début de l'hivernage, dont le rôle essentiel est de rétablir les réserves en eau des sols
- enfin, et ce qui agit dans le même sens que le déficit relatif des pluies de Mai et Juin 1959, l'année 1958 ayant été beaucoup plus sèche que 1956, les réserves souterraines du bassin devaient être nettement plus basses au début de 1959 qu'en 1957.

Tout cela permet d'expliquer que la lère crue de 1957 est survenue le 22 Mai, après une pluie moyenne de 85 mm, alors qu'en 1959 nous avons dû attendre le 29 Juillet pour voir l'écoulement apparaître à MOUMOU DJI. Entre ces deux dates, en 1959, il y avait déjà eu 15 crues ; et si l'on compare uniquement les périodes postérieures au 29 Juillet, on relève 19 crues en 1957 et 22 en 1959, ce qui est plus normal.

Fin Juillet, le 28, une forte averse de 35 à 40 mm a achevé de combler le déficit de saturation des sols du bassin et une faible averse de 15 à 20 mm survenant le lendemain a engendré le 1er écoulement de 1959. Il s'agit bien entendu d'une crue très faible ( $Q_M = 0,27 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Par suite de l'absence de pluies du 1er au 20 Août, l'écoulement s'est tari le 11 Août pour ne réapparaître que le 24 ; il s'est ensuite maintenu jusqu'en Novembre. La 1ère crue de cette 2ème période est survenue le 31 Août ( $Q_M = 2,83 \text{ m}^3/\text{s}$ ) après une pluie de 53 mm (87,6 mm de hauteur maximale ponctuelle). Entre le 24 et le 31, l'écoulement provenait uniquement des réserves souterraines réalimentées depuis le 20 par 4 pluies successives.

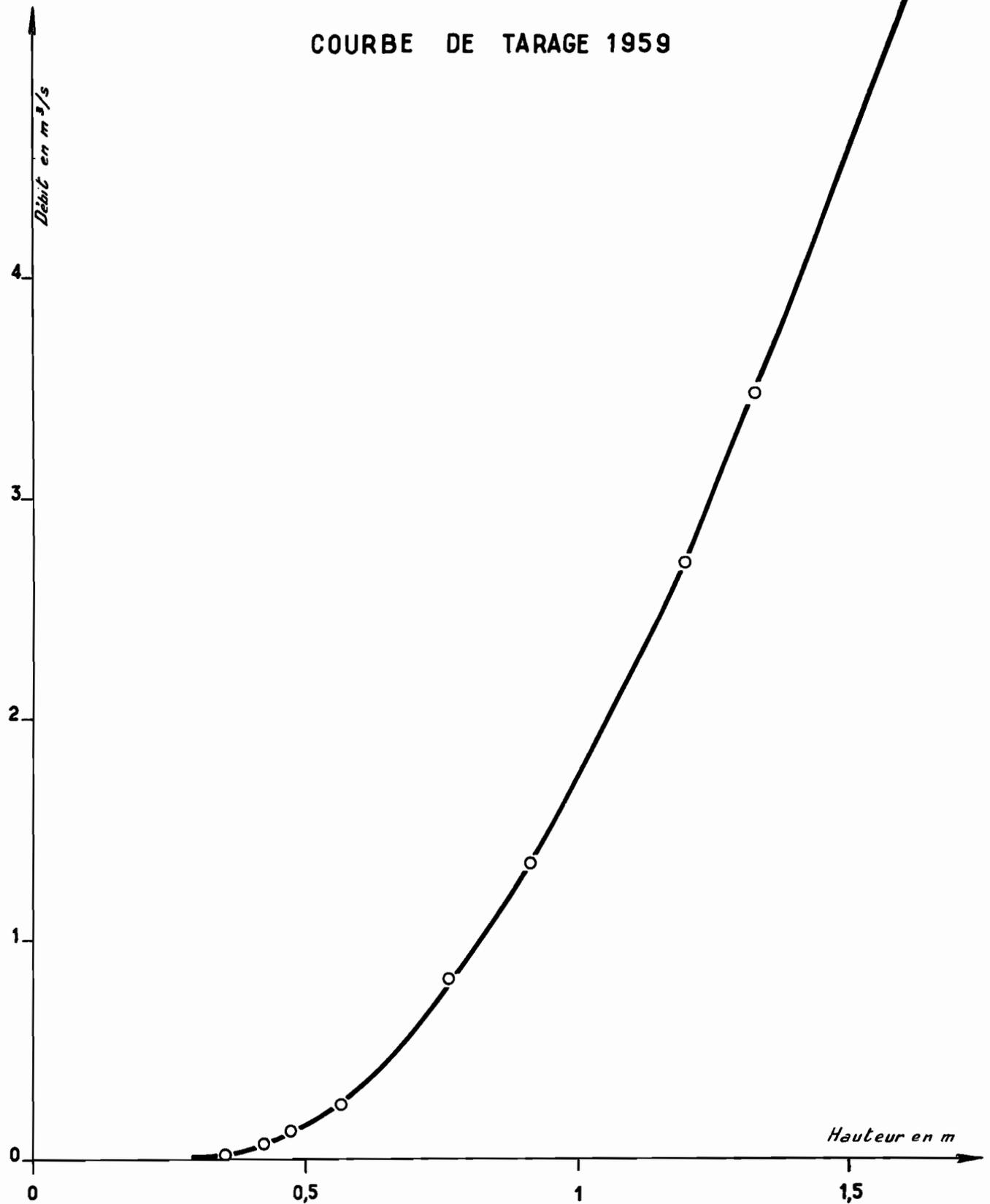
La sécheresse de 1958 et l'état des réserves souterraines très déficitaire en 1959 par rapport à 1957 justifient l'absence de crues sur la SOUSSOU. On y a seulement observé quelques écoulements intermittents, limités à de courtes périodes durant lesquelles la nappe devait être assez haute pour franchir le seuil souterrain qui la retient (voir campagne 1957).

Sur la KOLOMANDJE, on observait des crues pour la 1ère fois, en 1959. L'étalonnage de la station de contrôle a pu être mené à bien grâce à 8 mesures bien réparties entre 0m,35 et 1m,32. La cote maximale atteinte fut de 1m,60. Il n'y a donc eu qu'une très légère extrapolation sur 25 cm à effectuer pour les hautes eaux, ce qui n'a pas présenté de difficultés. La courbe de tarage semble assez précise. L'écoulement cesse entre 0m,26 et 0m,32.

C'est la forte averse du 26/9 qui a donné lieu à la principale crue observée ; le débit est monté à 5,2 m<sup>3</sup>/s au maximum, ce qui fait 400 l/s.km<sup>2</sup>. La 2ème crue est évidemment due à l'averse du 9 Octobre ; le débit maximal de 4,9 m<sup>3</sup>/s est très voisin du précédent.

# LA KOLOMANDJÉ

COURBE DE TARAGE 1959



DAH 9386

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

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

AO

Comme sur le bassin de la LHOTO, il a été observé 22 crues entre Mai et Octobre sur la KOLOMANDJE. En dehors des deux fortes crues ci-dessus, on a observé 4 crues dont le débit de pointe excédait  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , c'est-à-dire  $150 \text{ l}/\text{s}.\text{km}^2$ .

D) INTERPRETATION DES CRUES DE LA LHOTO A MOUMOUDJI -

1 - Valeurs caractéristiques

Nous allons suivre le même plan que dans le chapitre sur la campagne 1957, mais sans entrer dans les détails de la genèse des crues et de la forme des hydrogrammes.

Ces problèmes, complexes pour la LHOTO, ont été pratiquement tirés au clair en 1957 et se trouvent confirmés par les observations de 1959. Rappelons-en les principales conclusions. Les diverses parties du bassin, selon leur perméabilité, leur pente et leur éloignement, donnent des ruissellements qui arrivent à MOUMOUDJI avec des temps de réponse différents ; l'hydrogramme de la LHOTO est constitué par ces ruissellements presque complètement séparés en début d'hivernage et pour de faibles averses, mais qui tendent à se confondre en une crue unique plus ou moins homogène quand l'importance de l'averse croit et que les sols sont bien saturés.

On a retrouvé en 1959 les divers types de crue mis en évidence en 1957 et qui se différencient par leurs temps de réponse. Nous n'avons pas entrepris l'analyse systématique des 22 crues observées ; nous en avons prélevé une dizaine parmi les plus importantes et les plus typiques. On consultera à cet effet le tableau n° 2 qui rassemble les valeurs caractéristiques de ces crues.

On y trouvera :

- les hauteurs maximales  $P_M$  et moyennes  $P$  des averses, ainsi que les coefficients de réduction  $K$  permettant de passer des premières aux secondes

- la durée  $t_u$  et la hauteur  $P_u$  de la pluie utile
- le volume  $V_r$  et les coefficients de ruissellement  $K_r$  et  $K_{ru}$  par rapport aux pluies moyennes  $P$  et utile  $P_u$
- le débit maximal de crue  $Q_M$  et les temps de réponse  $t_p$  et de montée  $t_m$
- l'état de saturation de bassin est représenté par  $Q_0$  le débit initial de base avant chaque crue, et  $t_a$  l'intervalle de temps à la pluie précédente.

Les principales crues analysées au tableau n° 2 ont des temps de réponse variant de 4h.30' à 8h. Elles se classent aisément en deux groupes identiques aux types de crue B et C de 1957 :

- le 1er rassemble les crues dont l'averse causale était centrée sur l'aval du bassin. Les temps de réponse valent de 4h.30 à 5h.
- le 2ème est constitué par les crues résultant d'averses centrées sur le nord du bassin et qui répondent entre 5h 1/2 et 8h au plus.

Les averses centrées sur l'aval du bassin, où se trouvent les sols les moins perméables, donnent lieu aux plus fortes crues, tant en ce qui concerne le débit maximal que le coefficient de ruissellement. C'est le cas des deux principales crues, celles des 26/9 et 9/10.

Les temps de montée calculés pour la pointe de crue principale, comme les temps de réponse, sont du même ordre de grandeur que ces derniers ; ils sont souvent plus courts de 30 minutes à 1 heure, le bassin versant étant en général assez long à réagir aux précipitations dont les fractions les plus intenses sont déjà tombées quand les premières eaux de ruissellement arrivent à MOUMOUDJI.

Tableau N° 2

CARACTERISTIQUES DES CRUES DE LA LHOTO  
A MOUMOU DJI EN 1959

A = 45 km<sup>2</sup>

Date	t <sub>a</sub> : Jour	P <sub>M</sub> : mm	K%	P : mm	P <sub>u</sub> : mm	t <sub>u</sub> : min.	V <sub>R</sub> : 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	K <sub>r</sub> : %	K <sub>ru</sub> : %	Q <sub>o</sub> : m <sup>3</sup> /s	Q <sub>M</sub> : m <sup>3</sup> /s	t <sub>p</sub> : heures	t <sub>m</sub>	Observations
31-8	2	88	61	53,8	43	60	114	4,7	5,9	0,030	2,83	15/1	10	Double averse
6-9	3	50	62	31,2	22,7	75	120	8,6	11,7	0,235	5,7	5 3/4	4 1/2	Homogène
6-9	1 1/2	28	72	20	15,7	150	100	11,1	14,2	(1,7)	5,5	7 1/2	6 1/2	Max. Nord
7-9	1	47	38	17,8	15,3	60	124	15,5	18	1,48	7,45	8	7 1/4	d°
26-9	4	87	52	45,5	43,9	50	198	9,7	10	0,112	11,45	5	5	Max. Centre-Est
29-9	2	56	48	27	(19,3)	(65)	140	11,5	16,1	0,440	4,85	(7 1/2)	7	Hétérogène
3-10	1	33	74	24,4	-	-	165	15	-	0,620	8,46	-	4 3/4	d°
9-10	5	54	70	37,8	37	40	296	22,4	22,9	0,176	14,04	4 1/2	4 1/2	Max. aval
11-10	1	21	76	16	14	28	104	14,4	16,4	0,740	4,88	4 3/4	4 3/4	d°
22-10	3	31	64	19,8	15	35	72,8	8,2	10,8	0,150	2,76	7 1/2	7	Max. Nord
23-10	1	24,5	54	13,2	11,9	12	89	15	16,5	0,550	3,85	5 3/4	5 3/4	Homogène

t<sub>a</sub> { 1 jour après une pluie inférieure à 10 mm  
 1 " " " " entre 10 et 20 mm  
 1 " " " " supérieure à 10 mm

La colonne "observations" indique la position du centre de l'averse sur le bassin.

## 2 - Les coefficients de ruissellement

Sur les 11 crues figurant au tableau n° 2, nous avons calculé :

1	coefficient	$K_r$	inférieur à 5%
3	"	"	compris entre 5 et 10%
6	"	"	" " 10 et 20%
1	"	"	supérieur à 20%.

Le plus faible coefficient  $K_r$  est celui de la crue du 31 Août, pratiquement la première de la 2ème saison des pluies ; aussi n'y a-t-il rien d'extraordinaire à ce qu'une averse importante ( $P = 53,8$  mm) ne donne que 4,7% de  $K_r$ , le débit initial de base n'étant que de 30 l/s.

Comme on l'avait remarqué en 1957, les coefficients de ruissellement varient avec la hauteur de précipitations, mais dépendent surtout de l'état de saturation des sols du bassin. Il n'y a pas de corrélation très nette entre ces coefficients et le débit initial  $Q_0$ , même si l'on ne prend en considération que les aversés homogènes et les crues unitaires. Nous avons vu que la nappe du bassin était importante, aussi les variations du débit de base ne peuvent-elles pas refléter fidèlement et surtout rapidement les variations de l'état de saturation des terrains. Si l'on examine maintenant les relations possibles entre les coefficients  $K_r$  et l'écart de temps  $t_d$  à la pluie précédente, elles apparaissent mieux ; mais l'importance de l'averse antérieure joue un rôle, de sorte que la corrélation pourrait être assez bonne si l'on faisait intervenir un indice de saturation calculé d'après la hauteur de cette averse et l'écart  $t_d$ . Malheureusement, il est difficile de savoir de combien il faut remonter dans le temps pour prendre toutes les averses dont la chute influe sur l'état de saturation préalable à la crue étudiée : la lère averse antérieure suffit-elle ou faut-il remonter à 2 mois comme le laisseraient entendre les résultats de l'étude pluviométrique ? L'essai d'ajustement tenté pour ces deux cas extrêmes et pour un cas intermédiaire (période de 8 jours avant la crue) n'est pas satisfaisant. Les coefficients de ruissellement  $K_r$  varient bien dans le même sens que l'état de saturation des sols, la hauteur de précipi-

tation intervenant peu, mais on ne peut pas établir de relation précise. Il en est de même d'ailleurs si l'on prend les coefficients  $K_{ru}$  par rapport à la pluie utile.

Nous nous contenterons d'esquisser l'allure générale des variations du coefficient de ruissellement  $K_r$ .

a) Si une précipitation, quelle que soit son importance, tombe en début d'hivernage ou après la petite saison sèche d'août sur un sol qui n'a pas reçu de pluies depuis plusieurs jours et si le débit de base  $Q_0$  est faible (entre 0 et 150 l/s), le coefficient de ruissellement se situera entre 2 et 10%

b) Sur un sol caractérisé par :

$$200 \text{ l/s} < Q_0 < 500 \text{ l/s}$$

$$1 \text{ j} < t_a < 5 \text{ j}$$

la majeure partie des précipitations d'importance moyenne (de 10 à 30 mm environ) donnera des coefficients de ruissellement compris entre 10 et 20%

c) Seules les précipitations moyennes dépassant 30 mm, avec des conditions de saturation analogues au b) donnent des  $K_r$  supérieurs à 20%

d) Si une averse rencontre d'excellentes conditions de saturation, c'est-à-dire :

$$t_a < 1 \text{ jour}$$

$$q_0 > 1.000 \text{ l/s}$$

aussi faible soit-elle (5 à 10 mm par exemple) elle donnera lieu à une crue dont le  $K_r$  sera double de celui qu'elle aurait atteint si la saturation n'avait été que moyenne.

e) Pour des mêmes conditions de saturation préalables et des hauteurs d'eau voisines, les coefficients de ruissellement des crues varient suivant la perméabilité des sols atteints par le centre de l'averse : fort pour des pluies tombant sur l'aval du bassin, ils diminueront si l'est ou le nord sont plus directement intéressés.

En 1957, aucune averse supérieure à 30 mm de hauteur moyenne n'avait rencontré d'excellentes conditions de saturation, aussi les  $K_r$  sont-ils restés inférieurs à 20% pour toutes les crues résultantes.

Le plus élevé des coefficients observés  $K_r = 23,7\%$  était dû à une très petite averse centrée sur l'aval du bassin :

$$P = 13,2 \text{ mm}$$

$$t_a = 1 \text{ j}$$

$$Q_0 = 1.500 \text{ l/s}$$

En 1954, la crue du 9 Octobre résultait d'une averse centrée aussi sur l'aval ; les conditions de saturation étaient loin d'être aussi bonnes :

$$t_a = 5 \text{ j}$$

$$Q_0 = 175 \text{ l/s}$$

mais la hauteur d'eau atteignait 37,8 mm ( $P_M = 54 \text{ mm}$ ) aussi le coefficient de ruissellement s'éleva-t-il à 22,4%.

Une forte averse dépassant 60 mm et tombant sur un sol assez bien saturé devrait donner une crue suffisamment forte pour que le  $K_r$  soit de l'ordre de 30%.

### 3 - L'hydrogramme-type

Nous avons déterminé en 1957 les diagrammes de ruissellement pour un certain nombre de crues dues à des averses suffisamment fortes et homogènes pour que le ruissellement généralisé sur tout le bassin donne un hydrogramme homogène à pointe unique à MOUMOUDJI. Ramenés à un volume ruisselé de 100.000 m<sup>3</sup>, ces diagrammes se classaient en 2 groupes :

- l'un dont les débits maximaux de l'ordre de 3,7 m<sup>3</sup>/s ne dépassaient pas 4 m<sup>3</sup>/s dus à des crues un peu faibles ou déformées à la montée par une pointe de crue secondaire encore visible
- l'autre dont les débits maximaux dépassaient 4,2 m<sup>3</sup>/s dus aux plus fortes crues.

Ce 2ème groupe est le seul intéressant pour représenter valablement l'allure d'une forte crue unitaire sur le bassin de la LHOTO.

Nous avons trouvé en 1959 quatre crues dont les caractères sont comparables ; elles sont toutes unitaires c'est-à-dire que l'averse utile dont elles résultent n'a pas duré plus de 2 heures, temps qui équivaut à moins de la moitié des temps de montée de fortes crues (4 h 1/2 à 5 h).

Nous donnons dans le tableau n° 3 les diagrammes de ruissellement de ces crues qui englobent la fraction hypodermique non négligeable mais difficilement séparable du ruissellement superficiel. Pour ces 9 crues, les débits sont mentionnés en  $m^3/s$  à diverses heures de part et d'autre du maximum, le volume ruisselé ayant été au préalable ramené à 100.000  $m^3$ .

L'homogénéité des résultats est assez bonne pour un bassin aussi hétérogène que celui de la LHOTO. Nous avons pris les valeurs médiane des différents débits horaires pour constituer l'hydrogramme-type.

Pour le débit maximal, on arriverait à 4,7  $m^3/s$  ; mais la présence de trois valeurs supérieures à 5  $m^3/s$  et qui sont dues à de fortes crues :

n° 17	$Q_M$ observé de	22 $m^3/s$
n° 33	" "	9,2 $m^3/s$
26/9	" "	11,4 $m^3/s$

sans que celles-ci aient bénéficié de conditions de saturation très bonnes, nous incite à prendre un chiffre plus élevé pour ce débit de pointe. Cette mesure de sécurité nous conduit à adopter 5  $m^3/s$ , soit 110  $l/s.km^2$  pour  $V_r = 100.000 m^3$  et 500  $l/s.km^2$ , si l'on envisage une lame d'eau ruisselée de 10 mm. Nous utiliserons ce résultat pour le calcul des crues de fréquences rares.

Tableau N° 3

HYDROGRAMMES DE RUISSELLEMENT  
A MOUMOU DJI

(Débits en m<sup>3</sup>/s pour V<sub>r</sub> = 100.000 m<sup>3</sup>)

Date de la crue	N° de crue	- 4h	- 3h	- 2h	- 1h	Q <sub>M</sub>	+ 1h	+ 2h	+ 4h	+ 6h	+ 10h
9-7-56	12		0,8	3	4	4,5	3,9	2,7	1,5	1,1	0,4
1-8-56	16		0,1	1,1	3,2	4,2	3,7	2,9	1,7	1,3	0,7
4-8-56	17		0,2	1	1,8	5,1	4,2	3	2,2	1,4	0,5
16-9-56	26		0,7	2,2	3,7	4,6	4,2	3,4	1,9	1,1	0,2
15-10-56	33		0,1	0,6	4	5,5	4,9	3,4	1,6	1	0,4
6-9-56			0,5	2,1	3,6	4,2	3,7	3,5	2,5	1,0	0,1
26-9-56		0,5	1,7	3,1	4,5	5,3	4,3	2,7	1,3	0,8	-
3-10-56		0,8	2,4	3,3	3,9	4,4	3,8	2,9	1,4	0,6	-
9-10-56		0,1	1,6	2,8	3,7	4,5	4,2	3,5	1,4	0,8	0,1
hydrogramme- type			0,7	2,4	3,8	5,0	4,2	3,1	1,6	1,0	0,2

DAH. 9396

ED:

LE:

DES:

VISA:

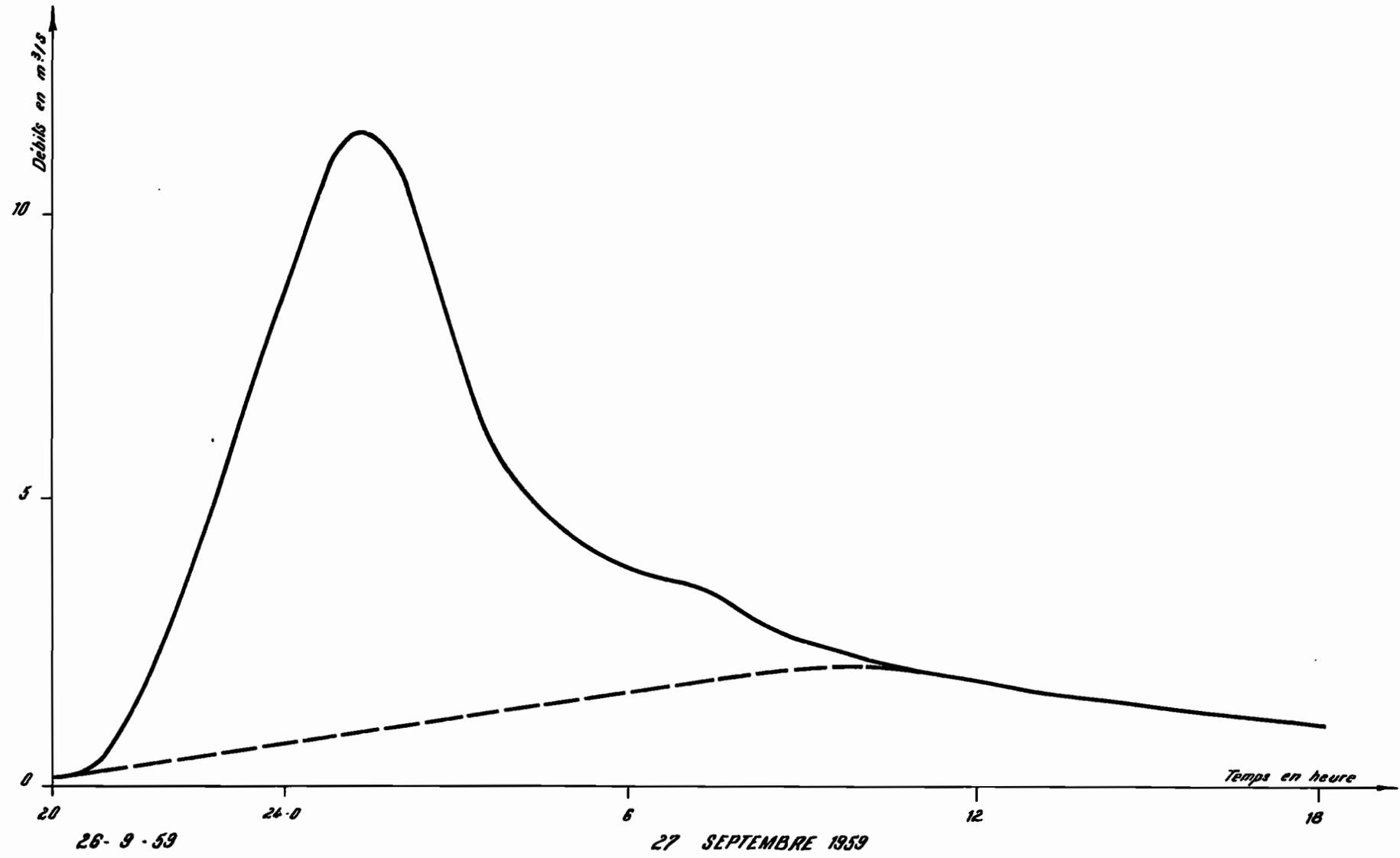
TUBE N°:

AO

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

# BASSIN VERSANT DE LA LHOTO A MOUMOUJJI

## CRUE CARACTÉRISTIQUE ET UNITAIRE LE 26-9-59



E) INTERPRETATION DES CRUES DE LA KOLOMANDJE

Comme sur la LHOTO, on a observé 22 crues sur la KOLOMANDJE en 1959 dont la plus grosse partie provenait des mêmes averses. Il y a cependant quelques cas particuliers, celui de la 1ère crue, entre autres.

Le début de l'écoulement a été observé le 14 Juillet, soit avec 15 jours d'avance sur la LHOTO. Ce jour-là, une très forte précipitation a intéressé l'aval du bassin de la KOLOMANDJE ( $P_M = 56$  mm) et assuré aux sols alluvionnaires de ce secteur une saturation suffisante pour que l'eau s'écoule quelques heures après.

Il ne s'est agi que d'un écoulement insignifiant, le débit n'ayant atteint que 75 l/s au maximum.

Le 28 Juillet, la très forte averse qui achevait de saturer le bassin de la LHOTO, déclenchait une crue sur la KOLOMANDJE dont le débit maximal s'élevait à 1,3 m<sup>3</sup>/s ; cette crue et la précédente ont, eu des coefficients de ruissellement très faibles, inférieurs à 5%. L'hydrogramme de ces deux crues, à la station, présentait plusieurs pointes bien séparées, suivant un phénomène comparable à celui observé sur la LHOTO.

Parmi les 20 autres crues observées, il n'y en a que 6 dont l'ampleur est suffisante et dont les débits maximaux ont dépassé 1 m<sup>3</sup>/s. Le plateau latéritique ruisselle moins facilement que les sols alluvionnaires et demande de fortes pluies (supérieures à 30 mm, ou survenant sur un sol bien saturé) pour engendrer des crues d'une certaine importance. Notre analyse en 1959 portera sur ces 6 crues ; ce lot est un peu faible, mais pour l'interprétation on se rappellera que l'analogie avec la station de BOHM-BOHM permet l'utilisation conjointe des résultats.

1 - Valeurs caractéristiques

Elles sont rassemblées dans le tableau n° 4, sous une présentation identique à celle du tableau n° 2 de la LHOTO. On constate que les hydrogrammes de crue de la KOLOMANDJE, comme ceux de la LHOTO, sont bosselés et laissent apparaître 2 ou 3 pointes distinctes dont la différence du temps de réponse est à chercher

Tableau N° 4

CARACTERISTIQUES DES CRUES DE LA KOLOMANDJE  
EN 1959

A = 13 km<sup>2</sup>

Date	t <sub>a</sub>	P <sub>M</sub>	K%	P	P <sub>u</sub>	t <sub>u</sub>	V <sub>r</sub>	K <sub>r</sub>	K <sub>ru</sub>	Q <sub>0</sub>	Q <sub>M</sub>	t <sub>p</sub>	t <sub>m</sub>
: Jour :	: mm :	: mm :	: mm :	: mm :	: mm :	: min. :	: 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> :	: % :	: % :	: m <sup>3</sup> /s :	: m <sup>3</sup> /s :	: heures :	: heures :
26-9	9	87	77	67	63	45	112,8	13	13,7	0,011	5,17	4h 20'	4h 3/4
29-9	3	61	52	32	20,8	20	66,5	16	24,6	0,300	2,82	6h 55'	7h
3-10	1	32	63	20	20	38	61,2	23,5	23,5	0,450	3,11	5h 1/4	4h 1/2
9-10	6	51	82	42	41,5	58	106,6	19,5	19,7	0,200	4,9	4h 3/4	5h
9-10	1/2	24	63	15,1	15	17	30,2	15,4	15,4	0,860	2,83	4h 3/4	4h 3/4
11-10	1	23	86	19,7	18	25	47	18,4	20	0,550	2,28	5h	5h

ta { 1/2 journée après une pluie supérieure à 20 mm  
 9 jours " " " comprise entre 10 et 20 mm.  
 1 jour " " " inférieure à 10 mm

là aussi dans les variations du temps de parcours, de la perméabilité des divers types de sols et dans l'allongement du bassin.

Ces temps de réponse sont en général de l'ordre de 4 à 5 heures pour les fortes averses centrées au milieu du bassin ; on les observe pour les crues du 26/9 et des 9 et 11 Octobre. La 2ème crue du 9 Octobre, due à une pluie qui n'a pratiquement intéressé que le milieu du bassin, arrive avec un retard de 4 h 40', ce qui justifie bien l'hypothèse émise.

Les régions proches de l'exutoire répondent en 1 ou 2 heures ; quant à l'extrémité amont du bassin, ses eaux de ruissellement mettent 7 h environ pour arriver à la station. C'est le temps de réponse observé le 29/9, la crue résultant d'une averse centrée sur LYAOUA.

On pourrait s'étonner d'observer des temps de réponse du même ordre de grandeur que sur le bassin de la LHOTO, pourtant près de 4 fois plus vaste. L'allongement excessif du bassin de la KOLOMANDJE peut expliquer cette analogie : le parcours maximal y est de 12 km environ, les 3/4 du bassin de la LHOTO sont à une distance inférieure de MOUMOU DJI. En second lieu, les pentes sont plus modestes sur le bassin de la KOLOMANDJE.

On retrouve là encore des temps de montée comparables aux temps de réponse, avec une tendance à les dépasser de 15 à 20 minutes.

## 2 - Les coefficients de ruissellement

Les 6 crues retenues pour l'analyse ont des coefficients de ruissellement  $K_r$  voisins ; ils varient entre :

- 13% pour la plus forte crue du 26/9, parce que le sol était assez mal saturé :

$$Q_0 = 0,011 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_a = 9 \text{ jours}$$

- 23,5% pour la petite crue du 3/10, l'averse de 20 mm arrive un jour après la pluie précédente et  $Q_0 = 450 \text{ l/s}$ .

Ici aussi les conditions de saturation sont primordiales pour caractériser l'importance du ruissellement. aucune étude de corrélation n'a pu être tentée avec 6 observations seulement. En première approximation, ces coefficients sont du même ordre de grandeur que ceux de la LHOTO, avec peut-être une légère tendance à les dépasser pour des conditions de saturation et des averses comparables.

Ceci peut paraître un peu curieux, d'autant plus que les coefficients de ruissellement observés sur la LHOTO à BOHM-BOHM en 1957 sont moitié moindres que ceux de la KOLOMANDJE. On ne peut trouver d'explication à ce phénomène qu'en supposant l'aire d'extension des alluvions sablo-argileuses sur le bassin de la KOLOMANDJE plus grande qu'on le croyait en 1958.

Elle était estimée entre 40 et 50% de la surface totale ; il est possible en outre que les sols tant alluviaux que ferrallitiques soient plus argileux que sur la Haute-LHOTO. L'étude pédologique de ce bassin n'ayant pas été faite, nous restons dans le domaine des hypothèses.

### 3 - L'hydrogramme-type

Sur les 6 crues étudiées, il faut éliminer :

- celle du 29/9 dont la pluie a duré trop longtemps
- celle du 11/10 dont la précipitation était un peu faible pour donner une crue assez forte.

Parmi les 4 crues restantes, malgré l'hétérogénéité de forme des hydrogrammes, on arrive à trouver des débits maximaux semblables pour un volume de ruissellement unité : environ  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  pour  $100.000 \text{ m}^3$ . La 2ème crue du 9/10 donne, elle,  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  ; cet excès est dû au fait que l'averse n'a intéressé qu'une partie du bassin, la crue résultante n'est donc pas typique de l'ensemble du bassin.

Nous donnons ci-après, pour les 3 crues restantes, les débits de ruissellement (y compris l'écoulement hypodermique qui n'a pas été séparé) à divers moments, de part et d'autre du maximum, pour un volume de ruissellement ramené à  $100.000 \text{ m}^3$ .

Date de la crue:	-4h	-3h	-2h	-1h	- $\frac{1}{2}$ h	0h	+ $\frac{1}{2}$ h	+1h	+2h	+3h	+6h	+9h
27/9	0,5	1,8	2,8	3,6	4,2	4,3	4,2	3,7	2,9	2,4	0,8	0,2
3/10	0,02	1,7	3,3	3,7	3,9	4,1	4,0	3,5	2,7	2,3	1,0	0,03
9/10	1,0	3,5	3,6	3,9	4	4,1	3,7	3,2	2,8	2,1	0,5	-

La courbe de montée de la crue du 9/10 est beaucoup plus raide que les 2 autres. On ne peut, dans ces conditions, et avec si peu d'éléments, tenter l'établissement d'un hydrogramme-type. On retiendra cependant une valeur de 4,2 m<sup>3</sup>/s pour le débit maximal ; ce qui correspond à 420 l/s.km<sup>2</sup> pour une lame d'eau ruisselée de 10 mm.

Ce chiffre est inférieur à celui de la LHOTO (500 l/s.km<sup>2</sup>). On se rappellera qu'en 1957 pour la LHOTO BOHM-BOHM, on avait retenu 650 l/s.km<sup>2</sup>. L'allongement excessif du bassin de la KOLOMANDJE et ses pentes assez faibles expliquent la modération de son débit maximal de crue unitaire, alors même que le coefficient de ruissellement y est en général double de celui de BOHM-BOHM.

DAR 9394

ED:

LE: M. V. MENET

DES: J. P. GACHON

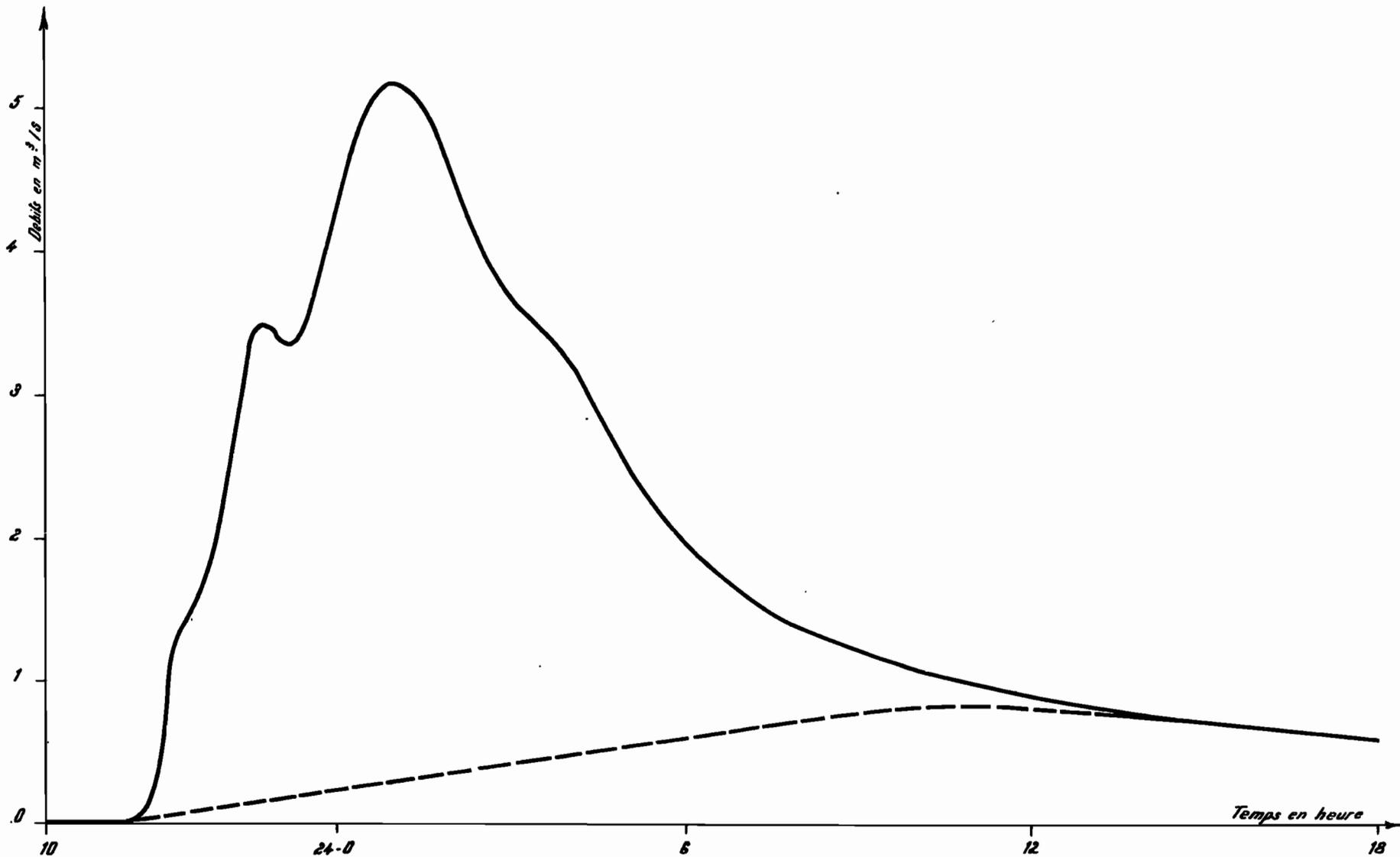
VISA:

TUBE N°:

AO

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

# CRUE CARACTÉRISTIQUE DE LA KOLOMANDJE - Le 26 Septembre 1959



26 Septembre 1959

27 Septembre 1959

F) ESTIMATION DES CRUES ANNUELLES ET DECENNALES -

Nous garderons la valeur de 130 mm, retenue en 1957, comme hauteur de précipitation ponctuelle de fréquence décennale. La série de 35 stations-années, obtenue à partir des relevés de 1953-57 à 7 stations du Centre du DAHOMEY, qui avait servi à calculer cette précipitation décennale, nous fournit celle de fréquence annuelle : 75 mm environ.

Nous rappellerons encore la restriction qui s'applique aux crues annuelles et décennales que nous allons calculer : la précipitation de fréquence donnée doit, pour engendrer une crue, rencontrer des conditions d'écoulement favorables. Selon ces conditions, une averse de fréquence donnée peut, soit ne pas engendrer de crue si le total des précipitations de 2 mois est inférieur à la limite établie, soit donner une faible crue si elle est l'une des premières à ruisseler de l'année ( $Q_0$  nul ou inférieur à 100 l/s), soit enfin être suivie d'une crue notable si les terrains sont correctement saturés. Il est certain que ces 3 solutions possibles ont des fréquences d'apparition différentes de celle de la pluie ; leur détermination est presque impossible. Comme la 3ème solution, celle de la forte crue, est la seule qui nous intéresse vraiment, nous conviendrons que cette solution donne la crue de même fréquence que l'averse étudiée. Nous n'oublierons pas qu'il s'agit d'une simplification et que la fréquence de cette crue est plus faible, puisqu'égal au produit des fréquences de la pluie et d'apparition des conditions de saturation favorables.

Pour la crue décennale sur la LHOTO à MOU-MOUDJI, il n'y a pas de modifications à apporter au résultat de 1957, à savoir :

$$\underline{60 \text{ m}^3/\text{s}} \text{ ou } \underline{1.330 \text{ l/s.km}^2}$$

La méthode de calcul varie un peu, en ce sens que le débit maximal de l'hydrogramme type passe de 4,8 à 5  $\text{m}^3/\text{s}$  ; mais nous avons pensé plus raisonnable de considérer l'averse décennale comme trop longue pour être unitaire ; on estime qu'elle est formée de deux averses unitaires décalées de 2 heures dont la composition des hydrogrammes ( $K_r = 20$  et 40%) donne une crue de 60  $\text{m}^3/\text{s}$  au maximum.

Pour l'averse annuelle, on a retenu un coefficient de réduction  $K = 60\%$ . Les 5 averses ponctuelles ayant dépassé 75 mm ont des  $K$  compris entre 34 et 65%, dont la moyenne n'est que de 55% ; l'hypothèse de 60% est donc correcte pour une averse centrée sur le bassin. Il faut, outre les conditions initiales d'écoulement, que les terrains soient bien saturés, c'est-à-dire que les conditions  $Q_0 > 200$  l/s et  $t_0 < 5$  jours soient remplies ; dans ce cas, le coefficient de ruissellement  $K_r$  est de l'ordre de 20%.

On a :

$$P = 75 \times 0,60 = 45 \text{ mm et } V_r = 45 \cdot 10^{-3} \times 45 \cdot 10^6 \times 0,20 = 364.000 \text{ m}^3$$

L'averse supposée unitaire donne un hydrogramme de ruissellement qui, avec l'écoulement de base, présente un débit maximal de 20 m<sup>3</sup>/s.

On retrouve un débit légèrement inférieur à celui de la plus forte crue observée (n° 17 en 1957) qui avait atteint 22 m<sup>3</sup>/s pour une averse de 80 mm.

Le débit spécifique de cette crue annuelle est donc de l'ordre de 400 à 450 l/s.km<sup>2</sup>.

Nous avons essayé de déterminer les crues de la KOLOMANDJE.

Pour la crue décennale, on a procédé comme suit :

$$P_M = 130 \text{ mm avec } K = 85 \% , P = 110 \text{ mm}$$

On considère la pluie formée de 2 averses unitaires de 55 mm chacune, auxquelles on applique des coefficients de ruissellement de 20 et 40%. Au total, cela fait  $K_r = 30\%$  et  $V_r = 429.000 \text{ m}^3$ .

La composition des deux hydrogrammes unitaires conduit à un débit maximal de 17 m<sup>3</sup>/s, auquel on ajoute 2 m<sup>3</sup>/s de débit de base.

La crue décennale est donc estimée à 19 m<sup>3</sup>/s, soit 1.450 à 1.500 l/s.km<sup>2</sup>.

Pour l'averse annuelle, même processus :

- P<sub>M</sub> = 75 mm avec K = 80 % d'où P = 60 mm
- Averse unitaire avec K<sub>r</sub> = 20% d'où V<sub>r</sub> = 156.000 m<sup>3</sup>

Le débit maximal de la crue annuelle, en admettant 1 m<sup>3</sup>/s d'apports souterrains, s'élève à 7,5 m<sup>3</sup>/s, soit 550 à 600 l/s.km<sup>2</sup>.

La plus forte crue observée, pour une pluie de P<sub>M</sub> = 87 mm qui n'avait pas trouvé un sol bien saturé (Q<sub>M</sub> = 11 l/s et t = 9 jours) n'atteignait que 5,17 m<sup>3</sup>/s, car il n'y avait eu que 13% de ruissellement.

Bien qu'aucun élément nouveau n'ait été apporté par la campagne 1959 au sujet des crues de la SOUSSOU et de la LHOTO amont à BOHM-BOHM, nous avons calculé les débits maximaux pour les crues annuelles sur ces 2 cours d'eau, à l'aide des observations de 1957.

Pour la SOUSSOU, on a suivi le plan :

- P<sub>M</sub> = 75 mm avec K = 80% d'où P = 60 mm
- Averse unitaire à K<sub>r</sub> = 10% d'où V<sub>r</sub> = 44.500 m<sup>3</sup>
- La crue annuelle avec 600 à 700 l/s d'apports souterrains, atteint 6 m<sup>3</sup>/s soit 800 l/s.km<sup>2</sup>.

Pour la LHOTO à BOHM-BOHM, les conditions d'averse restent les mêmes ; on prend un coefficient de ruissellement plus élevé, égal à 13%. Le volume ruisselé vaut 93.500 m<sup>3</sup> et le débit maximal de crue annuelle atteint 6,5 m<sup>3</sup>/s, soit 550 l/s.km<sup>2</sup> environ.

La crue n° 17 du 4/8/57 est tout à fait comparable à cette estimation : Q<sub>M</sub> = 6,3 m<sup>3</sup>/s après une pluie de P<sub>M</sub> = 81 mm.

Rappelons que les crues décennales calculées pour ces deux cours d'eau admettent les maximums suivants :

- 16 m<sup>3</sup>/s ou 2.150 l/s.km<sup>2</sup> sur la SOUSSOU
- 18 m<sup>3</sup>/s ou 1.500 l/s.km<sup>2</sup> sur la LHOTO amont.

G) BILANS D'ÉCOULEMENT

L'écoulement de la LHOTO en 1959 a duré un peu plus de 3 mois, du 29 Juillet au 6 Novembre ; pendant cette période s'est produit un arrêt du 14 jours du 11 au 25 Août. Nous sommes loin de 1957, année où la LHOTO avait coulé du 21 Mai au 12 Décembre, sans interruption.

Il est intéressant d'examiner les deux courbes de tarissement de la LHOTO, en Août et Novembre 1959, l'arrêt de l'écoulement étant survenu très rapidement. En admettant le principe de la décroissance exponentielle des débits, on avait montré en 1957 que pour la LHOTO, elle suivait la loi  $Q = Q_0 e^{-0,28 t}$ . Or, si l'on applique la même relation au tarissement d'Octobre 1959, à partir du 23, date de la dernière pluie (et crue), on trouve que l'écoulement aurait dû cesser entre le 16 et le 20 Novembre. Le tarissement a été beaucoup plus rapide puisqu'il n'y avait plus d'eau le 6 Novembre. Le tarissement d'août fût aussi rapide et ces deux phases admettent un coefficient  $\alpha$  compris entre 0,45 et 0,50, c'est-à-dire beaucoup plus fort que celui de 1957, égal à 0,28.

Il faut voir là, à notre avis, l'effet désastreux de l'année 1958 sur les réserves du bassin qui, du fait de la conformation un peu particulière de leur gîte, peuvent obéir à des lois de vidange assez différentes d'une année sur l'autre.

Le bilan d'écoulement tel qu'il figure au tableau n° 5 appelle les commentaires suivants :

- a) on retrouve pour les mois de la 2ème saison des pluies, des coefficients d'écoulement  $K_e$  de 25 à 30%, comme en 1957,
- b) la lame d'eau écoulee est inférieure de moitié à celle de 1957 : 101 mm contre 198 mm. Ceci résulte de l'extrême sécheresse de 1958 qui avait fortement abaissé le niveau des réserves en eau du sous-sol ; en conséquence, la totalité des pluies du 1er semestre a été, soit consommée par les végétaux, soit utilisée pour la reconstitution de ces réserves,

Tableau N° 5

BILAN D'ECOULEMENT DE LA LHOTO A MOUMOU DJI  
EN 1959

-----

(A = 45 km<sup>2</sup>)

Périodes	P <sub>mm</sub>	V <sub>e</sub> m <sup>3</sup>	L <sub>e</sub> mm	D <sub>e</sub> mm	K <sub>e</sub> %
Janvier	(60)	nul	nulle		nul
Février	(35)	"	"		"
Mars	(65)	"	"	(65)	"
Avril	(95)	"	"	(95)	"
Mai	162	"	"	162	"
Juin	129	"	"	129	"
Juillet	151	18.250	0,4	150,6	0,3
Août	136	97.550	2,2	133,8	1,6
Septembre	186	2.150.150	47,9	138,1	25,7
Octobre	176	2.262.250	50,5	125,5	28,6
Novembre	5	2.250	~ 0	~ 5	~ 0
Décembre	0	0	0	0	0
Juillet- Novembre	654	4.530.450	101	553	15,7
Année 1959 (1200)		4.530.450	101	1099	8,4

↓

- c) avec une pluviométrie moyenne de l'année légèrement inférieure à celle de 1957 : 1.200 mm contre 1.228 mm, on obtient un coefficient d'écoulement nettement plus faible : 8,4 % contre 16,1%.

Mises à part les années 1956 (900 mm de pluie) et 1958 (680 mm environ) au cours desquelles la LHOTO n'a pas coulé, et qui constituent donc des limites inférieures de la correspondance pluie-écoulement, on ne dispose que des résultats de 1957 et 1959 pour estimer cette correspondance. Le matériau est insuffisant. Il est cependant intéressant de remarquer qu'en admettant le principe de la relation linéaire entre pluie et lame d'eau écoulée, on trouve que la pluviométrie limite pour avoir de l'écoulement sur la LHOTO est comprise entre 950 et 1.000 mm. Il n'y a pas lieu d'attacher d'importance à ces chiffres, sinon qu'ils sont assez bien concordants avec les observations de 1956.

Sur la KOLOMANDJE, bassin secondaire, l'écoulement n'a pas été suivi entre les crues avec autant de précision que sur la LHOTO ; on a pu cependant estimer raisonnablement le volume écoulé, pendant la période allant du 14 Juillet au 31 Octobre, à 2.050.000 m<sup>3</sup> environ. La date exacte du tarissement n'est pas bien connue, mais l'erreur sur le volume est négligeable. Le coefficient d'écoulement annuel (P = 1.188 mm) vaut 13,3 %. Il est nettement plus abondant que sur la LHOTO, et l'écart est comparable à celui qui avait été observé entre les stations de BOHM-BOHM et MOUMOUDJI en 1957, et cela pour les mêmes raisons inhérentes à la composition des sols.

## 2ème PARTIE

### OBSERVATIONS EFFECTUEES SUR LE BASSIN DE LA TERO (Région de DJOUGOU)

-----

#### CHAPITRE V

##### A) DESCRIPTION SOMMAIRE DU BASSIN -

La TERO, affluent de l'OUEME, coupe la route de SAVALOU à 3 km du centre de DJOUGOU. A cet endroit, la rivière a un bassin versant de 32 km<sup>2</sup> environ, qui présente grossièrement la forme d'un rectangle de 10 km de longueur sur 3 km de largeur, s'étendant d'est en ouest.

Il est compris entre les parallèles 9°39' et 9°42' de latitude nord, et entre les méridiens 1°34' et 1°40' de longitude est.

Son coefficient de Gravelius est :

$$K = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} = 0,28 \frac{26}{\sqrt{32}} = 1,29$$

L'ensemble du relief de la région de DJOUGOU est caractérisé par une série de buttes tabulaires, vestiges d'une vaste cuirasse latéritique. Sur le pourtour du bassin, nous retrouvons ces cuirasses témoins, plus ou moins démantelées, à SOUBROUKOU-PASSAR, à NEUBRANDE, à FOUNGA, à NEUMBAKOUBRA, etc... Grâce à la végétation de savane boisée qui les recouvre partiellement et grâce à leurs nombreuses fissures et aux sols souvent profonds sur lesquelles elles reposent, ces zones de cuirasses fossiles mettent en réserve l'eau de pluie qui sera lentement restituée à la rivière.

DAH 9392

ED:

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

LE: XII - V. MEML

DES: J. P. Haeffig

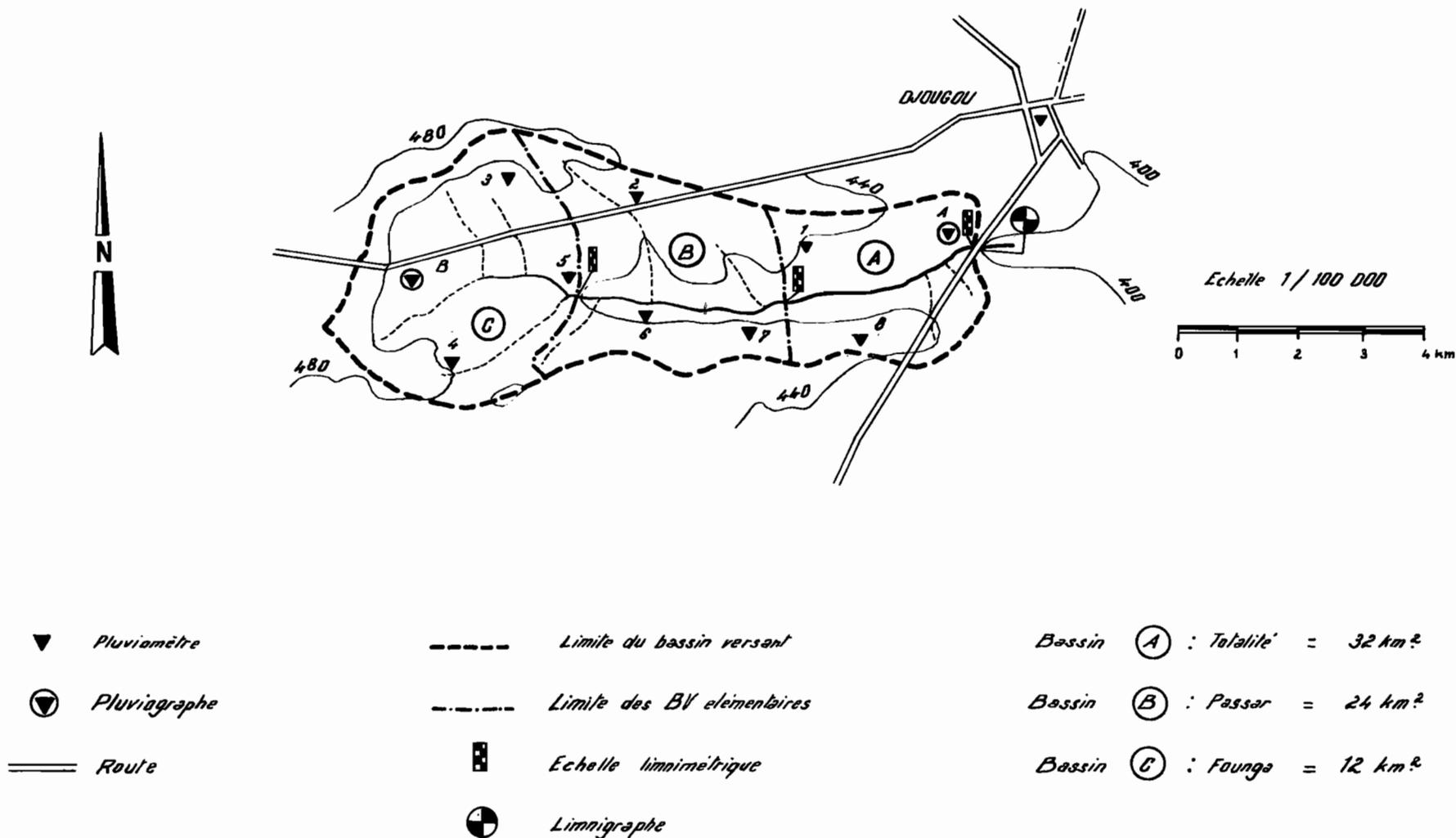
VISA:

TUBE N°:

AO

# BASSIN VERSANT DE LA TERO

Superficie : 32 km<sup>2</sup>



L'hypsométrie est assez mal définie par la carte au 1/200.000° qui ne fait pas apparaître le changement de pente de la retombée du plateau latéritique. Le point culminant du bassin atteint l'altitude de 496 m, le point de base : 416 m.

La longueur du cours de la TERO entre la source et la station de jaugeage est d'environ 12 km et la dénivellation d'une soixantaine de mètres. La pente moyenne de la rivière est donc de l'ordre de 5 m par km. Dans la partie basse du bassin, la pente, plus faible, n'atteint que 3 m par km.

Le réseau hydrographique est particulièrement ramifié dans le haut bassin. Dès que l'on descend en-dessous de la cote 440, le réseau devient moins dense et les affluents plus importants.

La végétation forestière (savane boisée dense à Karité) qui jadis couvrait une grande partie du cercle de DJOUGOU, est réduite ici à des îlots entourant des villages situés sur les plateaux cuirassés autour du bassin versant. C'est essentiellement une zone de culture où les maigres jachères, de 3 à 5 ans au maximum, sont surtout formées de graminées à base d'andropogonées avec de ci de là quelques repousses de Daniellia Oliveri, Gardenia, Cochlospermum etc...

La culture en buttes est pratiquée pendant 2 à 4 ans ; le sol est laissé quelques années en repos et les cultures recommencent jusqu'à l'épuisement.

Ce système de buttes et la pratique du billonnage parallèle à la pente sont d'autant plus dégradants que les pentes du bassin sont relativement fortes (2 à 6% en moyenne).

Le substratum géologique est gneissique précambrien à muscovite ou à biotite et muscovite. Les gneiss du socle sont imperméables et, en outre, le plus souvent séparés de la cuirasse latéritique par une couche argileuse de décomposition également imperméable.

Les sols ont été étudiés par M. LAMOUREUX dont on trouvera ci-après le rapport pédologique.

B) LES SOLS DU BASSIN VERSANT -

Tous les sols que nous avons observés sur ce bassin versant sont caractérisés, d'une part, par les accumulations d'hydroxydes, d'autre part, par une pente assez forte accentuant les mouvements des solutions du sol et les phénomènes d'érosion.

La rapide reconnaissance que nous avons faite de ces sols ne nous permet pas d'établir une cartographie précise : les taches de sol rouge, par exemple, sont simplement indiquées et non délimitées nettement.

Comme nous l'avons déjà dit plus haut, il existe tout autour du bassin une série de buttes dont l'altitude varie de 440 mètres en aval jusqu'à 500 mètres en tête du marigot Tero. Formées de blocs de cuirasse démantelée en voie de disparition, ces buttes sont en général occupées par des villages et constituent de petits réservoirs d'eau comme nous l'avons indiqué plus haut.

L'eau qui s'infiltré entre les blocs de cuirasse met en solution une grande quantité d'hydroxydes de fer et d'alumine. Cette eau ou ces solutions sont lentement restituées aux marigots par lessivage oblique à l'intérieur des horizons du sol. Mais dès que l'acidité diminue, qu'il y a une diminution de la pente ou un blocage des mouvements latéraux par la nappe d'un thalweg, nous observons des dépôts souvent considérables d'hydroxydes de fer et d'alumine. Nous obtenons ainsi en bas de pente des cuirasses dites "de nappe" plus ou moins durcies, des accumulations sur les faibles pentes mêmes, durcissant dès que l'horizon meuble supérieur est érodé.

Ces phénomènes sont très nets sur les pentes et en bas des pentes du bassin, le long de la route DJOUGOU-SAVALOU, sur la pente située sous le village de NEUBRANDE, etc...

Ces formations sont incontestablement nuisibles à la culture, mais comme l'a constaté l'hydrologue elles ne constituent pas forcément un obstacle à l'écoulement et même à l'infiltration de l'eau. Cependant, nous pensons que sur de telles formations l'eau a tendance à s'écouler plus qu'à s'infiltrer.

### Les sols rouges (Ferrallitiques) (1)

Nous n'avons reconnu ce type de sol qu'en quatre points bien distincts, cependant une prospection plus détaillée nous permettrait peut-être d'en trouver en d'autres endroits et de les délimiter précisément.

Ces formations ressemblent exactement aux Terres de Barre du Sud-TOGO-DAHOMÉY, avec la différence que les Terres de Barre ont été transportées par les eaux puis déposées, alors que ces formations n'ont été que faiblement remaniées.

Génétiquement, deux phénomènes semblent avoir conditionné leur formation : d'une part, une roche-mère tendre, peut-être amphibolitique ou schisteuse, correspondant sans doute aux intrusions amphiboliques dans les gneiss que signale P. AICARD sur sa feuille de NATTINGOU. d'autre part, un enrichissement important en hydroxydes à partir des cuirasses démantelées placées au-dessus. Ce n'est là qu'une hypothèse que nous chercherons à vérifier ultérieurement, de toute façon ces sols présentent un très gros intérêt surtout agricole.

Nous avons analysé deux séries d'échantillons de Neumbakouka et de Founnga qui confirment la ressemblance avec les Terres de Barre :

sols argilo-sableux, profonds, très bonne structure, bonne perméabilité, pH assez bas du fait d'un lessivage intense en éléments minéraux et organiques dans les horizons supérieurs.

Les teneurs en azote et carbone montrent que ces sols, probablement très recherchés par les cultivateurs, sont soumis à une culture intense faisant peu de place à la jachère.

Sur le plan agricole, il conviendrait d'envisager leur régénération comme pour les Terres de Barre, en considérant que ce type de sol représente des surfaces assez importantes dans le nord Dahoméy.

---

(1) G. AUBERT a reconnu ce type de sol aux environs de DJOUGOU et l'a classé parmi les sols faiblement ferrallitiques.

De par leur bonne perméabilité et leur profondeur, ces sols retiennent une assez grande quantité d'eau, laquelle n'est restituée que très lentement (40 à 60% d'éléments fins).

### Les sols sableux à concrétions (Sols ferrugineux tropicaux).

La plus grande partie des sols du bassin versant sont des sols sableux très concrétionnés, extrêmement sensibles à l'érosion dès que la pente dépasse 2 et 3%.

Malgré les concrétions et leur faible productivité, ces sols continuent à être cultivés pendant 2 ou 3 ans avec des périodes de repos insuffisantes, si bien qu'ils atteignent un degré d'épuisement souvent très élevé.

Ces sols sont en général très lessivés (Tero XV<sub>1</sub> et XV<sub>2</sub>), mais il y a lieu d'établir une échelle de fertilité fonction le plus souvent de la pente, conditionnant elle-même les phénomènes d'érosion.

La présence de la roche-mère à faible profondeur et le faible pouvoir de rétention de ces sables à concrétions, ne devraient pas permettre à ce type de sol de constituer de grosses réserves d'eau après les pluies. Cependant, des failles ou des poches dans la roche peuvent constituer des accumulations d'eau souvent importantes.

### Les sols hydromorphes de thalwegs

Le long de la TERO et de ses petits affluents se sont déposés des éléments transportés ou roulés par les eaux, assez grossiers en amont (Tero B), plus fins en aval (Tero IV).

Bien que constituant des sols suffisamment riches, ils sont rarement mis en cultures du fait qu'ils sont continuellement gorgés d'eau.

Il est certain que longtemps après les pluies il doit rester dans ces sols une quantité d'eau importante et c'est souvent dans ces bas-fonds asséchés que sont creusés des trous pendant la saison sèche pour y récupérer quelques litres d'eau.

En conclusion de cette reconnaissance rapide des sols du bassin versant de la TERO, nous pouvons retenir certaines idées essentielles :

- sur le plan agronomique :

- Phénomènes d'érosion en nappe et lessivage des sols importants
- Degré d'épuisement très poussé
- Supériorité très nette des sols rouges, sablo-argileux profonds.

Nous noterons, outre les mesures anti-érosives ou de régénération souvent préconisées dans de tels cas, qu'il serait du plus haut intérêt d'établir sur ce bassin un ou plusieurs casiers de mesure de l'érosion. En effet, les résultats obtenus seraient extrapolables et nous permettraient d'évaluer l'intensité de l'érosion et d'orienter les mesures à prendre dans l'ensemble du nord TOGO-DAHOMÉY.

- sur le plan hydrologique, nous avouons qu'il nous est difficile de tirer des notions précises des quelques données précédentes. Dans une note antérieure (1), nous avons considéré ces questions de perméabilité, d'évapotranspiration et de bilan de l'eau, nous n'y reviendrons pas ici. Nous remarquerons simplement que dans l'ensemble les sols du bassin de la TERO sont perméables, mais que seuls les sols rouges et les sols hydromorphes de thalwegs sont susceptibles de constituer des zones où l'eau de pluie s'accumule un certain temps pour être restituée par la suite.

Il est certain qu'une prospection des sols plus détaillée pourrait être envisagée surtout si le projet d'établissement de casiers pour les mesures d'érosion était retenu.

---

(1) Etude du bassin versant de la LHOTO (Dahomey)  
LAMOUROUX - Septembre 1956

FICHE D'ANALYSES

(En % ou ‰ de terre sèche à l'air)

Echantillons	T. VII <sub>1</sub>	T. VII <sub>2</sub>	T. B <sub>1</sub>	T. B <sub>2</sub>	T. XV <sub>1</sub>	T. XV <sub>2</sub>	T. C <sub>1</sub>	T. C <sub>2</sub>
Type de sol	Terre rouge de Neumbakouka		Sol hydromorphe		Sol de pente concrétions		Sol rouge de Founga	
Profondeur en cm	0 - 15	40-70	0-20	50-90	0-15	40-60	0-15	50-90
Terre fine %	100	100	97	92	68,5	36	98	100
Humidité %	1,10	3,25	0,90	0,80	1	1	0,6	2
Argile %	7,5	47,25	8,75	8,75	10	13,75	5	28,75
Limon %	6,25	9	3,75	3,75	2,5	6,25	5	5
Sable fin %	74,25	32,5	77,75	81,5	75,5	59,5	80,25	-
Sable gros %	12,5	7,5	7,75	7,25	9,5	18	9,75	-
C %	0,48	0,30	0,49	0,17	0,78	0,36	0,33	0,16
N %	0,034	0,025	0,042	0,017	0,053	0,036	0,031	0,031
C/N	14,1	12	11,7	10	14,8	10	10,6	5,2
pH	5,6	5,7	5,5	5,3	5,3	5,3	5,7	5,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total ‰	0,260	0,342	0,149	0,273	0,291	0,394	0,273	0,300
N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,3		2,8		1,8		1,15	

FICHE D'ANALYSES

Echantillons	Profondeur cm	Argile+Limon %	Perméabilité K = m/sec.	Porosité %
Tero II	30-55	22,5	$1,9 \cdot 10^{-5}$	29,5
Tero IV	40-80	42,5	$1,51 \cdot 10^{-5}$	37,3
Tero V	40-80	40	$5,05 \cdot 10^{-5}$	34,2
Tero VII <sub>2</sub>	40-70	56,25	$3,53 \cdot 10^{-5}$	28
Tero VI	40-60	42,5	$1,04 \cdot 10^{-5}$	31
Tero B <sub>2</sub>	50-90	12,5	$2,85 \cdot 10^{-5}$	17,6
Tero X V <sub>2</sub>	40-50	20	$1,83 \cdot 10^{-5}$	28,5
Tero O <sub>2</sub>	50-90	33,75	$1,8 \cdot 10^{-5}$	27,5
Tero A	100	55	$9 \cdot 10^{-6}$	37,2

P.S. - Pour avoir la perméabilité en mm/h, multiplier les valeurs en m/sec par  $36 \cdot 10^5$ .

C) CLIMATOLOGIE -

Le bassin versant de la TERO est soumis à un climat sahélo-soudanien caractérisé par des chutes de pluies assez abondantes (1.350 mm), tombant essentiellement d'Avril à Octobre. La saison sèche, longue de 5 à 6 mois, est marquée par un vent sec, l'harmattan, soufflant environ 2 mois par an. Les valeurs caractéristiques du climat sont fournies par la station climatologique de DJOUGOU et la station provisoire installée à FOUNGA sur le bassin.

1) Températures

Les températures moyennes, maximales et minimales (Tx et Tn) varient peu d'un mois à l'autre. La température moyenne de l'année, établie de Juin 1957 à Juin 1958 est de 26°2. La température moyenne mensuelle s'abaisse dès le début de la saison des pluies (24° au minimum en Juillet-Août environ) et s'élève à la saison sèche, pour atteindre son maximum aux mois de Mars et Avril (28 à 29° environ).

Le maximum moyen mensuel dépasse 35° (Février-Mars), puis décroît régulièrement jusqu'au mois d'Août où il est inférieur à 29°.

Le minimum moyen mensuel croît rapidement de sa valeur la plus basse (15 à 18° au mois de Février) à sa valeur la plus élevée (22 à 23° au mois de Mai), puis décroît lentement et régulièrement durant la saison des pluies et les premiers mois de la saison sèche.

L'écart (Tx-Tn) passe par un maximum en Février-Mars (16 à 20°) et diminue très sensiblement pendant la saison des pluies pour atteindre 8° en Juillet-Août.

2) Humidité

L'humidité moyenne présente de grandes variations tout au long de l'année. Elle dépasse 80% pendant la saison des pluies, puis décroît fortement du mois de Novembre jusqu'au mois de Février où on ne l'a estimée qu'à 44% en 1958 à FOUNGA (35% à DJOUGOU en 1957). De Décembre à Février l'harmattan souffle et provoque cet abaissement du degré hygrométrique en dessous de 50%.

### 3) Evaporation

Les mesures d'évaporation faites à la station de FOUNGA sur bac Colorado (0,92 x 0,92 m) ont montré qu'il s'est évaporé de Juin 1957 à Juin 1958 une lame d'eau de 1.884 mm dont 13% concernent le seul mois de Mars et 56% les 5 mois de Janvier à Mai.

Le tableau suivant donne ces résultats pour toute la durée des observations.

#### Evaporation en millimètres par jour

```

=====
:Année: J : F : M : A : M : J : J : A : S : O : N : D :
:-----:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:---:
: 1957:   :   :   :   : 3,6:4,3:3,1:2,7:3,0:4,1:4,8:5,2:
: 1958:6,2:7,6:7,9:7,0:6,7:4,5:4,4:   :   :   :   :
:       :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :
=====

```

On constate la variation de la moyenne journalière qui descend en-dessous de 3 mm en Août pour remonter jusqu'à plus de 7 mm en Février, Mars et Avril.

On peut admettre que le coefficient de passage du bac à la grande retenue est d'environ 90% ; ce qui donne 1.700 mm d'évaporation annuelle moyenne dans la région de DJOUGOU sur une nappe d'eau d'une certaine étendue. Les variations interannuelles peuvent présenter une ampleur de l'ordre de + 10% pour les fréquences décennales, de part et d'autre de cette moyenne.

### 4) Pluviométrie

Nous disposons avec DJOUGOU d'une longue série d'observations continues, sur 36 ans de 1922 à 1957. Les 36 valeurs de pluviométrie annuelle ont été classées et l'essai d'ajustement à une loi de Gauss de la série obtenue a été satisfaisant. On peut donc caractériser la pluviométrie annuelle à DJOUGOU par deux variables :

sa moyenne interannuelle  $\bar{P} = 1.367$  mm  
son écart-type  $\sigma = 263$  mm

Le coefficient de variation  $\frac{\sigma}{\bar{P}}$  vaut 0,192.  
Comme il se doit, en régime tropical de transition ~~de~~ sahélo-soudanais, l'irrégularité interannuelle est assez forte ; on peut la représenter aussi par le rapport des pluviométries de fréquences décennales sèche et humide :

pluviométrie de fréquence décennale humide : 1.703 mm ,  
" " " sèche : 1.031 mm  
rapport  $K_3 = 1,65$

Durant la période de 36 ans observée, les valeurs extrêmes sont de :

2.035 mm en 1931  
964 mm en 1950.

L'année 1956 avec  $P = 1.158$  mm est nettement déficitaire, puisqu'elle occupe le 29ème rang de la série. On peut lui affecter une éventualité sur 5 (fréquence quinquennale sèche).

L'année 1957, par contre, présente un notable excédent sur la moyenne ; avec 1.804 mm, elle arrive au 3ème rang et il est concevable de lui attribuer une fréquence inférieure à celle de l'année décennale humide ( $P = 1.703$  mm) ; selon l'ajustement de Gauss, elle serait égale à 0,05, soit à 1 éventualité tous les 20 ans.

La majeure partie des précipitations (70%) tombe entre Mai et Octobre, les trois mois de Juillet, Août et Septembre fournissant à eux seuls la moitié du total annuel. Nous donnons ci- après la répartition mensuelle des précipitations moyennes sur la période observée, ainsi que le nombre moyen de jours de pluie (97 jours par an) :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pluie en mm	3	7	40	88	133	161	232	271	286	134	16	4
Nbre de jours	0	0	4	5	12	12	13	17	20	10	2	2

Les observations effectuées sur le bassin de la TERO donnent des résultats assez concordants avec ceux de la station de DJOUGOU. On le constate à la lecture du tableau n° 1 qui donne les pluviométries mensuelles, en 1956 et 1957, à DJOUGOU et les moyennes sur le bassin de la TERO.

En 1956, les cinq premiers mois ont été peu arrosés, et bien que Juin ait dépassé la moyenne, la sécheresse relative d'août accentue encore le déficit pluviométrique, de telle sorte qu'aucune période n'a pu bénéficier de conditions de saturation favorables à de forts ruissellements.

En 1957, la répartition des pluies est comparable à celle de l'année moyenne, les mois d'Avril et de Septembre ayant été particulièrement arrosés.

Nous ne possédons pas la série complète des précipitations journalières à DJOUGOU, qui seule aurait permis de fixer les valeurs des pluies de fréquences annuelle et décennale, après analyse statistique. Nous ne disposons que de quelques averses, parmi les plus fortes, dont voici la liste non exhaustive :

168,1 mm	le	17-8-1941
167 "	"	15-9-1931
135,3 "	"	7-8-1949
132,5 "	"	7-9-1949
128,6 "	"	22-9-1949
119 "	"	12-9-1931

Tableau n°1

REPARTITION MENSUELLE des PRECIPITATIONS

(en millimètres)

Mois	DJOUGOU 1956	Bassin TERO 1956	DJOUGOU 1957	Bassin TERO 1957
Janvier	0		0	
Février	43		0	
Mars	43		62	
Avril	44		175	
Mai	72	59	161	
Juin	212	235	203	169
Juillet	274	202	269	242
Août	162	150	296	248
Sept.	269	293	381	393
Octobre	36	57	169	112
Novemb.	3		12	
Décemb.	0		76	
Total Mai-Oct 1956	1025	996		
Juin Oct. 57			1318	1164
Total annuel	1158	(1100)	1804	(1600)

Les valeurs annuelles pour le bassin de la TERO sont estimées d'après les relevés de DJOUGOU pour les mois sans observations.

Les averses maximales des deux dernières années ont atteint 103 mm le 7-9-1957 et 81,5 mm le 20-6-1956.

Pour connaître, avec une bonne précision, les hauteurs de précipitations annuelle et décennale à DJOUGOU, nous avons procédé par analogie avec la station de FERKESSEDOUGOU (Côte d'Ivoire) pour laquelle l'étude statistique des pluies journalières a été effectuée.

Ces deux stations ont des régimes pluviométriques voisins :

	<u>FERKESSEDOUGOU</u>	<u>DJOUGOU</u>
Période observée	1927-1958	1922-1957
Moyenne $\bar{P}$	1.337 mm	1.367 mm
Ecart-type $\sigma$	252	263

A latitudes comparables (9°35 et 9°42 Nord) les deux stations ayant en outre une répartition mensuelle des pluies du même type, on peut admettre que les précipitations journalières y suivent une même loi de répartition. Nous adopterons pour DJOUGOU, les valeurs calculées pour FERKESSEDOUGOU, à savoir :

130 mm pour l'averse décennale  
75 mm " " annuelle.

D) EQUIPEMENT DU BASSIN -

1 - Equipement météorologique

L'équipement était des plus restreints en 1956. Il comprenait :

- 1 pluviomètre totalisateur à balance (Pluviographe) à Barei
- 1 pluviomètre à Sapaga
- 1 pluviomètre à Founga

En 1957 on a installé :

- 1 pluviographe à l'aval du bassin
- 6 pluviomètres répartis sur le bassin
- 1 station météorologique complète à Founga, dont les observations commencées en Mai 1957 se sont poursuivies jusqu'en Juillet 1958.

2 - Equipement hydrométrique

En 1956, l'échelle limnimétrique a été installée à 10 m en amont du pont de la route de SAVALOU où sont effectués les jaugeages. Les crues ont été enregistrées à l'aide d'un limnigraphe "RICHARD" placé au droit de la section de jaugeages, sur une colonne de buses de 0,60 m de diamètre.

En 1957, deux autres échelles limnimétriques furent installées :

- l'une à PASSAR, où le bassin versant a une superficie de 24 km<sup>2</sup>
- l'autre à FOUNGA, où le bassin versant a une superficie de 12 km<sup>2</sup>

toutes les deux sur le cours amont de la TERO. Ces échelles étaient destinées à l'étude de la genèse et de la propagation des crues sur un cours d'eau où elles sont d'allure assez hétérogène.

E) AVERSES OBSERVEES -

Les observations ont couvert en 1956 la période allant de fin Juin jusqu'à fin Septembre, et en 1957 du mois de Mai à la fin d'Octobre.

Les écarts mensuels entre les hauteurs d'eau recueillies aux divers pluviomètres sont importants et dans l'année 1957 le centre du bassin a été légèrement plus arrosé que les régions amont et aval, par exemple.

En général, les averses tombent suivant le schéma ci-après : forte précipitation intense pendant une demi-heure, suivie d'une traine assez importante de 3 ou 4 heures.

Les intensités maximales ponctuelles relevées sont les suivantes :

Date	Intensité mm/h	Durée minutes
23 Mai 1957	204	3
19 Juillet 1957	166	3
5 Juin "	150	2
4 Août "	140	4
13 Juillet 1956	132	5
7 Septemb. 1957	107	8

L'allongement du bassin ne semble pas très défavorable à une bonne répartition des pluies dans l'espace et, parmi les pluies importantes, on relève des coefficients de réduction  $K = P/P_M$  qui dépassent souvent 80% et même 86% pour l'averse du 21/6/56. Cependant, la répartition de la précipitation dans le temps n'est pas toujours homogène et on peut observer plusieurs heures de décalage entre les pointes d'une averse relevées aux pluviographes amont et aval. Il s'ensuit une grande hétérogénéité dans la forme des hydrogrammes de crues.

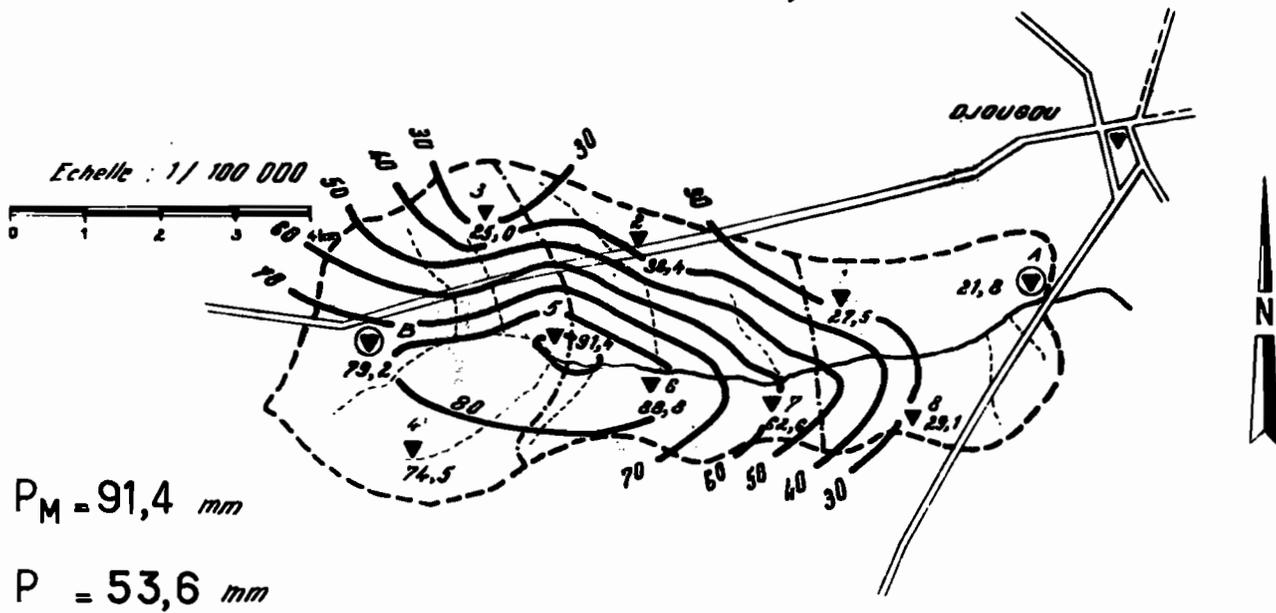
Les averses observées se rangent d'après les hauteurs de précipitations moyennes sur le bassin, dans le tableau suivant

Année	Mois	Total	0 à 10mm	10 à 20mm	20 à 30mm	30 à 40mm	40 à 50mm	50 à 60mm	60 à 70mm	70 à 80mm	80 à 90mm
1956	Juin à Septembre	51	23	12	6	5	2	1	1	-	1
	Mai	10	6	1	1	1		1			
	Juin	15	9	3	2		1				
1957	Juillet	16	7	4	3	1	1				
	Août	27	19	4	2	2					
	Septembre	21	13	4	1					2	1
	Octobre	13	7	5	1						
N <sup>bre</sup> d'averses =		102	61	21	10	4	2	1	0	2	1

En fait, ponctuellement on a relevé 5 averses qui ont dépassé la précipitation de fréquence annuelle, au cours des deux années d'observations :

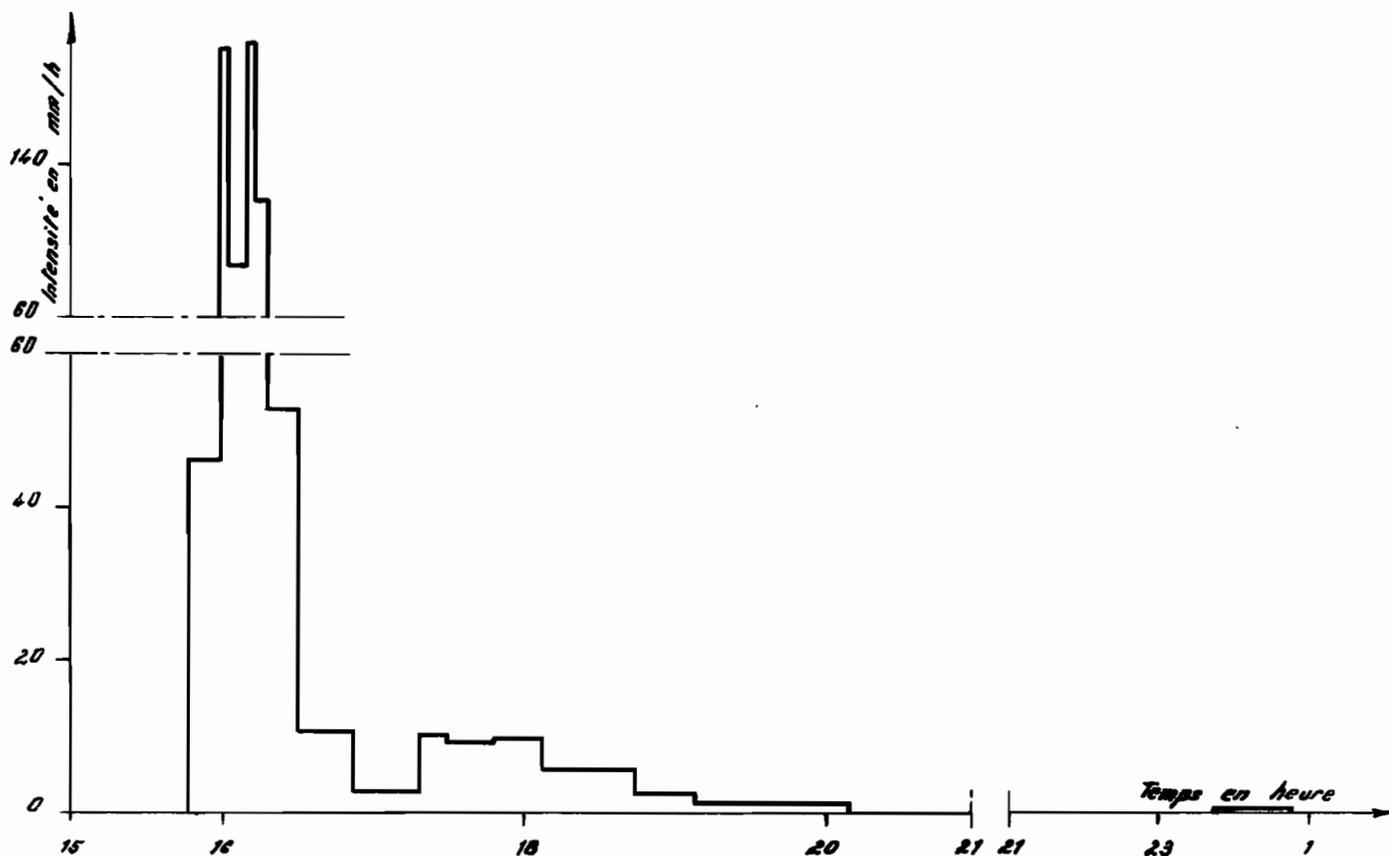
- l'averse n° 1 du 21/6/56 est la plus forte avec 111,3 mm de hauteur maximale, qui admet 88% de réduction pour donner 96,5 mm de moyenne. Son homogénéité dans l'espace est très bonne. Malheureusement on n'en connaît pas la répartition dans le temps par suite d'une carence du pluviographe. La pluie a duré 5 h. 30'.
- l'averse du 23/5/57 (n°1) n'atteint que 91,4 mm à FOUNGA, elle supporte une forte réduction de part et d'autre de son centre de FOUNGA : 59% pour arriver à seulement 53,6 mm de pluie moyenne. L'averse a duré 4 heures ; mais la partie la plus intense est survenue en rafale, sans pluie préliminaire, apportant 60 mm en 30 minutes, avec des pointes d'intensité dépassant 200 mm/h ; une

# BASSIN VERSANT DE LA TERO ( DAHOMEY )



ISOHYETES pour l'averse n° 1 du 23 Mai 1957

PLUVIOGRAPHE A AUGETS BASCULEURS " B "



DAH\_9389

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

ED:

LE: IVU - V. NENZI

DES: J.-P. Hooffier

VISA:

TUBE N°:

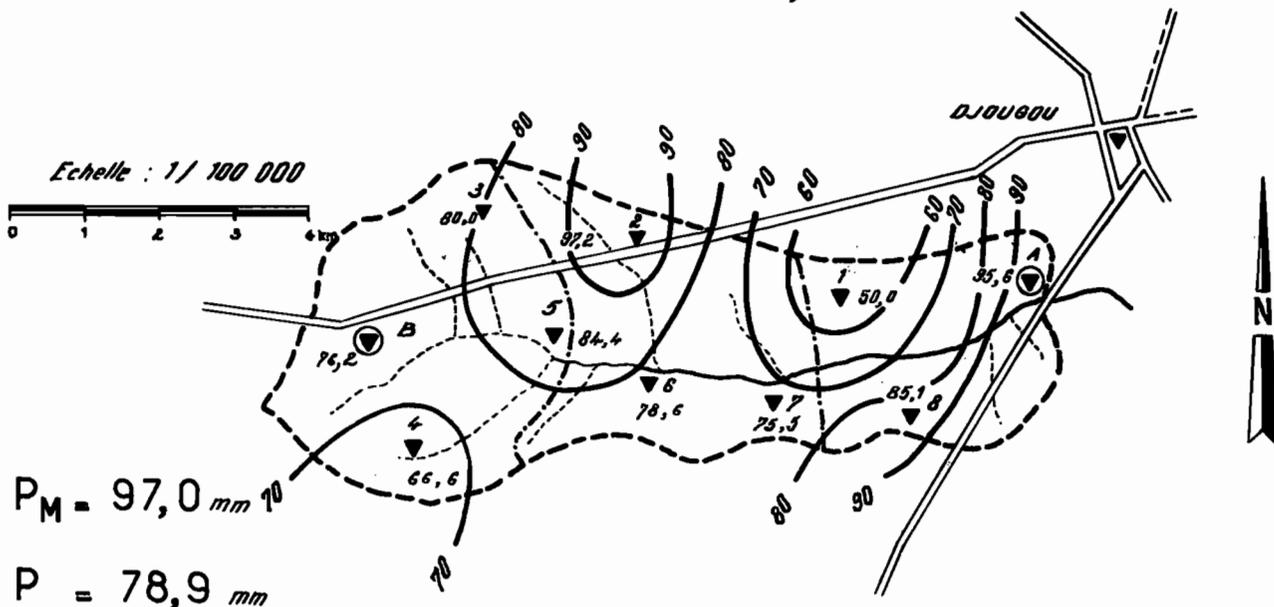
AO

traîne de plusieurs heures ( $I < 10$  mm/h) a fourni le complément de précipitation.

- le 5/7/57 (N° 23) on enregistre 120,4 mm au maximum ; mais il s'agit de deux averses espacées de 3 à 4 heures dont les durées sont réciproquement de 3 et 5 heures. Ces deux averses sont d'importance comparable, sans intensités excessives (30 à 60 mm/h au plus) ; le coefficient de réduction est de 61% pour donner 74,2 mm de hauteur moyenne pour la somme des deux averses non séparables dans les relevés.
- le 7/7/57 (N° 24), une série de courtes et intenses rafales a précédé pendant 9 heures la précipitation principale qui a cependant duré 3 heures. La partie la plus intense a fourni environ 60 mm en 1 heure, avec des pointes à plus de 100 mm/h. L'ensemble des pluies admet 81% de réduction sur la pluie maximale de 97 mm ( $P = 78,9$  mm).
- enfin le 27/7/57 (N° 25) deux averses tombent sur le bassin, séparées seulement cette fois par une accalmie de 1 à 2 heures ; elles avaient duré 7 et 3 heures, fournissant des hauteurs d'eau comparables. La lère était centrée à l'aval du bassin, la seconde à l'amont, ce qui conduit à deux épïcêtres (103,1 et 100,7 mm) pour l'ensemble de la précipitation. On arrive à 85,1 mm de pluie moyenne avec 84% de coefficient de réduction. La partie intense de la lère averse, pendant 1/2 heure à 1 heure, avait dépassé 70 et 100 mm/h pendant plusieurs minutes.

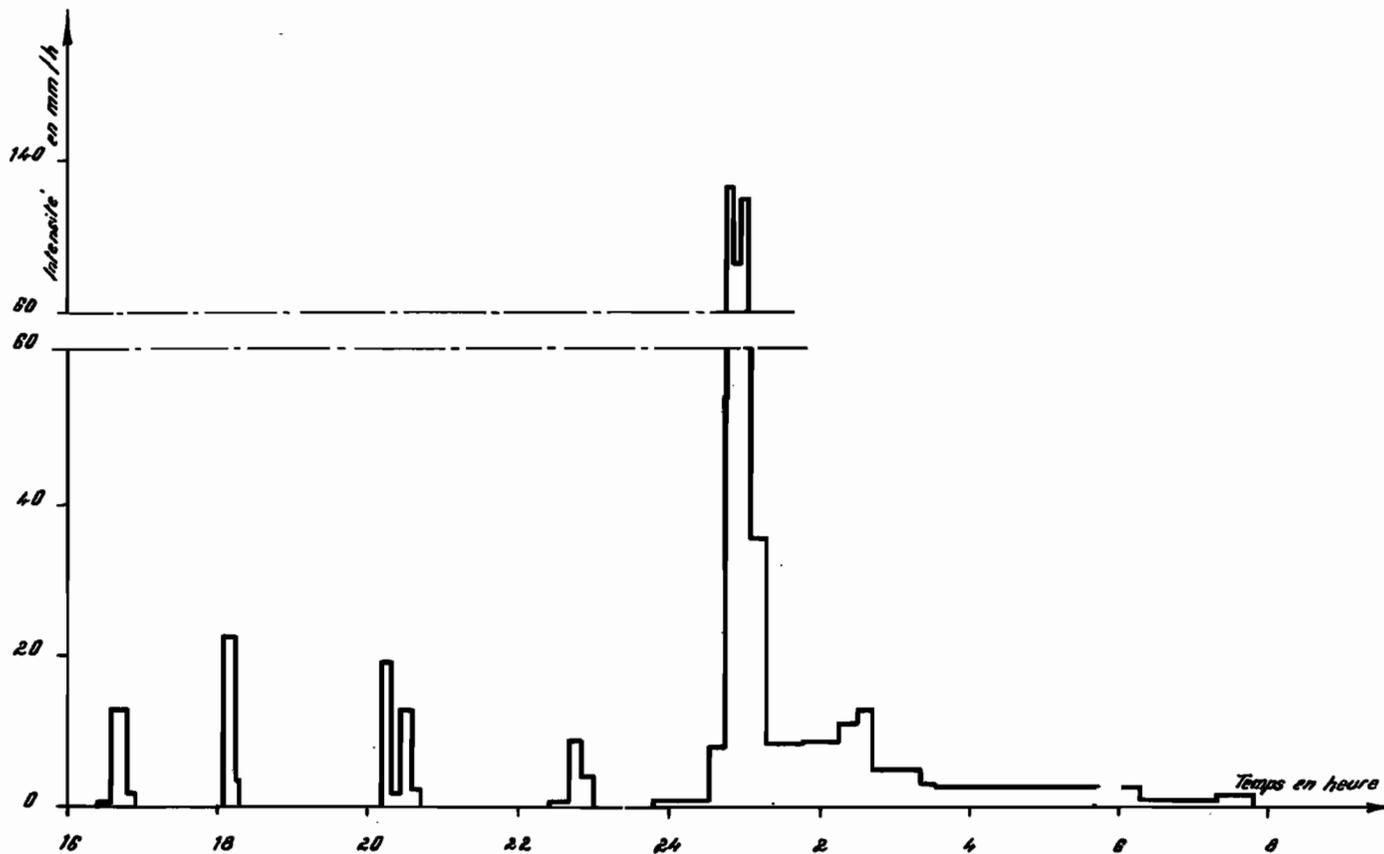
Toutes ces averses, si l'on tient compte du fait qu'elles sont tombées en moins de 24 heures, ont dépassé la précipitation de fréquence annuelle (75 mm). Aucune n'approche de la précipitation décennale (135 mm) si ce n'est celle du 5/7/57 (N° 23), mais dont les 120 mm sont dûs à la conjonction de deux averses. Pour le rôle hydrologique de ces averses, il est bien évident que deux précipitations engendrent une crue plus faible que si le même total d'eau était tombé en une seule fois, les conditions de saturation initiales étant identiques.

# BASSIN VERSANT DE LA TERO ( DAHOMEY )



ISOHYETES pour l'averse n° 24 du 7 Septembre 1957

## PLUVIOGRAPHE A AUGETS BASCULEURS " B "



DAH\_9391

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

ED:

LE: IVU - V. HENRI

DES: J.-P. HOEFFEL

VISA:

TUBE N°:

AO

F) CRUES OBSERVEES -

Le régime de la TERO se range dans la classe "tropical de transition à variante dahoméenne" : étiage très rigoureux, module spécifique faible et période de hautes eaux assez longue.

L'écoulement a commencé le 20 Juin en 1956, et un mois plus tôt, le 21 Mai, en 1957. Le débit moyen mensuel croît rapidement pour atteindre 1,77 m<sup>3</sup>/s en Septembre 1956 et 2,62 m<sup>3</sup>/s en Septembre 1957. Le tarissement se prolonge jusqu'à la fin de Décembre et l'écoulement doit cesser dans le courant du mois de Janvier.

L'étiage persiste par conséquent, durant cinq mois, malgré la présence sur le bassin de cuirasses latéritiques qui, souvent, accumulent suffisamment d'eau pendant l'hivernage pour fournir à la rivière un écoulement permanent.

Le lit de la TERO à SOUBROUKOU (station principale A = 32 km<sup>2</sup>) est assez stable puisque la même courbe de tarage établie en basses eaux en 1956 reste valable en 1957. Les jaugeages semblent présenter une précision suffisante, celui effectué à 0,98 m en 1956 est le plus haut de cette année-là ; la cote la plus élevée atteinte en 1957 fut de 2,40 m environ ; nous ne possédons pas les jaugeages ayant servi au tarage, et malgré que le débouché du pont n'ait qu' 1,70 m de hauteur, nous pensons que l'étalonnage a pu être mené à bien. La courbe résultante a une allure correcte.

A l'échelle de PASSAR, 5 mesures d'étiage et une en hautes eaux à 2,46 m près du maximum observé, ont permis le tracé de la courbe de tarage sans trop de difficulté.

A FOUNGA, il n'y a eu que 5 mesures en dessous de 0,55 m, la cote maximale en 1957 ayant été de 1,14 m. Les débits de crue sont mal connus, mais, comme les relevés de cette échelle présentent de nombreuses lacunes, nous n'avons pas eu beaucoup à l'utiliser lors de notre interprétation.

Par suite du mauvais fonctionnement du limnigraphe en 1956, 6 crues seulement ont été enregistrées complètement, ce sont d'ailleurs les plus importantes. Le 7 Septembre, le débit maximal atteint 4,3 m<sup>3</sup>/s soit 135 l/s.km<sup>2</sup> lors de la plus forte crue de l'année due à une pluie centrée sur l'aval du bassin (P<sub>M</sub> = 65,3 mm) mais présentant une forte

réduction :  $P = 25$  mm environ. L'averse du 21-6-1956 (n°1) malgré sa hauteur ponctuelle élevée est tombée sur un sol trop sec pour donner plus de  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En 1957, les crues sont beaucoup plus nombreuses (27) et pour un grand nombre le maximum dépasse  $4,3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Les trois fortes crues observées en Septembre 1957 ne présentent entre elles que peu de similitude en raison de l'hétérogénéité dans le temps et dans l'espace des averses qui les ont provoquées. Elles ont fourni les débits maximaux suivants :

Date	PASSAR, (24 km <sup>2</sup> )		SOUBROUKOU (32 km <sup>2</sup> )	
	Q <sub>m</sub> m <sup>3</sup> /s	q l/s.km <sup>2</sup>	Q <sub>m</sub> m <sup>3</sup> /s	q l/s.km <sup>2</sup>
5-9-1957	15,5	645	19,2	600
7-9-1957	22	915	27,17	850
27-9-57	15,5	645	15,05	470

L'étalement de l'onde de crue entre PASSAR et SOUBROUKOU est peu sensible, si l'on compare les débits spécifiques.

Ces trois crues résultent, bien entendu, des trois fortes averses, de fréquence inférieure à la pluie annuelle, analysées au paragraphe E.

Celle du 7 Septembre due à une averse unique a donné la plus forte crue, les deux autres précipitations, on se rappelle, sont dues à la succession de deux averses.

Quant à la forte averse de Mai 1957, les conditions de saturation défavorables ont réduit fortement le ruissellement :  $Q_M = 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

G) ANALYSE des CRUES de la TERO à SOUBROUKOU -

1 - Allure des crues

Les crues observées à SOUBROUKOU se caractérisent généralement par une double pointe. La première, rapide et parfois la plus haute, a lieu environ 2 h.30 après la pluie : elle correspond au ruissellement sur la partie aval du bassin due aux deux affluents de rive droite qui descendent du plateau de SOUBROUKOU. La seconde pointe est beaucoup plus molle et n'arrive à l'exutoire du bassin que 12 ou 14 heures après la pluie : c'est l'onde de crue en provenance de l'amont du bassin. L'absence de crue simple présentant un hydrogramme régulier est la conséquence de l'allongement excessif du bassin.

L'installation d'échelles limnimétriques à PASSAR et à FOUNGA, en 1957, a permis de suivre la progression des crues de l'amont vers l'aval du bassin. On observe effectivement qu'à FOUNGA ( $A = 12 \text{ km}^2$ ) l'hydrogramme ne présente qu'une pointe lorsque l'averse est simple. A PASSAR, il arrive que l'onde de crue soit précédée d'une pointe de ruissellement local, tandis qu'à SOUBROUKOU, le fait est systématique.

La superficie de la partie aval du bassin qu'il faudrait affecter au seul ruissellement local, pour dégager de l'hydrogramme l'onde de crue simple caractéristique du bassin versant, est très incertaine. C'est pourquoi, nous avons préféré conserver les hydrogrammes originaux et calculer de façon plus globale les divers coefficients.

En début de saison des pluies, lorsque la saturation des sols est encore faible, les deux pointes de crues sont assez bien séparées.

Nous disposons de 5 averses unitaires très bien réparties sur le bassin, qui se sont produites dans le courant des mois de Juin et Juillet 1957 et qui ont donné lieu à des crues de faible importance, mais dont on peut dresser un diagramme de distribution type assez caractéristique (les débits de ruissellement sont en  $\text{m}^3/\text{s}$  pour un volume de ruissellement ramené à  $100\ 000 \text{ m}^3$ ).

Date	- 16h	- 12h	- 8 h	- 4 h	0	+ 4 h	+ 8 h	+ 12 h
17 Juin	0,02	0,72	0,71	1,33	2,23	1,17	0,36	0,04
19 Juin	0	1,04	1,0	1,35	2,24	1,15	0,33	0,04
15 Juil.	0,25	0,64	0,63	1,22	2,11	1,20	0,50	0,10
26 Juil.	0,13	0,94	1,05	1,45	1,75	1,09	0,35	0,10
8 Août	0	1,25	0,81	1,16	2,22	1,24	0,31	0
Diagramme moyen	0,10	0,95	0,80	1,30	2,25	1,15	0,35	0,10

Au fur et à mesure que l'on avance dans la saison des pluies, les sols se saturent et ruissellent davantage notamment sur la partie aval du bassin et la pointe de crue due au ruissellement local devient prépondérante devant l'onde de crue du haut bassin. La crue du 24-8-1957 en est un exemple.

Lorsque l'homogénéité de la répartition de la pluie sur le bassin n'est pas bien respectée, l'averse étant cependant courte et simultanée sur tout le bassin, la position de l'épicentre de l'averse a une influence capitale sur la forme de l'hydrogramme :

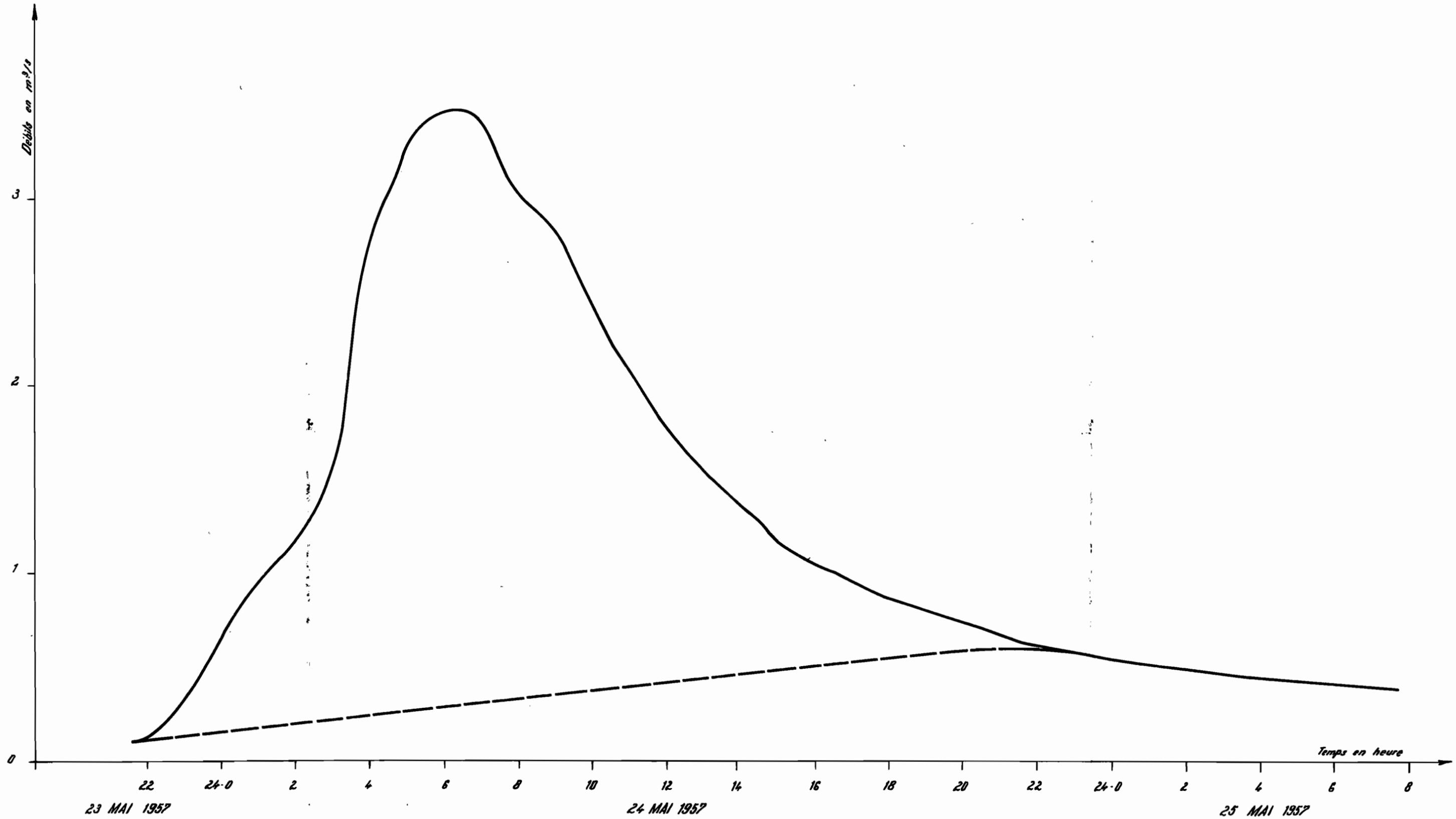
a) Une pluie centrée à l'aval entraîne un temps de montée court et l'onde de crue de l'amont peut parfois passer inaperçue sur la courbe de tarissement de la crue aval.

b) Inversement, une pluie centrée en amont entraîne un temps de montée 4 ou 5 fois plus long et le ruissellement aval peut ne produire qu'un gonflement insignifiant de la courbe de montée de la crue principale.

c) Lorsque l'averse a été courte et bien répartie sur le bassin, mais qu'elle n'est pas tombée partout simultanément, la crue résultante peut être soit courte et violente si l'averse a descendu le bassin (c'est le cas de la crue du 23 Mai 1957), soit longue et plus molle si l'averse l'a monté.

# BASSIN VERSANT DE LA TERO

CRUE DES 23 et 24 MAI 1959



DAH 9397

Il apparait donc qu'on ne peut considérer une averse unitaire comme telle que dans le cas où elle satisfait rigoureusement aux conditions de durée, d'homogénéité et de simultanéité.

En second lieu, il s'avère que l'averse unitaire ainsi définie n'engendre pas la crue la plus dangereuse, mais qu'une telle crue se produit lorsque l'averse met un certain temps à descendre le bassin : le débit élevé de l'onde de crue amont vient alors s'ajouter au ruissellement local de la zone aval. C'est ce que l'on observe pour la crue du 23 Mai 1957 et, de façon plus complexe, pour la crue du 7 Septembre 1957.

## 2 - Etude des plus fortes crues observées

### - Crue du 5 Septembre 1957 :

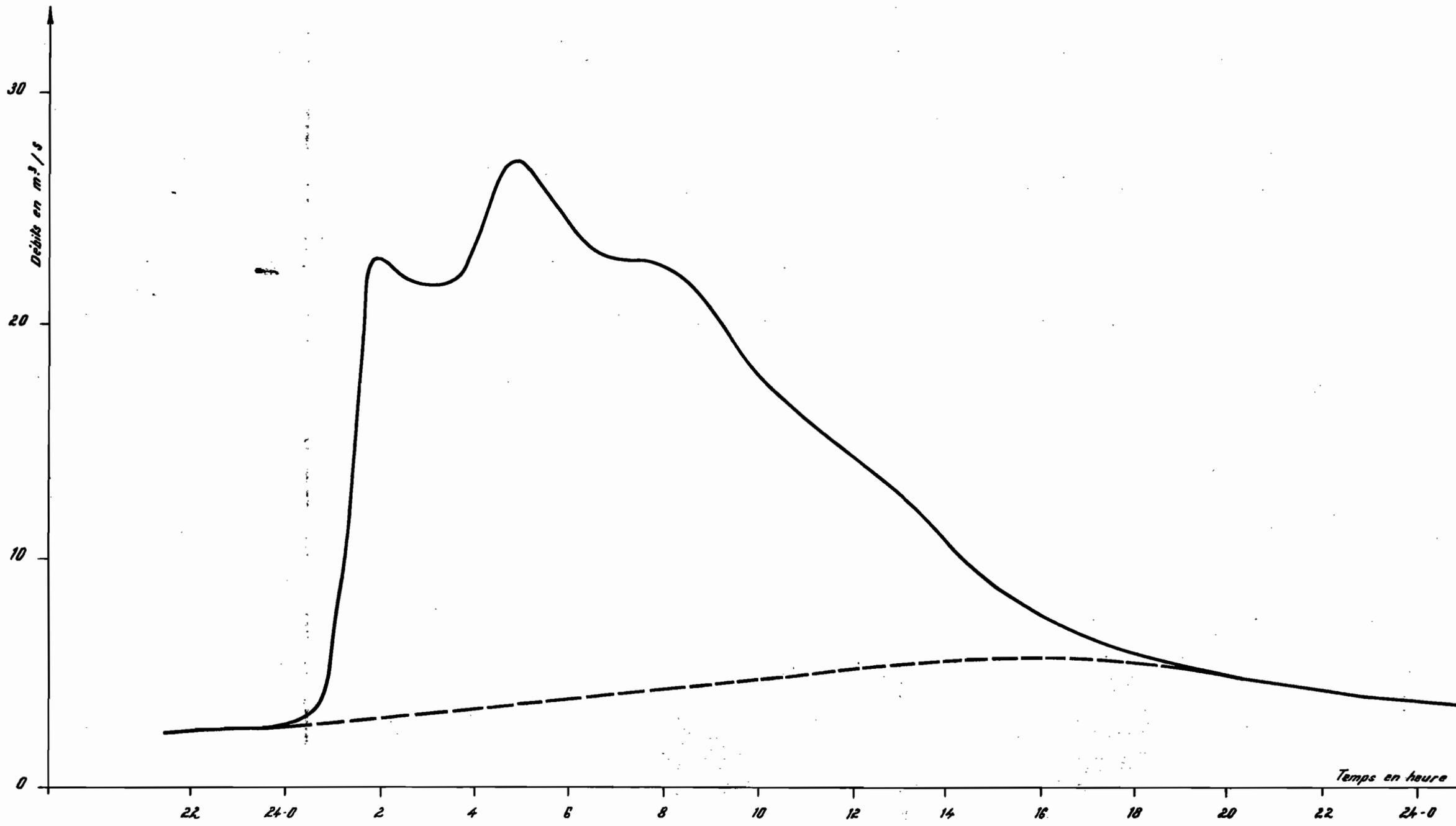
Deux averses se suivant à 6 heures d'intervalle ont provoqué cette crue très importante, dont le temps de base atteint d'ailleurs une trentaine d'heures. Le débit de pointe ( $19,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) doit son importance à la superposition au débit de ruissellement provenant de la seconde averse sur la partie basse du bassin, du débit de pointe de l'onde de crue de la première averse, arrivant du haut bassin. L'abondance de la précipitation ( $74,2 \text{ mm}$  de moyenne) et l'état de saturation du sol ( $Q_0 = 1,925 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $t_a = 2$  jours) sont tels que le coefficient de ruissellement atteint  $26,1 \%$ . Cependant, cette valeur aurait peut-être été dépassée si l'averse avait été mieux répartie dans le temps.

### - Crue du 7 Septembre 1957 :

L'averse du 7 Septembre, violente et bien répartie sur le bassin, est tombée sur un sol très saturé par la grosse averse de l'avant-veille ( $Q_0 = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Une série de rafales intenses et courtes ont provoqué, à partir de 20 heures, le 6, aux deux stations amont, un gonflement de l'écoulement qui n'est pas sensible à SOUBROUKOU. A partir de 24 heures, l'aval ruisselle et on observe la première pointe de l'hydrogramme ( $23 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Les deux pointes suivantes sont dues à la superposition de l'onde de crue amont et du ruissellement aval. Le temps de base de la crue ne dépasse pas une vingtaine d'heures : la crue est donc rapide, brutale et dangereuse. C'est la crue la plus importante de l'année 1957 ( $27,17 \text{ m}^3/\text{s}$ ) dont le coefficient de ruissellement s'élève à  $30,9 \%$ . L'influence des rafales préliminaires étant incertaine, il est difficile de conclure à une averse et à une crue unitaire. Nous opinerons

# BASSIN VERSANT DE LA TERO

CRUE DES 7 et 8 SEPT. 1957



7 SEPT. 1957

8 SEPTEMBRE 1957

DAH\_9388

cependant dans ce sens car le débit de pointe de ruissellement pour un volume  $V_r$  de 100 000 m<sup>3</sup> est élevé : 3,1 m<sup>3</sup>/s.

- Crue du 27 Septembre 1957 :

Elle est due à une pluie très abondante (85,1 mm), bien répartie dans l'espace, mais de longue durée (11 heures) et présentant deux pointes d'intensité à 10 heures d'intervalle, séparées par une courte accalmie. La première pointe de l'hydrogramme provient du ruissellement local de la première partie de l'averse sur l'aval du bassin. La seconde pointe, constituant la crue à proprement parler, est formée par la superposition complexe du ruissellement local correspondant à la seconde partie de l'averse, aux deux ondes de crue amont consécutives qu'ont créées chacune des pointes de la pluie. Cependant, le faible état de saturation du sol ( $Q_0 = 0,85$  m<sup>3</sup>/s et  $t_a = 5$  j) vient limiter le débit de pointe de la crue à 15 m<sup>3</sup>/s, ainsi que le coefficient de ruissellement qui n'atteint que 16 %.

On trouvera les valeurs caractéristiques de ces trois crues dans le tableau n°2 ; nous les avons groupées avec 5 crues de 1956 et 4 des crues de 1957, parmi les plus importantes, ou les plus significatives. Ce tableau se présente comme ceux du bassin de la LHOTO. Les valeurs de la pluie utile n'ont pas pu être estimées, pour 1956, à cause de l'insuffisance de l'équipement pluviométrique. Il est fait état des temps de réponse correspondant aux deux pointes de crue du bassin : 2 h à 5 h  $\frac{1}{2}$  pour la partie aval, et 11 à 20 heures pour la partie amont du bassin. Ces temps sont évidemment très variables du fait de l'hétérogénéité des averses dans le temps et l'espace.

Les temps de montée sont évidemment distribués en deux groupes correspondant à des durées voisines de celles des temps de réponse, et ne sont indiqués, sur le tableau, que pour la pointe de crue principale (d'origine amont en aval suivant le cas)

3 - Choix d'un hydrogramme-type

Nous avons vu, au début de ce paragraphe G, que les averses unitaires tombant sur des sols peu saturés en début d'hivernage donnaient des crues dont les débits maximaux de ruissellement, pour un volume de 100 000 m<sup>3</sup>, étaient voisins de 2,25 m<sup>3</sup>/s. Cette valeur est loin d'être la plus

VALEURS CARACTERISTIQUES des CRUES de la TERO

Tableau n°2

A = 32 km<sup>2</sup>

Date	t <sub>a</sub> j	P <sub>M</sub> mm	K %	P mm	P <sub>u</sub> mm	t <sub>u</sub> h	V <sub>r</sub> 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	K <sub>r</sub> %	K <sub>ru</sub> %	Q <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>m</sub> m <sup>3</sup> /s	t <sub>p</sub> h	t <sub>p</sub> h	t <sub>m</sub> h	Cam mm/h	Observations
<u>1956</u>																
21-6	1	112	86	96,5	-	-	96	3,2	-	0	2,55	-	18	8		Homogène
13-7	2	50	78	38,9			36,8	3		0,03	0,56	5 1/2	19 1/2	19 1/2		Max. amont
16-7	1/3	32	71	22,7			36	4,9		0,25	0,91	5 1/2	20	19		Homogène
28-7	1	24	80	18,9			28,3	4,7		0,91	2,06	4 1/2	15 1/2	15		Pluie prélimin.
7-9	1/3	65	40	25,8			50,5	6,1		2,71	4,33	-	19	17		Max. aval
<u>1957</u>																
23-5	2	91,4	59	53,6	41	3/4	110	6,4	8,4	0,12	3,47	-	14 1/2	8	50	Homogène
19-7	5	68,9	61	42	35	1	123	9,2	11	0,44	3,7	3 1/2	(11)	4 1/2	31	Max. aval
21-7	2	25,5	56	14,3	14	1	35,6	7,8	8,0	1,03	2,3	2 1/2	-	3	13	Aval seul
24-8	3	55,5	67	37	28,5	3/4	131	11,1	14,3	0,8	3,98	2 1/2	14	2 1/2	33	Homogène
5-9	2	120,4	61	74,2	57	3 1/2	620	26,1	34	1,9	19,2	3 1/2	11	11 1/2	11	Averse double
7-9	2	97	81	78,9	54	2 1/4	780	30,9	45	2,5	27,17	2	-	5 1/2	13	Pluies prélimin.
27-9	5	103,1	84	85	71,9	3	437	16,1	19	0,85	15	2 1/2	14	17	19,5	Averse double

t<sub>a</sub> { 1 jour après une pluie inférieure à 10 mm  
 { 1 " " " " comprise entre 10 et 20 heures  
 { 1 " " " " supérieure à 20 mm

élevée parmi le lot de crues observées. Il apparaît qu'en fin de saison des pluies, sur sols saturés, le ruissellement s'intensifie et que les plus fortes crues sont dues à la conjonction des ondes amont et aval provenant de pointes d'averses différentes.

Le calcul, pour toutes les crues du tableau n°2, des débits maximaux de ruissellement (ramenés à  $V_r = 100\ 000\ m^3$ ) montre :

- qu'en 1956, seule la crue du 28 Juillet fournit un débit élevé de  $3,2\ m^3/s$  ; l'averse faible avait bénéficié d'une pluie préliminaire suffisante pour saturer les sols ( $t_a = 1\ j$  et  $Q_0 = 0,91\ m^3/s$ ).
- qu'en 1957, après avoir éliminé :
  - a) les crues des 19/7 et 21/7 parce qu'elles proviennent d'averses n'ayant couvert que l'aval du bassin, la seconde arrive aussi à  $3,5\ m^3/s$ .
  - b) la crue du 24/8 trop molle, à 2 pointes séparées,
  - c) les crues des 5/9 et 27/9 dont les durées (3 h et 3 h  $\frac{1}{2}$ ) de la pluie utile sont un peu longues ; leurs débits n'atteignent que  $2,7$  et  $2,8\ m^3/s$ .

Il nous reste pratiquement les crues du 23 Mai et du 7 Septembre dues à la conjonction des deux ondes de crue amont et aval, et dont les averses sont unitaires. Leurs débits sont de  $2,9$  et  $3,1\ m^3/s$ .

Ces deux crues et celle du 28-7-56 ne forment qu'un lot insuffisant pour permettre le choix d'un hydrogramme-type; d'autant plus que les formes de leurs hydrogrammes sont très dissemblables étant donné leurs genèses complexes et différentes. Nous ne pensons pas que la méthode des hydrogrammes unitaires soit facilement applicable au bassin de la TERO, pour les fortes crues ; il nous faudrait un très gros échantillon de valeurs pour en décider.

Nous nous contenterons de retenir la valeur la plus probable du débit maximal de ruissellement (pour  $V_r = 100\ 000\ m^3$ ) d'une forte crue :  $3,2\ m^3/s$  soit  $100\ l/s.km^2$

Pour préciser la forme de l'hydrogramme de forte crue, on peut déterminer :

- a) le temps de montée correspondant à la crue principale, c'est-à-dire abstraction faite du petit gonflement préliminaire des ruisseaux de la partie aval quand il a lieu ; sa valeur est assez variable entre 4 h  $\frac{1}{2}$  et 8 h sensiblement.
- b) le temps de base ou durée totale du ruissellement qui reste entre des limites moins éloignées : 20 et 24 heures.

#### 4 - Capacité d'infiltration

Des mesures d'infiltration ont été effectuées à l'aide d'infiltromètre de 400 cm<sup>2</sup> muni d'une pointe de mesure, dans différentes zones du bassin versant expérimental de la TERO. Les résultats de ces mesures sont groupés dans le tableau suivant :

Types de sols	1ère mesure		2ème mesure	
	Vitesse limite d'infiltration en mm/h	Temps mis pour atteindre cette limite en mn	Vitesse limite d'infiltration en mm/h	Temps mis pour atteindre cette limite en mn
Sol hydromorphe argile jaune	90	5		
Sol à cuirasse	120	50	75	20
Sol argileux à concrétions	110	60	110	40
Concrétions et latérite friable			80	10
Sol rouge ferrallitique			70	20
Blocs latéritiques à concrétions			210	10
Blocs latéritiques sans concrétions	160	20	170	15
Sol argileux de pente	180	200		
Sol hydromorphe - argile noire	30	2		

Malgré la forte dispersion de rigueur dans ce genre de mesures, on peut dire pratiquement que la capacité d'infiltration s'établit entre 120 et 180 mm/h pour les sols ferrallitiques, à concrétions ou sur cuirasse ; ces valeurs peuvent descendre en-dessous de 100 mm/h peu de temps après une forte averse (2ème mesure). Les sols hydromorphes de thalwegs n'admettent que 30 à 90 mm/h d'infiltration.

On rejoint ici les résultats des mesures de perméabilité *in vitro* de LAMOUROUX qui s'échelonnaient entre 30 et 180 mm/h. Il s'agit là de valeurs classant le bassin de la TERO parmi les terrains à perméabilité moyenne, relativement inférieure à celle des sols de la LHOTO, par exemple.

Ces valeurs de la capacité d'infiltration, ou de la perméabilité, s'entendent pour des sols partiellement ou totalement ressuyés. Pendant une précipitation, ces valeurs s'abaissent notablement, comme on peut le constater en calculant les capacités apparentes moyennes d'absorption, à partir de la pluie utile.

Pour les 7 crues de 1957, analysées au tableau n° 2, on trouve des capacités  $C_{am}$  comprises entre 11 et 50 mm/h:

- 11, 13 et 19,5 mm/h pour les trois grosses pluies de Septembre, après lesquelles les terrains étaient proches de la saturation complète,
- 31 et 33 mm/h pour des averses de Juillet et Août, moins abondante,
- 50 mm/h pour l'averse de Mai, tombée sur un terrain sec.

La valeur de 13 mm/h pour la crue du 21/7 fait exception, mais il s'agit d'une pluie n'ayant intéressé que l'aval du bassin.

##### 5 - Coefficient de ruissellement

La détermination de la hauteur de précipitation limite, en dessous de laquelle ne se produit pas de ruissellement est assez difficile. Il ne faut pas tenir compte des pluies localisées soit à l'amont, soit à l'aval du bassin, car la hauteur moyenne de telles précipitations, calculée sur l'ensemble du bassin est sans signification.

Pour les averses généralisées, on obtient une limite stable autour de 12 à 14 mm, sans variation décelable avec l'écart de temps à la pluie précédente.

Au delà de cette limite, les pluies ruissellent, mais l'importance du ruissellement est surtout conditionné par l'état de saturation des sols.

Le coefficient de ruissellement croît d'une façon générale, pendant la saison des pluies. En 1956, il a gardé toute l'année une valeur faible car les précipitations n'ont pas été assez abondantes pour saturer suffisamment les sols. L'averse la plus importante (96,5 mm le 21-6) a malheureusement été la première de la saison ( $Q_0 = \text{nul}$ ) et le sol n'a presque pas ruisselé ( $K_r = 3,2 \%$ ). Les averses suivantes n'ont pas été assez fortes pour faire dépasser au  $K_r$  la valeur de 6 %.

En 1957, le  $K_r$  croît encore d'une façon continue tout au long de la saison pluvieuse et atteint son maximum (30 %) lors des violentes averses du 5 et du 7 Septembre. Les deux conditions de saturation du sol et d'importance de l'averse, sont, ici, particulièrement satisfaisantes. Par contre, la violente averse (85 mm) du 27 Septembre, n'a pas ruisselé en proportion de son importance ( $K_r = 16 \%$ ) car la seconde moitié du mois de Septembre n'a pas été très pluvieuse et la saturation du sol s'est très sensiblement abaissée ( $Q_0 = 0,85 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $t_a = 5$  jours).

D'une façon générale, le coefficient de ruissellement est faible et reste inférieur à 10 %, sauf lorsqu'en fin de saison des pluies surviennent de grosses averses.

Il y a cependant un phénomène analogue à celui observé sur la LHOTO qui intervient, mais d'une manière moins évidente. L'influence du total des précipitations sur une longue période est nette si l'on compare 1956, année sèche, et 1957, année humide :

L'averse du 7 Septembre 1956 bénéficie de conditions de saturation excellentes :  $t_a = 8$  heures et  $Q_0 = 2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , mais son  $K_r$  ne vaut que 6,1 %. Cette valeur est dépassée par celles de toutes les crues de 1957, provenant même d'averses plus faibles (cas du 21/7 et du 24/8 partiellement), et rencontrant des sols moins saturés ( $Q_0$  compris entre 0,10 et 1  $\text{m}^3/\text{s}$  et  $t_a$  variant de 2 à 5 jours). Ces crues donnent des  $K_r$  de 8 à 14 %.

Les grosses averses (5 et 7/9/1957) tombant sur des sols bien saturés ( $t_a = 2$  jours après une forte pluie et  $Q_0$  voisin de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) atteignent 26 et 31 % de ruissellement. Dans de telles conditions, des valeurs de 40 % semblent une limite supérieure pour le coefficient de ruissellement  $K_r$ .

#### H - ESTIMATION des CRUES ANNUELLE et DECENNALE

Les hypothèses de calcul pour la crue annuelle sont les suivantes :

$P_m = 75 \text{ mm}$  subissant un coefficient de réduction  $K = 80 \%$   
 $t_a = 2$  jours et  $Q_0$  voisin de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$   
coefficient de ruissellement  $K_r = 20 \%$

On aura, dans ces conditions :

$P = 75 \times 0,80 = 60 \text{ mm}$ , averse considérée comme unitaire

$V_r = 60 \cdot 10^{-3} \times 32 \cdot 10^6 \times 0,20 = 384 \text{ 000 m}^3$

$Q_{M_r} = 3,2 \times 3,84 = 12,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Avec un débit de base d'environ  $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , on arrive à  $14,5 \text{ m}^3/\text{s}$  soit  $450$  à  $500 \text{ l/s.km}^2$ .

Ce résultat est comparable à celui de la crue du 27/9/1957, qui n'avait pas bénéficié d'une saturation aussi bonne, mais dont l'averse atteignait 103 mm.

Pour la crue décennale, les hypothèses seront modifiées :

$P_m = 130 \text{ mm}$  avec un coefficient de réduction supérieur  
 $K = 85 \%$

Saturation excellente représentée par  $t_a = 2$  et  $Q_0$  voisin de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Coefficient de ruissellement  $K_r = 35 \%$

Le calcul donne :  $P = 130 \times 0,85 = 110 \text{ mm}$

$V_r = 0,110 \times 32 \cdot 10^6 \times 0,35 = 1.230.000 \text{ m}^3$

L'averse n'est plus unitaire, on doit admettre un abaissement sur le débit maximal de l'hydrogramme-type d'environ 10 % ; cela conduit à

$$Q_{Mr} = 2,9 \times 12,3 = 35,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ce débit atteindra 39 m<sup>3</sup>/s si on lui ajoute 3,3 m<sup>3</sup>/s de débit de base. La gamme des débits spécifiques peut être prise entre 1100 et 1200 l/s.km<sup>2</sup>.

## I) BILANS d'ÉCOULEMENT

En 1956, l'écoulement a commencé le 21 Juin ; au 31 Décembre, il n'y avait plus que 5 l/s de débit de base ; on peut augurer du tarissement vers la mi-Janvier.

En 1957, l'écoulement débute un mois plus tôt à cause des fortes pluies d'Avril et de Mai ; les relevés en notre possession s'arrêtent au 20 Octobre. A cette date, le débit de base était de 1 m<sup>3</sup>/s contre 0,25 m<sup>3</sup>/s en 1956. Nous avons estimé, dans ces conditions, que l'écoulement de la période de tarissement avait été double de celui de 1956. Cette hypothèse est assez pessimiste, car, après une année de forte pluviosité, il n'est pas déraisonnable de supposer que l'écoulement se maintienne jusqu'à l'hivernage suivant, la capacité de réserve des sols du bassin étant assez bonne.

Le tableau n° 3 récapitule les divers éléments du bilan d'écoulement de la TERO pour les deux années d'observations. Il ne faut pas attacher une grosse importance aux coefficients d'écoulement mensuels, qui sont gonflés par les apports souterrains en provenance de la nappe alimentée par les pluies des mois précédents. Ce fait est très net en Octobre. On peut cependant considérer que les valeurs trouvées pour les autres mois d'hivernage sont assez représentatives :

- 10 à 35 % pour Juin, Juillet et Août
- 40 à 55 % pour Septembre, le mois le plus abondant.

A l'échelle annuelle, on ne trouve pas un très gros écart entre les 2 années :

- 26 % pour 1956, année de fréquence quinquennale sèche
- 32 % pour 1957, année de fréquence sensiblement duodécennale humide.

Tableau n° 3

BILANS d'ÉCOULEMENT de la TERO

(A = 32 km<sup>2</sup>)

Année 1956

Mois	P en mm	V <sub>e</sub> en m <sup>3</sup>	L <sub>e</sub> mm	D <sub>e</sub> mm	K <sub>e</sub> %	Débit moyen m <sup>3</sup> /s
Janv. Avril:	(100)	nul	nulle	(100)	-	-
Mai	59	"	"	59	-	-
Juin	235	320 000	10	225	4	0,12
Juillet	202	1 190 000	37	165	18	0,44
Août	150	1 680 000	53	97	35	0,63
Septembre	293	4 600 000	144	149	49	1,77
Octobre	57	1 090 000	34	23	(60)	0,11
Novembre	(4)	163 500	5	-	-	0,06
Décembre	(0)	94 000	3	-	-	0,04
Janv. 1957:	(0)	(10 000)	-	-	-	-
Mai Oct.	996	8 880 000	278	718	27,8	
Année 1956:	(1100)	9 147 500	286	814	26	0,28

Année 1957

Mois	P en mm	V <sub>e</sub> en m <sup>3</sup>	L <sub>e</sub> mm	D <sub>e</sub> mm	K <sub>e</sub> %	Débit moyen m <sup>3</sup> /s
Janv. Avril:	(210)	-		(210)		-
Mai	(146)	400 000	12	(134)	8	
Juin	169	1 550 000	48,5	120,5	29	0,60
Juillet	242	2 220 000	69,5	171,5	29	0,83
Août	248	2 540 000	79,5	168,5	32	0,95
Septembre	393	6 780 000	212	181	54	2,62
Octobre	112	2 350 000	73,5	38,5	(66)	0,88
Nov. Déc.	(80)	(500 000)	(16)	(64)	-	
Janv. 1958:						
Mai Oct.	1310	15 840 000	495	815	37,9	
Année 1957:	(1600)	(16 340 000)	(511)	(1089)	32	0,50

Les valeurs entre parenthèses sont des estimations

Cet état de choses provient de la perméabilité des horizons superficiels des sols du bassin et de la capacité de rétention correcte des horizons profonds.

Evidemment, l'écart est plus important si l'on envisage les volumes écoulés ou les lames d'eau : 286 mm contre 511 mm.

Quant aux modules spécifiques, ils varient de 8,8 l/s.km<sup>2</sup> en 1956 à 15,7 l/s.km<sup>2</sup> en 1957.

Après deux années seulement d'observations, il est inutile de rechercher la moindre corrélation entre pluies et modules. Mais, étant donné que ces deux années sont l'une déficitaire, l'autre excédentaire par rapport à la moyenne, il n'est pas inconcevable de fixer les valeurs les plus probables de l'écoulement en année moyenne.

On admettra :

- 380 mm de lame d'eau écoulée
- 12 l/s.km<sup>2</sup> de module.

#### J - MESURES de DEBITS SOLIDES

Deux séries de prélèvements de matériaux en suspension dans les eaux de la TERO ont été effectuées en 1957. C'est évidemment insuffisant pour entreprendre une analyse complète du transport solide par ce cours d'eau, d'autant plus que nous ne connaissons ni la méthode de prélèvement employée par l'opérateur, ni la section mouillée du lit lors de cette opération. Aussi incomplète soit-elle, cette étude nous donnera cependant une idée de ces débits solides et de l'érosion des sols.

Les deux mesures ont été effectuées, après une crue, pendant la période du tarissement de l'écoulement de base :

- la 1ère le 2/8/57 pour H = 0,57 soit Q = 0,8 m<sup>3</sup>/s
- la 2ème le 28/9/57 pour H = 1,02 soit Q = 2,5 m<sup>3</sup>/s

Le tableau n° 4 donne les résultats de ces mesures en situant l'emplacement des prélèvements (abscisse et profondeur) dans le lit du cours d'eau et fournit le débit solide extrait de chaque prélèvement.

Tableau n° 4

MESURES de DEBITS SOLIDES

(Concentration en grammes/litres)

1) Le 2/8/57  $Q = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$

Distance à la rive gauche en m	Profondeur en mm			
	0,10	0,20	0,30	0,45
0,50	1,08	1,21	1,72	-
1,50	1,12	-	1,17	2,15
2,50	2,41	-	1,23	2,82

2) Le 29/9/57  $Q = 2,50 \text{ m}^3/\text{s}$

Distance de la rive gauche en m	Profondeur en mm					
	0,10	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
0,50	1,12	1,08	-	1,26	-	-
1,50	1,53	-	1,34	-	-	3,24
2,70	3,40	-	1,12	-	0,61	-

La lecture de ce tableau montre que le débit transporté en suspension :

- croît généralement en s'éloignant de la surface de l'eau
- croît aussi en s'éloignant des rives vers les zones à vitesses plus élevées.

Seule, la verticale 2,70 m de la deuxième mesure infirme ces remarques.

Comme ces prélèvements sont assez bien répartis, nous avons admis, compte tenu de l'imprécision due à la méconnaissance de la section mouillée réelle, que la moyenne arithmétique des concentrations trouvées pouvait représenter correctement la concentration moyenne dans la section.

On trouve 1,65 gr/l pour les deux séries de mesures.

Normalement le débit en suspension croît avec le débit liquide.

Pour nous donner une idée de l'érosion annuelle, nous admettrons que 1,65 gr/l représente la concentration moyenne quelque soit le débit; l'erreur peut atteindre 50 %, nous ne cherchons qu'un ordre de grandeur.

On calcule que le poids total d'éléments transportés en suspension au cours d'une année atteint :

- 15.000 tonnes en 1956
- 27.000 " " 1957

ce qui correspond au départ de 470 et 850 t/km<sup>2</sup> de matériaux meubles. Une telle érosion est considérable et doit conduire rapidement à l'appauvrissement complet de ces sols.

Le bassin de la TERO représente très valablement toutes les zones latéritiques du Nord du DAHOUEY, où la savane boisée naturelle a pratiquement disparue devant la mise en cultures intensive, comme c'est le cas près des villes importantes (ici, DJOUGOU). Les procédés de cultures par billonnages parallèles à la pente ne favorisent pas la conservation des sols. Il y a certainement là un problème important à résoudre si l'on veut maintenir fertiles ces régions. Mais on ne doit considérer ces résultats que comme des indices : le nombre de sites d'observations et de points de mesure est tout à fait insuffisant pour déterminer autre chose qu'un vague ordre de grandeur.

## CONCLUSION

Les analyses d'averses et de crues observées sur de petits cours d'eau nous ont permis de comprendre les phénomènes du ruissellement et de l'écoulement sur de faibles surfaces.

La notion la plus frappante, qui est apparue à la suite des études de la LHOTO, est celle du seuil de saturation des terrains, en dessous duquel il n'y a pas de ruissellement. Le phénomène doit ici sa netteté aux conditions particulières du bassin :

- perméabilité exceptionnelle des sols
- faible pluviosité répartie sur plus de 6 mois.

Dans tout le Sud du DAHOMEY, où la pluviométrie annuelle reste inférieure à 1200 mm et présente une répartition mensuelle de type équatorial, ce phénomène de saturation préalable des sols peut très bien se rencontrer dès que la perméabilité de ceux-ci devient considérable.

Au Nord de SAVE et SAVALOU, sensiblement, les pluies tombent en moins de 6 mois, selon le schéma classique du régime tropical. Leur fréquence est plus élevée et ces conditions de saturation sont, en général, rapidement remplies pour des terrains à perméabilités non exceptionnelles.

Au DAHOMEY, comme dans beaucoup d'autres régions d'Afrique, le facteur de perméabilité possède une influence prépondérante sur le ruissellement, puisqu'il commande à la fois la possibilité du dit ruissellement et son importance ( $K_r$  et  $K_e$ ).

Les sols de la LHOTO et de la TERO (sols sur arènes granitiques et sols ferrolitiques) donc moins perméables ne sont que 2 exemples de perméabilités, très différents entre eux. Ces deux bassins sont tous deux placés dans le centre du pays où affleure le socle précambrien gneissique à intrusions granitiques locales (DASSA-ZOUME, par exemple). Ils ne peuvent absolument pas prétendre représenter toutes les zones du pays et notamment les suivantes :

- alluvions récentes du Bas-DAHOMÉY
- montagnes de l'ATAKORA
- terrains crétacés de KANDI.

Si nous mettons à part les sols sur colluvions granitiques de l'Est du bassin de la LHOTO, les autres sols ont une origine semblable à ceux de la TERO. Ces sols ferrallitiques, à cuirassement plus ou moins important, peuvent présenter des gammes de perméabilités assez étendues. Cela résulte de leur mode d'évolution et du lessivage plus ou moins intense qui conditionnent leur teneur en argile. On peut donc arriver à des résultats aussi différents que ceux observés sur la LHOTO et la TERO, où les valeurs de la perméabilité, mesurées en laboratoire, sont dans les rapports de 1 à 5 et même de 1 à 10 suivant les horizons.

Quelque soit la composition géologique du sous-sol, l'analyse pédologique est indispensable pour apprécier réellement la perméabilité des terrains et prévoir leur comportement au ruissellement.

Après la pluviométrie et la perméabilité interviennent deux facteurs physiques, mieux connus en général : la pente et la végétation. Ils varient dans de grandes proportions, au DAHOMÉY entre les basses terres du Sud et les montagnes de NATITINGOU, d'une part, et des zones à cultures intensives à forte densité de peuplement aux savanes et forêts classées d'autre part. Ces deux facteurs physiques viennent ralentir ou accélérer le processus du ruissellement. Leur action se traduit sur les temps de réponse et de montée des hydrogrammes, sur le débit maximal de crue, sur la proportion de ruissellement dans l'écoulement total.

Ces quelques réflexions, assez déconseillées, ont pour but essentiel de bien montrer l'extrême diversité dans un pays comme le DAHOMÉY des quatre facteurs fondamentaux du ruissellement sur de petites superficies : pluviométrie, perméabilité, pente et végétation. Elles veulent, en outre, mettre en garde l'utilisateur contre une généralisation hâtive et trop extensive des données recueillies dans ces études.

Les caractéristiques hydrologiques des bassins de la LHOTO et de la TERO leur sont propres. Il n'est pas possible de les utiliser tels quels sur d'autres bassins qui n'auraient pas les quatre facteurs conditionnels comparables et une superficie voisine. L'extension des résultats à des bassins présentant des différences notables sur un ou plusieurs facteurs avec les bassins étudiés ne pourrait conduire qu'à des erreurs importantes. Dans ce cas, l'intervention des spécialistes hydrologues (et pédologues s'il y a lieu) est absolument indispensable. Eux seuls sont à même de juger si cette extension analogique est réalisable ou si une nouvelle étude sur le terrain s'avère nécessaire.