

ÉTUDES HYDROLOGIQUES DES PETITS BASSINS VERSANTS
D'AFRIQUE OCCIDENTALE



RAPPORT PRÉLIMINAIRE
sur les résultats de la campagne
1959

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE D'OUTRE-MER

▼
Service Hydrologique
▼

Juin 1960

D 8
AOF

Fédération du MALI
Ministère des Travaux Publics
des Transports et des Télécommunications
Service Fédéral des Travaux Publics

ETUDES HYDROLOGIQUES DES PETITS BASSINS VERSANTS
D'AFRIQUE OCCIDENTALE

RAPPORT PRELIMINAIRE
SUR LES RESULTATS DE LA CAMPAGNE
1 9 5 9

Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer



Service Hydrologique

Juin 1960

28 AOUT 1970

DS
AOF

10008

S O M M A I R E

Introduction

Chapitre I - Programme des études

Chapitre II - Moyens mis en oeuvre

Chapitre III - Exécution du programme

Chapitre IV - Observations effectuées sur les bassins du FLAKOHO (région de FERKESSEDOUGOU)

Chapitre V - Observations effectuées sur les bassins du NION (région de MAN)

Chapitre VI - Observations effectuées sur les bassins de l'Oued SELOUMBO (région de MOUDJERIA)

Chapitre VII - Observations effectuées sur les bassins de la LHOTO (région de DASSA-ZOUME)

Chapitre VIII - Conclusions générales

Par convention passée le 15 Juillet 1955 entre le Service Fédéral de l'Hydraulique de l'A.O.F. et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, ce dernier organisme s'engageait à "étudier, suivant les méthodes analytiques, les conditions d'écoulement sur dix bassins versants, de petite superficie, répartis sur le territoire de la Fédération".

Ces recherches ont pour objet de fournir des données de base sur les conditions générales de l'écoulement dans les divers territoires de la Fédération, en vue de la réalisation d'aménagements de toutes natures, dont l'étude nécessite la connaissance approfondie du régime de petits cours d'eau, aménagements tels que : ouvrages intéressant l'hydraulique agricole, ponts, etc....

L'avenant n° 7 à la Convention du 15 Juillet 1955 permettait de prolonger ces études jusqu'au 30 Juin 1959, début de la saison des pluies sur les bassins expérimentaux de l'oued SELOUMBO (République islamique mauritanienne), du FLAKOHO (République de Côte d'Ivoire), du NION (République de Côte d'Ivoire) et de la LHOTO (République du Dahomey).

Par avenant n° 3 à la convention du 8 Mai 1958 entre le Service du Génie Rural de MAURITANIE et l'ORSTOM, il était demandé à cet organisme de poursuivre les études des bassins de l'oued SELOUMBO jusqu'à la fin de la saison des pluies 1959.

De même, le Ministère des Travaux Publics de COTE d'IVOIRE, par convention du 18 Novembre 1959, donnait son accord pour la poursuite des observations sur le NION jusqu'à fin 1959.

Le Service du Génie Rural mettait à la disposition de l'ORSTOM les moyens matériels pour achever les études du FLAKOHO.

Enfin ORSTOM a pris à sa charge les dépenses afférentes à la fin des études de la campagne 1959 sur le bassin expérimental de la LHOTO.

Le présent rapport rend compte des activités de l'OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE OUTRE-MER pendant la campagne 1959 et des enseignements que l'on peut tirer des observations effectuées.

CH A P I T R E I

PROGRAMME des ETUDES

En 1958 les études avaient porté sur les bassins versants ou ensemble de bassins versants suivants :

Le FLAKOHO	(République de COTE d'IVOIRE)
Le NION	(République de COTE d'IVOIRE)
Le TIEMORO	(GUINEE)
Le marigot de TIN ADJAR	(République Soudanaise)
L'oued SELOUMBO	(République islamique de MAURITANIE)
Le GUEBE de SABONGA	(affluent de la MAGGIA)
L'IFOU	(République de COTE d'IVOIRE)
La LHOTO	(République du DAHOMEY).

En 1959, les restrictions de crédits imposaient de limiter les études aux bassins pour lesquels les résultats obtenus les années précédentes s'avèraient vraiment trop insuffisants pour en tirer des conclusions valables, c'est pourquoi les observations n'ont porté que sur 4 bassins :

- Le NION qui correspondait à un type de couvert forestier et de pente particulièrement utile pour la connaissance des limites supérieures du ruissellement en COTE d'IVOIRE

- Le FLAKOHO pour lequel l'année sèche 1958 n'avait pas apporté beaucoup de données utilisables et qui présentait un type de brousse guinéenne insuffisamment étudié

- La LHOTO pour laquelle par suite des deux années sèches 1956 et 1958 le volume total des observations était assez réduit, malgré 3 années d'études

- Et enfin l'oued SELOUMBO qui, comme tous les bassins en région subdésertique, nécessitait 3 années d'observations.

La masse de renseignements recueillis sur le guébé de SABONGA et le marigot de TIN ADJAR semblait assez importante pour qu'une année supplémentaire ne puisse pas ajouter des éléments essentiels. La nouvelle situation politique de la GUINEE rendait délicate l'exploitation du bassin du TIEMORO. Enfin, pour l'IFOU la nature très particulière de l'écoulement aurait conduit à des frais d'études élevés pour fort peu de résultats, c'est pourquoi les observations n'ont pas repris en 1959 sur ces 4 bassins.

Comme au cours des années précédentes, précipitations et écoulement ont été poursuivis simultanément et de façon continue sur ces 4 bassins pendant tout l'hivernage. Les mesures d'évaporation ont été poursuivies dans toute la mesure du possible jusqu'à la fin de l'année en même temps que l'observation des facteurs conditionnels (vent, température, humidité).

C H A P I T R E I I

MOYENS MIS EN OEUVRE

A - PERSONNEL

- Bassins du FLAKOHO :

Les bassins du FLAKOHO avaient été aménagés en 1958. Un agent technique, M. BOREL, a procédé à l'installation des appareils juste avant la période des fortes crues, puis il a passé ses consignes à M. LEULLIEUX qui a assuré l'exploitation du bassin jusqu'à la fin de l'hivernage.

- Bassins du NION :

Le responsable de ce bassin était un agent technique, M. RUAT, qui a été assisté de M. LEULLIEUX pendant le début de la saison des pluies. M. LEULLIEUX a replié le matériel à la fin de l'année, après le retour en congé de M. RUAT.

- Bassins de l'oued SELOUMBO :

L'exploitation de ce bassin était assurée par un agent technique, M. BERNOND, sous le contrôle d'un ingénieur M. BRUNET.

- Bassins de la LHOTO :

Un agent technique dahoméen, M. Bernard DOSSOU YOVO, sous le contrôle d'un hydrologue, M. JARRE, était responsable des observations sur les bassins de la LHOTO.

M. AUVRAY, maître de recherches basé à DAKAR, devait superviser l'ensemble des études pendant la saison des pluies.

B - MATERIEL

L'ensemble du matériel utilisé en 1958 a servi, de nouveau, pour l'équipement des bassins. Le remplacement des appareils usés ou détériorés a pu être effectué sans difficulté grâce à ceux qui ont pu être récupérés sur les bassins de TIN ADJAR, de KANDALA et de l'IFOU. Par contre, pour les véhicules, la situation a été beaucoup plus difficile ; aucun renouvellement n'ayant été effectué depuis le début de 1958. Sur certains bassins tels que celui de l'oued SELOUMBO, par exemple, cette situation a présenté de graves inconvénients et a été la cause du début tardif des observations.

Les bassins ont conservé le même lot de matériel qu'en 1958, sauf le FLAKOHO sur lequel un nouveau pluviographe a été installé au centre du bassin amont ainsi que 6 pluviomètres supplémentaires. Nous ne réperturons pas ici les listes du matériel employé qui figurent dans les chapitres II des rapports des années 1957 et 1958.

CHAPITRE III

EXECUTION DU PROGRAMME

Pour tous les bassins expérimentaux, il s'agissait de la dernière campagne d'études. Aussi rien n'avait à être modifié dans le dispositif d'observations. Tout le matériel était en place. Par contre, la convention d'études principale s'arrêtait au 30 Juin 1959, juste au début de l'hivernage, et ce n'est que très tard que nous avons pu obtenir des assurances quant à la reprise de cette convention par certains territoires. Cette circonstance, jointe au fait que ces contrats annexes, "simples dépannages", n'avaient pu être passés qu'à la condition expresse que l'on s'en tienne à la plus stricte économie, explique, dans certains cas, la date tardive de début des observations sur le terrain et la brièveté de la période d'observations.

Mais, malgré ces difficultés, aucune crue importante n'a été manquée. On trouvera ci-après, pour les quatre ensembles de bassins étudiés, les conditions générales suivant lesquelles ont été effectuées les observations.

- Bassin du FLAKOHO :

Il se posait un problème de personnel délicat : M. LEULLIEUX, le responsable désigné, ne pouvait être disponible qu'au début du mois d'Août, en outre, M. LEULLIEUX ne connaissant pas ce bassin, pouvait difficilement le mettre en observations le jour même de son arrivée.

M. BOREL qui avait suivi le bassin du FLAKOHO en 1958 a été renvoyé au début d'Août à FERKESSEDOUGOU, il a remis en place les appareils, a complété comme on l'a vu plus haut le dispositif pluviométrique et a passé les consignes à M. LEULLIEUX arrivé le 5 Août. Les observations se sont alors poursuivies normalement jusqu'à fin Octobre, l'hydrologue étant installé à la station amont. Les fortes crues d'Août et Septembre

1959 ont permis d'achever l'étalonnage de la station centrale et de la station amont (WOROSSANTIAKAHA), ce qui était le but principal de la campagne 1959.

Les observations ont été arrêtées le 31 Octobre 1959, la dernière crue s'étant produite le 22 Octobre.

- Bassins du NION :

Aucune difficulté, M. RUAT et M. LEULLIEUX résidant à MAN bien avant le début de la saison des pluies. Du 1er Mai au 31 Juillet, les hydrologues ont procédé à un simple contrôle des précipitations et des très légers écoulements, dans l'attente d'une plus forte saturation du sol. A partir du 31 Juillet, le dispositif complet d'observations a été mis en service, cependant, ce mois d'Août n'a pas présenté de crue intéressante, c'est seulement en Septembre qu'il a été possible de reprendre et d'achever l'étalonnage de la station n° 2. Au total, l'année 1959 a présenté presque autant de crues intéressantes que l'année 1958. Les observations ont été arrêtées au début de Novembre.

- Bassins de l'oued SELOUMBO :

Comme sur le FLAKOHO, les observations n'ont pu commencer que tardivement. M. BERIOND, responsable de ce bassin, est arrivé à DIONABA le 2 Juillet. M. BRUNET partait avec lui de DIONABA le 6 et devait abandonner le véhicule à MOUDJERIA. Tout le matériel a dû être transporté à dos de chameaux à l'oued SELOUMBO (oued MOKTAR et oued ALI). Toute la campagne a été effectuée sans véhicule, ce qui a donné lieu à des fatigues supplémentaires, mais à beaucoup moins de soucis. Les observations ont pu commencer le 11 Juillet. Seule l'averse du 2 Juillet a été manquée, mais on peut déduire de l'interrogatoire du gardien et de l'examen des délaisés que seul l'oued MOKTAR a présenté un écoulement très faible d'ailleurs.

Le 27 Août, une très forte crue a emporté la passerelle de l'oued MOKTAR, mais on a pu relever la cote maxima et avoir une idée du volume écoulé.

Il a été possible, au cours de l'année 1959, de corriger l'étalonnage de la station de l'oued MOKTAR, mais le nombre de crues importantes a été bien inférieur à celui observé en 1958. Les observations ont été arrêtées le 16 Octobre.

- Bassins de la LHOTO :

Les observations ont duré de façon continue de début Mai à fin Octobre, avec la présence permanente de M. Bernard DOSSOU YOVO, sous le contrôle de M. JARRE.

Le dispositif des mesures pluviométriques a été légèrement amélioré par rapport à la campagne 1958, un seul pluviographe (D) étant placé au centre du bassin de la KOLOMANDJE, un (A) sur la haute LHOTO, un autre (B) à MOUMOUDI, station météo et le dernier (C) sur la SOUSSOU. Les emplacements des pluviomètres sont restés sensiblement les mêmes qu'en 1958.

Aucun incident n'a marqué cette campagne. Deux averses importantes, mais non exceptionnelles, ont permis de corriger légèrement l'étalonnage de la station principale et de tarer la station de la KOLOMANDJE.

Cette quatrième campagne vient compléter fort utilement les résultats obtenus en 1957. C'est d'ailleurs la même conclusion que l'on peut faire pour les trois autres bassins, il se confirme qu'il aurait été tout à fait regrettable d'arrêter les études au 30 Juin 1959, alors que pour des frais supplémentaires minimes il a été possible d'achever l'étude générale entreprise en 1955.

C H A P I T R E I V

OBSERVATIONS EFFECTUEES
SUR LES BASSINS DU FLAKOHO
(région de FERKESSEDOUGOU)
(Côte d'Ivoire)

A - DESCRIPTION DU BASSIN

On se reportera au rapport de la campagne 1957 pour la description sommaire du bassin et en particulier pour l'étude pédologique. Indiquons simplement que les superficies des bassins versants sont les suivantes :

A la station aval de NAMBONKAHA	: 50 km ²
A la station centrale	: 31 km ²
A la station amont de WOROSSANTIKAHA	: 14 km ²

Le relief est peu accentué ; il s'agit de sols tropicaux ferrugineux lessivés ou cuirassés sur les plateaux et les pentes, les formations colluvionnaires des thalwegs ont une évolution hydromorphique, ce qui les rend peu perméables. La végétation est constituée par une savane arbustive claire.

B - CLIMATOLOGIE

Nous rappelons que la hauteur moyenne annuelle de précipitations est légèrement supérieure à 1300 mm (régime tropical de transition). On se reportera au rapport de la campagne 1957 pour plus de détails.

Les mesures d'évaporation ont été poursuivies sur bac type Colorado enterré jusqu'à Octobre 1959. Nous en donnons les résultats ci-après, en mm par jour, depuis le début des observations.

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

L'évaporation journalière est maximale pendant les 3 mois les plus chauds de la saison sèche : Février, Mars et Avril ; elle y varie entre 7 et 8 mm. Puis elle diminue avec les premières précipitations et descend jusqu'à sa valeur minimale qui se place en Août et Septembre. Suivant l'importance de la pluviosité de ces 2 mois, et par suite de la fraîcheur et de l'humidité, ce minimum peut descendre en-dessous de 3 mm ou rester supérieur à 4 mm. La remontée est ensuite régulière, tempérée en Décembre et Janvier par la fraîcheur nocturne.

L'évaporation totale annuelle est déjà notable. On trouve 1972 mm en 1958, année complètement observée, et 1829 mm pour les 10 premiers mois de 1959, ce qui conduit à 2100 mm environ pour l'année.

Les moyennes mensuelles effectuées pour la période d'observations conduisent à un total annuel de l'ordre de 2020 mm.

Pour passer à l'évaporation sur une grande nappe d'eau libre, on se rappellera les conditions d'implantation du bac. Il est enterré à quelques 100 mètres de la vallée du FLAKOHO, en amont de la route, où elle forme marécage. Ce site est assez voisin des conditions concevables pour une grande nappe d'eau ; on affectera un coefficient correctif de 0,90 aux observations du bac.

On arrive à une évaporation moyenne annuelle de 1800 mm environ, susceptible de varier de 10% de part et d'autre de cette valeur, lors d'années exceptionnelles.

C - EQUIPEMENT DES BASSINS

Il est resté sensiblement le même depuis 1957.

Il comprenait :

- une station météorologique à NAMBONKAHA où était installé le bac Colorado
- un premier pluviographe à la station centrale
- le second à WOROSSANTIAKAHA
- un troisième a pu être installé le 10 Août à l'extrémité amont du bassin de WOROSSANTIAKAHA
- 13 pluviomètres complétaient cet ensemble (carte du bassin ci-contre).

L'équipement hydrométrique était le suivant :

1°) A la station centrale ou station aval (n° 1) avait été installée en 1958 une passerelle en tubes prolongée dans la plaine d'inondation par une bande balisée avec un câble gradué fixe.

Les hauteurs d'eau étaient relevées grâce à un limnigraphe Ott à rotation journalière doublé d'une échelle de contrôle.

2°) A la station amont (WOROSSANTIAKAHA) ou station n° 2, les installations étaient les mêmes que celles de la station n° 1.

Comme en 1958, l'hydrologue résidait à WOROSSANTIAKAHA. Il avait sous ses ordres 1 aide-météo, 1 aide-jaugeur et 4 ramasseurs de pluviomètres.

DIV. 9571

ED:

LE:

DES:

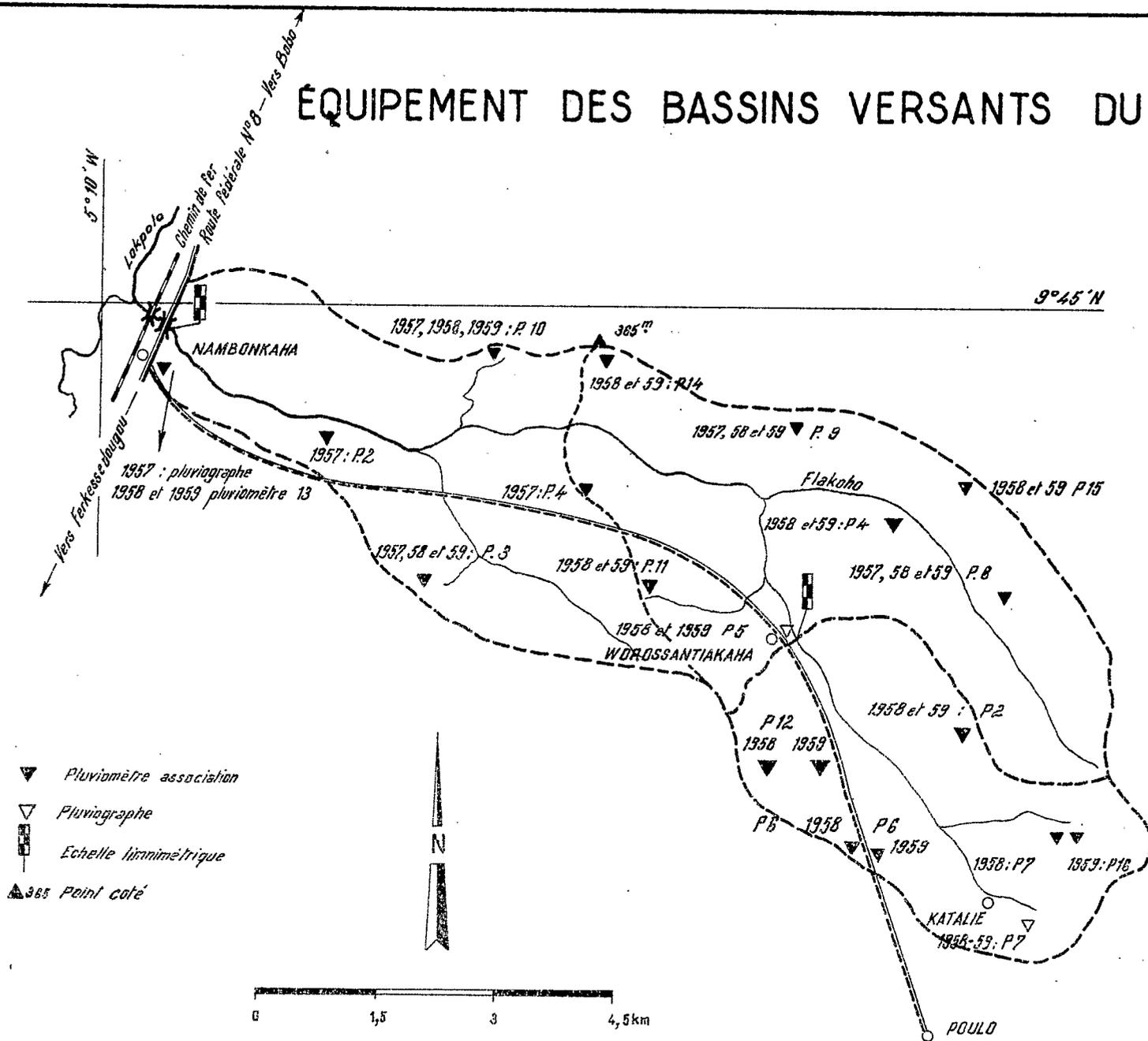
VISA:

TUBE N°:

AO

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

ÉQUIPEMENT DES BASSINS VERSANTS DU FLAKOHO



Il avait pour consigne, à chaque crue importante, de commencer par effectuer les mesures de débit à la station n° 2, puis à la station n° 1 et si l'état de la route le permettait il allait procéder à des jaugages complémentaires à l'ancienne station de NAMBONKAHA.

En Septembre, dès que le beau temps permettait de quitter le bassin expérimental, l'hydrologue regagnait les stations voisines du LOKPOHO et du BANDAMA pour en poursuivre l'étalonnage.

D - AVERSES OBSERVEES

Les observations ont couvert la période du 5 Août au 31 Octobre 1959.

Après la très faible année 1958, la pluviométrie de 1959 est à nouveau largement excédentaire.

On en trouvera la répartition mensuelle dans le tableau ci-dessous :

Mois	FERKE - Météo	NAMBONKAHA	WOROSSANTIKAHA (n° 5)
Avril	75	91	
Mai	103	73	
Juin	171	176	
Juillet	126	109	
Août	513	468	370 ⁽¹⁾
Septembre	513	331	279
Octobre	62	29	63
Avril-Oct.	1.563	1.277	
Total annuel	1.607		

(1) à partir du 9 Août.

A la station météorologique, le total annuel de 1.607 mm se place au 5ème rang sur 32 années dans la série classée. L'ajustement de Gauss donnant 1.660 mm pour la pluviométrie décennale, l'année 1959 est un peu plus fréquente et doit présenter une éventualité tous les 7 ans environ.

Elle est moins abondante que l'année 1957, mais la répartition mensuelle des précipitations y revêt un caractère particulier. Il s'agit de la concentration sur quelques mois.

97% du total annuel tombe d'Avril à Octobre.

64% sont dûs aux seuls mois d'Août et Septembre dont les relevés égaux à 513 mm sont les plus forts sur la période observée.

Ces maximums ont été atteints grâce à 23 jours de pluie en Août et 22 jours en Septembre parmi lesquels on relève :

91,6 mm	le 1er Août
119,5 "	le 8 Août
53,9 "	le 2 Septembre
134,7 "	le 4 Septembre
61,2 "	le 13 Septembre
69,3 "	le 18 Septembre

Les conditions de saturation des sols au cours de ces 2 mois devaient être exceptionnelles et très favorables au ruissellement. Il n'en a pas été cependant ainsi sur le bassin du FLAKOHO, où contrairement aux deux années précédentes, les précipitations sont nettement inférieures à celles reçues par la station de FERKESSEDOUGOU.

La concentration extraordinaire des fortes pluies sur ce poste a évidemment défavorisé par contre-coup le bassin qui n'a reçu que 800 mm en Août et Septembre à NAMBONKAHA contre 1025 mm à FERKESSEDOUGOU.

Sur la période de 6 mois, d'Avril à Octobre, le total de NAMBONKAHA, soit 1.277 mm, est égal seulement à 82% des 1.563 mm de la station météo. En admettant qu'il en est de même pour l'année entière, on peut évaluer à 1.310 mm environ le total recueilli à NAMBONKAHA. La pluviométrie moyenne sur l'ensemble du bassin

doit donc être du même ordre, voisine de 1.300 mm ; sa fréquence d'apparition est bien plus élevée que celle des 1.607 mm de FERKESSEDOUGOU puisqu'elle s'apparente pratiquement à celle de l'année moyenne.

Les pluies relevées en 1959 se répartissent, comme suit, selon leur importance :

Total	0-10 mm	10-20 mm	20-50 mm	50-100 mm	+ de 100 mm
41	23	6	7	4	1

Ce tableau s'applique aux relevés ponctuels effectués au pluviographe n° 5 situé près du village de WOROSSANTIAKAHA, au centre du bassin, pour les années 1957 et 1958 et aux valeurs moyennes pour 1959.

On trouvera ci-contre le tableau complet des averses observées.

En 1959, bien que les pluies aient été abondantes, il n'y a qu'une averse exceptionnelle, celle du 8 Août 1959 (averse n° 1 A et 1 B), survenue le lendemain de l'arrivée de l'agent technique sur son bassin, alors que la moitié du réseau pluviométrique n'était pas encore installée.

Il s'agit plus exactement d'une série de 3 averses, commencée le 8 à 23 heures et achevée le 9 à 14 heures.

- a) la plus grosse averse dure de 23 h à 2 h le lendemain, avec 3 pointes d'intensité de 75 mm/h, elle atteint 77,6 mm et 87,7 mm avec sa traine qui se prolonge jusqu'à 7 h $\frac{1}{2}$
- b) après $\frac{1}{2}$ h d'accalmie, survient une 2ème averse qui durera 4 heures à faibles intensités et dont le total sera de 21,8 mm
- c) une seconde accalmie de même durée et suivie d'une ondée courte (1 heure) et intense (90 mm/h) fournissant 23 mm.

BASSIN VERSANT DU FLAKOHO

LISTE DES AVERSES OBSERVEES

N°	Dates	F 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16
1 & 1	8-9/8/59	121,0	118,3	123,8	123,8	130,5	120,0	132,8	123,8	116,0	123,8	140,0	121,0	118,0	123,8	123,8	124,1
2	12/8/59	9,0	23,2	14,3	14,3	23,0	13,5	13,0	14,3	9,9	14,3	13,3	20,5	4,0	14,3	14,3	18,6
3	13/8/59	8,0	11,7	13,9	13,9	12,5	28,0	28,5	13,9	6,5	13,9	11,3	13,5	5,2	13,9	13,9	19,3
4	15/8/59	1,5	0	1,4	1,4	1,6	0,7	1,8	1,4	0	1,4	2,5	0,8	0	1,4	1,4	0,9
5	17/8/59	10,2	11,1	8,8	11,0	9,5	8,5	6,0	15,6	11,2	9,2	9,8	10,3	13,2	11,0	25,0	9,0
6	17/8/59	16,5	32,8	26,7	33,7	28,0	15,8	13,5	29,6	26,4	16,2	17,2	26,9	10,1	23,6	28,0	21,3
7	19/8/59	6,5	4,4	5,8	5,4	4,0	6,3	6,0	8,4	8,6	6,5	5,0	5,3	7,3	6,3	9,2	5,2
8	19-20/8/59	50,0	49,5	50,9	49,0	49,0	43,9	44,0	67,5	48,5	50,8	48,5	41,9	57,1	51	67,5	47,3
9	20-21/8/59	10,5	21,2	11,0	11,7	16,3	25,4	24,0	20,8	11,9	11,2	9,5	21,4	21,4	17,2	17,3	25,2
10	21/8/59	0,5	0	0	0	1,5	3,7	5,6	0	0	0	0	0	0	1,0	0	4,5
11	23/8/59	0	8,7	0	8,6	5,5	4,9	3,2	9,2	1,6	0	1,7	9,8	0	0	9,4	6,0
12	24-25-26/8/59	30,0	16,5	25,6	12,3	10,5	15,3	24,7	14,6	13,6	38,7	16,6	9,4	47,4	34,9	12,5	23,0
13	28/8/59	57,0	31,0	76,3	20,5	18,5	14,2	8,3	16,6	32,1	59,3	22,9	16,5	77,9	71,9	26,7	11,2
14	29/8/59	51,5	49,8	42,6	69,6	59,0	28,0	23,4	41,0	69,2	55,9	46,4	39,6	52,9	48,3	44,5	29,3
15	30/8/59	1,0	1,1	1,1	2,1	1,1	3,1	1,8	1,5	2,8	2,9	2,3	2,8	9,9	4,5	3,2	2,6
16	1/9/59	7,5	9,7	8,8	11,1	10,0	22,3	29,5	10,5	10,9	8,5	9,3	14,6	7,7	7,7	12,2	23,4
17	2-3/9/59	56,0	65,6	46,7	58,9	47,5	33,5	30,0	68,7	64,8	58,9	44,8	35,3	68,6	52,9	66,3	43,7
18	3/9/59	0,5	0	3,4	0	1,5	0	4,6	0	0	1,0	0	0	2,2	0,4	0	4,3
19	5/9/59	59,5	18,3	18,5	11,2	12,0	33,8	52,8	17,5	15,7	57,1	11,8	18,2	26,8	33,6	12,6	36,9

NOTA : n° 12 (24,25,26/8/59)- leur répartition dans le temps ne permis pas de les relever séparément - ruissellement faible.

Nº	Dates	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16
20	5/9/59	0,5	0	0	0	1,0	1,2	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	6-7/9/59	1,6	10,2	4,2	4,0	4,2	8,2	9,1	9,3	5,1	5,3	4,5	5,2	0,7	6,0	5,2	12,1
22	7/9/59	4,0	0	15,9	0	0	0	0	0	0	36,0	0	0	0	5,2	0	0
23	10/9/59	40,0	46,8	36,6	34,0	28,0	29,1	48,0	38,6	35,8	37,2	26,5	27,5	18,6	34,2	39,0	48,4
24	11/9/59	0	1,5	0	3,8	3,7	0,7	1,0	2,8	4,3	0	0	0	0	0	2,7	1,6
25	12/9/59	15,0	24,6	2,2	41,1	3,5	0,9	1,2	36,0	43,5	3,4	10,3	2,0	0,6	4,3	42,0	1,3
26	13/9/59	68,0	60,7	65,5	58,7	41,0	34,2	51,0	59,8	61,7	72,1	69,6	41,3	63,1	77,4	68,9	65,1
27	14-15/9/59	17,0	33,4	13,5	30,6	19,5	7,3	10,6	30,8	30,3	14,4	9,7	11,4	6,7	16,7	25,0	9,7
28	17/9/59	1,3	8,5	18,2	8,6	9,0	6,8	11,0	9,7	7,2	1,8	8,5	5,4	7,0	2,9	10,1	10,1
29	17-18/9/59	22,0	17,9	37,0	25,0	19,0	16,5	18,5	19,6	27,3	27,4	26,5	24,2	18,9	21,6	22,9	19,0
30	18/9/59	31,5	28,7	24,2	25,4	26,3	22,7	27,0	32,6	26,8	38,7	23,4	17,4	39,4	41,2	29,8	27,3
31	22-23/9/59	14,6	20,0	9,8	21,5	15,0	17,4	17,5	20,9	20,7	9,7	12,8	20,5	9,5	11,0	23,6	20,2
32	23/9/59	31,5	29,7	19,8	39,4	31,5	16,3	19,0	33,3	32,9	31,3	34,2	20,8	26,1	32,1	32,8	34,7
33	24/9/59	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	25/9/59	0	8,2	0	1,6	1,6	9,1	11,0	6,8	0,9	0	0,9	4,8	7,7	0	1,5	15,2
35	28/9/59	2,7	4,6	1,0	3,1	4,0	4,0	4,5	2,8	2,4	1,0	3,8	3,6	2,1	1,6	3,0	4,7
36	3/10/59	7,0	8,6	10,3	9,1	18,5	8,3	2,0	10,0	8,7	2,9	10,8	9,6	0	0,8	9,3	3,2
37	10/10/59	3,8	6,4	6,4	9,7	10,2	6,3	5,0	6,9	7,7	6,4	8,5	7,3	0,5	5,7	8,0	4,0
38	22/10/59	33,8	33,9	36	36	33,5	37,2	32,4	25,8	43,6	36	42,5	49,5	28,3	36	36	32,7
39	30/10/59	0	2,4	2,4	2,4	0,8	4,1	4,8	2,4	2,4	2,4	2,4	2,3	0	2,4	2,4	5,1

Il est tombé au total 130,5 mm au pluviographe central (n° 5) en 15 heures. Cette précipitation "journalière" dont la hauteur justifie la fréquence décennale, de par son allongement excessif, ne peut prétendre qu'à une fréquence plus courante, qui restera cependant supérieure à celle de l'averse annuelle, dont la lère pluie est le prototype.

L'homogénéité dans l'espace de cette précipitation est tout à fait remarquable, et les coefficients de réduction très élevés : 93% pour le petit bassin et 89% pour le grand.

Deux autres précipitations peuvent prétendre à la fréquence annuelle :

- a) celle du 28-8-59 (averse n° 14) $P_M = 77,9$ mm à NAMBONKAHA et seulement 71,9 mm à l'extrémité aval du bassin réduit. La pluie est insignifiante sur le haut bassin d'où un coefficient de réduction faible $K = 32\%$ ($P = 22,8$ mm). Bien que courte et intense, son excentricité la défavorise nettement quant au ruissellement résultant.
- b) celle du 13-9-59 (averse n° 26) avec $P_M = 77,4$ mm à l'extrémité aval du bassin central aussi. Un peu plus homogène dans l'espace, elle admet un coefficient K de 74% assez fort sur le bassin réduit. La répartition dans le temps est plus hétérogène.

Après une pluie préliminaire intense de 30 minutes, survient le corps de l'averse qui dure 1 heure ($I_{max} = 90$ mm/h), suivi d'une traîne de 3 heures.

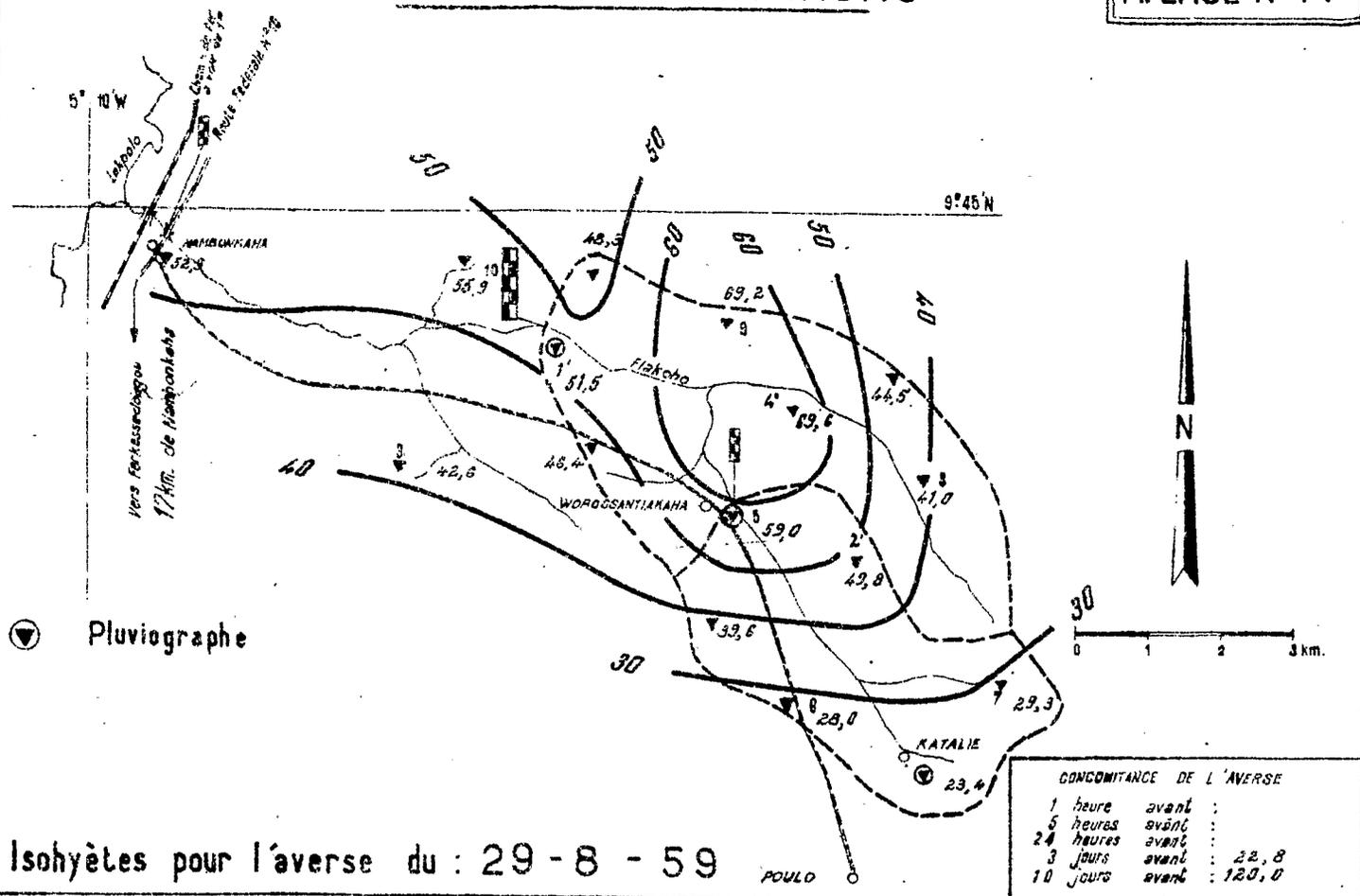
Ce schéma observé près du maximum ne se retrouve pas en remontant le bassin qui n'a pas reçu la pluie préliminaire et où les intensités sont plus faibles.

Dans l'ensemble, et en un point donné, les averses tombent suivant le schéma ci-après : faible ondée préliminaire (souvent inexistante), forte précipitation intense, suivie d'une traîne assez importante.

Les intensités maximales observées sont les suivantes :

Bassin versant du FLAKOHO

VERSE N°14

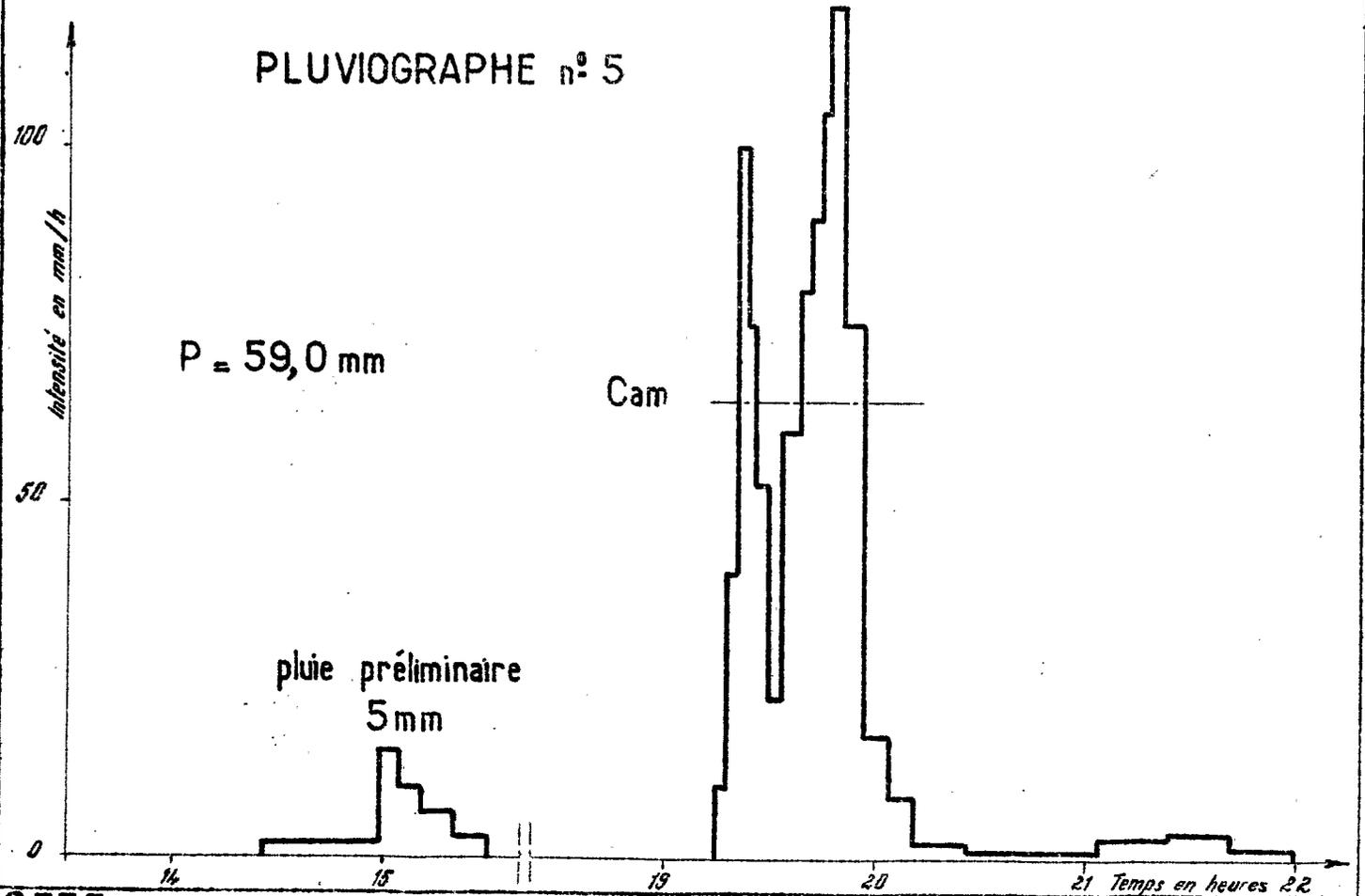


PLUVIOGRAPHE n° 5

P = 59,0 mm

Cam

pluie préliminaire
5mm



Date	N° averse	Intensité	Durée
29-8-59	14	150	2'
-	-	70	15'
5-9-59	19	120	3'
-	-	70	21'

La répartition dans l'espace, pour une averse donnée, n'est pas mauvaise. Certes en 1957, on constatait régulièrement de grosses différences entre les hauteurs d'eau relevées et les hyétogrammes de NAMBONKAHA et WOROSSANTIKAHA. La réduction du bassin versant, à sa partie amont, en diminuant l'allongement, a favorisé l'homogénéité des pluies sur l'ensemble de la surface drainée.

Si l'on considère l'ensemble des précipitations de 1957 à 1959, il n'y a pas de corrélation étroite, à proprement parler, entre le coefficient de réduction et la hauteur moyenne (ou maximale) d'une pluie considérée. On remarque cependant que les valeurs les plus fréquemment observées des coefficients de réduction K vont croissant avec la hauteur d'eau de pluie. Le tableau suivant illustre cette variation sensible :

Hauteur moyenne de l'averse	0 à 20 mm	20 à 50 mm	50 à 75 mm
N ^{bre} d'observat.	11	11	2
Limites des coefficients de réduct. K	de 30 à 70%	de 45 à 93%	
Valeurs les plus fréquentes K	50 à 60%	70 à 80%	75 à 85%

Ces ordres de grandeur sont valables pour le bassin réduit du FLAKOHO (31 km²). Pour celui de WOROSSANTIKAHA, on trouve bien entendu des averses plus homogènes et les coefficients de réduction des 2 tranches

de pluie de 20-50 mm et 50-75 mm se placent respectivement entre 80 et 85% d'une part, 85 et 90% d'autre part, pour leurs valeurs les plus fréquentes.

Si l'on veut examiner la pluviométrie à l'échelle annuelle, on constate une atténuation de la disposition, d'une part, et une répartition due au hasard des points les plus arrosés. En effet, la pluviométrie des années 1957 et 1959 fut excédentaire en aval et au nord du bassin, alors qu'en 1958 le sud-ouest et l'amont reçurent davantage de pluies. Les écarts à la moyenne, pour un pluviomètre donné, sont de 10 à 15% au maximum en 1957 et 1959 et 20 à 25% en 1958 ; cela peut s'expliquer par l'abondance des petites pluies en 1958 qui ont des coefficients de réduction plus importants et qui sont toutes des tornades courtes, à faible rayon d'action, à l'exclusion des pluies de mousson plus régulières qui n'ont pas atteint le bassin cette année là.

CONDITIONS LIMITES D'ECOULEMENT

Le graphique représentant chaque pluie par sa hauteur moyenne, en fonction de l'intervalle de temps la séparant de la pluie précédente, a été établi pour les deux bassins et pour l'ensemble des campagnes d'observations.

On constate l'existence de nombreux points, dus surtout à 1958, où les conditions limites sont à peine remplies, ce qui conduit à des gonflements de l'écoulement de base qu'il est difficile de qualifier de ruissellement. De ce fait, le tracé de la courbe limite a été plus délicat ; nous nous sommes efforcés de rester en-dessous de la plupart de ces points, ce qui conduit à une courbe basse jalonnée par les repères suivants :

pas d'écoulement en dessous de 8 mm	après 12 h	sans pluie
"	"	90 mm " 24 h "
"	"	12 mm " 4 jours "
"	"	16 mm " 8 jours "

Le bassin du FLAKOHO est moins perméable que les bassins versants de zone équatoriale (IFOU, NION et LOUE) et forestière, et la croissance de la précipitation limite avec la sécheresse du sol y est plus

DIV 9561

ED:

LE:

DES:

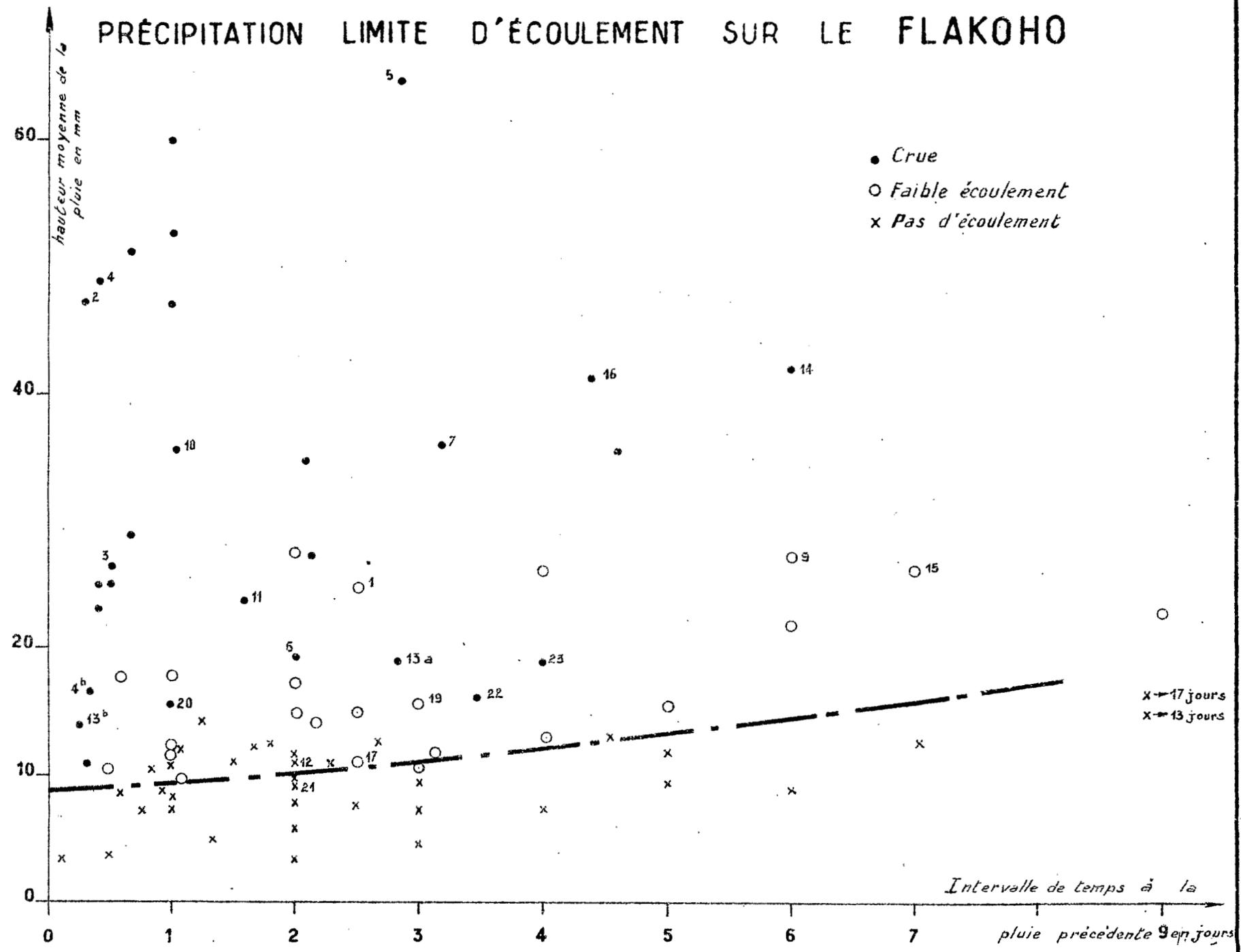
VISA:

TUBE N°:

AO

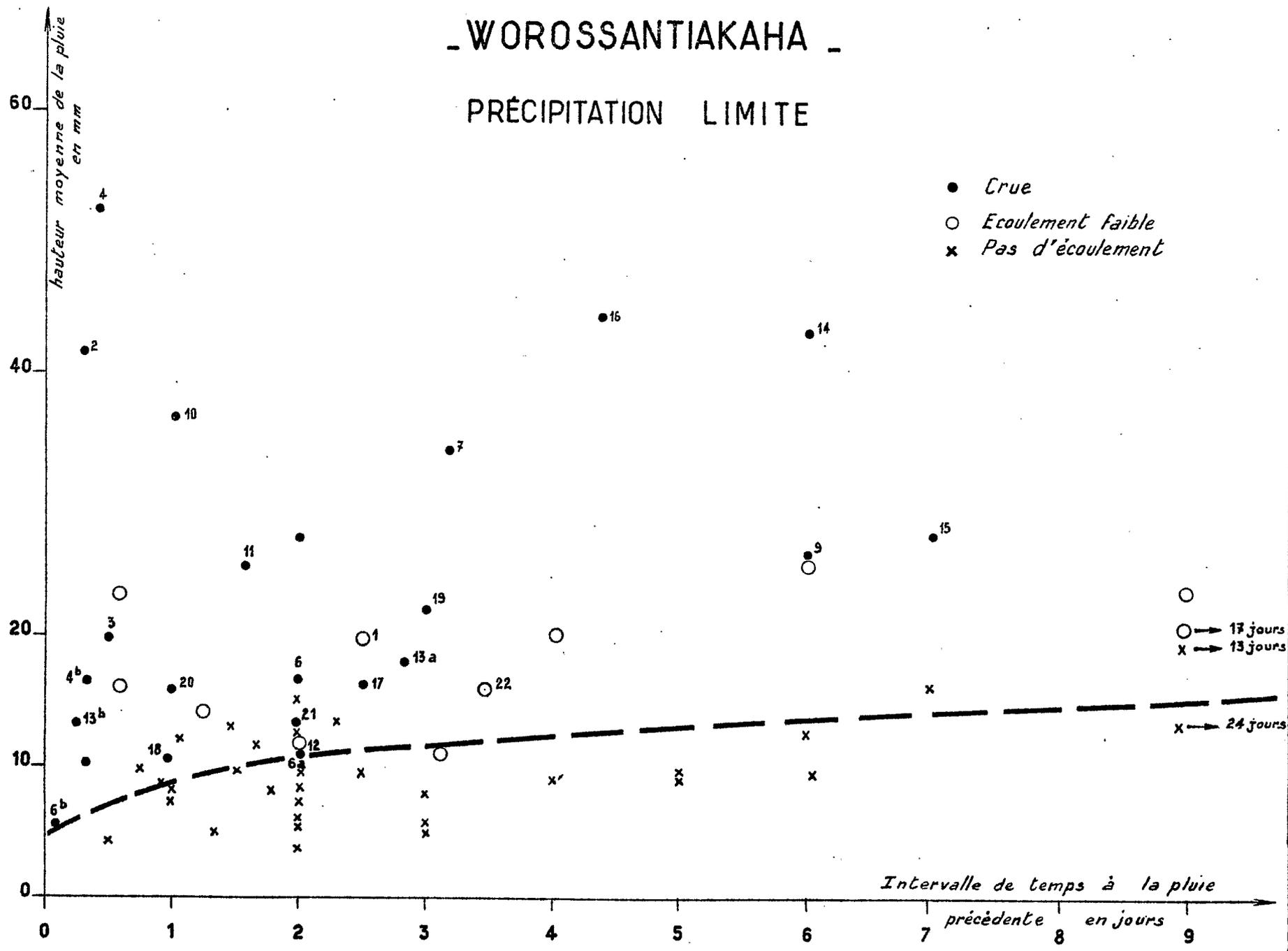
ELECTRICITE DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

PRÉCIPITATION LIMITE D'ÉCOULEMENT SUR LE FLAKOHO



_ WOROSSIANKAHA _

PRÉCIPITATION LIMITE



DIV 9562

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

AO

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

lente. Il faut cependant ajouter que pour obtenir un ruissellement net, après 24 heures, la chose n'est possible qu'avec plus de 15 mm de précipitation, limite qui monte vers 25 mm au-delà de 4 jours.

Les conditions limites sont semblables sur le petit bassin de WOROSSANTIAKAHA où l'on trouve les mêmes types de sols.

E - CRUES OBSERVEES

Le régime des cours d'eau est apparenté au régime tropical de transition. Il présente même certains caractères équatoriaux. Les premières crues se produisent très tôt, en Avril, mais elles sont de faible importance jusqu'en Juin.

Dans le cas particulier du FLAKOHO, l'eau accumulée durant l'hivernage, par la latérite du plateau, est suffisante pour fournir un écoulement permanent. Même à WOROSSANTIAKAHA (14 km²) il coule encore quelques litres/seconde, en Avril (le 27-4-58 on a mesuré 18 l/s).

Sur le petit bassin de WOROSSANTIAKAHA, les crues sont brutales et surviennent dès que la pluie devient intense : la montée est rapide, la descente ne l'est guère moins. Ce bassin est très sensible aux différentes pointes d'intensité de l'averse et il est rare d'observer une crue unique ; des phénomènes complexes de rétention (?) rendent encore plus ardue l'interprétation des observations, comme nous le verrons plus loin. Le ruissellement dure de 6 heures à 8 heures et l'écoulement hypodermique prolonge le gonflement du débit de base au-delà de 24 heures.

À NAMBONKAHA, conséquence de l'allongement excessif du bassin, nous n'avons pas de crues simples. La partie aval du bassin (essentiellement les zones voisines des pluviomètres 3 et 10 qui sont en pente raide) ruisselle assez rapidement, bien avant que n'arrive l'onde de crue issue du haut bassin.

Les limnigraphes présentent deux pointes de crue bien distinctes, quand tout le bassin est intéressé par une précipitation. Les crues à pointe unique sont facilement identifiables (temps de réponse très différent) à des ruissellements localisés à la partie aval du bassin, ou en provenance du haut-bassin, quand celui-ci est le seul à recevoir une averse efficace.

Les crues en provenance du haut bassin sont les plus importantes et les seules intéressantes. Nous avons dû, pour faciliter l'étude analytique du problème, séparer sur les hydrogrammes observés en 1957 à NAMBONKAHA, la crue en provenance de l'amont de celle des parties aval, par construction graphique.

Cette crue du haut bassin n'intéresse pratiquement que le bassin dit "réduit" qui draine 31 km^2 (voir la carte du bassin). La station centrale installée en 1958 au débouché de ce bassin réduit nous a permis d'avoir directement ces hydrogrammes.

Les crues, si elles proviennent de pluies moyennes tombées sur le haut bassin, subissent le contrecoup d'un parcours assez long à faible pente. Elles sont d'allure molle et durent de 10 à 20 heures. Mais si l'averse causale est forte et violente, centrée sur l'aval, les crues sont beaucoup plus rapides et les courbes de montée des hydrogrammes bien plus raides. Ce sont les plus fortes crues observées :

$10 \text{ m}^3/\text{s}$ le 29-8-59 (crue n° 14) et $11 \text{ m}^3/\text{s}$ le 13-9-59 (crue n° 26) après des averses centrées sur l'aval du bassin, de fréquence sensiblement annuelle aussi.

(La crue de $9,8 \text{ m}^3/\text{s}$ du 14-8-57 était du même type).

On notera que les maxima des 8 et 9 Août ($2,4$ et $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$) n'ont pas été très élevés. L'averse tombait sur un sol dont la saturation était tout à fait insuffisante et elle présentait un diagramme beaucoup trop complexe.

La crue maximale de $11 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 355 l/s.km^2 est assez modeste.

En se reportant au paragraphe précédent, on remarquera que sur 39 averses observées en 1959, 22 ont dépassé 10 mm, dont 14 étaient au-dessus de 20 mm. Ce sont à peu près les seules pluies susceptibles de franchir les conditions limites propres au bassin, on a en effet enregistré 25 crues aux deux stations dont une douzaine peuvent être considérées comme dues au ruissellement.

La crue maximale de $11 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 355 l/s.km^2 est assez modeste.

Un débit spécifique maximal comparable : 360 l/s.km^2 a été enregistré le 29-8-59 à la station amont de WOROSSANTIKAHA, soit $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les deux plus fortes crues de 1957, dont on ne connaissait que le débit de pointe, n'avaient atteint que 4 et $4,9 \text{ m}^3/\text{s}$ les 14 et 11 Août.

En dehors de quelques cas à la station amont, toutes ces crues ont pu être enregistrées dans leur totalité. La transformation en débits n'a pas fait de difficulté.

La station centrale du FLAKOHO a été étalonnée en 1958 et 1959 par 13 jaugeages complets s'échelonnant de $0\text{m},65$ à $1\text{m},34$. La précision est bonne, même en hautes eaux, malgré l'importance des débordements hors du lit mineur, au-dessus de $1\text{m},25$ à l'échelle. L'extrapolation des débits n'a pas présenté de difficultés, la cote observée la plus élevée étant de $1\text{m},46$.

Les crues très rapides à la station amont n'avaient permis à l'hydrologue venant de NAMBONKAHA qu'un étalonnage sommaire en 1957. Installé à WOROSSANTIKAHA, en 1959, il a pu parfaire ce tarage. Les jaugeages effectués sont nombreux :

- 21 mesures complètes entre $-0,03 \text{ m}$ et $0\text{m},90$
- une série de mesures continues jusqu'à $1\text{m},10$ (ce qui correspond à la cote maximale atteinte).

La précision est bonne pour les hautes eaux. Il y a une certaine dispersion en basses eaux, jusqu'à 0m,50, par suite de la mauvaise section de jaugeage. Le lit mineur est en effet très sinueux et irrégulier; l'écoulement s'en ressent jusqu'à une certaine cote où le flot de crue coupe les méandres, régularisant relativement son évacuation.

F - ETUDE ANALYTIQUE DES CRUES A LA STATION DE WOROSSAN-
TIAKAHA

Nous reprenons, pour cette étude, l'ensemble des crues des 3 campagnes 1957 - 1958 et 1959.

1 - Allure des crues

L'examen des hydrogrammes de crue fait apparaître une complexité prononcée du phénomène observé. Rares sont les crues dont l'hydrogramme de ruissellement se détache nettement de sa courbe de tarissement.

D'une part, le bassin est très sensible aux pointes d'averses multiples ; dès que leur espacement dépasse $\frac{1}{2}$ heure, on observe 2 pointes de crues nettes.

D'autre part, et quelle que soit l'allure du hyétogramme, aussi court et intense puisse-t-il être, chaque hyétogramme de ruissellement est suivi, soit d'un palier élevé, soit d'une recrudescence de l'écoulement d'une importance telle (le débit maximal de cette onde tardive atteint parfois celui du ruissellement immédiat) qu'il est difficile d'admettre que nous sommes en présence d'un écoulement d'origine hypodermique, au sens strict.

Il est beaucoup plus vraisemblable de supposer qu'il s'agit d'un ruissellement superficiel retardé. Nous avons, pour étayer cette hypothèse, des raisons d'ordres hydrologique et pédologique.

La majeure partie des crues se présentent suivant le schéma esquissé ci-dessus, les 2 ondes de l'hydrogramme conservant toujours la même allure avec des temps caractéristiques bien distincts :

- l'hydrogramme de ruissellement est brutal et court ; il monte en une heure environ (son temps de réponse n'excède pas $3/4$ d'heure en général) et dure de 3 à 5 heures.
- l'onde tardive est molle et se prolonge au moins aussi longtemps que l'hydrogramme de ruissellement ; son temps de réponse est au moins de 4 à 6 heures.

L'hydrogramme de ruissellement est prépondérant lorsque la pluie est très importante et surtout si elle rencontre d'excellentes conditions de saturation, enfin si elle est centrée sur les parties aval du bassin. La courbe de tarissement de l'hydrogramme présente une cassure très nette au moment où cesse le ruissellement superficiel et où ne subsiste plus que l'écoulement hypodermique. C'est le cas de la crue n° 14 du 29/8/59, la plus forte observée.

Au contraire, il n'y a pas d'hydrogramme de ruissellement si l'averse intéresse exclusivement les zones amont du bassin. La crue se compose uniquement de l'onde tardive, dont le temps de réponse est alors aggravé par l'absence de ruissellement immédiat, puisqu'il atteint 13 heures et plus. C'est le cas de la crue n° 19 du 5/9/59 par exemple.

L'examen de la structure pédologique du bassin permet d'expliquer la genèse des crues.

Sur les sols hydromorphes de thalwegs et sur les sols ferrugineux de pentes, dotés de faibles perméabilités, le ruissellement est rapide. C'est lui qui occasionne l'hydrogramme de ruissellement court et brutal que l'on observe au début de chaque crue.

Sur les plateaux, il n'y a pas de pentes. La cuirasse affleure souvent dans les prairies, sans arbres, ou par suite de l'imperméabilité relative les eaux stagnent après les pluies. Il est courant, après une grosse précipitation, de rencontrer 20 à 30 cm d'eau sur ces plateaux. Ces eaux finissent par s'écouler avec retardement. Elles donnent lieu au ruissellement retardé, en s'écoulant lentement par gravité à la surface du sol, ou bien en s'infiltrant dans les fissures de la cuirasse de plus en plus nombreuses au fur et à mesure que l'on s'approche du rebord du plateau.

Dans son ouvrage "le cuirassement des sols en Guinée" R. MAIGNIEN fait état des possibilités considérables d'écoulements souterrains dans des réseaux de fissures à l'intérieur des cuirasses. L'écoulement peut y être grossièrement assimilé à celui des zones karstiques. Comme là aussi d'ailleurs, la fraction des eaux qui s'infiltré profondément pour alimenter la nappe phréatique est la plus importante.

Les deux phénomènes d'écoulement superficiel et par les fissures de cuirasses peuvent intervenir pour engendrer le ruissellement retardé. Les observations sur le terrain, pendant les pluies, n'ont pas permis de déceler l'importance relative à attribuer à chacun d'eux.

En dernier ressort, ce qui permet d'affirmer que cet écoulement tardif peut être qualifié de ruissellement retardé et ne pas être rangé avec l'écoulement hypodermique, au sens strict, c'est justement que sur toutes les crues la courbe de tarissement de l'onde tardive présente deux cassures assez nettes : celle de l'écoulement hypodermique et celle de l'écoulement de nappe.

2 - Les valeurs caractéristiques des crues -

Nous avons pris un certain nombre de crues pour être analysées en détail : 4 en 1957 et 6 en 1959. Toutes les autres crues (celles de 1958 en particulier) sont d'allure comparable avec des débits maximaux inférieurs à $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ou encore plus faibles. Les valeurs caractéristiques des 10 crues choisies figurent dans un tableau joint où la majeure partie des colonnes suit la disposition classique adoptée dans les chapitres précédents.

Si nous mettons à part la forte crue 14 du 29-8-59, toutes les autres ont des débits de pointe inférieurs à $2 \text{ m}^3/\text{s}$ et pour la plupart inférieurs à $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour ces crues, l'onde tardive joue un rôle considérable par le fait que le volume de ses apports est égal et bien souvent supérieur à celui de l'hydrogramme de ruissellement immédiat. Quant à son débit

A = 14 km²

TABLEAU DES CARACTERISTIQUES DE CRUES
à WOROSSANTIAKAHA

No	Date	ta jours	P _M mm	K%	P mm	Pu mm	tu min	Im mm/h	Vr 10 ³ m ³	Kr %	Kru %	Ve 10 ³ m ³	Ke %	tp minutes	tm	Qo m ³ /s	QM mm/h	Cam
3	5-8-57	3	32,5	61	19,9	16,2	45	80	1,33	0,5	0,6	1,63	0,6	45	47	0,1	0,59	45
10	6-9	I	44	83	36,5	19,5	90	45	2,95	0,6	1	7,6	1,5	35	45	0,11	0,55	
15	9-10	7	35	80	27,9	25,5	30	108	3,8	1	1,1	5,5	1,4	35	45	0,10	0,35	
16	13-10	4 ⁺	44,5	81	36	-	-	18	9	1,8	-	17,1	3,4	-	90	0,12	0,96	
1A		-			103	-	-	75	9,18	0,6	-	26,1	1,8	50	105	0,08	0,77	
	8&9-859	1/2 ⁺	132,8	93	124,1				19,74	1,1		54,1	3,1					69
1B					21	19,5	55	90	10,56	3,6	3,9	28	9,5	45	75	0,55	1,8	
8	19-8	2 ⁺	60	79	47,3	-	-	80	6,8	1	-	11,7	1,8	40	70	0,15	0,96	60
14	29-8	1/2 ⁺	55	59	32,3	22	40	120	26,9	6	8,7	34,1	7,5	35	60	0,16	5,02	64,5
17	2-9	2 ⁺	51	60	31	26,5	90	90	9,8	2,3	2,6	13,3	3	35	80	0,23	1,23	52,5
19	5-9	2	52,8	55	29,3	-	-	105	4,86	1,2	-	19,6	4,8	780*	-	0,23	0,69	59
26	13-9	1	65,1	77	50,1	-	-	75	7,2	1	-	24,3	3,5	60	105	0,19	0,88	60

ta { 1 j après une pluie < 10 mm
I j après une pluie entre 10 et 20 mm
I j après une pluie > 20 mm

(+) Pluie préliminaire de 5 mm au moins, dans les 4 heures précédant l'averse

(*) ruissellement retardé

maximal, il reste toujours compris dans une étroite bande allant de 0,3 à 0,7 m³/s, donc voisin et légèrement inférieur à celui du ruissellement immédiat.

La crue n° 17 du 2-9-59 donne une bonne représentation du phénomène couramment observé lorsque le ruissellement immédiat est assez abondant ($Q_M = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$) ; la crue n° 15 du 9-10-57 montre l'influence dominante du ruissellement retardé quand la crue est faible.

Si l'on reprend maintenant la crue 14 du 29-8-59, on constate que sa courbe de tarissement présente 3 cassures et que, par conséquent, la première doit correspondre au ruissellement retardé. Elle survient d'ailleurs 4 h $\frac{1}{2}$ après l'averse, avec un débit maximal de 0,6 m³/s, ce qui parle en faveur de cette assimilation.

Compte tenu du mode de formation du ruissellement retardé, on peut très bien concevoir que son débit ne puisse pas dépasser un seuil assez bas : 0,7 m³/s par exemple. Important et parfois prépondérant vis-à-vis de l'hydrogramme de ruissellement immédiat, quand l'averse est moyenne et la saturation préalable peu favorable, le ruissellement retardé devient quantité négligeable si ces conditions changent le ruissellement immédiat prenant l'ampleur de la crue n° 14 par exemple.

Si toutes les crues analysées sont intéressantes pour démêler le problème de la genèse des écoulements, seule la crue n° 14 doit être retenue comme typique si l'on envisage le seul point de vue des crues exceptionnelles.

3 - Les coefficients de ruissellement -

Ils sont extrêmement faibles. La perméabilité des sols du bassin est peu élevée en général, mais les conditions qui règnent sur les plateaux à cuirasse favorisent l'évaporation et l'infiltration.

Pour la plupart des crues, nous avons admis que le ruissellement retardé devait être pris en considération pour le calcul des coefficients de ruis-

DIV 9557

ED:

LE:

DES:

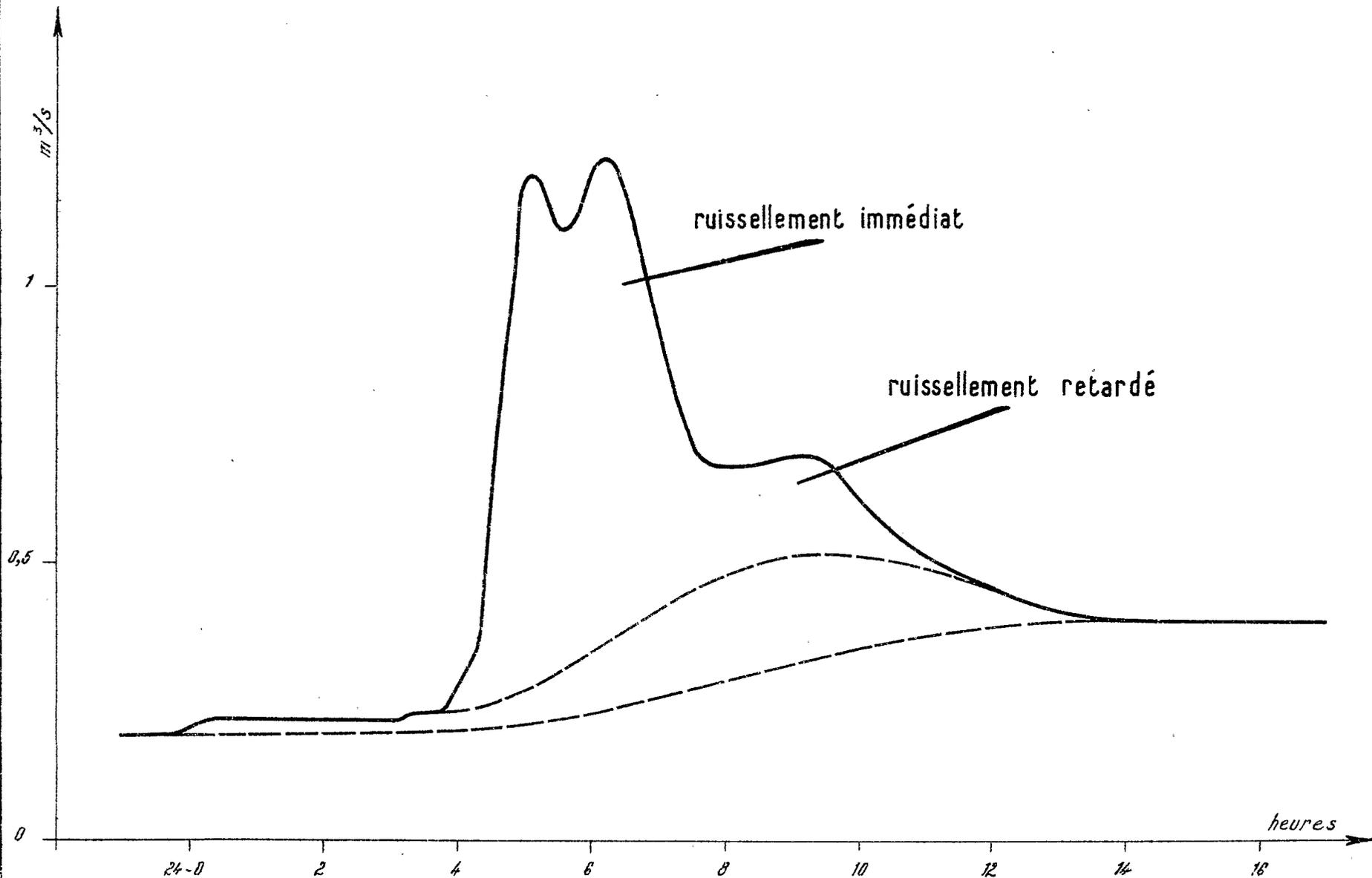
VISA:

TUBE N°:

AO

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

CRUE CARACTÉRISTIQUE N°17 DU 3-9-1959 - STATION AMONT -



sellement. Par rapport à la pluie globale, les coefficients K_r des crues analysées (les autres ont des coefficients encore plus faibles) se classent comme suit :

3	valeurs inférieures à 1%
6	valeurs " 1 et 2%
2	" " 2 et 4%
1	" égale à 6% (crue n° 14)

Par rapport à la seule pluie utile, les coefficients K_{ru} sont du même ordre de grandeur et varient entre 0,6 et 4% (la crue n° 14 a un K_{ru} de 8,7%).

Le coefficient de ruissellement semble fort peu dépendre de la hauteur de précipitation, une fois le seuil inférieur franchi. Le débit initial Q_0 est assez caractéristique, mais l'influence des précipitations antérieures, de leur importance et de leur ancienneté (t_a) est primordiale. Aucune corrélation stricte n'est évidemment apparue, mais le schéma de variation des coefficients de ruissellement peut valablement se représenter ainsi :

- a) Bien que la précipitation limite (voir paragraphe E.2) soit de l'ordre de 10 mm, toutes les averses dont la hauteur moyenne n'excède pas 20 mm ne donnent lieu qu'à des gonflements insignifiants de l'écoulement de base.
- b) Entre 20 et 60 mm (limite supérieure observée) l'averse donnera lieu à une crue dont l'importance dépendra essentiellement de l'état de saturation préalable.
 - si la pluie antérieure est inférieure à 20 mm et s'est produite plus de 48 heures avant, la crue sera faible : Q_M environ 0,5 m³/s et $K_r < 1\%$. C'est le cas des crues n° 3 - 15 - 1 A par exemple.
 - si la pluie antérieure dépasse 20 mm et tombe dans les 48 heures avant l'averse étudiée, celle-ci donnera une crue pouvant atteindre 1 m³/s et (ou) dépasser 1% de ruissellement. C'est le cas des crues n° 8 - 16 19 et 26 par exemple.

- c) Mais pour avoir une crue notable, il faut en outre que l'averse soit précédée d'une pluie préliminaire 2 ou 3 heures avant qui mouille suffisamment le terrain.

Les crues n° 8 - 16 - 14 - 17 et 1 B en ont bénéficié.

Les 3 crues dont les débits maximaux dépassent $1 \text{ m}^3/\text{s}$ et les K_r 2% proviennent d'averses favorisées par d'excellentes conditions :

- la crue 1 B est la plus significative puisqu'elle est due à la 3ème fraction de l'averse de 130 mm du 8 Août. Alors que les 2 premières fractions ($P = 103 \text{ mm}$) n'engendraient qu'une crue ridicule : $Q_M = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ et $K_r = 0,6\%$, du fait d'une saturation M faible : $Q_0 = 0,08 \text{ m}^3/\text{s}$, la 3ème averse de 21 mm seulement survenant 1 heure après l'autre ($Q_0 = 0,55 \text{ m}^3/\text{s}$) donnait une crue de $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ et 3,6% de ruissellement.
- la crue 17 qui suit une ondée préliminaire, avec 31 mm de hauteur moyenne et 48 heures après une forte pluie donne $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ de débit de crue et 2,3% de ruissellement.

Ces 2 crues sont encore de petites crues. Seule celle du 29/8/59, la n° 14, sort de l'ordinaire. L'averse n'est pas très forte : $P_M = 55 \text{ mm}$ et $P = 32,3 \text{ mm}$, mais elle survient 1 jour $\frac{1}{2}$ après une bonne pluie ; elle est précédée d'une ondée préliminaire, enfin elle tombe avec de fortes intensités principalement sur l'aval du bassin. La crue atteint $5 \text{ m}^3/\text{s}$ et 6% de ruissellement. Le coefficient de ruissellement n'est calculé que sur le ruissellement immédiat, ici prépondérant. Il n'aurait pas dépassé 7% si l'on avait englobé le ruissellement retardé. Nous avons fait cette distinction pour faciliter l'étude des crues exceptionnelles.

Les 3 conditions nécessaires pour avoir une forte crue, comparable à la n° 14, sont :

- averse à fortes intensités
- pluie antérieure forte, moins de 48 heures avant
- pluie préliminaire, moins de 4 heures avant.

La montée est beaucoup plus rapide que la courbe de tarissement.

Le débit maximal de pointe correspond à 125 l/s.km².

Il est vraisemblable que les crues n° 4 et 5 des 11 et 14 Août 1957, non enregistrées par le limnigraphe, et dont les débits de pointe étaient de l'ordre de 4 à 5 m³/s devaient avoir des allures comparables.

Les averses responsables étaient courtes et très intenses ; elles rencontraient des conditions de saturation satisfaisantes : pluie préliminaire (pour le 11 Août), pluies antérieures à moins de 48 h ; elles étaient centrées sur l'aval du bassin et celle du 14 Août atteignait 76,5 mm, hauteur maximale de fréquence annuelle. Leurs hydrogrammes de crue auraient permis de préciser l'hydrogramme-type déduit d'une seule crue.

G - ETUDE ANALYTIQUE DES CRUES A LA STATION CENTRALE

1 - Formation et allure des crues -

Le FLAKOHO est formé par la réunion de deux cours d'eau principaux : le bras sud, plus important, qui draine 14 km² à WOROSSANTIAKAHA et le bras nord qui ne draine pas plus de 10 km² mais sur lequel le ruissellement doit être plus grand. Le bassin de WOROSSANTIAKAHA est en effet le plus défavorisé, à ce point de vue, car le pourcentage des sols ferrugineux sur plateaux et des cuirasses en affleurement y est le plus élevé : 46% contre 54% aux sols sur pentes et de thalwegs. Si l'on examine la répartition de ces mêmes sols sur le bassin réduit de 31 km², les proportions sont inversées : 36% aux sols sur plateaux et cuirasses contre 64% aux sols sur pentes et de thalwegs. En outre, la plus grande zone d'affleurement de la cuirasse se trouve sur le bassin de WOROSSANTIAKAHA, au sud.

On doit donc s'attendre à des ruissellements plus abondants et plus violents (sur les sols de pente et de thalwegs du bassin réduit) à la station centrale.

C'est ce que l'on constate en comparant les apports du ruissellement en provenance de WOROSSANTIA-KAHA, avec le total enregistré à la station centrale. Le rapport des surfaces drainées est de 14 à 31 km², soit de 45%. Or, les apports du bassin amont n'atteignent jamais ce chiffre ; ils sont seulement de 15 à 30% pour une averse homogène dans l'espace ; ce rapport descend en-dessous de 10% quand la précipitation est centrée sur le bras nord ou en aval, ce qui est souvent le cas en 1959.

Les apports du bassin amont sont inférieurs du tiers ou de la moitié à ce qu'ils devraient être. On retrouvera un écart comparable pour les coefficients de ruissellement.

L'irrégularité des hydrogrammes de crue observée à la station amont se transmet à la station centrale, malgré la diminution de pente et la longueur du parcours. En fait, comme nous l'avons remarqué en 1957, le ruissellement retardé se confond avec le ruissellement immédiat et leur distinction est difficile à la station centrale, sauf quand l'un ou l'autre est absent par suite d'une position particulière du centre de l'averse, bien entendu.

Les crues du FLAKOHO ont une allure bien caractéristique : le ruissellement court et brutal sur les sols hydromorphes de thalwegs et les sols ferrugineux de pentes voisins de l'exutoire (c'est-à-dire pratiquement en aval du confluent des bras nord et sud), donne lieu à une montée très rapide de l'hydrogramme.

- a) Si l'averse intéresse essentiellement l'aval ou le nord du bassin, où prédomine ces types de sols, ce ruissellement est le seul apparent et conduit à une crue très courte dont les temps de montée et de réponse sont de l'ordre de 1 à 2 heures. Le ruissellement dure seulement 6 à 8 heures, et la

cassure est nette avec l'écoulement hypodermique, sur la courbe de tarissement. Les crues 13, 19 et 23 en sont de bons exemples. Ces crues sont très violentes et donnent des débits maximaux élevés pour de petits volumes ruisselés ; il est vrai que dans ce cas le ruissellement ne provient manifestement que d'une partie du bassin.

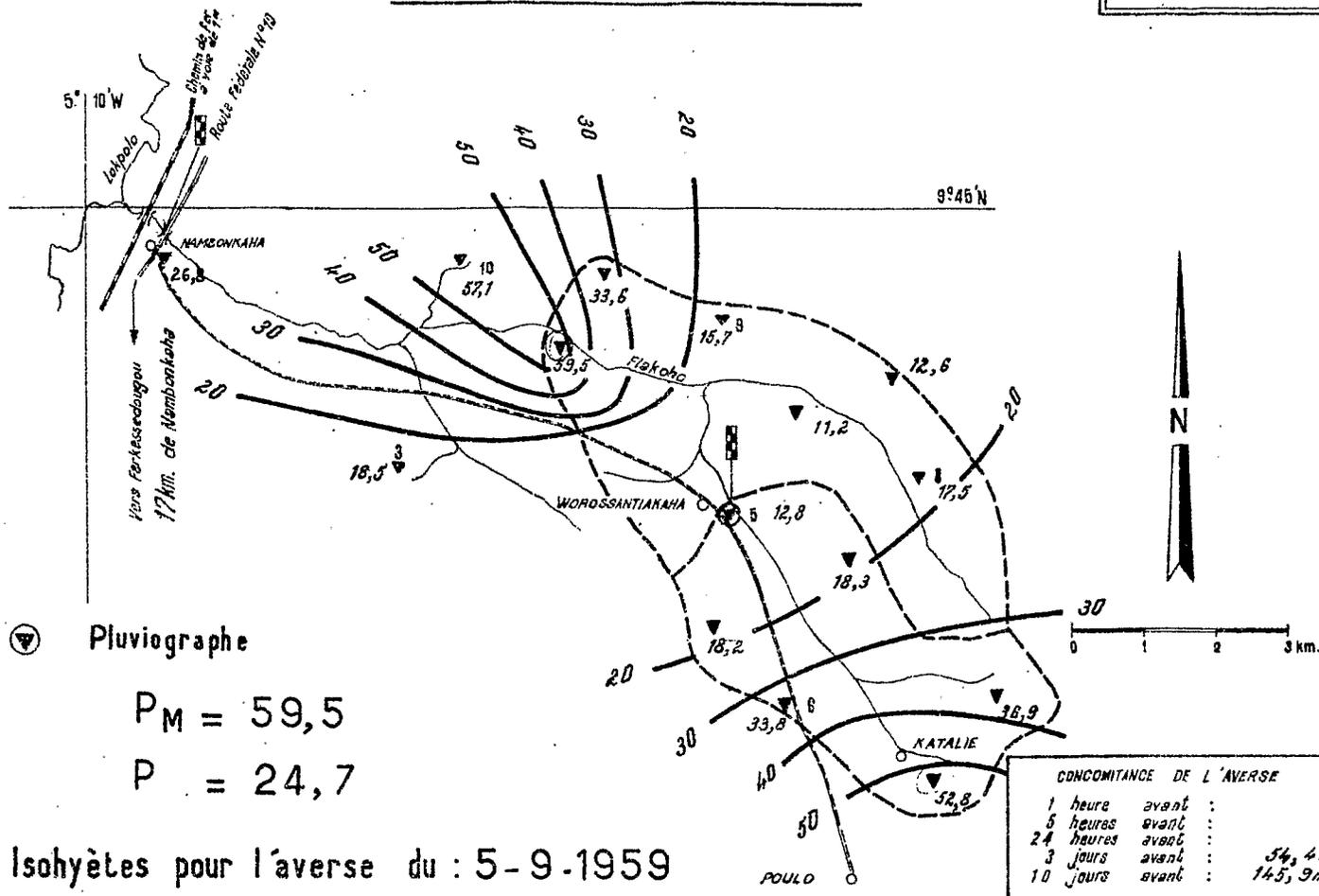
- b) Si l'averse intéresse tout le bassin, la crue en provenance de l'amont arrive avec un certain retard dû au temps de parcours. La montée de l'hydrogramme à la station centrale ne change pas, mais il n'y a pas de décrue entre les deux ondes de crues provenant des sols hydromorphes et des sols des plateaux. Le ruissellement amont survient à temps. La liaison se fait par un palier très caractéristique qui se retrouve à toutes les crues. Ce palier dure en général 2 à 3 heures. Il est très visible sur les crues 14, 17 et 32 par exemple. L'hydrogramme reprend ensuite sa montée, à une allure moins rapide cependant. Le maximum est atteint après un temps variable entre 6 et 10 heures suivant la vitesse de la crue amont ; le temps de réponse est légèrement plus court.

La décrue est rapide jusqu'à l'écoulement hypodermique, bien marqué sur le tarissement par sa cassure. Le ruissellement dure de 16 à 18 heures.

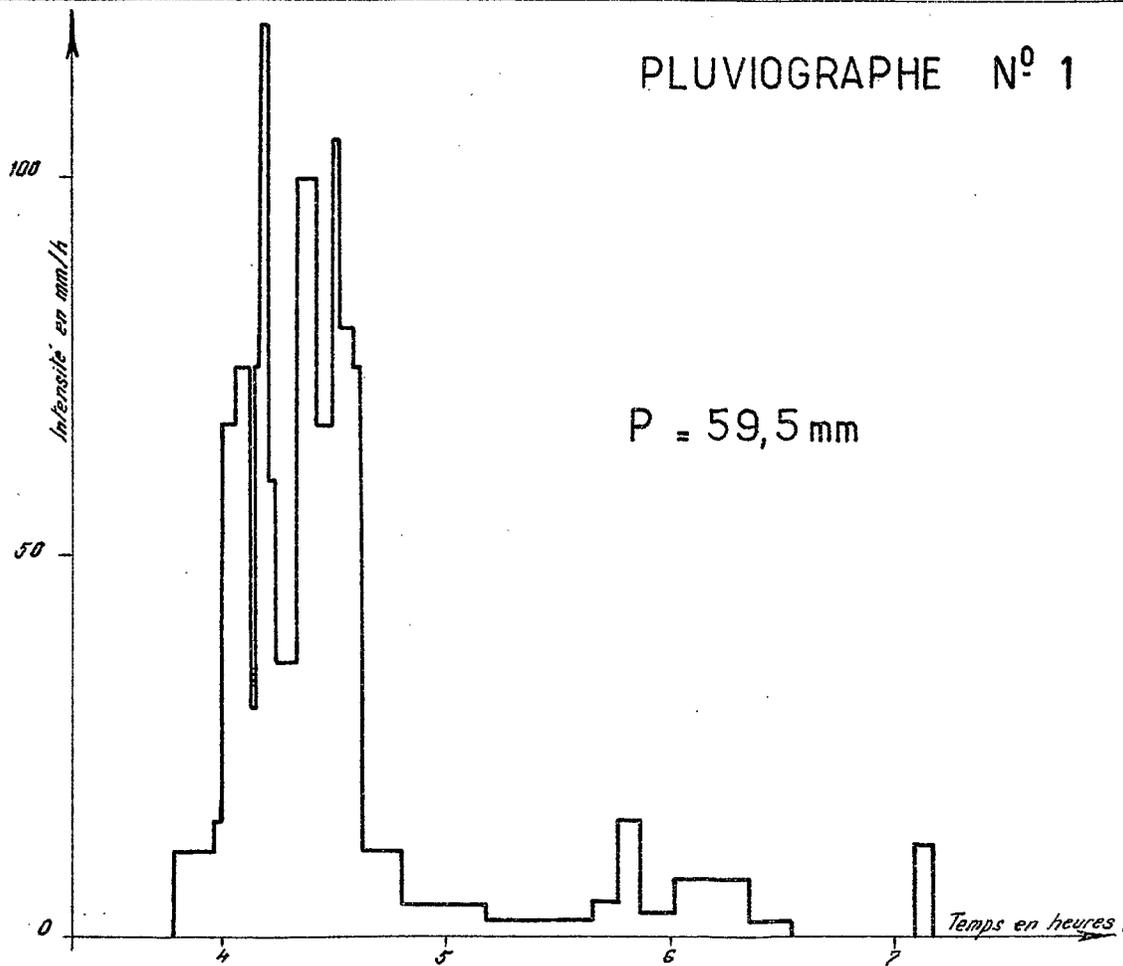
Ce phénomène du palier entre les deux ondes de crue est assez curieux ; son apparition systématique permet d'éliminer toute autre hypothèse. De plus, si l'on veut reconstruire la crue, l'opération n'est pas trop malaisée, car l'on connaît par les crues n° 13 et 19, par exemple, la forme exacte de l'hydrogramme de la 1ère onde. Soustraction faite de celle-ci, on trouve un 2ème hydrogramme d'allure comparable au 1er et à celui des fortes crues (n° 14) du bassin amont. La conformation particulière du réseau hydrographique et la valeur relative du temps de parcours dans le lit vis-à-vis des temps de réponse est telle que la crue à la station centrale présente cette marche d'escalier incongrue. Il est bien évident qu'il s'agit là d'un cas particulier, et que toute généralisation aux autres cours d'eau de la région serait

Bassin versant du FLAKOHO

VERSE N° 19



PLUVIOGRAPHE N° 1



DIV. 9568

ED:

LE:

DÉS:

VISA:

TUBE N°:

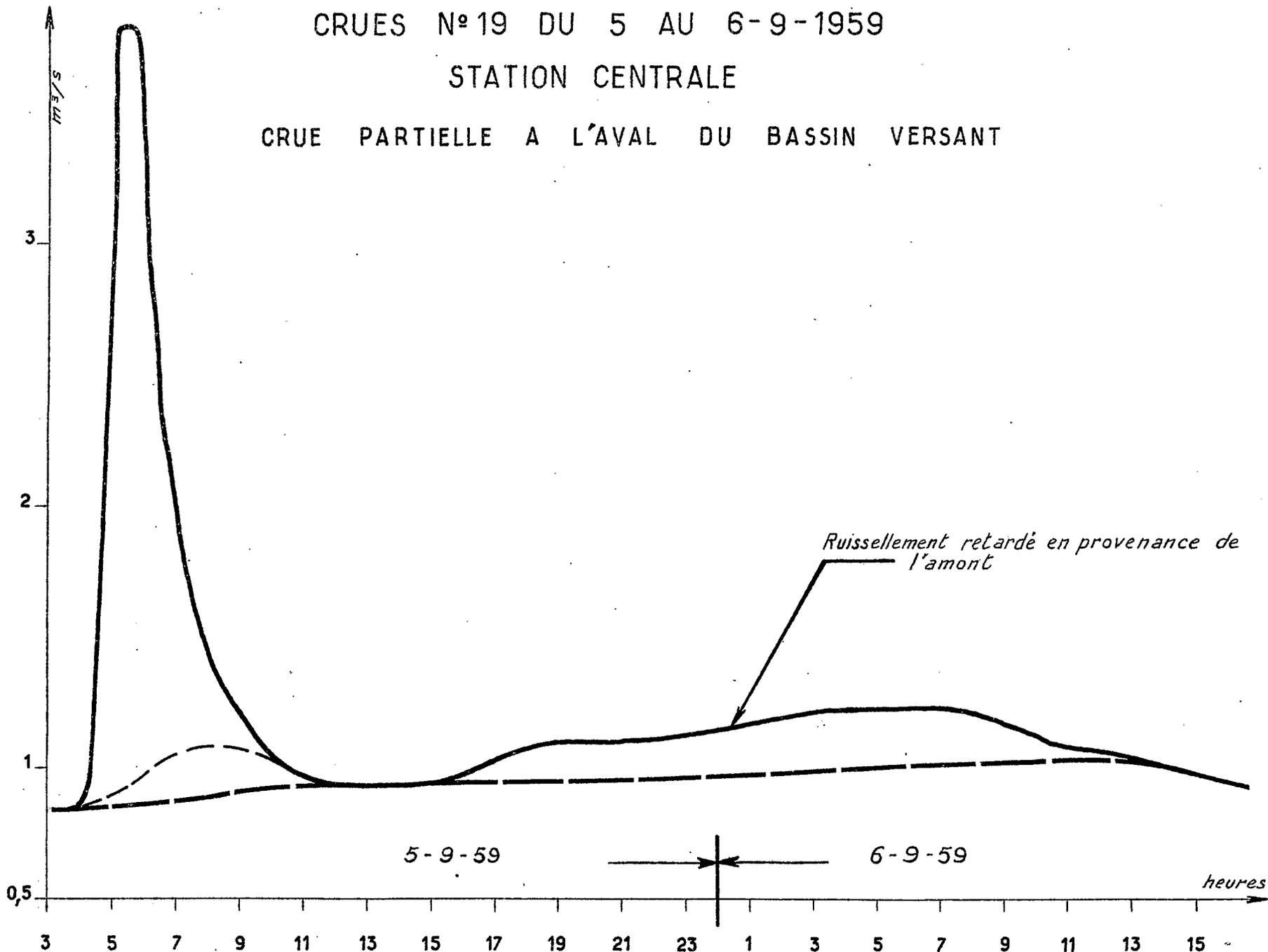
AO

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

CRUES N°19 DU 5 AU 6-9-1959

STATION CENTRALE

CRUE PARTIELLE A L'AVAL DU BASSIN VERSANT



abusive. Il faut vraisemblablement rechercher dans cette courbe en escalier l'origine des 2 ondes de crues observées en 1957 à NAMBONKAHA ; le phénomène y était très amorti après la traversée des marécages du cours terminal du FLAKOHO.

2 - Les valeurs caractéristiques -

Il est très difficile de récupérer les crues observées en 1957 à NAMBONKAHA, après le laminage qu'elles ont subi et les apports supplémentaires dont elles bénéficient depuis la station centrale. L'analyse effectuée en 1957, en extrayant l'hydrogramme du bassin réduit, par construction graphique, était une gymnastique compliquée, un pis-aller. Comme les crues de 1957 étaient assez faibles et que le lot de 1959 est abondant, nous n'avons pas de scrupule à les abandonner. Seules les crues n° 4 et 5, les plus importantes, ont été conservées telles qu'elles avaient été observées, simplement à titre comparatif. On constatera avec satisfaction que leurs coefficients de ruissellement et leurs débits maximaux s'accordent avec ceux des crues de 1959, les temps de montée et de réponse mesurés à NAMBONKAHA n'ayant évidemment aucun rapport avec leur valeur prise à la station centrale.

Ces deux crues figurent en tête du tableau des caractéristiques, qui réunit 10 autres crues de 1959 et est présenté comme les précédents tableaux.

Etant donné la dualité des ondes de crue et le fait que les temps de réponse et de montée sont du même ordre (le premier légèrement inférieur de 10 à 15' environ), nous donnons dans le tableau :

- le temps de montée du 1er hydrogramme
- le temps de réponse de la pointe principale qui est tantôt dû à la 1ère onde (crues 13 - 19 - 23), tantôt à la 2ème onde.

Le ruissellement étant assez important, nous avons négligé de reporter sur ce tableau, comme pour le bassin amont, les volumes et coefficients d'écoulement.

$$A = 31 \text{ km}^2$$

TABLEAU DES CARACTERISTIQUES DE CRUES
DU FLAKOHO à la STATION CENTRALE

no	Date	ta	P _M	K _%	P	Pu	tu	Vr	Kr	Kru	tp	tm	Q ₀	Q _M	cam	L _{max}
:	:	jours	mm	%	mm	mm	min	10 ³ m ³	%	%	heures	:	m ³ /s ^M	:	mm/h	mm/h
4	12-8-57	I _{1/2}	58,3	83	48,8	45,3	30	101,5	6,7	7,2	-	-	0,5	4,8	134	180
5	14-8	2	76,5	84	64,5	59	51	308,5	14,5	15,3	-	-	0,6	9,8	60	115
1A		-			102	-		67,2	2,1		10h _{1/2}	1h40'	0,1	2,4		75
	8-8-59		140	89	123,8			120	3,1						58	
1B		I _{1/2} ⁺			21,8	20	55	52,8	7,8	8,5	8h _{1/2}	1h20'	1,6	2,9		90
6	17-8	I _{1/2}	33,7	70	23,6	16	35	9,8	1,3	2	8h _{1/2}	-	0,2	1,2	66	75
8	19-8	1/2	67,5	75	51	-	-	71,6	4,5	-	-	-	0,3	3,1	49	80
13	28-8	2	71,9	32	22,8	20,4	105	54,5	7,7	8,6	1h40'	2h	0,26	5	29	105
14	29-8	I _{1/2} ⁺	66	45	43	40	50	200	15	16,1	6h10'	1h35'	0,37	10	60	150
17	2-9	2 ⁺	45	71	32	27	105	156	15,7	18,6	8h	3h20'	0,85	6,7	35	90
19	5-9	2	59,5	41	24,7	20	40	21,6	2,8	3,5	1h5'	1h15'	0,85	3,8	47	120
23	10-9	3	48,4	76	36,8	30	35	43,9	3,8	4,7	1h15'	1h30'	0,50	3,2	62	100
26	13-9	I	77,4	74	57,2	47	105	313	17,6	21,5	5h20'	2h20'	0,57	11	28	90
32	23-9	I	39,4	77	30,3	20	20	67,5	7,2	11	8h40'	2h5'	0,78	3,5	80	105

ta { 1 jour après une pluie < 10 mm
I 1 jour après une pluie entre 10 et 20 mm
I 1 jour après une pluie > 20 mm

(+) Pluie préliminaire

Les temps de montée se groupent entre 1 h 15' et 2 h. Ceux des crues 26 et 17 atteignent 2 h 20' et 3 h 20', mais ces crues proviennent d'averses assez longues qui ne sont pas unitaires. Leurs pluies utiles ont été estimées à 1 h 45', la durée limite pour qu'une averse soit unitaire doit être prise inférieure au temps de montée, c'est-à-dire ne pas excéder une heure; une valeur de 30 à 40 minutes est de beaucoup préférable. Pour la 2ème pointe de crue, les temps sont plus dispersés entre 3 h 20' et 10 h 30'.

En fait, des valeurs de 6 à 8 h 30' sont parmi les plus fréquentes (1). Le temps de réponse très court de la crue 26 (5 h 20') est celui du plus fort ruissellement de l'année dont la rapidité de transmission était donc très élevé; celui de 10 h 30' s'applique à la crue du 9 Août, due à une très longue pluie tombant sur un sol peu saturé.

3 - Les coefficients de ruissellement -

Ils sont beaucoup plus élevés que ceux de WOROSSANTIAKHA comme nous le présagions au début de ce chapitre, mais ils varient suivant les mêmes critères. Il faut, pour obtenir un ruissellement notable, que soient réunies les mêmes conditions :

- averse antérieure de plus de 10 ou 20 mm dans les 48 h précédentes
- pluie préliminaire
- fortes intensités

L'exemple de la crue du 8-8-59 est toujours valable. La 1ère fraction de l'averse (P = 102 mm) tombe sur un sol peu saturé et ne ruisselle qu'à 2,1%; la 2ème fraction, bien plus petite (P = 21,8 mm) ruisselle à 7,8% grâce aux conditions de saturation exceptionnelles dues à la 1ère fraction.

Les 3 plus fortes crues ont des coefficients de ruissellement supérieurs à 15 % :

(1) sauf, bien entendu, lorsque la pointe principale correspond à la première onde (crues 13 - 19 et 23)

- 15% pour celle du 29/8 (n° 14) due à une pluie de 43 mm tombant sur un sol saturé par l'averse de la veille et une ondée préliminaire
- 15,7% pour la crue n° 17 due à une pluie de 32 mm, bénéficiant de conditions semblables
- 17,6% enfin, pour la plus forte crue (n° 26) dont l'averse causale atteint 57,2 mm ($P_M = 77,4$ mm, de fréquence annuelle environ) et tombe un jour après une pluie de plus de 10 mm.

La plus forte crue de 1957 (n° 5), dans des conditions comparables, conduisait à 14,5% de ruissellement.

Les coefficients Kru de ruissellement par rapport à la pluie utile sont un peu plus forts : 21,5% au maximum pour la crue n° 26.

Les capacités apparentes d'absorption sont assez homogènes. Nous mettons à part la crue n° 4 (Cam = 134 mm/h) qui résulte d'une averse aux intensités très fortes. La plupart des capacités se place dans la gamme des 40 à 60 mm/h. On trouve des valeurs plus faibles, soit pour les crues localisées à l'aval : 29 mm/h pour la n° 13, soit pour les fortes crues dues à des pluies longues : 35 mm/h pour la n° 17 et 28 mm/h pour la n° 26. Une limite inférieure de l'ordre de 20 à 25 mm/h peut être envisagée.

4 - L'hydrogramme-type -

L'étude des crues nous a montré qu'il existait deux hydrogrammes, l'un relatif aux parties aval, l'autre aux parties centrale et amont du bassin. Lors des fortes crues, ces hydrogrammes se composent, le second se raccordant au premier par un palier au niveau du maximum de celui-ci. L'analyse des fortes crues exige donc la connaissance préalable de l'hydrogramme de ruissellement des parties aval.

Celui-ci a été observé seul 3 fois à la suite des averses n° 13, 19 et 23 ayant principalement intéressé l'aval du bassin.

La pluie utile de l'averse 13 dure 105 minutes, elle est donc trop longue pour être unitaire. De son côté, l'averse 23 est suivie d'une traine assez importante pour déclancher un gonflement notable de la courbe de tarissement de la crue ; nous devons nous résigner à n'utiliser que la crue n° 19, la seule qui soit vraiment unitaire. Ramenés à un volume ruisselé de 100.000 m³, les débits de ruissellement, à divers moments, de part et d'autre du maximum, sont donnés dans le tableau suivant :

Intervalles	-1h	-1/2h	-1/4h	0	+1/2h	+1h	+1h 1/2	+2h	+3h	+4h
Débits en m ³ /s	0,1	3,7	7,4	13,4	13,2	8,9	5,8	3,9	1,5	0,6

Ramenés à un même volume ruisselé, les débits maximaux des crues n° 13 et 23 (traine déduite) n'arrivent qu'à 8,5 et 7,7 m³/s, ce qui justifie leur élimination.

Faute de mieux, nous considérons l'hydrogramme n° 19 comme représentatif de la partie aval du bassin du FLAKOHO.

Cet hydrogramme provient des mêmes terrains et ses conditions de formation sont identiques à la forte crue de WOROSSANTIAKAHA. Si nous comparons l'hydrogramme de la crue n° 19 et celui de la crue n° 14 à la station amont, nous voyons que les deux courbes ont :

- même allure
- même temps de montée
- un débit de pointe légèrement supérieur (17,5 contre 13,4 m³/s) à la station amont
- un tarissement plus long d'une heure à la station centrale.

Cette quasi-similitude est assez satisfaisante surtout si l'on se souvient qu'il s'agit d'hydrogrammes observés et non d'hydrogrammes moyens pondérant les irrégularités.

Si nous reprenons l'hydrogramme global d'une forte crue à la station centrale, nous constatons :

- a) que l'hydrogramme unitaire des parties aval dure 5 heures et que le maximum de la crue ne survient que 6 à 8 heures après le début de la montée. Ce qui signifie que le débit maximal est entièrement fourni par l'hydrogramme du bassin amont
- b) que le palier de liaison entre les deux hydrogrammes coïncide avec le maximum du premier, c'est-à-dire d'une part que le début du 2ème hydrogramme se déclare à la station centrale environ 1 heure après celui du 1er hydrogramme, durée qui correspond sensiblement au temps de parcours dans le lit, et, d'autre part, que la courbe de montée du 2ème a la même pente que la courbe de tarissement du 1er hydrogramme.

Nous admettrons qu'une crue est unitaire si l'averse causale remplit les mêmes conditions que pour l'hydrogramme des parties aval, c'est-à-dire n'excède pas 1 heure dans sa fraction utile. Il sera alors facile à partir de l'hydrogramme global de retirer par construction graphique le 1er hydrogramme dû aux parties aval ; l'hydrogramme résultant sera représentatif du haut-bassin.

Pour cette analyse, nous devons éliminer les crues :

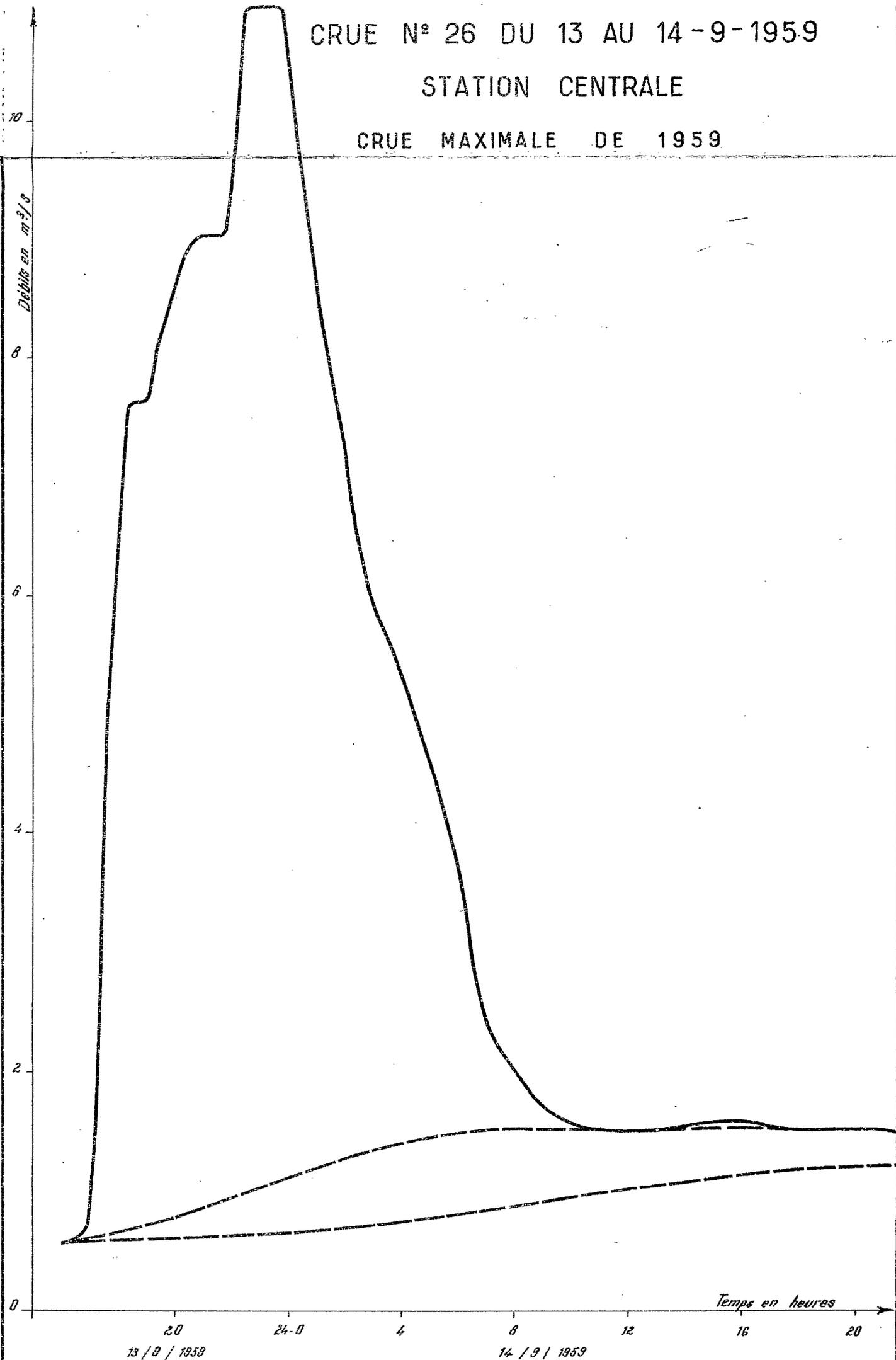
- n° 1 et 8 dues à des averses doubles
- n° 17 et 26 dues à des averses trop longues.

Nous ne disposons que des crues n° 14 et 32. L'hydrogramme de la crue n° 19 examiné plus haut donne l'allure du tarissement du 1er hydrogramme ; l'hydrogramme résultant est ramené à un volume de 100.000 m³ ; voici le détail des débits de ruissellement de part et d'autre du maximum :

CRUE N° 26 DU 13 AU 14-9-1959

STATION CENTRALE

CRUE MAXIMALE DE 1959



DIV 9553

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE:

DES:

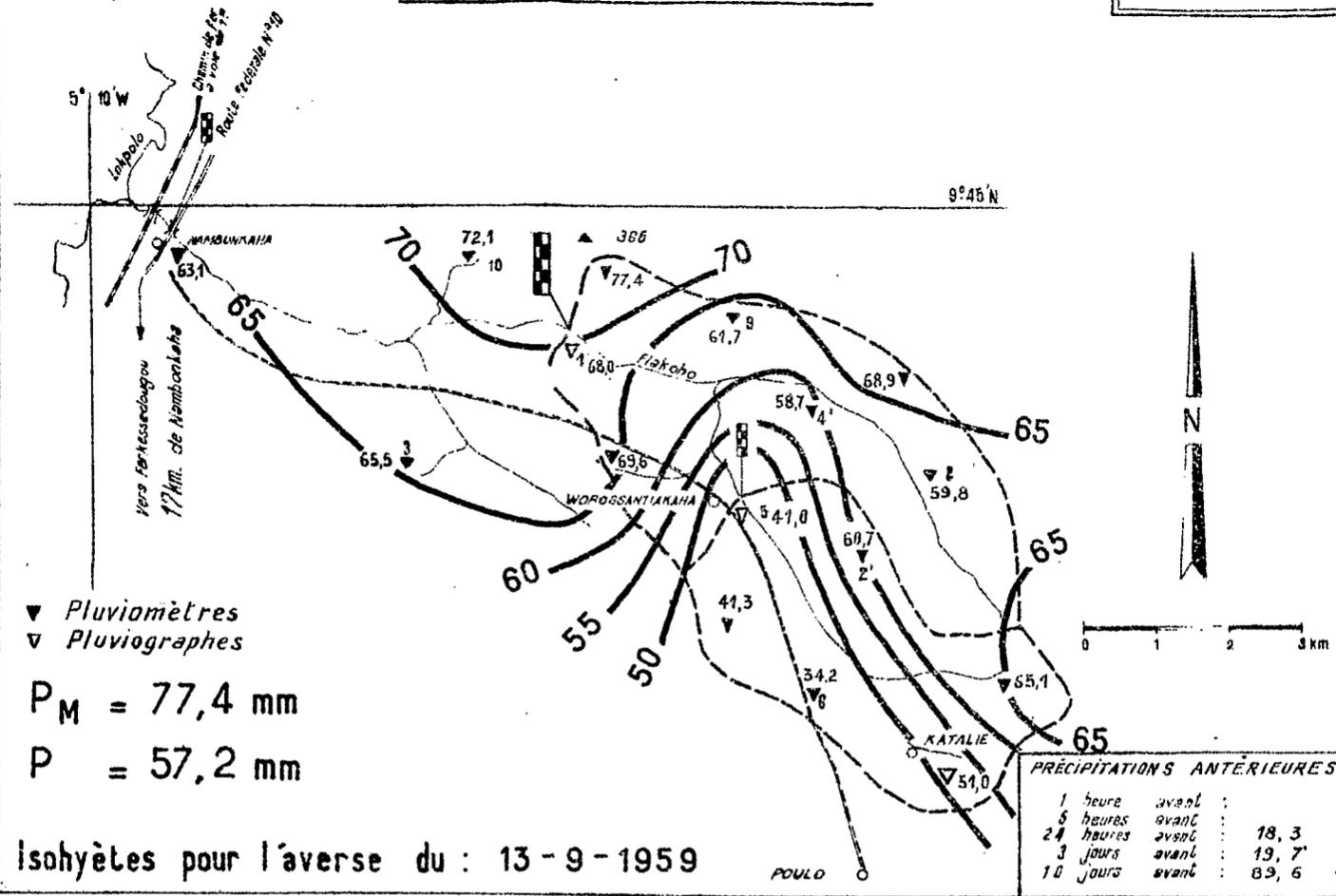
VISA:

TUBE N°:

A1

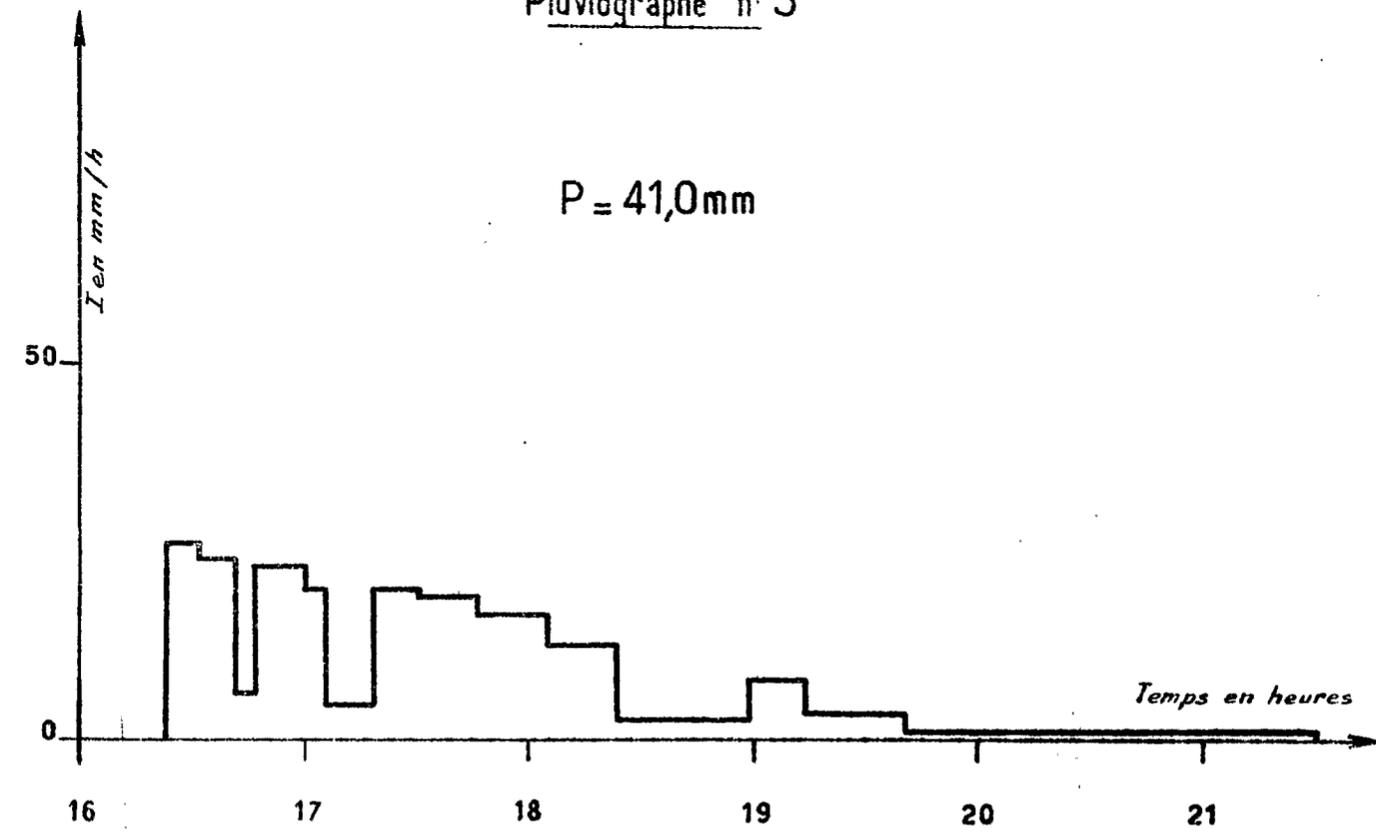
Bassin versant du FLAKOHO

AVERSE N° 26



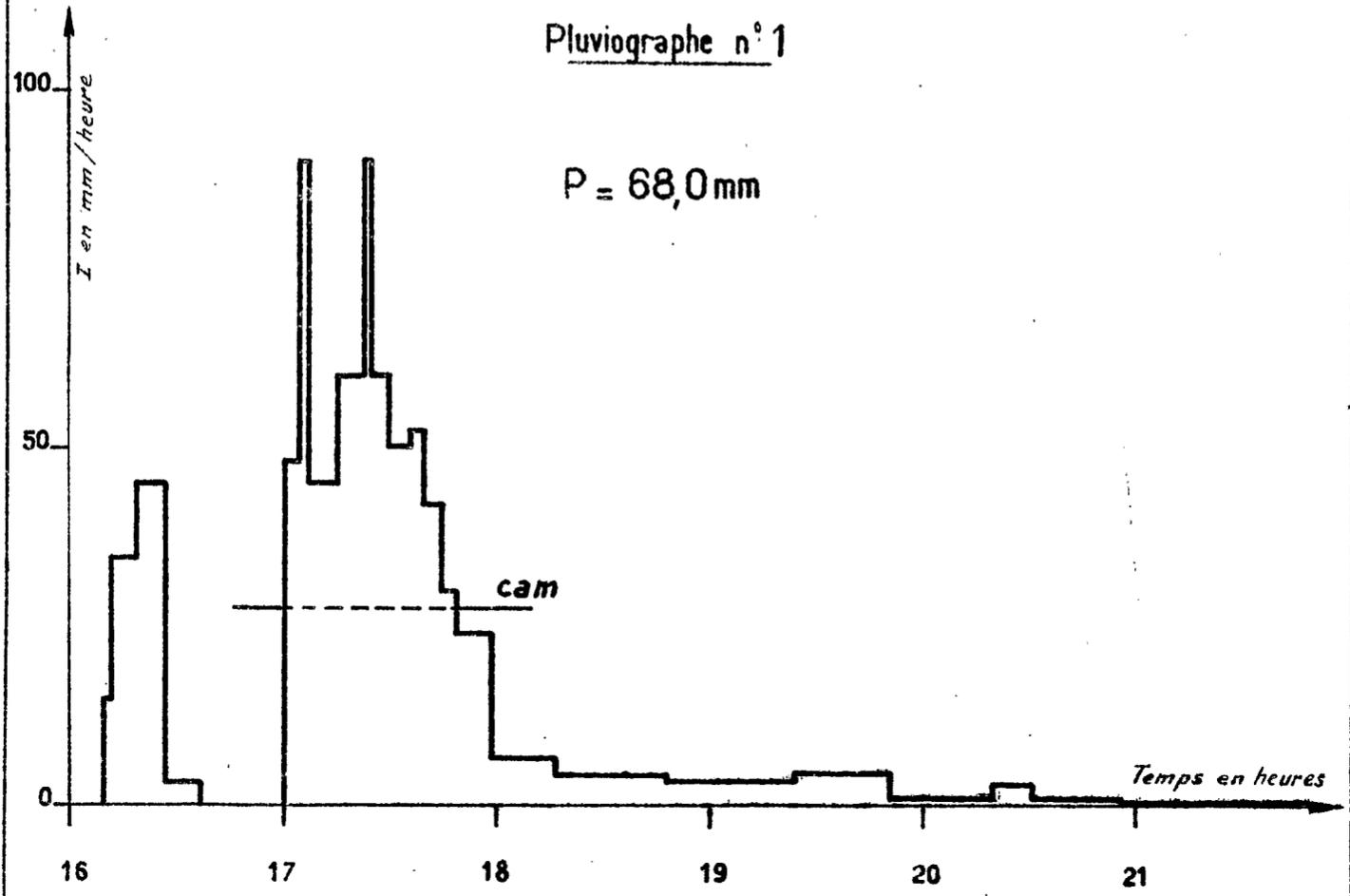
Pluviographe n° 5

$P = 41,0 \text{ mm}$



Pluviographe n° 1

$P = 68,0 \text{ mm}$



DIV 9564

ED:

LE:

DES:

VISA:

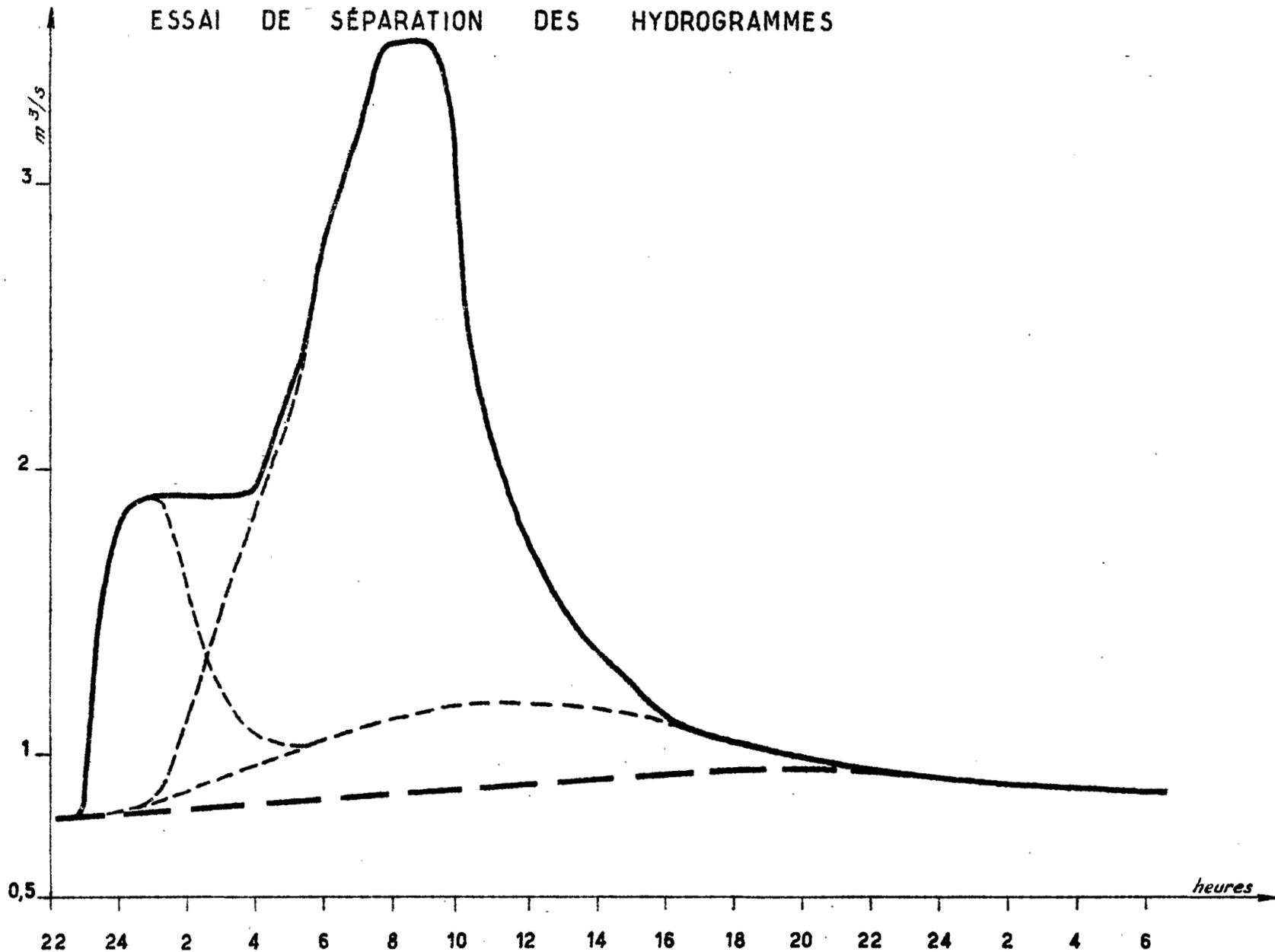
TUBE N°:

AO

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

CRUE UNITAIRE N° 32 DU 23 AU 24-9-59 - STATION CENTRALE -

ESSAI DE SEPARATION DES HYDROGRAMMES



```

=====
: Intervalle: -6h: -4h: -3h: -2h: -1h: 0: +1h: +2h: +3h: +4h: +6h:
: -----:
: Crue n° 14: 0: 0,6: 1,6: 2,1: 3,6: 5,2: 4: 2,8: 2,3: 1,8: 0,4:
: Crue n° 32: 0,5: 1,4: 2: 2,7: 3,5: 4: 3,9: 2,5: 1,4: 0,9: 0,3:
=====

```

La crue n° 14 est beaucoup plus forte que la n°32 et son averse avait bénéficié de conditions de saturation excellentes. Il ne faut donc pas s'étonner des petites différences qui affectent les 2 hydrogrammes de ruissellement, d'autant plus que leur obtention est délicate.

Nous pouvons adopter un diagramme intermédiaire entre celui des 2 crues, avec un débit maximal de 4,6 m³/s, par exemple.

A partir des 2 hydrogrammes type mis en évidence, nous allons essayer de déterminer les crues exceptionnelles.

H - ESTIMATION DES CRUES ANNUELLES ET DECENNALES

Nous adopterons, pour ce calcul, l'hypothèse de base habituelle, la crue maximale annuelle (ou décennale) correspond à l'averse maximale annuelle (ou décennale) survenant dans les conditions les plus fréquentes pour ce type de précipitations. Il s'agit tout d'abord de déterminer la hauteur de l'averse annuelle et de l'averse décennale. Pour cela, nous avons classé les précipitations journalières à la station de FERKESSEDOUGOU, nous avons noté à cette occasion que les 3ème et 6ème averses sont tombées en 1959. L'averse n° 1 A et B tombée le 8 Août 1959 sur notre bassin se classerait 3ème. L'analyse statistique de ces averses, après déduction des pluies inférieures à 10 mm nous a amené à la conclusion que les logarithmes des précipitations journalières suivaient une loi de Gauss, c'est d'ailleurs toujours le cas pour ces précipitations journalières en régions tropicales. Après ajustement, on peut déterminer avec précision les pré-

cipitations de fréquence annuelle et décennale, soit respectivement 75 mm et 130 mm. Ce sont des pluies de mousson à pointes multiples.

1 - Estimation des débits de crues annuelles et décennales à la station amont

Nous allons tout d'abord entreprendre la détermination de ces crues pour la station de WOROS-SANTIAKAHA.

Les conditions de saturation préalables jouent le rôle essentiel, puisqu'elles déterminent à elles seules l'importance du ruissellement d'une averse donnée. Les conditions nécessaires à un fort ruissellement : pluie antérieure 48 h avant, pluie préliminaire et fortes intensités ne sont pas toujours réunies toutes les 3. Leur réunion, assez rare, doit diminuer la fréquence d'apparition de l'averse étudiée. Nous admettrons que les deux conditions : pluie antérieure et fortes intensités sont bien réalisées, mais qu'il n'y a pas de pluie préliminaire, ce qui semble le schéma le plus fréquent.

Aussi, pour la crue annuelle, 3 averses se présentent à l'esprit :

- les n° 4 (de 1957) et 14 (de 1959) ont bénéficié des 3 conditions et, pour des hauteurs maximales de 55 mm, donné 5 m³/s de crue
- la n° 5 (de 1957) seule averse annuelle observée ($P_M = 76,5$ mm) n'a pas eu droit à la pluie préliminaire ; en outre, elle n'était pas unitaire. La crue n'atteint que 4 m³/s.

Si l'on admet que l'averse annuelle ne bénéficie pas de pluie préliminaire, on ne prendra pas 6% pour K_r comme pour la crue n° 14, mais seulement 3% par exemple.

Le calcul est alors le suivant :

$$P_M = 75 \text{ mm}$$

On admet un coefficient de réduction $K = 85\%$

$$\text{d'où } P = 63,5 \text{ mm}$$

$$V_r = 0,635 \times 0,03 \times 14 \cdot 10^6 = 26.700 \text{ m}^3, \text{ volume}$$

ruisselé identique à celui de la crue n° 14,
ce qui nous amène à un débit maximal iden-
tique de 5 m³/s ou 350 l/s.km².

Avec une pluie préliminaire, l'averse annuelle ruisselant à 6% donnerait une crue de 8 m³/s (570 l/s.km²) que nous estimons être de fréquence inférieure à la crue annuelle.

Même dilemme pour la crue décennale, si l'on veut bien se rappeler que l'averse de 132,8 mm du 8 Août 1959 n'a donné que 1,8 m³/s, les conditions de saturation étant mauvaises.

Dans l'hypothèse de sécurité où les 3 conditions de fort ruissellement sont réunies, on admettrait un coefficient de ruissellement de 10%. L'averse moyenne de 117 mm (90% de coefficient de réduction pour le maximum de 130 mm) donne 164.000 m³ de volume de ruissellement. L'averse non unitaire est scindée en 3 fractions de 30 minutes chacune ; la composition des hydrogrammes résultants conduit à un débit maximal de 25 m³/s, compte tenu des apports de l'écoulement de base.

Cette estimation entre 1.700 et 1.800 l/s.km² constitue certainement une limite supérieure des possibilités de ruissellement d'une averse décennale. Si l'averse ne bénéficie pas de toutes les conditions de saturation favorables, le ruissellement correspondant se cantonnerait dans les 6 à 8%, ce qui donnerait 15 à 20 m³/s seulement, soit 1.400 à 1.600 l/s.km² pour 14 km².

2 - Estimation des débits de crue annuelle et décennale à la station centrale

La reconstitution de la crue annuelle est inutile, ce phénomène ayant été observé 2 et même 3 fois.

Les averses n° 5 (de 1957) et n° 26 (de 1959) de hauteurs maximales 76,5 et 77,4 mm ont rencontré des conditions de saturation correcte : pluie antérieure dans les 48 h et fortes intensités. Les coefficients de ruissellement valent 14,5 et 17,6% ; les débits maximaux 9,8 et 11 m³/s. L'averse n° 14 a bénéficié en outre d'une pluie préliminaire, ce qui a permis à l'averse plus faible ($P_M = 66$ mm) de donner une crue identique : $K_r = 15\%$ et $Q_M = 10$ m³/s.

Nous admettrons donc que la crue annuelle se situe raisonnablement entre 10 et 11 m³/s, c'est-à-dire de 320 à 360 l/s.km².

Pour l'estimation de la crue décennale, l'hypothèse des conditions initiales favorables au ruissellement nous conduit à envisager un coefficient de ruissellement de 25 à 30%.

On adopte le schéma de calcul suivant :

$$P_M = 130 \text{ mm avec } K = 90\% \text{ d'où } P = 117 \text{ mm}$$

Le volume ruisselé vaut 906.000 ou 1.087.000 m³ suivant la valeur de K_r (25 ou 30%).

Dans les crues n° 14 et 32, la part du ruissellement des parties aval (1er hydrogramme) variait de 12 à 16,5%. Nous admettrons ici qu'elle vaut 15%.

L'averse n'est pas unitaire ; on considère qu'elle est formée de 2 averses unitaires durant 1 heure chacune.

Il s'agit de composer les deux hydrogrammes des parties aval, décalés de 1 heure et les 2 hydrogrammes du reste du bassin commençant lors des maximums des 2 précédents, pour respecter l'allure de la crue à cette station.

Cette composition donne un débit maximal de crue qui, après apport de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ environ d'écoulement de base, s'élève à $35 \text{ m}^3/\text{s}$ (et $42 \text{ m}^3/\text{s}$ si $K_r = 30\%$). La bande de variation des débits spécifiques ainsi obtenue va de 1.100 à 1.400 l/s.km^2 pour 31 km^2 . Cette estimation, comme pour WOROSSANTIKAHA, constitue une limite supérieure des possibilités de ruissellement de l'averse décennale.

I - LES BILANS D'ÉCOULEMENT ANNUELS

Les données d'observations sont rassemblées dans les deux tableaux des pages suivantes. Sur trois années, aucune n'a été suivie complètement. En 1958, quelques pointages ont pu être faits en saison sèche à l'occasion du passage des hydrologues, ce qui a permis d'estimer les volumes écoulés ; ces chiffres figurent entre parenthèses sur les tableaux.

En 1958, année très sèche puisque la fréquence d'apparition retenue est de $1/30$, nous touchons pratiquement la limite inférieure de l'écoulement sur le FLAKOHO. On constate que le ruissellement ayant été presque négligeable, le volume écoulé provient uniquement du drainage des réserves souterraines. En débits spécifiques, la station de WOROSSANTIKAHA est plus abondante que la station centrale, ce qui tend à montrer que les pertes par évapotranspiration et infiltration ont été notables entre les deux stations. Il en était de même entre la station centrale et NAMBONKAHA puisque les débits d'étiage absolus étaient sensiblement de 18 l/s à WOROSSANTIKAHA, de 10 l/s à la station centrale et nul à NAMBONKAHA. Ces constatations ont été faites fin avril, début mai, sur le bassin. Les coefficients d'écoulement annuels sont de $5,2\%$ à la station centrale et de $7,5\%$ à la station amont.

Les années 1957 et 1959 sont l'une de fréquence décennale humide, l'autre sensiblement moyenne, mais avec une bonne concentration des précipitations sur Août et Septembre, ce qui a manifestement favorisé le ruissellement. En effet, ces 2 années, tout au moins pour la période d'hivernage (Août-Octobre)

connue, ont des coefficients d'écoulement semblables. On a relevé 23% à la station centrale et 18,5 à 19,6% à WOROSSANTIAKAHA. En année pluvieuse, les possibilités de ruissellement meilleures sur le grand bassin, justifient un écart des coefficients avec le bassin amont, en sens inverse de l'écart observé en année sèche.

Il est vraisemblable qu'à l'échelle annuelle, le coefficient de 1957 restant voisin de 20%, celui de 1959 descende vers 15% car les premiers mois ont dû être marqués par la sécheresse de 1958.

Entre 1958 et les 2 autres années, autant qu'on puisse en juger, les volumes écoulés sont dans un rapport de 1 à 10 environ.

Pierre DUBREUIL
Maître de Recherches à l'ORSTOM

BILANS D'ECOULEMENT DU FLAKOHO

- 1957 - A la station de NAMBONKAHA

A = 50 km²

Mois	P mm	Ve 10 ³ m ³	Le mm	Ke %	Q moyen m ³ /s
Août	360	3.042	61	17	1,13
Septembre	243	2.714	54	22	1,05
Octobre	142	1.872	37	26	0,70
Novembre	(25)	700	14	-	0,27
Décembre	(0)	400	8	-	0,15
Août-Oct.	745	7.628	152	20,4	
Août-Des.	770	8.728	174	22,6	

- 1958 - A la station Centrale

A = 31 km²

Janvier	(15)	(214)			(0,08)
Février	-	(97)			(0,04)
Mars	(85)	(67)			(0,02)
Avril	(60)	(52)			(0,02)
Mai	49	(40)			(0,01)
Juin	81	52	1,7	2	0,02
Juillet	60	67	2,2	3,6	0,03
Août	66	94	3	4,6	0,04
Septembre	160	125	4	2,5	0,05
Octobre	87	217	7	8	0,08
Novembre	57	87	2,8		0,04
Décembre	(0)	(53)	1,7		0,02
Juin-Nov.	511	642	20,7	4	
Année	720	1.165	37,5	5,2	

- 1959 - A la station Centrale

Août	374	1.462	47	12,6	0,55
Septembre	346	2.880	93	27	1,11
Octobre	52	904	29	-	0,34
Août-Oct.	772	5.246	169	22	

BILANS D'ECOULEMENT à WOROSSANTIKAHA

A = 14 km²

- 1957 -

Mois	P _{mm}	Ve 10 ³ m ³	Le mm	Ke %	Q m ³ /s
Août	346	767	56	15,8	0,29
Septembre	238	453	32	13,6	0,17
Octobre	148	444	31	21,4	0,16
Novembre	(25)	(182)	13	-	(0,07)
Décembre	(0)	(112)	8	-	(0,04)
Août-Oct.	732	1.664	119	16,3	
Août-Déc.	757	1.958	140	18,5	

- 1958 -

Janvier	(15)	(86)	6,2		(0,032)
Février	-	(63)	4,5		(0,026)
Mars	(85)	(59)	4,2		(0,022)
Avril	(60)	(49)	3,5		(0,019)
Mai	50	(53)	3,8		(0,020)
Juin	81	57	4,1		0,022
Juillet	57	67	4,8		0,025
Août	84	55	3,9	4,7	0,028
Septembre	173	84	6	3,4	0,032
Octobre	104	106	7,6	7,3	0,040
Novembre	67	87	6,2	9,3	0,036
Décembre	(0)	(53)	3,8		(0,020)
Août-Nov.	428	322	23,7	5,5	
Année	776	819	58,6	7,5	

- 1959 -

Août	351	551	39	11,2	0,20
Septembre	319	822	59	18,5	0,32
Octobre	55	618	44	-	0,23
Août-Oct.	725	1.991	142	19,6	

CHAPITRE V

OBSERVATIONS EFFECTUEES sur les BASSINS du NION (Région de MAN - Côte d'Ivoire)

A - DESCRIPTION DU BASSIN

On se reportera au rapport de la campagne 1957 pour la description sommaire du bassin et, en particulier pour l'étude pédologique. Indiquons simplement que les superficies des bassins versants sont les suivantes :

- Bassin versant n° 1 = 62,4 km²
- Bassin versant n° 2 = 10,2 km²
ou petit bassin

Le relief est très accentué dans la partie nord du bassin n° 2. La partie méridionale est une plaine sans grand relief. Le sol est fortement altéré par la latéritisation, il est perméable en surface. La forêt qui couvrirait le bassin est en grande partie détruite, les cultures sont nombreuses.

B - CLIMATOLOGIE

Nous rappelons que la hauteur moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 1.800 mm (régime tropical de transition). On se reportera au rapport de la campagne de 1957 pour plus de détails.

Les mesures d'évaporation ont été poursuivies en 1959 sur le bac type Colorado enterré de la station de KRIKOUA. Le bac est situé dans une clairière. Les observations ont été poursuivies jusqu'en Octobre 1959.

La durée des observations depuis Août 1957 est suffisante pour obtenir une estimation correcte de l'évaporation Colorado en ce point.

On constate que cette caractéristique varie peu d'une année à l'autre :

- pour la période allant d'Août 1957 à Juillet 1958 et qui englobe la forte saison des pluies de 1957, on trouve 1.099 mm
- L'année 1958, très sèche, a vu une évaporation comparable, de 1.108 mm
- Pour la période Novembre 1958-Octobre 1959, on n'atteint que 1.010 mm

Ceci nous conduit à penser que l'évaporation annuelle sur bac enterré doit osciller entre 1.000 et 1.100 mm dans la région de MAN.

Le tableau suivant donne les valeurs mensuelles de l'évaporation journalière moyenne, en millimètres par jour, pour la période d'observations :

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1957	:	:	:	:	:	:	:	1,9	1,4	2,4	2,9	3,5
1958	3,2	3,4	4,0	3,7	4,4	2,8	2,4	1,8	2,2	3,0	2,8	3,1
1959	3,6	3,7	4,0	3,4	3,5	3,0	2,1	2,0	2,0	:	:	:
Moyenne	3,4	3,5	4,0	3,6	3,5	2,9	2,2	1,6	1,9	2,7	2,8	3,3

soit 1.076 mm. L'évaporation journalière ne subit pas de fortes variations en cours d'année : de 3 mm en pleine saison sèche, elle s'élève jusqu'à 4 et 4,5 mm avec les chaleurs de Mars à Mai, puis elle redescend en-dessous de 2 mm en Août et Septembre, les mois les plus arrosés.

C - EQUIPEMENT DES BASSINS

Il est resté identique à celui de 1958.

Il comprenait :

- une station météorologique à KRIKOUMA où était installé le bac Colorado
- un pluviographe à proximité de l'aérodrome
- un autre au campement de MANGOHOULE
- un pluviomètre percé à KRIKOUMA, faisant fonction de pluviographe
- 11 pluviomètres Association régulièrement répartis sur tout le bassin.

L'équipement hydrométrique était le suivant :

1°) à la station n° 1 (grand bassin)

Une passerelle en tubes Mills avec limnigraphe Ott, type X, rotation en 24 heures, doublé par une échelle de 3 m installée en aval de la passerelle

2°) à la station n° 2 (petit bassin)

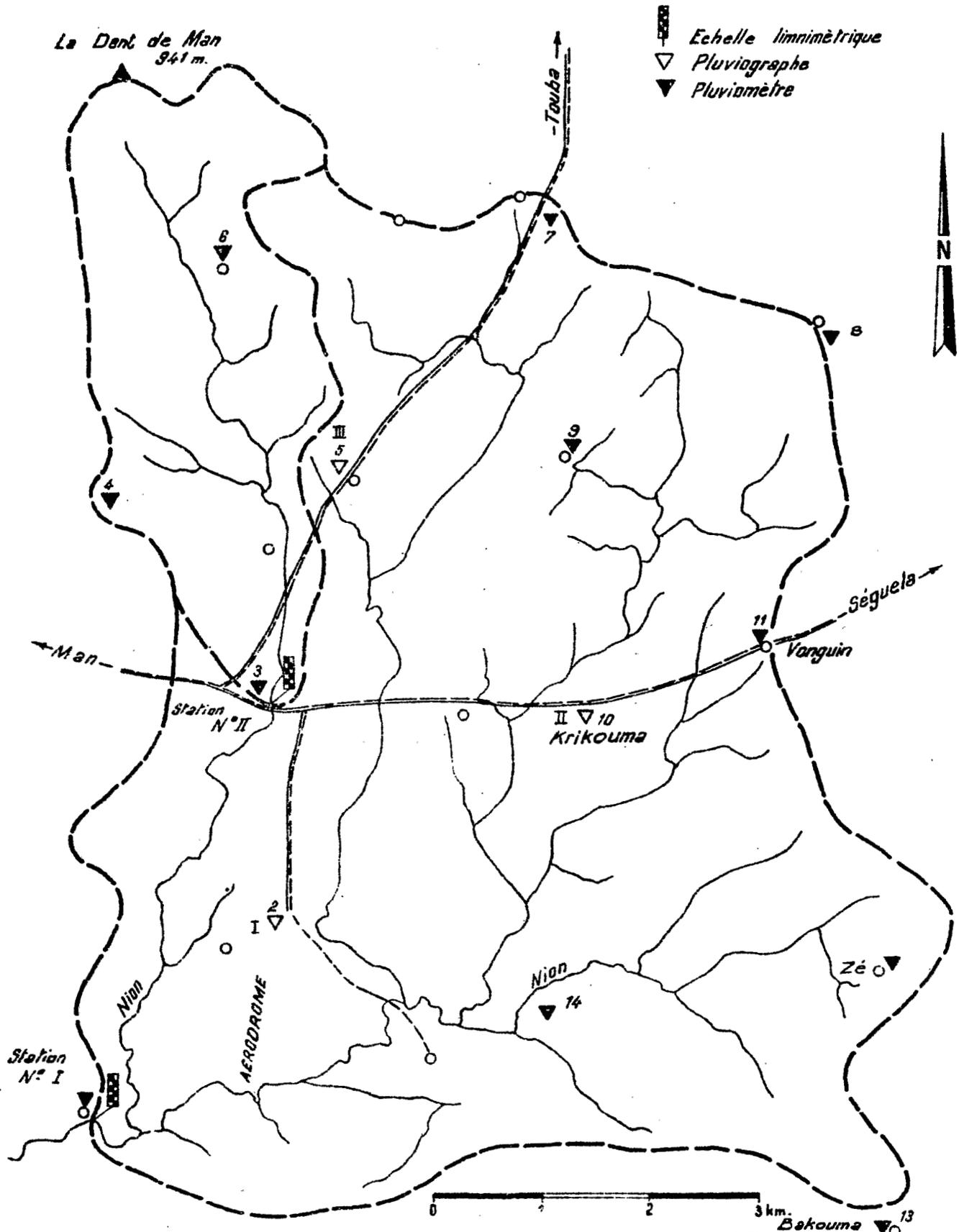
L'installation était semblable.

L'organisation des observations était la suivante :

Un observateur africain résidait à KRIKOUMA ; il était chargé d'effectuer toutes les observations à la station météorologique ; en outre, il s'occupait de mesurer les hauteurs d'eau des pluviomètres des secteurs de VONGOUIN et de ZE recueillies par deux assistants qui étaient munis de bicyclettes. Il avait aussi avec lui un assistant qui mesurait toutes les 5 minutes la hauteur d'eau recueillie par le pluviomètre percé.

Un autre observateur résidait au campement de MANGOHOULE situé sur la route de TOUBA ; il était chargé de changer les diagrammes du pluviographe et de mesurer les hauteurs d'eau recueillies aux pluviomètres

Bassin versant du NION



-  Echelle limnimétrique
-  Pluviographe
-  Pluviomètre

GUI 8033

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED: LE: 16 Sept 58 DES: J-P Haeltich VISA: TUBE N°: A1

des secteurs nord et nord-ouest du bassin. Deux aides s'occupaient de collecter l'eau de ces pluviomètres.

A l'aérodrome, un agent de la Météorologie de la Côte d'Ivoire était chargé du fonctionnement du pluviographe ; il mesurait en même temps l'eau du pluviomètre se trouvant à l'est qu'un aide allait recueillir.

Ce personnel était sous le contrôle de M. RUAT qui effectuait lui-même les changements de diagrammes des limnigraphes et les mesures de débit aux deux stations.

Les mesures complètes n'ont couvert que la période allant du 31 Juillet au 11 Octobre 1959. Auparavant on s'est contenté des lectures du pluviomètre de MAN et de lire les échelles 2 fois par jour.

D - AVERSES OBSERVEES

Les observations ont couvert la période du 1er Août au 10 Octobre.

Le total des précipitations recueillies à la station de MAN Aérodrome en 1959 atteint 1.908 mm, c'est-à-dire une valeur comparable à celle de 1957. La moyenne interannuelle est de 1.769 mm, valeur légèrement inférieure à la hauteur moyenne sur le bassin. Les mois de Mars et de Mai ont été très excédentaires, mais en contre-partie, le mois d'Août n'a été que peu arrosé. Une telle année est légèrement excédentaire avec une période de retour de 3 ans.

Les hauteurs de précipitations mensuelles ont été portées sur le tableau ci-dessous :

=====												
: J	: F	: M	: A	: M	: J	: J	: A	: S	: O	: N	: D	: Total :
: ---	: ---	: ---	: ---	: ---	: ---	: ---	: ---	: ---	: ---	: ---	: ---	: ---
: 12 :	60 :	218 :	169 :	250 :	188 :	292 :	126 :	352 :	206 :	32 :	3 :	1.908 :
=====												

Les averses relevées en 1959 se répartissent comme ci-dessous, suivant leur importance (le pluviomètre n° 2 est celui de MAN-aérodrome, le pluviomètre n° 6 est situé sur le versant de la dent de MAN).

Pluviomètres	Précipitations classées		
	de 10 à 50 mm	de 50 à 100 mm	+ de 100 mm
n° 2	17	2	-
n° 6	21	4	-

On trouvera ci-après le tableau complet des averses observées.

Le nombre d'averses ayant dépassé 100 mm en un point quelconque du bassin s'élève à 3 pour la campagne 1959. En voici l'inventaire :

N° 11 & - les 8 et 16 Septembre 1959, deux averses ont atteint 12 GB 116 et 107 mm de hauteurs maximales, sur la ligne de crête orientale du grand bassin. La dispersion assez élevée atteint 40 à 60% et l'hétérogénéité dans le temps est notable.

N° 20 PB.- le 5 Octobre 1959, une précipitation maximale de 101,5 mm intéresse l'est du petit bassin ; c'est une averse très courte, de 1 h $\frac{1}{2}$ (intensités de 150 mm/h pendant plusieurs fois 5'), suivie d'une traine de 2 à 3 heures. Dispersion moyenne : K = 74% d'où P = 75,5 mm.

Aucune de ces averses n'a atteint une valeur exceptionnelle et ne dépasse la fréquence annuelle ; les 2 premières représentent sensiblement la fréquence annuelle seulement pour le grand bassin. La dernière pluie évoquée est un peu plus faible. Nous pensons après cette analyse que la hauteur maximale ponctuelle à retenir pour l'averse de fréquence annuelle, est de 110 mm à 115 mm environ.

La pluviométrie sur l'ensemble du bassin manque d'homogénéité et tend de façon systématique à être nettement plus forte sur la partie nord du bassin, du fait de son relief plus accentué. Cette dispersion

LISTE DES AVERSES SUR LE NION

relevées aux divers pluviomètres
du bassin

Date	P 3	P 4	P III 5	P 6	Moy. BV partiel	P 1	P I 2	P 7	P 8	P 9	P II 10	P 11	P 12	P 13	P 14
3-8-59	21,3	27,9	26,9	53,6		25,7	15,7	34,4	23,6	16,8	36,3	31,8	20,9	23,8	20,4
4-8-59	3,2	3,4	3,0	5,2		1,8	0,3	3,9	2,3	6,6	2,2	1,2	0,4	1,1	1,6
5-8-59	1,1	5,2	0,0	0,5		0	0,3	0,7	0,0	1,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,2
6-8-59	0,4	0,0	0,0	0,0		5,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,4
7-8-59	6,8	4,3	2,6	5,5		0,2	4,3	7,2	4,8	4,1	3,2	2,3	3,8	2,3	2,8
10-8-59	2,5	0,0	0,4	0,0		0,4	0,8	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	6,7	5,9	2,1
11-8-59	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	4,6	0,0
13-8-59	1,8	1,2	1,1	1,4		6,6	3,9	1,3	3,3	0,6	2,3	4,5	6,1	1,4	0,4
14-8-59	0,9	0,4	0,0	0,7		0,0	2,2	0,6	6,0	1,7	1,4	0,6	0,4	0,9	3,8
24-8-59	0,5	1,6	1,5	2,0		0,3	0,1	7,5	5,7	0,0	9,2	11,4	2,5	1,8	0,0
25-8-59	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0
26-8-59	2,6	1,6	1,9	2,5		0,0	4,1	0,0	10,9	3,2	2,6	3,6	12,3	29,5	13,1
27-8-59	6,4	7,9	6,2	7,0		5,1	4,0	9,2	6,8	5,4	4,5	4,8	11,9	15,5	9,4
29-8-59	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0
30-8-59	6,6	18,3	6,9	11,8		26,1	38,8	17,3	5,8	13,4	25,7	6,8	15,8	41,3	52,8
	54,1	71,8	50,5	90,2	66,6	71,3	75,0	82,1	69,2	53,3	89,2	68,4	85,5	128,1	107,0
1-9-59	58,5	75,3	27,1	58,5		18,3	41,8	36,4	38,5	56,1	71,3	70,0	60,8	41,6	46,8
2-9-59	26,5	33,5	21,8	34,2		24,1	20,9	39,3	22,3	45,5	32,1	31,3	37,4	27,2	30,1
3-9-59	10,2	5,3	3,6	4,3		10,3	11,7	2,1	14,6	3,6	3,6	8,6	2,2	6,2	6,0
4-9-59	0,0	6,4	0,4	1,8		0,0	1,5	0,0	0,0	1,8	0,7	0,0	0,0	0,0	2,4
5-9-59	6,9	10,0	1,7	32,0		4,0	3,5	1,6	0,0	0,6	3,1	5,0	1,3	2,2	4,4
6-9-59	4,5	10,7	1,7	1,5		7,4	14,4	2,2	5,8	2,3	33,4	18,4	55,4	32,4	82,1
8-9-59	12,1	22,7	16,2	20,0		16,0	17,3	20,0	24,5	14,3	23,2	16,4	4,2	2,2	6,1
9-9-59	31,8	19,7	35,3	25,8		37,8	27,6	103,7	116,1	8,0	53,0	109,5	111,7	96,2	65,4
10-9-59	0,5	14,4	4,4	12,8		5,3	2,1	20,6	0,0	12,6	1,1	0,0	0,0	0,0	2,6
11-9-59	0,0	1,4	0,5	1,1		0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
12-9-59	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13-9-59	7,1	23,4	10,9	11,3		11,5	1,4	18,7	0,9	13,8	16,7	13,9	12,9	9,7	0,0

Date	P 3	P 4	P III 5	P 6	Moy.BV: partiel	P 1	P I ₂	P 7	P 8	P 9	P II 10	P 11	P 12	P 13	P 14
14-9-59	13,4	36,1	25,7	39,7		19,3	44,2	27,3	50,8	36,8	51,2	38,5	33,8	32,0	18,9
15-9-59	1,9	40,5	13,3	23,2		3,3	5,7	33,8	30,7	31,0	7,0	9,7	16,9	19,8	24,2
16-9-59	8,0	35,2	13,1	33,6		9,2	8,7	18,9	25,6	11,5	19,0	23,8	7,1	23,2	34,9
17-9-59	55,7	59,6	44,8	53,4		49,6	70,6	53,4	32,3	55,4	56,6	94,8	106,9	99,8	69,1
18-9-59	7,9	35,9	10,8	13,8		15,1	21,7	10,5	61,3	12,1	17,6	29,8	33,8	53,8	25,8
19-9-59	0,3	0,0	0,0	0,0		1,2	0,0	0,0	44,2	0,0	6,0	27,4	4,1	1,3	0,0
22-9-59	4,3	0,0	0,0	0,0		0,7	0,0	0,0	2,5	0,0	0,7	1,2	2,6	2,3	0,0
23-9-59	4,7	12,2	4,0	10,0		9,7	3,3	8,0	26,2	3,1	1,8	11,4	5,0	7,7	6,5
24-9-59	29,4	43,4	31,7	36,7		28,4	33,4	39,6	28,1	28,9	35,9	33,8	31,6	33,9	33,9
25-9-59	8,1	27,4	23,2	22,5		0,9	4,7	17,8	25,7	9,1	13,4	18,7	7,4	15,6	6,3
26-9-59	42,6	39,7	41,2	34,4		22,7	39,5	31,0	33,7	36,9	39,8	39,8	41,1	35,2	41,0
27-9-59	0,0	13,7	15,4	16,3		0,0	0,5	21,3	7,7	13,8	0,0	1,9	7,6	9,6	0,0
29-9-59	0,0	28,5	27,5	31,5		1,1	24,0	22,5	3,1	22,4	15,9	4,2	0,8	3,4	0,0
30-9-59	16,1	41,0	27,2	31,2		11,9	4,0	23,3	19,4	25,6	1,3	14,2	17,1	7,4	15,9
	350,5	636,0	401,5	549,6	484,4	307,8	402,9	553,0	614,0	445,2	504,8	622,3	610,7	562,7	521,6
1-10-59	10,6	9,0	10,9	15,5			11,0	3,0		11,0					
2-10-59	28,0	17,1	37,0	19,0			32,5	6,0		12,7					
5-10-59	59,4	101,5	85,5	66,4			62,0	43,8		79,2					
7-10-59	16,5	37,0	16,3	10,0			32,5	12,8		18,8					
9-10-59	0,0	0,0	0,0	0,0			0,5	0,0		0,0					
10-10-59	2,1	0,7	2,0	1,8				0,2		0,9					
	116,6	165,3	151,7	112,7	136,6		138,5	65,8		122,6					

est bien représentée par le coefficient de réduction $K = \frac{P_M}{P}$ pour chaque averse prise en particulier. Les

coefficients K sont très élevés pour le bassin du NION 2: de 75 à 93% pour les valeurs calculées qui se répartissent autour de 85%. Sur le grand bassin, ces coefficients diminuent notablement jusque vers 60% pris: comme valeur la plus fréquente (ils varient de 50 à 75%, en général).

Le petit bassin du NION a une forme allongée et draine 10,2 km² ; pour une zone au relief important, les coefficients de réduction calculés semblent un peu élevés. On observera sur les bassins du TONKOUÏ (LOUE et GBOA) qui drainent des bassins de superficies voisines, et de forme allongée, des coefficients nettement plus faibles (55 à 60% pour les valeurs les plus fréquentes). Deux explications sont possibles pour cette anomalie :

a) Les bassins du TONKOUÏ sont à une altitude plus élevée (450 à 1.200 m contre 400 à 900 m pour le NION) au sein d'un massif au relief très tourmenté, donc soumis à des pluies plus irrégulières par suite des écrans dus au relief.

b) La couverture du petit bassin du NION en pluviomètres est insuffisante par rapport à celle des bassins du TONKOUÏ ; tout particulièrement, les contre-forts immédiats de la Dent de HAN (940 m) ne sont suivis qu'au pluviomètre n° 6 (600 mètres environ) certainement trop bas pour relever les fortes précipitations sur le haut relief.

A l'échelle du mois, l'influence du relief conduit à des écarts considérables de la pluviométrie entre les diverses régions du bassin, dont voici quelques exemples :

Mois	Hauteur d'eau mensuelle en mm		
	Au pluviomètre le moins arrosé	Au pluviomètre le plus arrosé	Moyenne sur le grand bassin
Septembre 58	276 au n° 13	615 au n° 9	404
Septembre 59	307 au n° 1	636 au n° 14	506

La plupart des averses donnent lieu à un hyétogramme que l'on peut grossièrement schématiser ainsi :

- 1°) faible ondée préliminaire, de durée variable, parfois inexistante
- 2°) précipitations intenses pendant une demi-heure à une heure
- 3°) traîne de petite pluie se prolongeant parfois pendant deux ou trois heures

Les intensités maximales enregistrées par intervalles de cinq minutes, pendant la deuxième phase de l'averse, dépassent assez fréquemment 50 mm/h mais rarement 100 mm/h. La plus forte intensité observée en 1957 a été de 148 mm/h pendant cinq minutes (averse n° 10).

En 1959, l'intensité de 180 mm/h a été atteinte quelques minutes le 29 Septembre, au pluviographe n° 5 qui doit, à sa position déjà élevée, d'enregistrer les pluies les plus intenses.

Parmi les averses observées, quelques unes se sont produites à quelques heures d'intervalle et n'ont pas donné lieu à des crues nettement individualisées, surtout à la station 1. D'autres n'ont pas été suffisamment importantes pour provoquer des crues sensibles, particulièrement celles inférieures à 20 mm, comme nous allons le préciser plus loin.

En 1959, respectivement 9 et 8 averses ont provoqué aux stations n° 1 et n° 2 des crues nettes et individualisées.

Conditions-limites du ruissellement

Nous n'avons pas tenu compte dans le paragraphe précédent des pluies nombreuses, inférieures à 10 mm, qui sont sans effet sur l'écoulement. Cette constatation a été faite au cours de la recherche des conditions-limites du ruissellement que nous avons effectuée pour les 3 années d'observations.

Chaque précipitation moyenne sur l'un des bassins est portée en ordonnée, sur un graphique où l'abscisse représente le temps qui s'est écoulé depuis l'averse précédente. Les points correspondant aux ruissellements se placent en haut et se séparent bien de ceux correspondant à des pluies sans effet sur l'écoulement. La courbe que l'on peut tracer pour séparer ces 2 séries de points nous donne la valeur limite que doit atteindre une précipitation donnée pour être suivie d'un ruissellement, selon la plus ou moins grande sécheresse initiale du terrain.

Période antérieure sans pluie	Pluie limite	
	Bassin n° 1	Bassin n° 2
12 heures	13 mm	10 mm
24 heures	14 mm	12 mm
2 jours	15 mm	15 mm
4 jours	17 mm	20 mm
6 jours	20 mm	24 mm

On constate :

- l'absence de ruissellement pour des pluies inférieures à 10 mm
- l'augmentation de la pluie limite avec le nombre de jours restés sans pluie.

Ces 2 points sont en liaison directe avec la forte perméabilité des terrains du bassin. Avec le temps, la précipitation-limite est supérieure sur le bassin n° 2, ce qui est dû aux caractères particuliers des sols de pente sur charnockite, qui composent la presque totalité des sols de ce bassin. Par contre, l'influence de la pente explique, pour des périodes de 12 heures sans pluie, la possibilité de ruissellement plus grande sur le bassin n° 2.

On trouve, sur les graphiques 1 et 2 qui représentent cette analyse, beaucoup de points voisins des courbes, et qui sont dus à de très faibles augmentations de l'écoulement de base, par suite de pluies en général irrégulières et localisées à l'aval des bassins.

DIV. 9342

ED:

LE:

DES:

VISA:

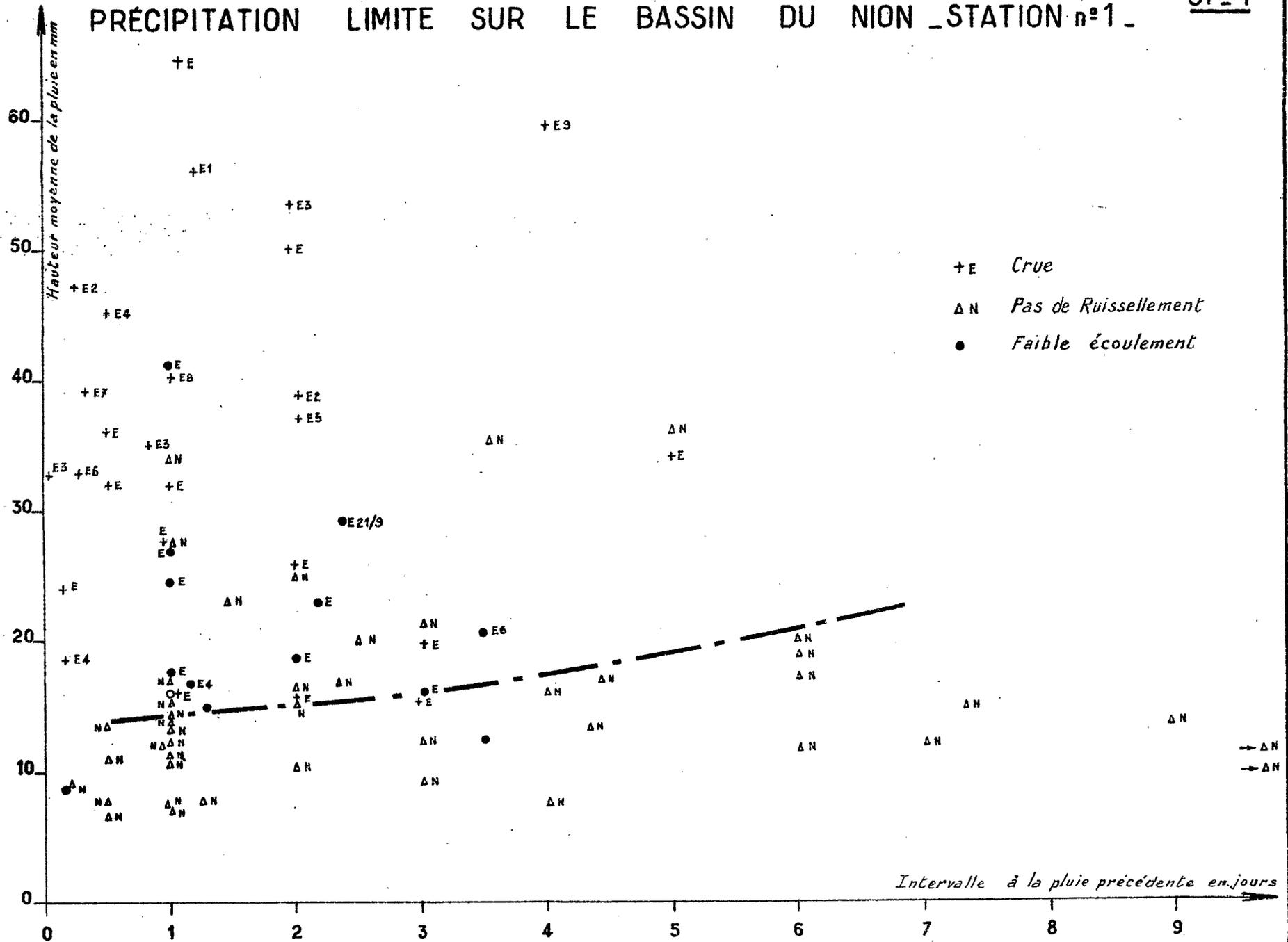
TUBE N°:

AO

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

Gr. 1

PRÉCIPITATION LIMITE SUR LE BASSIN DU NION - STATION n°1 -



DIV 9350

ED:

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

LE:

DÉS:

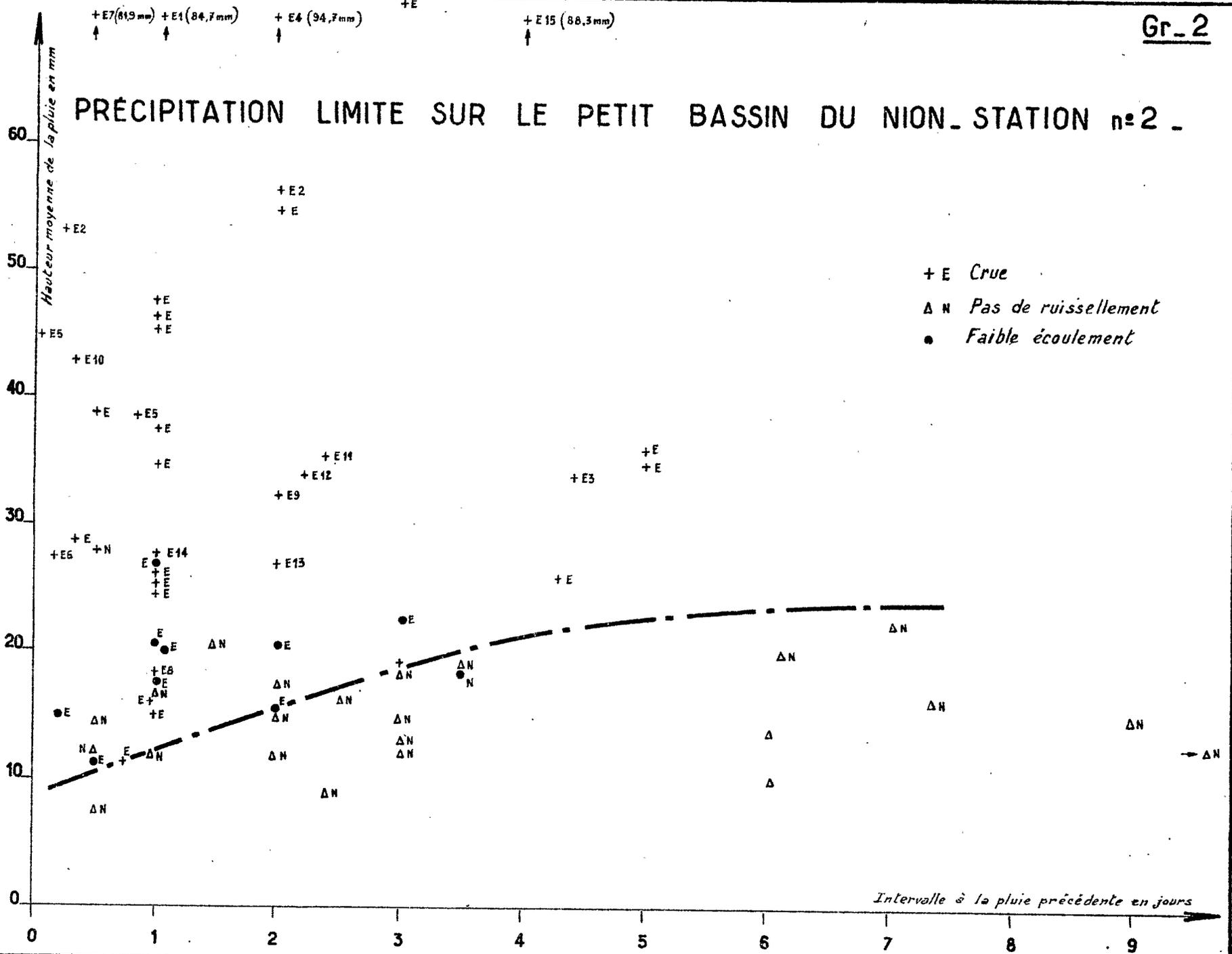
VISA:

TUBE N°:

AO

Gr_2

PRÉCIPITATION LIMITE SUR LE PETIT BASSIN DU NION - STATION n°2



Il est bien évident que ces conditions-limites ne sont valables que pour la période Août-Octobre; elles sont certainement plus sévères en début d'hivernage alors que l'espacement des pluies est grand et les réserves du sol perméable à renouveler ; de telle sorte que l'on peut, sans risque, dire que, de Mars à Juillet, le ruissellement n'est important que pour des averses supérieures à 30 et 40 mm.

E - CRUES OBSERVEES

Le régime du NION est apparenté au régime tropical de transition. L'influence équatoriale se fait sentir de façon assez nette. Les premières crues se produisent en Avril mais par la suite les débits croissent de façon assez irrégulière. Les plus fortes crues se produisent en Septembre et Octobre, le volume total écoulé en Août restant toujours très inférieur à celui de ces deux mois. L'écoulement est permanent, le débit de l'étiage est de l'ordre de 3,5 l/s.km².

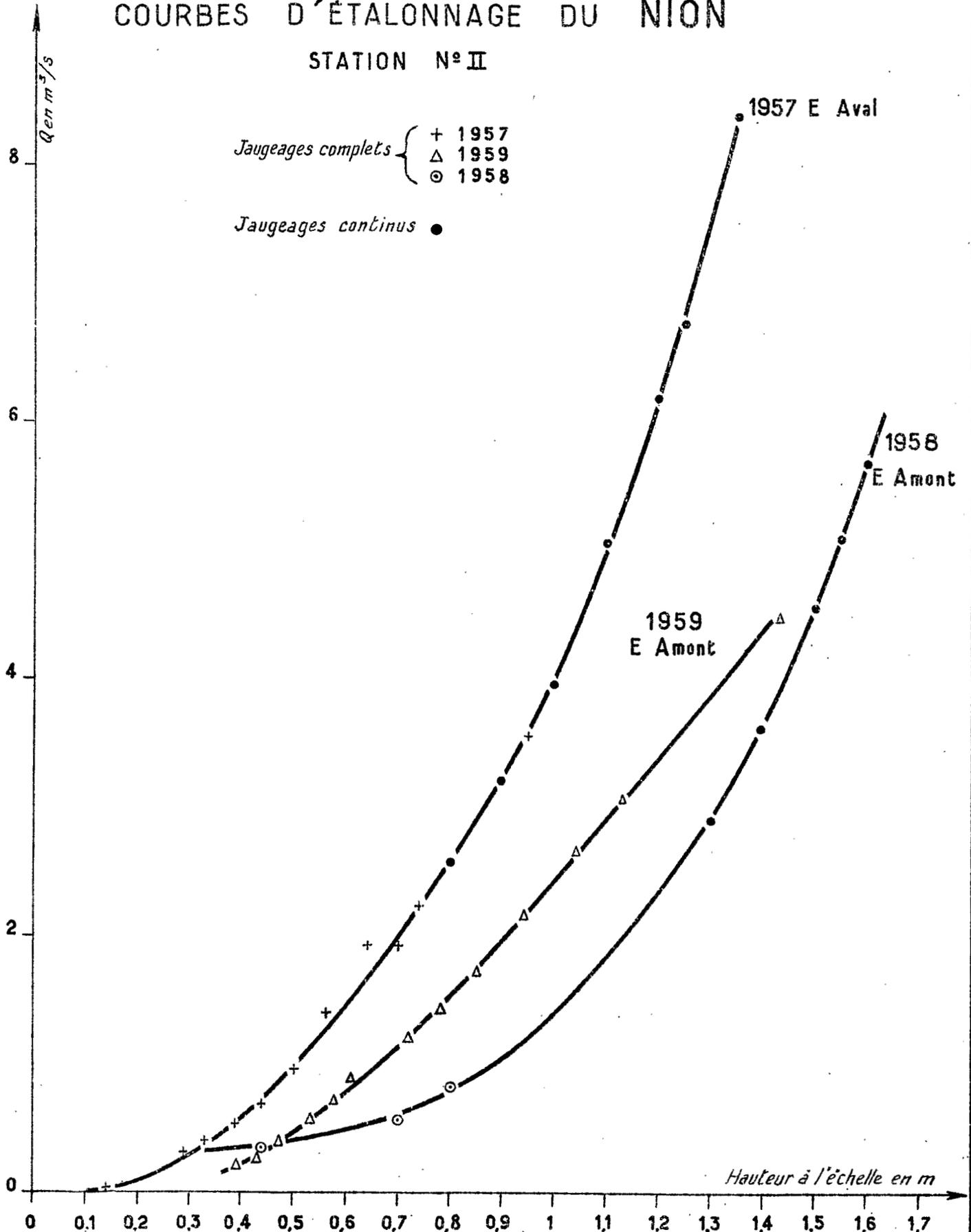
Les bassins 1 et 2 réagissent de façons très différentes aux fortes précipitations. Le bassin n° 2, montagneux et de faible superficie, donne lieu à des crues brutales : l'augmentation horaire du débit peut atteindre plusieurs mètres cubes par seconde ; la durée du ruissellement ne dépasse pas une journée ; le débit de pointe des crues observées est compris entre 2 et 8,8 m³/s, soit entre 200 et 860 l/s.km².

Le bassin n° 1 présente des crues plus atténuées, tout au moins en valeur relative : l'augmentation horaire du débit dépasse assez rarement 0,5 m³/s ; la durée de ruissellement est de l'ordre de 3 jours. Le débit de pointe des crues observées est compris entre 7 et 16 m³/s, soit entre 110 et 260 l/s.km².

L'étalonnage de la station n° 1 peut être considéré comme très satisfaisant, la courbe d'étalonnage avait été établie à partir d'une vingtaine de jaugeages de 1957 et 1958 jusqu'à 16,4 m³/s. Deux jaugeages de contrôle effectués en 1959 ont des points figuratifs se plaçant exactement sur la courbe 1957-58.

COURBES D'ÉTALONNAGE DU NION

STATION N° II



DIV 9345

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

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

AO:

Pour la station n° 2, l'étalonnage effectué dans des conditions semblables pouvait être considéré comme satisfaisant en 1957. Mais la construction du nouveau pont routier nous obligea au déménagement en Août et Septembre 1958.

Des jaugeages effectués pendant cette période ont conduit à une courbe d'étalonnage médiocre très différente de celle adoptée en 1957. Par suite de l'encombrement du lit par des poutres et des matériaux divers, il est heureux que cet obstacle à un bon écoulement se soit produit pendant une période de sécheresse, sans grosses crues.

En 1959, l'écoulement étant libre sous le nouveau pont, l'hydrologue a procédé à une 3ème série de jaugeages (13 mesures) conduisant, par rapport à l'échelle amont, à une courbe plus raide que celle de 1958. Les mesures de débit ont été effectuées jusqu'à 4,49 m³/s.

En 1959, 9 crues importantes ont été observées sur le bassin n° 1 et 8 sur le bassin n° 2. Ces crues ont été analysées en détail.

L'averse du 17-9-1959, n° 12, sur le grand bassin, a entraîné une crue de 14,4 m³/s presque aussi importante que la forte crue du 31 Août 1957 (16 m³/s) c'est une crue de fréquence annuelle, elle doit être très inférieure à la crue décennale.

La même averse n'a engendré qu'une crue médiocre sur le petit bassin, le maximum annuel : 4,7 m³/s (crue n° 20) provient de l'averse du 5 Octobre, il est très inférieur à celui de la crue annuelle. Nous rappelons que le maximum observé sur le petit bassin : 8,8 m³/s, provient de l'averse du 7 Septembre 1957.

F - INTERPRETATION DES CRUES SUR LE PETIT BASSIN DU NION
(station n° 2)

1 - Valeurs caractéristiques

Des 22 crues importantes observées depuis 1957 et qui ont fait l'objet d'une analyse détaillée, nous n'en avons gardé que 15 pour ne pas alourdir notre tableau des valeurs caractéristiques.

Voici quelques explications sur la présentation de ces valeurs :

- Dans les colonnes 3 et 4 figurent la pluie maximale ponctuelle P_M et le coefficient de réduction $K\%$ à lui appliquer pour passer à la pluie moyenne P qui occupe la colonne 5..
- Les colonnes 6 et 7 font état de la durée T_u et de la hauteur P_u de la fraction utile de la pluie, c'est-à-dire celle qui raisonnablement peut donner lieu à ruissellement. La pluie limite calculée selon les graphiques n° 1 et 2 n'est pas comptée avec la pluie utile, ayant été retranchée de la pluie totale pour déterminer le début de cette pluie utile.
- La 8ème colonne donne une indication sur l'état de saturation préalable du terrain en mentionnant l'écart de temps à la pluie précédente.
- Le volume de ruissellement V_r et les coefficients de ruissellement par rapport à la pluie totale K_r , à sa fraction utile K_{ru} , occupent les colonnes 9 - 10 et 11.
- Les colonnes 12 et 13 donnent le débit initial de base et le débit maximal de crue.
- Les temps caractéristiques de l'hydrogramme, temps de montée t_m et temps de réponse t_p font l'objet des colonnes 14 et 15.
- La pluie nette (ou excédentaire) P_n c'est-à-dire la lame d'eau équivalente au volume ruisselé est dans l'avant-dernière colonne.

TABEAU DES VALEURS CARACTERISTIQUES DES CRUES

à la STATION N° 2 A = 10,2 km²

N° crue	Date	P _M mm	K%	P mm	tu heures	Pu mm	ta jours	Vr 10 ³ m ³	Kr%	Kru%	Qo m ³ /s	Qm m ³ /s	tm heures	tp heures	Fn mm	Cam mm/h
1	9-8-57	98,4	86	84,7	-	(1)	1	78	9		0,05	3,45	6h40'	3h40'		
2	22-8	60	89	53,2	1 h ½	38	½	52,8	9,7	13,6	0,65	3,65	5h40'	5h40'	5,2	22
3	27-8	43,5	78	34	½	9	¼	18	5,2	19,6	0,50	1,4	7h	7h15'	1,8	14
4	29-8	109,3	87	94,7	2 h	63,5	½	28,5	3	4,4	0,6	2,2	8h	7h10'	2,8	30
5	30-8	58	77	44,8	1/3	26,3	¾h	52,2	11,4	19,4	1,2	4	5h	5h	5,1	64
6	6-9	38	72	27,5	½	13	¾h	22,5	8	17	0,7	1,95	6h½	6h10'	2,2	22
7	7-9	98,5	83	81,9	2 h	67	½	165	19,8	24,2	1	8,8	6h	5h	16,2	25
11	21-9	40	89	35,8	1/4	11,1	2j ½	22,5	6,2	19,9	0,95	2,25	5h50'	5h50'	2,2	36
12	9-10	40	85	34,1	1/6	15,6	2	15	4,3	9,4	0,55	1,5	5h	6h10'	1,5	84
15	26-9-58	116	71	82,9	1 h ½	67	3 j ½	115	13,6	16,8	0,40	6,5	5h	4h ½	11,2	37
16	17-9-59	60	83	50	2 h ½	32,5	½	90	17,6	27	1	3,2	8h ½	6h	8,8	9,5
17	25-9	56	83	46,8	½	21,7	½	41	8,6	18,5	1	2,8	6h ½	6h1/4	4	35
18	29-9	51	73	37,1	-	(2)	2	17,3	4,6	-	1,1	1,9	6h ½	-		
19	2-10	37	58	21,3	-	(2)	1	14,5	6,7	-	1,5	2,2	4h ½	-		
20	5-10	101,5	74	75,5	3/4	51,5	3	91,7	11,9	17,5	1,1	4,7	5h	4h 3/4	9	57

ta	{	1 jour après une pluie de 5 à 20 mm	(1) Enregistrement incomplet de la pluie
		1/2 journée -d°- 20 à 50 mm	
		" -d°- supérieure à 50 mm	(2) Pluies multiples à plusieurs pointes

- On trouvera enfin la capacité apparente moyenne d'absorption Cam dans la dernière colonne, il s'agit de l'écart entre la pluie utile et la pluie nette rapportée à la durée utile.

Les crues du petit NION sont homogènes et régulières d'allure ; la forte pente du bassin et la dégradation de son couvert végétal font que les crues sont courtes et rapides et bien individualisées pour deux averses espacées de plus de 4 heures. Malgré tout, et l'on s'en rendra mieux compte au chapitre suivant, les temps caractéristiques de la crue sont plus longs que ceux du LOUE et du GBOA : pentes transversales plus faibles et forte perméabilité superficielle des sols qui absorbent une pluie d'imbibition ou pluie limite importante en début d'averse avant que la ruissellement ne commence. Les temps de montée de l'hydrogramme varient assez peu entre 4 h $\frac{1}{2}$ et 8 h ; mais la majeure partie des temps correspondant à des averses homogènes et unitaires se trouve dans la bande 5 h - 6 h $\frac{1}{2}$ avec 6 h comme valeur la plus fréquente (contre 3 h seulement pour le LOUE).

Les temps de réponse du bassin sont du même ordre de grandeur, tantôt plus courts, tantôt plus longs que les temps de montée selon l'état de saturation préalable des sols, la position du centre de l'averse et ses intensités. Ils varient de 5 à 7 h avec 6 heures comme valeur la plus fréquente (3 h pour le LOUE).

L'examen de l'hydrogramme montre une croissance des débits d'abord assez lente pendant les trois premières heures de la crue, puis l'augmentation devient beaucoup plus rapide quand arrive à la station 2 le ruissellement issu de la partie la plus reculée et la plus accidentée du bassin.

Le "temps de ruissellement" ou durée totale de la crue ne peut pas être déterminé avec une grande précision, car la fin de l'écoulement superficiel ne se traduit pas par une modification brusque de la courbe de décrue. Il est de l'ordre d'une vingtaine d'heures.

La différenciation des divers types d'écoulement n'est pas très nette. En fait, il ne nous a jamais été donné d'observer d'écoulement uniquement d'origine hypodermique, et dont les temps caractéristiques soient plus longs que ceux des crues normales.

Nous avons considéré que toute la partie des hydrogrammes au-dessus de la courbe de l'écoulement de base était du ruissellement.

2 - Choix d'un hydrogramme-type

La recherche d'un hydrogramme-type représentatif des crues du petit NION implique la discrimination préalable des averses unitaires. La durée limite de celles-ci, prise inférieure au quart du temps de montée moyen, ressort à 1 h 30' ; la plupart des averses utiles sont plus courtes. Certaines d'entre elles ne seront cependant pas conservées par suite de leur hétérogénéité, soit dans l'espace, soit dans le temps (pointes d'intensités multiples et éloignées les unes des autres) ; nous n'avons considéré comme unitaires que les averses courtes, intenses et homogènes. Un second critère de discrimination qui vient étayer le premier, consiste à comparer les débits maximaux de ruissellement de toutes les crues en les ramenant à un volume de ruissellement commun, pris égal à 100.000 m³. On ne garde que les plus fortes crues dont les débits maximaux sont du même ordre. Sept crues sur quinze remplissent ces conditions, présentant un débit maximal, pour 100.000 m³, supérieur à 4,8 m³/s ; les autres crues n'atteignent que 3 ou 4 m³/s.

Nous donnons dans un tableau joint le détail de ces hydrogrammes de ruissellement, en indiquant les débits de ruissellement à divers moments de part et d'autre de la pointe. De ces 7 hydrogrammes, nous déduisons un hydrogramme-type, dont les débits sont sensiblement les valeurs médianes de la série observée. Cet hydrogramme est assez symétrique par rapport à son maximum, avec une nette tendance au ralentissement du tarissement dont la courbe est plus molle que celle de la montée. Le débit maximal excède de 20 à 25% les débits survenant 1 h avant et 1 h après.

On a retenu, pour lui, la valeur de $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$ soit 510 l/s.km^2 . Cet hydrogramme sera utilisé dans un paragraphe prochain pour le calcul des crues exceptionnelles.

3 - Les coefficients de ruissellement

L'analyse du volume ruisselé de chaque crue par rapport à la précipitation causale nous a conduit à calculer les coefficients de ruissellement globaux K_r . Ceux-ci sont peu élevés, une très importante fraction des pluies s'infiltrant dans les sols perméables ; ils varient avec la hauteur de la précipitation et surtout l'état de saturation préalable, mais la corrélation n'est pas bien nette. Ce dernier facteur représenté par l'écart de temps à la pluie précédente ou par le débit initial de base est, malgré tout, difficile à chiffrer. Le débit initial de base dépend de l'état des réserves accumulées l'année d'avant et se trouvera systématiquement plus faible en 1959 qu'en 1958 par exemple, tout au moins pour les premiers mois d'hivernage. Quant à l'intervalle de temps à la pluie précédente, il ne suffit pas pour situer l'état du terrain, la perméabilité de celui-ci ayant été influencée par toutes les pluies précédentes tombées durant une certaine période : 10 jours à un mois environ.

On ne peut donc donner que des ordres de grandeur de variation pour le coefficient K_r :

- autour de 5% pour des pluies de 20 à 50 mm, tombant plus de 2 jours après une averse notable, et rencontrant un débit de base Q_0 inférieur à $1 \text{ m}^3/\text{s}$.
- autour de 10% pour des pluies rencontrant un sol plus saturé ($\frac{1}{2}$ à une journée depuis l'averse précédente) et $Q_0 = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ environ.
- entre 15 et 20% pour de grosses averses de 50 à 80 mm, survenant $\frac{1}{2}$ journée après la pluie précédente, le débit initial restant égal ou supérieur à $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour essayer de compenser les variations de l'état de saturation préalable, et l'hétérogénéité des averses, on a calculé le coefficient K_{ru} du ruissellement par rapport à la pluie utile, de laquelle est soustraite au préalable la pluie limite. La corré-

HYDROGRAMMES de RUISSELLEMENT du PETIT BASSIN - A = 10,2 km² -

(Débits de ruissellement Q_r en m³/s pour V_r = 100.000 m³)

N° crue	Date	- 5 h	- 4 h	- 3 h	- 2 h	- 1 h	0	+ 1 h	+ 2 h	+ 3 h	+ 4 h	+ 5 h	+ 7 h	+ 10 h
2	22-8-57	-	0,1	0,6	1,7	3,6	4,8	4,2	3,2	2,5	1,6	1,1	0,6	0,2
3	27-8	0,3	0,7	1,5	2,8	4,4	4,8	3,9	2,8	2	1,4	0,8	0,4	-
5	30-8	-	0,1	0,4	1,7	3,5	4,9	4,6	3,5	2,5	1,7	1,3	0,7	0,2
6	6-9	0,3	0,7	0,9	2,4	4,7	5,2	4,5	3,3	2,2	1,5	1,1	0,3	-
11	21-9	0,1	0,4	0,9	2,2	4,2	5,2	4,2	3,2	2,2	1,3	1	0,5	-
12	9-10	-	0,3	0,5	2,0	4,7	5,3	4,2	2,7	1,8	1,3	1	0,5	-
15	26-9-58	-	0,3	0,6	1,2	3,9	5,1	4,9	3,5	2,4	1,6	1,1	0,6	0,3
Hydrogramme- type proposé		0,1	0,4	0,8	2,1	4,2	<u>5,2</u>	4,3	3,2	2,2	1,5	1,0	0,5	0,1

lation n'est pas plus nette. Il est vrai que le calcul de la pluie utile est délicat, car il repose uniquement sur les hyétogrammes du pluviographe n° 5 observé sur la limite orientale du bassin lequel, bien souvent, n'a enregistré qu'une pluie très différente de la pluie moyenne sur le bassin (l'écart peut aller du simple au double). La discrimination des intensités utiles est alors malaisée et la limite terminale de la pluie utile est mal connue, surtout lorsque la précipitation se prolonge par une traine de plusieurs heures.

Les valeurs de Kru, mises à part certaines averses aberrantes, telle la n° 4, sont groupées entre 15 et 20% ; cette limite supérieure n'étant dépassée que par 2 crues, celle du 7-9-57 qui a donné le plus fort débit maximal (8,8 m³/s) et celle du 17-9-59 due à une averse de 6 à 8 heures à intensités modérées et pour laquelle la pluie utile est peut-être sous-estimée.

Les capacités apparentes moyennes d'absorption Cam, calculées globalement pour la pluie utile sur l'ensemble du bassin, présentent des valeurs assez déconcertantes. La plupart restent groupées entre 30 et 40 mm/h. On observe des cas extrêmes :

- 9,5 mm/h pour la crue du 17-9-59 déjà citée ; cette valeur très faible, calculée pour une pluie très longue et peu intense, doit représenter une limite inférieure pour ce bassin, quand le sol est très saturé.
- 64 mm/h pour la crue du 30-8-57, valeur excessive qui résulte du fait que la pluie utile très courte correspond à une période à très fortes intensités (1).

Il est à noter, par ailleurs, que le ruissellement superficiel étant fortement ralenti par la végétation, il est probable que l'infiltration se prolonge pendant une durée notable après la fin de la pluie utile ; il y aurait peut-être là une cause d'erreur non négligeable dans la détermination de la

(1) dans ce cas particulier de terrain perméable avec végétation assez dense, les valeurs déterminées à partir de pluies courtes et intenses n'ont pas grande signification physique.

capacité d'infiltration en forêt équatoriale dégradée.

La comparaison des résultats des plus grosses averses est assez riche d'enseignements. La crue la plus élevée ($8,8 \text{ m}^3/\text{s}$) du 7-9-57 résulte d'une pluie utile de 2 heures ($P_u = 67 \text{ mm}$) avec $t_a = \frac{1}{2}$ et $Q_0 = 1 \text{ m}^3/\text{s}$. Ces conditions de saturation sont bonnes. Le ruissellement est important $Kru = 24,2\%$.

Par ailleurs, le 26-9-58, l'averse importante engendre une crue avec $16,8\%$ de ruissellement (Kru) et $Q_u = 6,5 \text{ m}^3/\text{s}$ et cela 3 jours et demi après une pluie moyenne ($Q_0 = 0,40 \text{ m}^3/\text{s}$). Cette averse pratiquement identique à celle du 7-9-57 conduit à des résultats un peu plus faibles, par suite de l'état de saturation préalable des sols qui est moins favorable que celui rencontré par l'averse du 7-9-57.

Le 5-10-59, une pluie un peu plus modeste : $P_u = 51,5 \text{ mm}$ tombe en $\frac{3}{4}$ d'heure sur un sol moyennement saturé ($Q_0 = 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$) par une pluie tombée 3 jours avant ; la crue ruisselle à $17,5\%$ (Kru) avec un débit maximal de $4,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette averse, sur un sol un peu plus saturé que le 26-9-58, donne un ruissellement comparable, à débit de pointe un peu plus faible.

La plus défavorisée des grosses averses est celle du 29-8-57, qui pour $63,5 \text{ mm}$ de pluie utile tombant en 2 heures, ne donne qu'une faible crue : $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Kru = 4,4\%$). Il n'avait pas plu depuis 2 jours et le débit initial était de $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$; ces conditions ne sont pas trop mauvaises, aussi est-il vraisemblable qu'il faille incriminer la date (fin Août, après une saison sèche assez prononcée) et la longueur de la pluie utile pour expliquer une si faible crue. Les horizons superficiels du sol avaient une faible teneur en eau, qu'ils ont reconstituée à la faveur de cette longue pluie fine sans fortes intensités susceptibles de ruisseler.

DIV 9679

ED:

LE:

DÉS:

VISA:

TUBE N°:

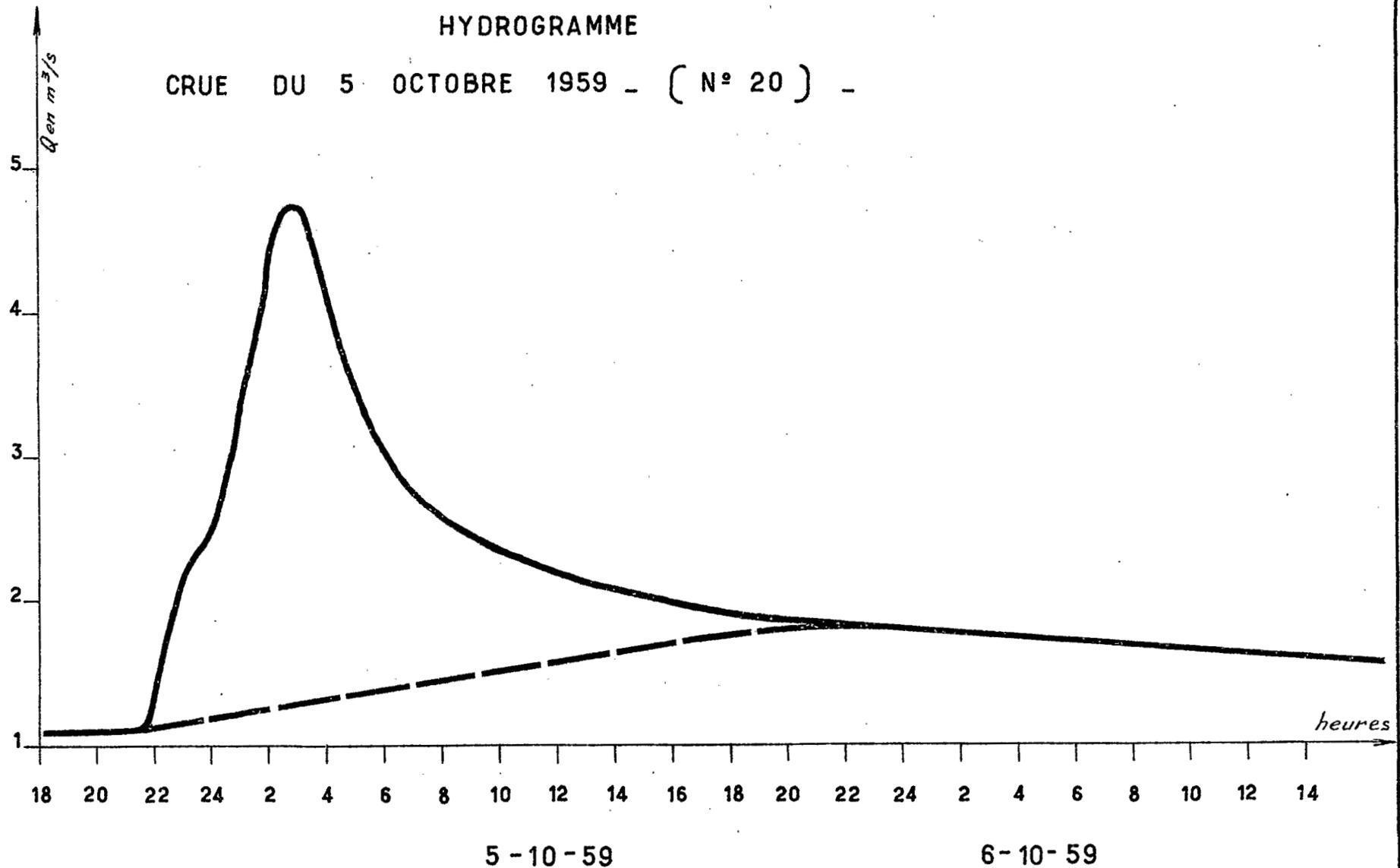
A O

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

BASSIN VERSANT DU NION - STATION N° II -

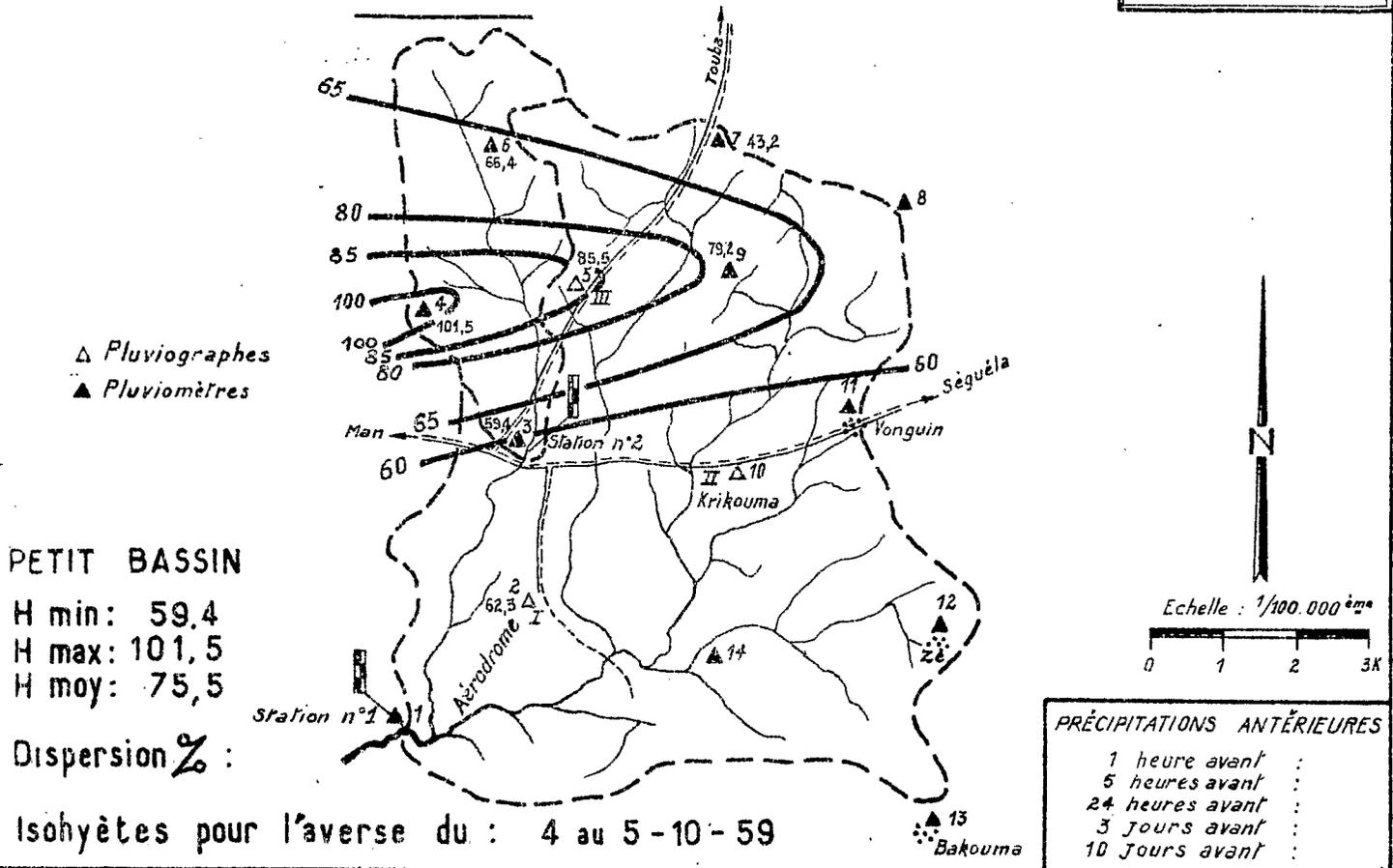
HYDROGRAMME

CRUE DU 5 OCTOBRE 1959 - (N° 20) -



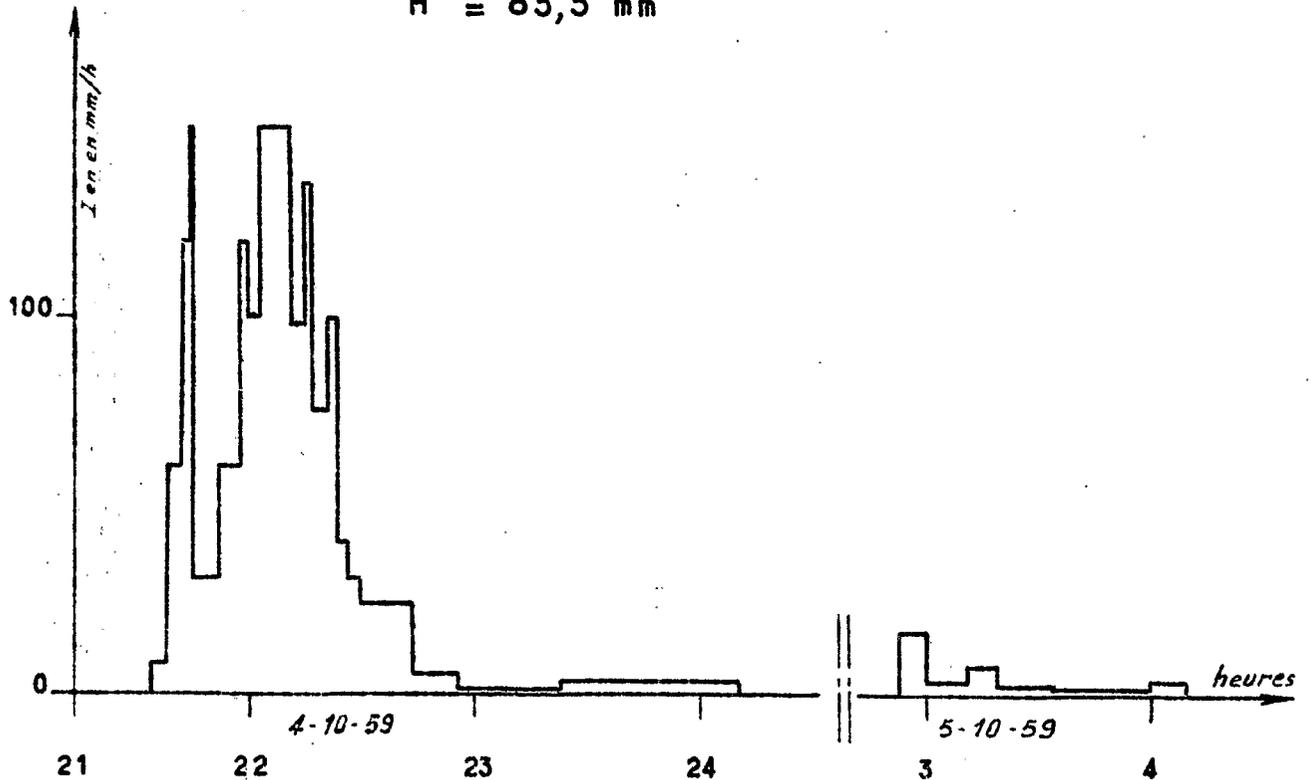
Bassins versants du NION

VERSE N° 20



HYÉTOGRAMME DU PLUVIOGRAPHE III

H = 85,5 mm



Ces 4 cas, relatés en détail, montrent bien que des averses d'importances voisines peuvent entraîner des crues très différentes, dont les débits maximaux et les coefficients de ruissellement peuvent être dans le rapport de 1 à 4. L'état de saturation du terrain, la durée de l'averse utile et sa répartition dans le temps et l'espace sont les facteurs déterminants de ces variations. Il importe d'avoir bien présent à l'esprit que la conjonction de tous ces facteurs dans un sens favorable au ruissellement est nécessaire à l'apparition d'une forte crue, et que par exemple, nombre de pluies de fréquence rare (annuelle ou décennale) pour ce qui est de la hauteur de précipitation n'entraînent pas de crues exceptionnelles parce que ces conditions n'ont pas été remplies.

G - INTERPRETATION DES CRUES OBSERVEES à la STATION N° 1 du NION

1 - Genèse des crues

A cette station, le NION draine un bassin de 62,4 km², dont les caractères physiques sont assez hétérogènes. En effet, le bras qui descend de la Dent de MAN et que nous avons appelé le petit NION, représente un cas particulier. Il est le seul dont la pente soit très forte (90 m/km en moyenne sur le petit bassin) et qui provienne d'un relief accidenté et s'étageant de 500 à 940 mètres. Ce petit NION rejoint l'autre bras qui vient de l'est, juste amont de la station n° 1.

Deux autres cours d'eau, comme le petit NION, descendent du nord et drainent le nord-est du bassin ; mais leurs pentes sont modérées, de l'ordre de 10 à 30 m/km. Ils rejoignent tous les deux la basse vallée du NION qui vient de ZE et dans laquelle le lit a une pente très faible de 3 à 4 m/km.

On peut donc dire que le petit NION et le NION de ZE constituent deux extrêmes en matière de ruissellement, les 2 affluents du nord-est présentant des caractères intermédiaires mais certainement plus proches de ceux du NION de ZE. Comme la rupture de pente s'observe dès la route de MAN à SEQUELA pour les thalwegs venant du nord, on peut en conclure que l'écoulement sera très lent dans la partie méridionale du bassin, ce que les temps caractéristiques de la crue confirment à la station n° 1.

Le premier examen des crues enregistrées à la station n° 1 permet une constatation qui découle des caractères physiques du bassin. A de très rares exceptions près, les crues du NION ne sont pas simples, en ce sens qu'elles ne résultent pas d'une averse unique mais de 2 ou 3 (et même parfois 4) précipitations espacées de plusieurs heures entre elles. Le temps qui s'écoule entre le début de la première pluie et la fin de la dernière varie de 12 h à 60 heures. Pour comprendre ces crues complexes et leur genèse, nous allons d'abord examiner les quelques cas de crues simples.

2 - Crues simples

Nous n'avons observé que 3 crues importantes dues à des averses uniques. On trouvera le détail de leurs valeurs caractéristiques dans le tableau joint, dont la présentation est la même que pour le petit NION, quoique simplifiée.

Les crues des 10-8 et 14-9-1957 et celle du 22-9-1958 ont des temps de montée de 37, 30 et 28 heures. Ces durées sont très longues et l'on comprend pourquoi il est difficile d'observer des crues simples sur le NION, car en pleine saison des pluies, il tombe une ou deux averses par jour en moyenne. Ces temps de montée sont assez peu homogènes, leur durée dépend étroitement de la position du centre de l'averse sur le bassin : importante (30 heures et plus) lorsque les précipitations maximales tombent sur le

TABLEAU DES VALEURS CARACTERISTIQUES
des CRUES du NION à la STATION I - (A = 62,4 km²)

N° crue	Date	P _M mm	K%	P mm	ta(1) jours	V 10 ³ m ³	Kr%	Q ₀ m ³ /s	Q _M m ³ /s	t _m heures	tp (2) heures	Observations
1	10-8-57	98,4	57	56	1	610	17,5	1,2	7	37	35	<u>Averse unique de 7 h</u>
2	23-8	126,5	75	94,9	2	1.050	17,7	1,9	9,1	39	(28)	3 averses sur 16 h
3	31-8	204,4	59	121,1	2	1.950	25,8	3,2	16,0	48	-	3 averses sur 30 h
4	7-9	156,6	61	96	5	1.950	32,5	4,5	13,0	30	(26)	4 averses sur 60 h
5	14-9	50	74	37,2	1	480	20,5	6,8	9,8	30	28	<u>Averse unique de 5 h</u>
6	18-9	67	80	53,7	4	620	18,5	5,9	10,2	28	(20)	2 averses sur 12 h
7	14-10	74,2	73	54	4	880	26	3,5	8,9	28	(21)	2 averses sur 12 h
8	22-9-58	72	57	41	1	540	21	1,4	5,4	28	26	<u>Averse unique de 2 h</u>
9	26-9	189	48	90	4	880	15,7	1,9	9,3	18	(17)	3 averses sur 48 h
11	9-9-59	125,3	49	61,5	1	680	17,8	2,5	9,0	30	(27)	3 averses sur 60 h
12	17-9	155	57	87,4	½	1.230	22,7	5,2	14,4	27	(20)	3 averses sur 36 h
13	26-9	69,3	62	49	I	500	16,3	5,7	9,8	22	(21)	3 averses sur 24 h

(1) ta : mêmes symboles que pour le tableau du petit NION

(2) tp : les valeurs entre parenthèses sont calculées entre l'averse principale et la pointe de crue.

nord et surtout le nord-est du bassin, elle diminue fortement (20 à 30 heures) quand ce sont les parties méridionales qui sont intéressées par le centre des pluies, la distance à parcourir par les eaux de ruissellement étant plus faible dans ce deuxième cas.

Les temps de réponse sont du même ordre de grandeur : 35, 28 et 26 heures. En général, le ruissellement se manifeste à la station dès le début de la pluie utile ; compte tenu de la durée de celle-ci, les temps de réponse sont légèrement inférieurs, de 1 à 2 heures aux temps de montée.

La durée totale du ruissellement est difficile à déterminer, car les courbes de tarissement ne présentent pas de cassures nettes lorsqu'elles se raccordent aux courbes d'écoulement de base ; l'importance de celui-ci et son gonflement non négligeable lors de chaque averse ne facilitent pas l'opération. On peut admettre un ordre de grandeur de 80 heures.

Le freinage de la végétation forestière qui couvre encore le bassin par endroits, et surtout le long des thalwegs, constitue avec la faible pente du bassin méridional les 2 raisons essentielles de la lenteur de ces écoulements.

Les trois crues simples que nous examinons, ont des hydrogrammes d'allure homogène. On peut essayer pour chacune d'elles de voir l'influence de la crue du petit NION. La durée de propagation de la pointe de crue de celui-ci est difficile à connaître, car rien ne garantit qu'elle concourt exactement à la formation de la pointe de crue du NION à la station n° 1. On aurait plutôt tendance à considérer qu'elle survient à l'exutoire au cours de la montée des eaux ; ce qui peut être confirmé par la disparité des temps qui séparent les 2 pointes de crue : 12 à 28 heures.

Quant aux apports du petit NION, ils sont relativement très modestes. Le rapport des surfaces des bassins est de $\frac{10,2}{62,4}$ soit 16,6%, alors que le volume ruisselé à la station du petit NION ne constitue pas en général 10% du volume de ruissellement mesuré à la station n° 1 (4% seulement le 14-9-57 et 13% le 10-8-57). Ceci s'explique aisément si l'on se rappelle les con-

clusions du rapport pédologique : les sols colluvionnaires que l'on observe sur la moitié sud du bassin sont moins perméables que ceux qui couvrent les terrains en pente (sur charnockite) du petit bassin.

Les coefficients de ruissellement des crues sont d'autant plus forts que les précipitations maximales ont intéressé les zones méridionales du bassin. Aussi le 22-9-58, la crue a un $K_r = 21\%$ parce que l'averse ($P = 41$ mm) était centrée sur le sud-est, vers ZE. Par contre le 10-8-57 une averse de 56 mm, bénéficiant de conditions de saturation préalable voisines, mais centrée sur le petit bassin, n'a entraîné que 17,5% de ruissellement.

3 - Crues complexes

Pendant les 80 heures que dure normalement le ruissellement d'une crue simple, il se produit presque toujours 2 ou 3 averses ; les crues complexes qui en résultent sont la somme de crues élémentaires. Nous avons conservé 9 crues complexes, parmi les plus intéressantes, pour être analysées en détail (voir tableau des valeurs caractéristiques).

Les valeurs portées dans le tableau et qui concernent les pluies, sont la somme des 2 ou 3 averses causes d'une crue, aussi ne faut-il pas s'étonner que la précipitation maximale dépasse souvent 100 mm : 204 mm les 29, 30 & 31 Août 1957 est la plus forte valeur observée. Les coefficients de réduction $K\%$ n'ont plus du tout la même signification que lorsqu'il s'agit d'averses uniques ; ils ne sont calculés que pour donner un ordre de grandeur de la réduction qu'il y a lieu d'adopter pour calculer la hauteur moyenne d'une pluie exceptionnelle.

Corollaire du relief accidenté du petit bassin, et fait déjà signalé au paragraphe des averses observées, la quasi-totalité des précipitations maximales intéresse la partie nord du bassin. La disposition du relief face à la direction des vents est telle que les pluies vont tomber sur les hauteurs, en négligeant un peu les plaines voisines. Il est manifeste que la partie méridionale du bassin est la moins arrosée ; les hauteurs d'eau pour une averse quelconque

n'y excèdent pas 50 à 60 mm. Or, il s'agit de la zone la moins perméable, de telle sorte que les pluies étant plus élevées et plus intenses sur les terrains les plus perméables, le ruissellement n'est pas aussi important qu'on aurait pu le croire à priori.

Sur des bassins homogènes de perméabilité comparable à celle du sud du bassin, on pourrait obtenir des coefficients de ruissellement plus élevés, si les précipitations maximales n'étaient pas attirées par le relief voisin.

On en retiendra que le bassin du NION reste en dessous des possibilités maximales de ruissellement de la région sur bassin semblable (pente et sols).

On remarque, au premier examen, que les hydrogrammes de ces crues complexes sont très dissimilaires. Il est, en effet, bien rare que les 2 ou 3 averses aient eu leur épicentre sur le même secteur, de sorte que les crues élémentaires résultantes présentent déjà une certaine hétérogénéité.

La forme de l'hydrogramme d'une crue complexe dépend de plusieurs facteurs, dont le principal est la répartition dans le temps des averses, ou mieux les intervalles de temps sans pluie qui les séparent. Pour qu'une crue présente une pointe unique avec des courbes de montée et de tarissement régulières, il faut que les averses ne soient pas distantes de plus de 4 à 6 heures. C'est le cas des crues :

a) du 31-8-1957 due à la conjonction des 3 averses suivantes :

- 1ère averse de 55 mm
- 2ème averse de 35 mm intervalle de 24 heures
- 3ème averse de 31 mm intervalle de 4 heures

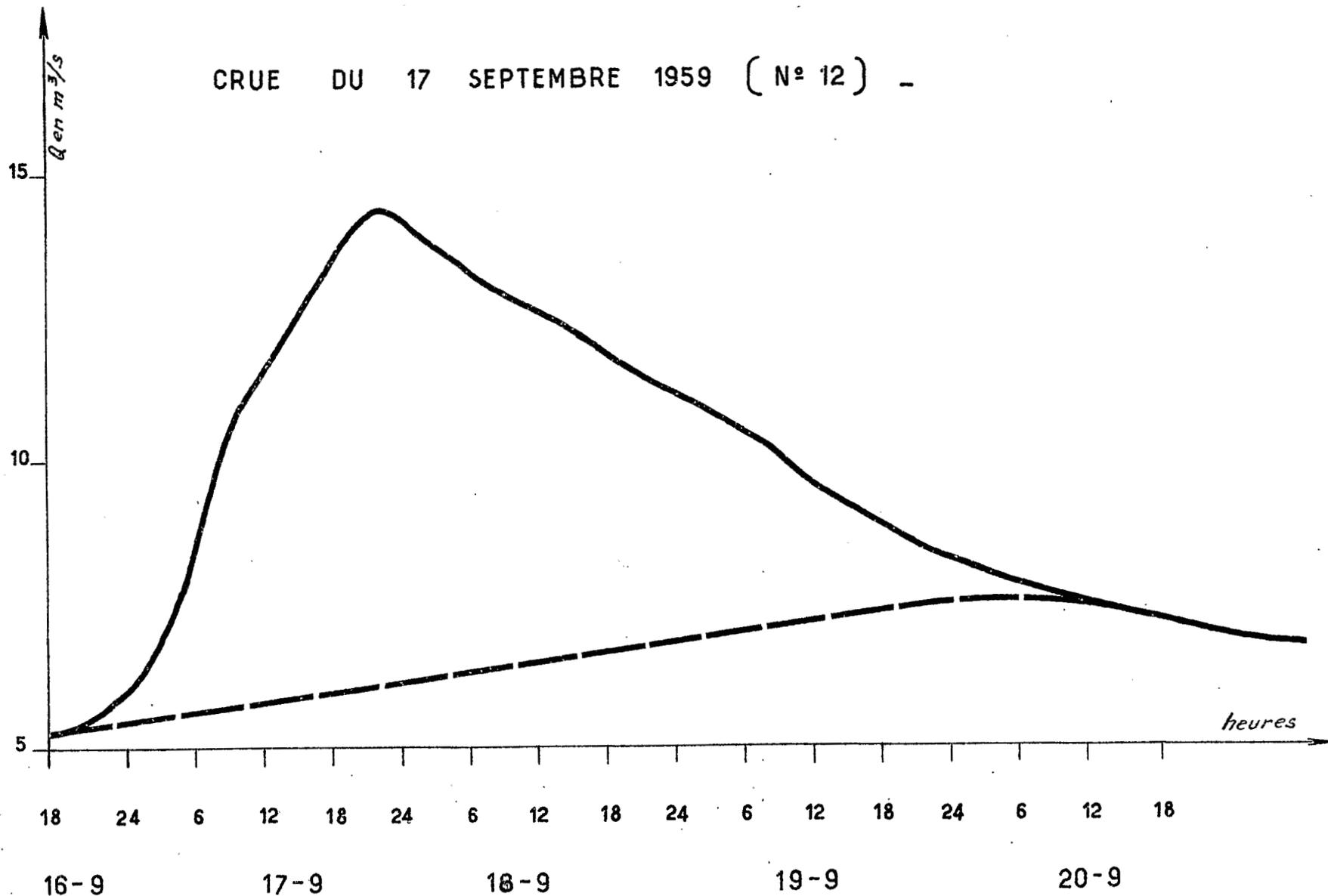
Le débit maximal atteint 16 m³/s (260 l/s.km²)

b) du 17-9-1959 résultant de deux averses se suivant à 2 heures et représentant 90% de la pluie moyenne ; la 3ème averse n'est survenue que 24 heures après.

BASSIN VERSANT DU NION - STATION N°I

HYDROGRAMME

CRUE DU 17 SEPTEMBRE 1959 (N° 12) -



DIV 9680

ED:

LE:

DES:

VISA:

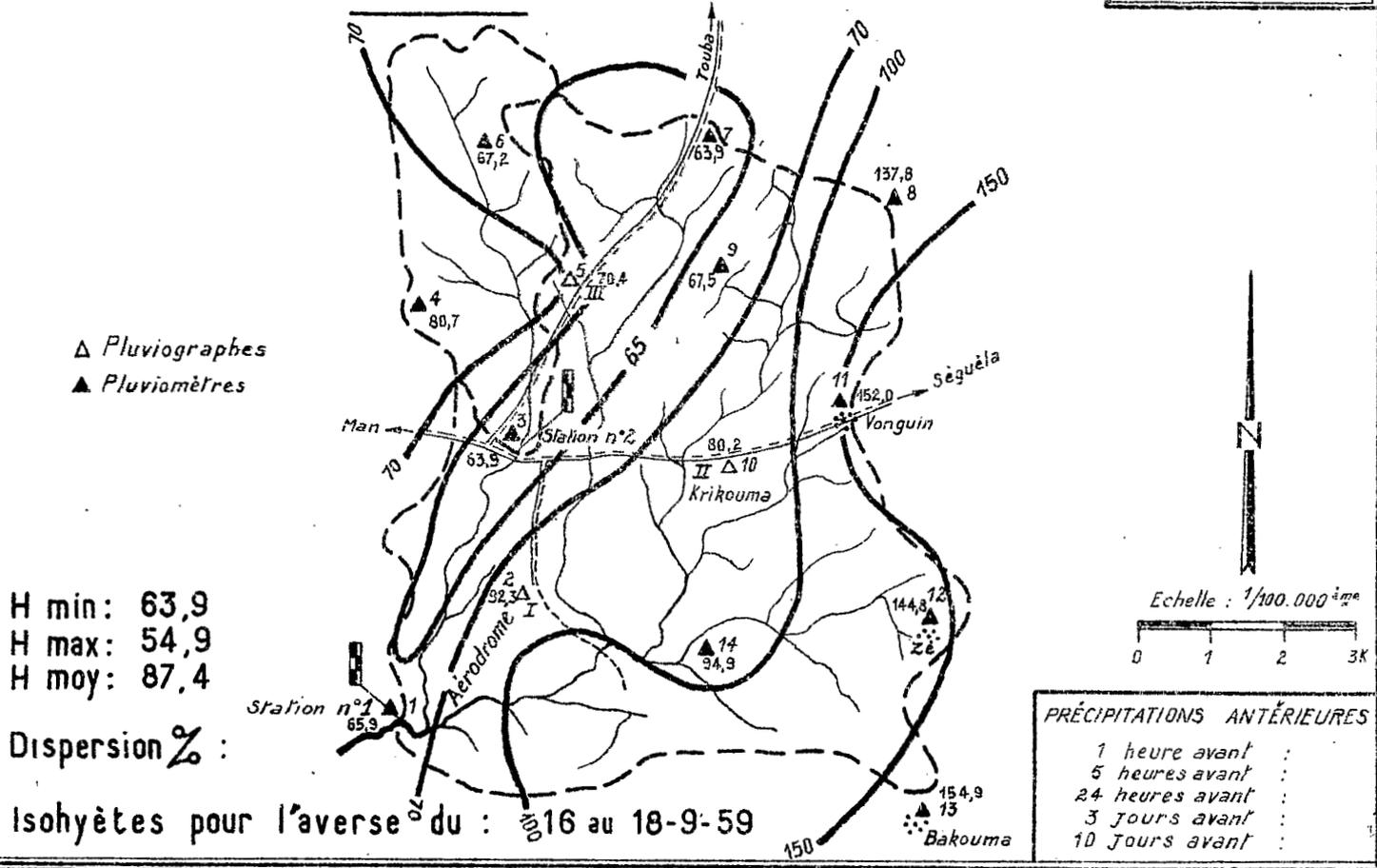
TUBE N°:

AO

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

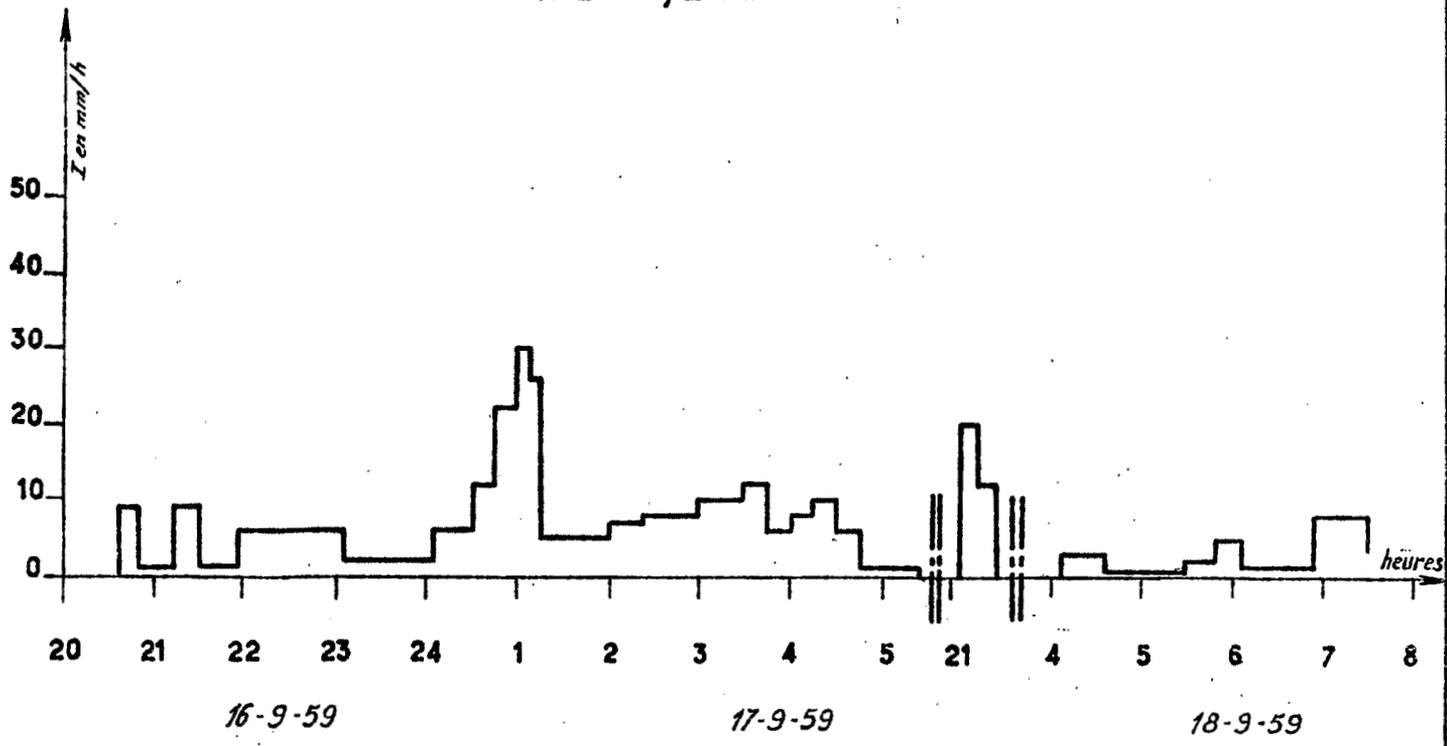
Bassins versants du NION

AYERSE N° 12



HYÉTOGRAMME DU PLUVIOGRAPHE II

H = 80,2 mm



Si l'intervalle entre les 2 averses principales dépasse 10 heures, les crues élémentaires sont trop distantes et leur composition donne 2 pointes visibles sur l'hydrogramme ; c'est le cas de la crue du 7-9-1957 due à 3 averses présentant 12 heures d'écart entre elles. Son débit maximal n'est que de $13 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la plus forte pointe. Or, cette crue et celle du 31-8-1957 proviennent d'averses dont la hauteur totale de précipitations est voisine et leurs volumes de ruissellement sont égaux: $1.950.000 \text{ m}^3$.

Cet exemple illustre bien le caractère aléatoire du débit de pointe d'une crue du NION, somme de crues élémentaires variables en importance et en position relative, dans le temps.

4 - Coefficients de ruissellement

Les coefficients de ruissellement $K_r \%$ reflètent l'hétérogénéité des sols du bassin. Plus élevés, bien entendu que ceux du petit bassin, ils varient entre 15 et 33%. Les plus faibles valeurs correspondent aux averses centrées sur le petit bassin : cas de la crue simple du 10-8-1957 de $K_r = 17,5\%$.

Les fortes valeurs du ruissellement sont le fait des pluies centrées sur le sud du bassin, ou des pluies très fortes évidemment.

- 25,8% pour la crue du 31-8-1957, parce que la 2ème averse responsable du débit maximal élevé et du gros volume ruisselé était centrée sur le pluviographe n° 14.
- 26% pour la petite crue du 14-10-1957 ($P = 54 \text{ mm}$) dont le centre de l'averse couvrait la station n° 1 et l'aérodrome.
- 21 et 22,7% pour des pluies centrées sur ZE, responsables des crues du 22-9-1958 et du 17-9-1959.

Il n'est évidemment pas question, vu l'hétérogénéité du bassin, de rechercher une corrélation entre les coefficients de ruissellement, d'une part, les hauteurs de précipitations et l'état de saturation préalable des sols, d'autre part. Elle existe

cependant ; nous n'en voulons pour exemple que la crue du 7-9-1957 la plus abondante avec 32,5% de Kr. Elle résulte d'une forte série de pluies ($P_M = 156$, $p = 96$ mm), laquelle a rencontré d'assez bonnes conditions de saturation en tout cas meilleures que les autres grosses pluies n'ont trouvée : $Q = 4,5$ m³/s et 5 jours après une très forte pluie. La série d'averses était pourtant tombée surtout sur le nord du bassin.

Des coefficients de ruissellement de 40 à 50% sont vraisemblables, si les averses exceptionnelles qui les provoquent trouvent un terrain bien saturé et intéressent les zones les moins perméables du bassin. Comme cette 2ème condition a peu de chances de se produire en même temps que les autres, on admettra que 40% est la limite supérieure la plus vraisemblable pour l'averse de fréquence rare (annuelle ou décennale) centrée sur le relief.

La recherche des capacités apparentes d'absorption n'a pas été tentée du fait de son peu d'intérêt pour un bassin aussi grand et hétérogène que celui du NION.

5 - Hydrogramme-type

Les caractères hydrologiques du NION à la station n° 1 sont tels qu'il est pratiquement impossible de lui appliquer la théorie des hydrogrammes unitaires pour déterminer l'allure de la crue exceptionnelle et son débit maximal.

La reconstitution de l'allure de l'hydrogramme n'est cependant pas trop compliquée car le gradient horaire de variation des débits est très faible, même à la montée. Nous connaissons d'ailleurs le cadre dans lequel s'inscrit cet hydrogramme, après l'analyse des crues élémentaires :

temps de montée	30 heures
temps de réponse	28 heures
temps de ruissellement	80 heures

Ces valeurs sont les plus probables pour une crue élémentaire, donc unitaire puisque toutes les averses simples, ne durant pas plus de 7 heures, sont unitaires.

On aurait pu croire que les hydrogrammes de ruissellement extraits des 3 crues simples observées auraient pu nous donner l'hydrogramme-type du bassin. Les phénomènes ne sont pas si simples, tout au moins en ce qui concerne le débit de pointe. En effet, si l'on procède sur toutes les crues complexes, à la séparation de l'écoulement de base et du ruissellement, on trouve des débits maximaux de ruissellement parfois supérieurs à ceux des crues simples.

Nous donnons ci-dessous pour chaque crue, le débit maximal de ruissellement pour un volume de ruissellement ramené à 1.000.000 m³.

N° de la crue	Q _r M en m ³ /s	N° de la crue	Q _r M en m ³ /s
1	<u>8,3</u>	6	6,9
5	<u>7,1</u>	7	6,0
8	<u>7,1</u>	9	7,7
2	6,5	11	8,2
3	6,4	12	6,8
4	4,2	13	7,5

Les débits des crues simples sont soulignés. On remarque que les crues complexes n° 9, 11 et 13 ont des débits maximaux comparables.

Ces trois crues sont d'ailleurs presque unitaires, en ce sens que parmi les averses qui en sont à l'origine, il y en a une qui est prépondérante et correspond à 90% du total des précipitations. La seconde et la 3ème averse n'ont, dans les trois cas, qu'une action réduite sur la courbe de tarissement qu'elles viennent gonfler légèrement, car elles sont tombées après le passage de la pointe de crue à la station n° 1. En fait, ces 3 crues sont à peu près des crues simples.

Compte tenu du régime hydrologique du cours d'eau, du mode de genèse des crues, et par mesure de sécurité nous adopterons le débit maximal de ruissellement le plus élevé comme élément de base pour le calcul des fortes crues : 8,3 m³/s soit 133 l/s.km².

H - ESTIMATION DES CRUES EXCEPTIONNELLES

Nous allons, pour les pluies de fréquences annuelle et décennale, calculer les débits maximaux que les crues correspondantes sont susceptibles de fournir.

La hauteur maximale ponctuelle de la pluie de fréquence annuelle a été choisie (paragraphe D sur les averses observées) égale à 110 mm.

Sur le petit bassin du NION, on a observé 4 précipitations dont la hauteur maximale était comparable. Mais après nos trois années d'études, nous sommes amenés à considérer l'averse annuelle comme une forte précipitation assez courte, présentant des intensités élevées durant une heure à 1 heure $\frac{1}{2}$, durée qui ne doit pas excéder sa fraction utile. L'averse annuelle serait donc unitaire ; telles étaient les averses n° 15 et 20 des 26-9-1958 et 5-10-1959. L'averse n° 4 (29-8-1957) trop longue à faibles intensités est à éliminer. Cette averse annuelle doit normalement trouver un sol assez saturé : $\frac{1}{2}$ à 1 journée après une bonne pluie, comme ce fut le cas pour l'averse du 7-9-1957 ($K_r = 19,8\%$).

On adoptera le plan de calcul suivant :

- coefficient de réduction $K = 85\%$, d'où $P = 93,5$ mm
- $K_r = 20\%$ d'où $V_r = 191.000$ m³
- Débit de pointe $5,2 \times \frac{191.000}{100.000} = 9,9$ m³/s

Le débit de base peut être pris égal à 1,5 m³/s environ. On arrive ainsi à 11,5 m³/s pour la crue annuelle.

Les conditions de calcul étaient assez sévères, on retiendra ce chiffre comme limite supérieure de la bande de variation, qui sera en débits spécifiques de 1.000 à 1.200 l/s.km²

Remarquons que la plus forte crue observée, le 7-9-1957, n'a atteint que 8,8 m³/s sur un sol bien saturé, mais l'averse utile avait duré 2 heures et la hauteur maximale ponctuelle n'était que de 98,5 mm.

Sur le grand bassin, une précipitation de fréquence annuelle tombant seule dans une période de 48 heures n'est pas inconcevable. On peut donc traiter le problème comme s'il s'agissait d'une crue unitaire. Les éléments de calcul pris dans le chapitre d'interprétation (paragraphe G) sont les suivants :

- coefficient de réduction $K \% = 70\%$ d'où $P = 77 \text{ mm}$
- $K_r = 25\%$ et $V_r = 1.200.000 \text{ m}^3$
- Débit de pointe de ruissellement

$$\frac{8,3 \times 1.200.000}{1.000.000} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

Compte tenu d'un débit de base de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, on obtient $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit maximal spécifique de la crue annuelle est compris dans la bande : 220 à 250 $\text{l}/\text{s}.\text{km}^2$.

La hauteur maximale ponctuelle de l'averse décennale est de 170 mm. Dans les cas les plus probables cette averse rencontrera un terrain modérément saturé et durera plusieurs heures. Pour le petit bassin du NION, la pluie utile ne sera plus unitaire, on la supposera formée par la juxtaposition de 2 averses unitaires d'une heure chacune. Les 4 plus grosses pluies observées sur ce bassin donnent des fractions utiles de 70% de la hauteur globale, en moyenne.

On adoptera le plan suivant :

- coefficient de réduction $K = 85\%$ d'où $P = 145 \text{ mm}$
- pluie utile $P_u = 145 \times 0,70$ soit environ 100 mm
- cette pluie utile se compose de deux averses unitaires de 50 mm dont la 1ère admet un $K_{ru} = 30\%$ et la seconde 50%. Ce deuxième chiffre n'a rien d'exagéré, puisqu'il revient à choisir une capacité d'absorption moyenne pour la 2ème averse de 25 mm/h.

Le volume de ruissellement est ainsi calculé :

- 1 - 50 mm x 0,30 x 10,2 km^2 soit 153.000 m^3
 - 2 - 50 mm x 0,50 x 10,2 km^2 soit 255.000 m^3
- soit 408.000 m^3 au total.

De cette façon nous avons globalement des coefficients de ruissellement $K_{ru} = 40\%$ et $K_r = 28\%$ qui sont très vraisemblables.

Les deux hydrogrammes unitaires engendrés par les deux averses sont composés, en décalant les pointes de une heure. Le débit maximal de la crue résultante vaut $19,6 \text{ m}^3/\text{s}$, auxquels s'ajoutent $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ de débit de base pour arriver à $22 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'intervalle de variation du débit spécifique maximal de la crue décennale peut être pris entre 2.000 et 2.200 l/s.km^2 .

Pour le grand bassin du NION, le problème est plus complexe, et nous en sommes pratiquement réduits aux hypothèses.

Il faut envisager une période de 3 jours, au cours de laquelle tombe une très forte pluie dont la hauteur maximale ponctuelle soit de fréquence décennale (170 mm). Il n'est pas déraisonnable de penser que 2 autres averses de 30 à 50 mm chacune tombent à 24 heures d'intervalle avec cette grosse pluie. Une hauteur maximale de 250 mm sur 3 jours doit alors être envisagée, à laquelle on applique le coefficient de réduction $K = 70\%$ pour obtenir 175 mm de précipitation moyenne. Sur ce total, 120 mm sont fournis par l'averse centrale qui surviendra après l'une des averses moyennes, selon le plan ci-dessous :

1ère	averse de 25 mm	
2ème	averse de 120 mm	12 heures à 24 heures après
3ème	averse de 30 mm	6 heures à 12 heures après

Compte tenu de la position respective des averses on leur attribue des coefficients de ruissellement globaux de 15 , 50 et 35% .

L'averse centrale, à elle seule, fournit la majeure partie du volume ruisselé, à savoir :

$$120 \text{ mm} \times 62,4 \text{ km}^2 \times 0,50 \approx 3.750.000 \text{ m}^3 \text{ environ.}$$

Le volume de ruissellement total atteint 4.600.000 m³, soit 42% de la précipitation.

L'averse centrale conduit à un débit de pointe de ruissellement qui est au plus égal à $\frac{8,3 \times 3.750.000}{1.000.000} = 31 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si la première averse n'intervient pratiquement pas, la 3^{ème} dont la crue élémentaire atteint 5 m³/s peut en apporter 3 au moment du maximum de la pointe principale.

Le débit de base doit être d'environ 5 à 7 m³/s, et le débit maximal de cette crue complexe est ainsi de l'ordre de 40 m³/s.

On se rend compte de la difficulté d'une telle estimation et des risques d'erreurs, aussi élargissons-nous quelque peu l'intervalle probable de variation du débit spécifique maximal de crue décennale : 600 à 700 l/s.km².

Il est intéressant de constater que cette crue décennale est deux fois plus intense que celle que nous avons évaluée pour l'IFOU, qui ne draine que 37,8 km², mais où les pentes sont plus faibles, la couverture forestière moins dégradée et la perméabilité assez élevée sur tout le bassin.

Il est d'autre part vraisemblable que le débit maximal de crue du NION atteint de telles valeurs parce que certains affluents (surtout le petit NION) ont un régime très torrentiel ; sur un bassin plus plat et plus homogène, limité à la partie méridionale du NION, par exemple, on ne devrait pas avoir de crues beaucoup plus fortes que sur l'IFOU, tout au moins en ce qui concerne les débits maximaux car les coefficients de ruissellement resteraient eux 3 à 4 fois plus élevés.

I - BILANS D'ÉCOULEMENT DES BASSINS DU NION

Pendant les 3 années d'observations, les relevés d'échelles n'ont été effectués que durant les mois d'hivernage, aussi ne disposons-nous pas de bilan pour une année complète, mais de 3 bilans correspondant à des périodes de 3 à 7 mois.

Sans entrer dans le détail des débits moyens mensuels, on peut faire 2 remarques résultant de la comparaison entre petit NION et grand NION, compte tenu de l'écart approximatif de 1 à 6 entre les superficies drainées :

1 - l'abondance du grand NION à la station 1 est légèrement supérieure à celle du petit NION, pour les mois d'hivernage en 1957 et 1959 années humides, ce qui s'explique bien par la perméabilité moindre des sols de la partie méridionale du grand bassin en regard de celle des sols sur pentes du petit bassin.

2 - cette abondance ne doit pas se maintenir en étiage, mais nous n'avons pas d'observations durant les 1er semestres de 1957 et 1959. On peut en effet concevoir d'après l'analyse pédologique que la capacité de rétention des sols du petit bassin est relativement meilleure que celle du grand bassin pris dans sa totalité. On trouve une vérification de cette assertion, en 1958, année très sèche, où l'écoulement de drainage des nappes constitue la majeure partie des apports des bassins ; cette année là les débits absolus à la station 2 sont parfois égaux à ceux de la station 1, parfois supérieurs, rarement inférieurs de plus de moitié.

Les étiages minimaux observés sont de l'ordre de 12 à 15 l/s dans la 2ème quinzaine de Mai 1958 ; ces débits, qui sont pratiquement les mêmes aux 2 stations, sont faibles mais nous ne sommes pas très sûrs de leur valeur, car ils n'ont pas été effectivement jaugés, et à cette époque de l'année les Ivoiriens édifient des barrages à poissons qui gênent l'écoulement : la cote à l'échelle reste la même pour des débits assez variables d'où la difficulté d'estimer ceux-ci d'après les lectures d'échelle.

De tels débits correspondent à 1 l/s.km² pour le petit NION et seulement à 0,2 l/s.km² pour le grand NION. Après l'année 1958 très sèche, les étiages n'ont pas dû être plus prononcés au début de 1959, parce que :

- le tarissement a duré très longtemps, au début 1958, jusqu'en fin Mai par suite des très faibles pluies du 1er semestre.
- les pluies du 2ème semestre 1958 et de Mars-Avril 1959 ont été assez abondantes pour soutenir l'écoulement de base et éviter un tarissement prolongé.

Les bilans d'écoulement établis pour chaque mois d'observations complètes en 1957, 1958 et 1959 sont portés dans 2 tableaux (voir pages suivantes). Leur lecture appelle quelques commentaires immédiats :

- étant donné l'importance de l'écoulement de base et le report d'un mois sur l'autre de l'influence des pluies sur le drainage des nappes, les coefficients d'écoulements mensuels ne sont pas significatifs ; leurs valeurs sont souvent exagérées.
- pour la même raison, les valeurs moyennes du Ke % calculées sur de courtes périodes de 3 à 5 mois, comme en 1957 et 1959, ne sont pas valables pour les transposer à l'année entière. On trouve en effet des valeurs élevées, allant de 48 à 70%. L'examen des lames d'eau écoulées est plus probant ; il montre bien que 1957 a été au cours du 2ème semestre nettement plus abondant que 1959, ce qui n'indique pas les Ke qui sont en rapport inverse, parce que l'écoulement d'Août 1959 bénéficie des très fortes pluies reçues en Juillet (mois qui ne figure pas au bilan).

Les enseignements les plus utiles à tirer de ces bilans partiels ont trait à l'année 1958 dont 8 mois, de Mars à Octobre, ont été observés. Les coefficients d'écoulement pour la période sont de 38% pour le petit NION, et seulement 23% pour le grand NION. Il n'est pas inconcevable de prévoir sans trop d'erreur les apports des mois de Janvier-Février, d'une part, et Novembre-Décembre, d'autre part. Cette

estimation nous permet de proposer les ordres de grandeur ci-dessous pour les coefficients d'écoulement de 1958 (année très sèche : 34ème/35 observées).

- 39% pour le petit bassin dont seulement 27% pour le 1er semestre le plus défavorisé.
- 22% pour le grand bassin.

Ces coefficients seraient beaucoup plus forts pour des années humides comme 1957 et 1959 qui ont reçu environ 1.900 mm de pluie, c'est-à-dire 8 à 10% de plus que l'année moyenne. Il n'est évidemment pas possible d'inventer les débits écoulés lors des premiers semestres de ces 2 années. On peut cependant penser que les coefficients annuels ont dû se placer au-dessus de 40%, sans pouvoir dépasser beaucoup 50%, à notre avis.

Pierre DUBREUIL
Maître de Recherche
à l'ORSTOM.

Paul RUAT
Hydrologue ORSTOM.

BILANS D'ÉCOULEMENT du NION à la STATION I

- 1957

Mois	P mm	Ve 10 ³ m ³	Ke %	Le mm	De mm
Août	397	9.249	37,4	148	249
Septembre	354	19.608	89	315	39
Octobre	264	12.050	73	193	71
Août-Octobre	1.015	40.907	64,5	656	359

- 1958

Mars	(60)	3.923	-	63	-
Avril	(160)	1.492	15	24	136
Mai	63	94	2,4	1,5	61,5
Juin	163	533	5,2	8,5	154,5
Juillet	7	281	-	4,5	2,5
Août	103	418	6,5	6,7	96,3
Septembre	404	5.145	20	82	322
Octobre	115	3.604	50	58	57
Mars-Octobre	1.075	15.490	23,1	248,2	726,8

- 1959

Août	78	4.247	-	68	10
Septembre	506	14.795	47	237	269
Octobre	(250)	12.272	78	197	53
Novembre	(25)	3.047	-	49	-
Décembre	(0)	(1.340)		21	
Août-Décembre	859	35.701	66,5	572	287

les chiffres entre parenthèses sont des valeurs approchées.

BILANS D'ÉCOULEMENT du PETIT NION (Station 2)

- 1957

Mois	P mm	Ve 10 ³ m ³	Ke %	Le mm	De mm
Août	492	1.487	29,6	146	346
Septembre	383	3.050	78	299	84
Octobre	306	1.382	44,5	136	170
Novembre	(120)	637	52	62	58
Août-Novembre	1.301	6.556	48,7	643	658

- 1958

Mars	(60)	57	9,3	5,6	44,4
Avril	(160)	117	7,2	11,5	148,5
Mai	65	43	6,5	4,2	60,8
Juin	180	(259)	14,1	25,4	154,6
Juillet	8	(134)	-	13,1	-
Août	127	1.101	85	108	19
Septembre	445	1.814	40	178	267
Octobre	128	971	74	95	33
Mars-Octobre	1.173	4.496	37,8	440,8	732,2

- 1959

Août	67	1.055	-	103	-
Septembre	484	2.336	47,3	229	255
Octobre	(280)	2.084	73	205	75
Novembre	(25)	404	-	40	-
Décembre	(0)	214	-	21	-
Août-Décembre	856	6.093	70	598	258

Les chiffres entre parenthèses sont des valeurs approchées.

CHAPITRE VI

OBSERVATIONS EFFECTUEES
SUR LES BASSINS DE L'OUED SELOUMBO
(région de MOUDJERIA)
Mauritanie

A - DESCRIPTION DES BASSINS

On se reportera au paragraphe correspondant du rapport 1958. Rappelons simplement que les superficies des B.V. étudiés sont les suivantes :

Oued MOKTAR	12,6 km ²
Oued ALI	11,3 km ²

Les B.V. sont installés dans un massif gréseux recouvert d'éboulis sur les pentes inférieures. Le sol proprement dit est souvent absent, il est constitué là où il existe par des produits de décomposition sablonneuse. La hauteur de précipitation moyenne annuelle est de 230 mm.

B - CLIMATOLOGIE

Voir le paragraphe correspondant du rapport 1958.

Les observations météorologiques habituelles ont été effectuées cette année en Juillet, Août, Septembre et Octobre 1959 (thermométrie, psychrométrie, Piche, bac Colorado).

Les résultats obtenus dans le domaine de l'évaporation sont les suivants pour la campagne 1959 en mm/jour :

	Juliet	Août	Septembre	Octobre
Evaporation Colorado	15,4	12,2	11,4	16,1
Evaporation Piche	9,0	5,9	7,3	12,7

Les moyennes interannuelles pour ces 4 mois ressortent aux chiffres suivants établis à partir des relevés 1957 - 58 et 59.

Juliet	Août	Septembre	Octobre
15,9	9,9	10,2	13,6

Ces valeurs sont certainement plus élevées que celles de la région avoisinante, cependant on doit retenir pour le plateau du TAGANT une évaporation annuelle sur bac Colorado enterré, de l'ordre de 4,00 m.

Bien entendu ceci ne serait pas valable pour un micro climat humide. Au bord des petits lacs de la TAMOURT en NADJ il n'est pas impossible que l'évaporation annuelle descende en dessous de 3 m par an.

III - EQUIPEMENT - (Les positions des appareils sont reportées sur le croquis 4-1)

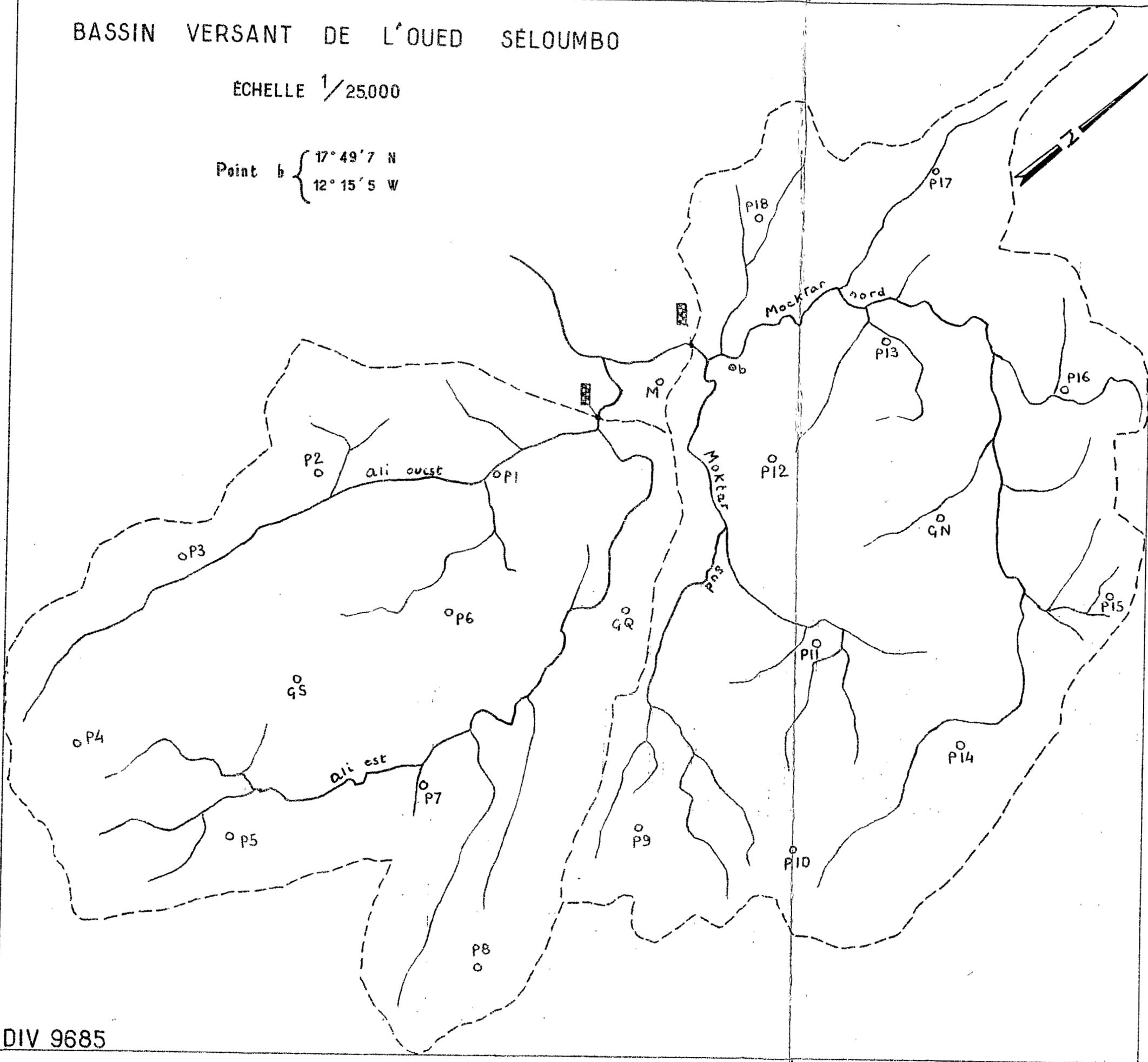
18 pluviomètres Association bien répartis sur le terrain, plus un à la station Météo près du campement.

3 pluviographes à augets : un près du centre de gravité du B.V. de l'Oued ALI, un second près du centre de gravité du B.V. de l'Oued MOKTAR, le troisième au centre de gravité de l'ensemble des B.V.

BASSIN VERSANT DE L'OUED SÉLOUMBO

ECHELLE 1/25.000

Point b { 17° 49' 7" N
12° 15' 5" W



Une station Météo située à l'extrémité Est de la frontière commune des deux B.V., comprenant thermomètre à maximum et à minimum, psychromètre à hélice, évaporomètre Piche, bac Colorado métrique, anémomètre compte-tours, pluviomètre.

Une station hydrométrique sur l'Oued ALI comprenant passerelle de jaugeage, échelle et limnigraphe OTT type XV échelle 1/10 révolution 32 heures.

Une station hydrométrique sur l'Oued MOKTAR équipée comme la station de l'Oued ALI. Cette station a été emportée lors de la crue du 27 Août - crue décennale - trois arbres déracinés étant venus se bloquer sur la passerelle.

IV - AVERSES OBSERVEES -

Nous avons manqué la première averse de l'hivernage : celle du 2 Juillet. Le gardien a pu nous préciser qu'il n'était rien tombé au campement et que seule la partie Nord du B.V. de l'Oued MOKTAR avait été arrosée. Cette averse n'a pas intéressé MOUDJERIA à 9 km au NW.

Les diagrammes bruts des pluviographes ont été dépouillés par intervalles de 5 minutes, en recherchant tout d'abord l'intervalle donnant la plus forte intensité. Les hyétogrammes moyens ont été calculés en multipliant les intensités des hyétogrammes observés aux pluviographes centraux de chaque bassin versant par le rapport pluviométrie moyenne de chaque bassin / pluviométrie au pluviographe. La comparaison des hyétogrammes des 3 pluviographes montre une déformation à peu près régulière du Nord au Sud, ce qui justifie un procédé aussi simpliste de construction des hyétogrammes moyens.

L'hivernage a totalisé 16 jours de pluie (y compris le 2 Juillet) dont 9 n'ont pas produit d'écoulements (voir tableau des hauteurs pluviométriques).

Averse du 28 Juillet	- hauteurs croissant du Nord au Sud.
Oued MOKTAR	- hauteur moyenne 3,3 mm. A l'enregistreur durée 30 mn, intensité maximale 18 mm/h.

- Oued ALI - hauteur moyenne 5,3 mm. A l'enregistreur durée 50 mn intensité maximale 36 mm/h.
- 1ère averse du 6 Août - centrée sur le milieu du B.V. de l'Oued MOKTAR.
- Oued MOKTAR - hauteur moyenne 3,0. A l'enregistreur durée 40 mn. Intensité maximale 24 mm/h.
- Oued ALI - hauteur moyenne 1,2 mm. A l'enregistreur durée 15 mn, intensité maximale 12 mm/h.
- Averse du 7 Août - pratiquement nulle
- Averse du 16 Août - bien répartie, maximum au Sud
- Oued MOKTAR - hauteur moyenne 9,4 mm, pas d'enregistrement, mais à l'enregistreur central intensité maximale 42 mm/h, durée 2 h 40.
- Oued ALI - hauteur moyenne 11,0 - A l'enregistreur durée 2 h 10, intensité maximale 36 mm/h.
- Averse du 22 Août - hauteur croissant du Nord au Sud.
- Oued MOKTAR - bien répartie - hauteur moyenne 7,0. A l'enregistreur durée 15 mn, intensité maximale 48 mm/h.
- Oued ALI - hauteur moyenne 9,0. A l'enregistreur durée 15 mn intensité maximale 72 mm/h.
- Averse du 23 Août - presque nulle
- Averse du 28 Août - hauteurs faibles, intensités faibles
- Averse du 19 Septembre - hauteurs faibles, intensités faibles
- 2 averses du 22 Septembre - la 2ème n'intéresse que l'extrême Sud du B.V. de l'Oued ALI - toutes les 2 faibles.

Averse du 29 Septembre - presque nulle

7 averses ont produit un écoulement à l'une au moins des stations.

Bassin versant de l'Oued MOKTAR :

3 averses avec écoulement presque nul.

- averse n° 20 du 2 Juillet, hauteur, répartition, intensité inconnues.
- n° 23 : 2ème averse du 6 Août, très mal répartie, dispersion 210 %, hauteur moyenne 7,5 mm, hauteurs maximales sur le Sud du B.V., durée environ 2 heures.
- n° 26 : averse du 13 Septembre. Mal répartie dispersion 70 % hauteur moyenne 13,8 mm, hauteurs maximales dans l'Est du B.V. Durée 2 heures à l'enregistreur avec intensité maximale 72 mm/h.

2 averses "unitaires".

- n° 21 averse du 4 Août dispersion 88 % centrée sur le Sud du B.V. hauteur moyenne 27,4 mm. A l'enregistreur durée totale 45 mn, I max enregistrée 84 mm/h.
- n° 22 averse du 5 Août - bien répartie dispersion 36 % hauteur moyenne : 11,7. A l'enregistreur durée 10 mn avec I max 126 mm/h.

1 averse complexe.

- n° 25 du 29 Août - dispersion 54 %, hauteur moyenne 19,9. A l'enregistreur durée 2 heures, avec trois pointes, I max 60 mm/h.

1 averse importante.

- n° 24 du 27 Août - centrée sur le Nord du B.V., hauteurs croissant du SE au NW. Dispersion 74 % hauteur moyenne 57,3 mm. A l'enregistreur durée 3 h 20, I max 120 mm/h. Le "corps" du hyétogramme moyen - durée 45 mn, hauteur 53 mm, I max 111 mm/h, correspond très bien avec ce que nous avons défini l'année dernière comme "corps" de l'averse décennale :

durée 1 heure hauteur 50 mm, I max 125 mm/h. La différence réside dans la "trainee" réduite et à très faible intensité dans l'averse observée.

Bassin versant de l'Oued ALI -

2 averses sans écoulement.

- n° 20 du 2 Juillet dont la hauteur a été certainement nulle sur le B.V.
- n° 26 du 13 Septembre centrée sur le Sud Est du B.V. dispersion 82 %, hauteur moyenne 14,0 mm. A l'enregistreur durée 1 h 10, I max 48 mm/h.

2 averses à faible écoulement.

- n° 22 du 5 Août bien répartie, dispersion 32 %, hauteur moyenne 10,1 mm. A l'enregistreur durée 10 mn, I max 90 mm/h.
- n° 25 du 29 Août. Averse complexe, hauteur croissant du Sud au Nord, moyenne 11,8 mm, dispersion 68 %. A l'enregistreur durée 1 h 05, I max 24 mm/h.

2 averses unitaires.

- n° 21 du 4 Août, centrée sur le Nord du bassin. Dispersion 110%, moyenne 23,8 mm. A l'enregistreur durée 45 mn, I max 78 mm/h.
- n° 23 du 6 Août centrée sur le Sud Est du Bassin. Dispersion 96 %, hauteur moyenne 23,2 mm. A l'enregistreur durée 2 h, I max 72 mm/h.

1 averse importante.

- n° 24 du 27 Août. Hauteurs croissantes du Sud Est au Nord Ouest dispersion 60 %, hauteur moyenne 45,4 mm. A l'enregistreur durée 3 h 15, I max 90 mm/h. Comme sur l'O. MOKTAR la trainee de cette averse est réduite, mais proportionnellement moins : le corps du hyétogramme moyen représente 40 mm.

Nous n'avons pas été cette année aussi favorisés par la pluviométrie qu'en 1958. La campagne n'a fait que confirmer, sans préciser, les résultats obtenus précédemment. La hauteur moyenne sur le B.V. de l'O. MOKTAR a été de 170 mm (15 j de pluie) et sur le B.V. de l'O. ALI 160 mm (15 j de pluie).

V - CRUES OBSERVEES -

Oued MOKTAR

Le limnigraphe et la station de jaugeage se trouvent dans une mouille petite mais profonde, creusée dans les alluvions sableuses, une quinzaine de mètres à l'aval du confluent des deux bras principaux (MOKTAR Nord et MOKTAR Sud). Les mesures de vitesses sont faites "en jaugeage continu" avec des variations rapides du niveau du plan d'eau, et des modifications non moins rapides du fond sablonneux. Les berges se conservent, et pratiquement la section mouillée varie peu à une cote donnée. Le graphique 4-2 donne les caractéristiques de cette section, et celles du "petit bras" de la rive gauche.

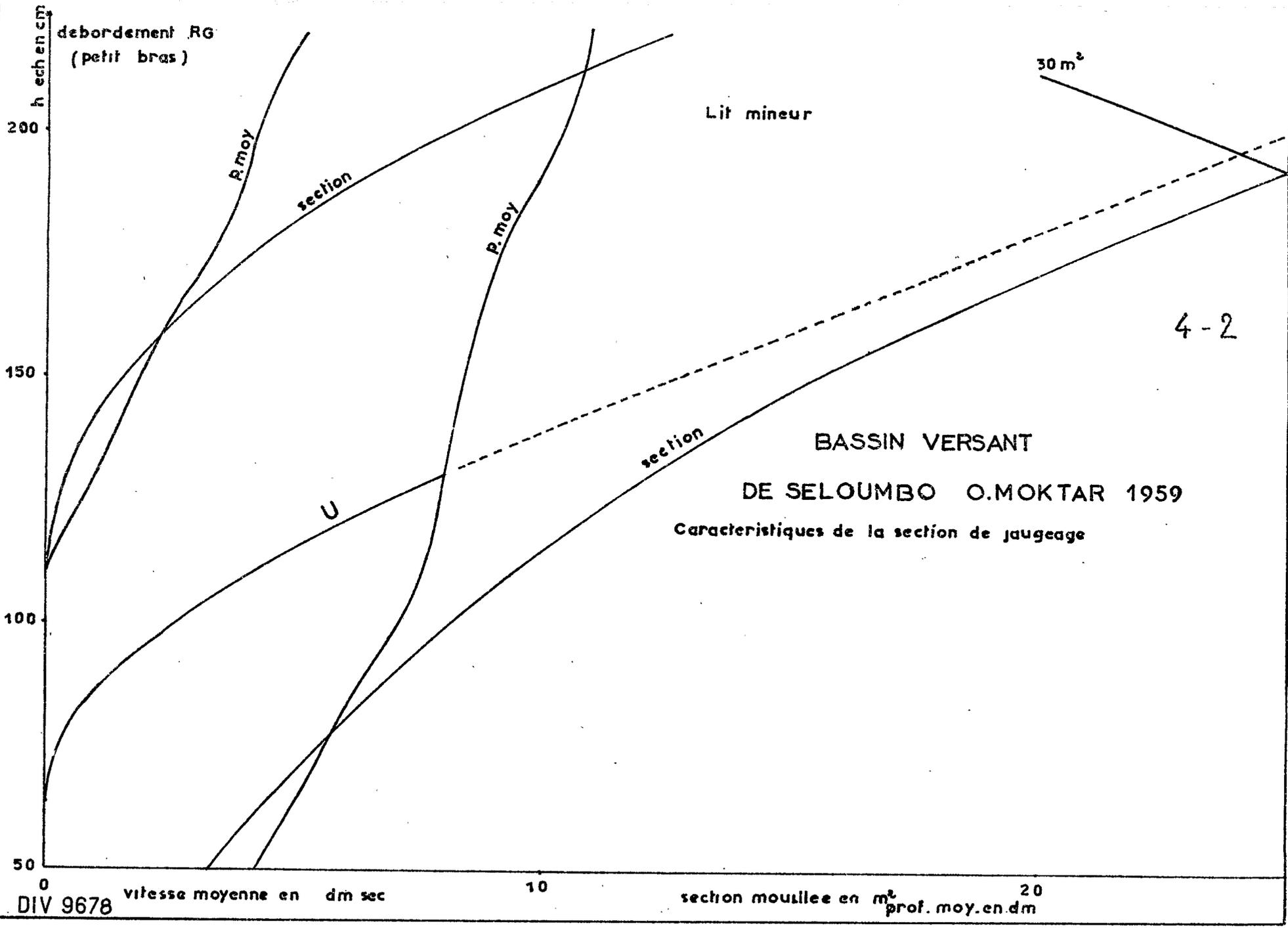
La cote maximale ayant fait l'objet de mesures a été de 1,11 m cette année (1,38 m en 1958, 1,39 m en 1957). La courbe de tarage (graphique 4-3) a été retracée en tenant compte des jaugeages des trois campagnes. Nous avons pu traiter certaines "passes" de jaugeages continus en jaugeages complets lorsque la baisse du plan d'eau est relativement faible entre le début et la fin de la "passe" : 7 pour 1957, 5 pour 1958, 6 pour 1959 - débits inférieurs à 5 m³/s - (voir graphique 4-3). Il semble bien que l'étalonnage soit resté constant depuis 1957 : la barre rocheuse qui forme la chute à une centaine de mètres à l'aval de la station est un déversoir naturel.

3 crues correspondent à un écoulement presque nul.

- crue n° 20 du 2 Juillet - non observée, mais laissés du maximum très visible, et d'ailleurs piquetés par le gardien : débit maximal 0,07 m³/s.
- crue n° 23 du 6 Août : débit maximal 0,07 m³/s 3 heures après l'averse.
- crue n° 26 du 13 Septembre débit maximal 0,36 m³/s 3 heures après l'averse. Volume écoulé 4,4 10³ m³.

2 crues "unitaires".

- crue n° 21 du 4 Août - Arrivée de la crue 40 mn après l'averse (mouilles sèches) maximum 13,0 m³/s 1 heure après l'averse. Ecoulement complètement terminé 15 heures après l'averse. Volume écoulé 52,5 10³ m³. GAM 59 mm/h pour 15 mn.



DIV 9678

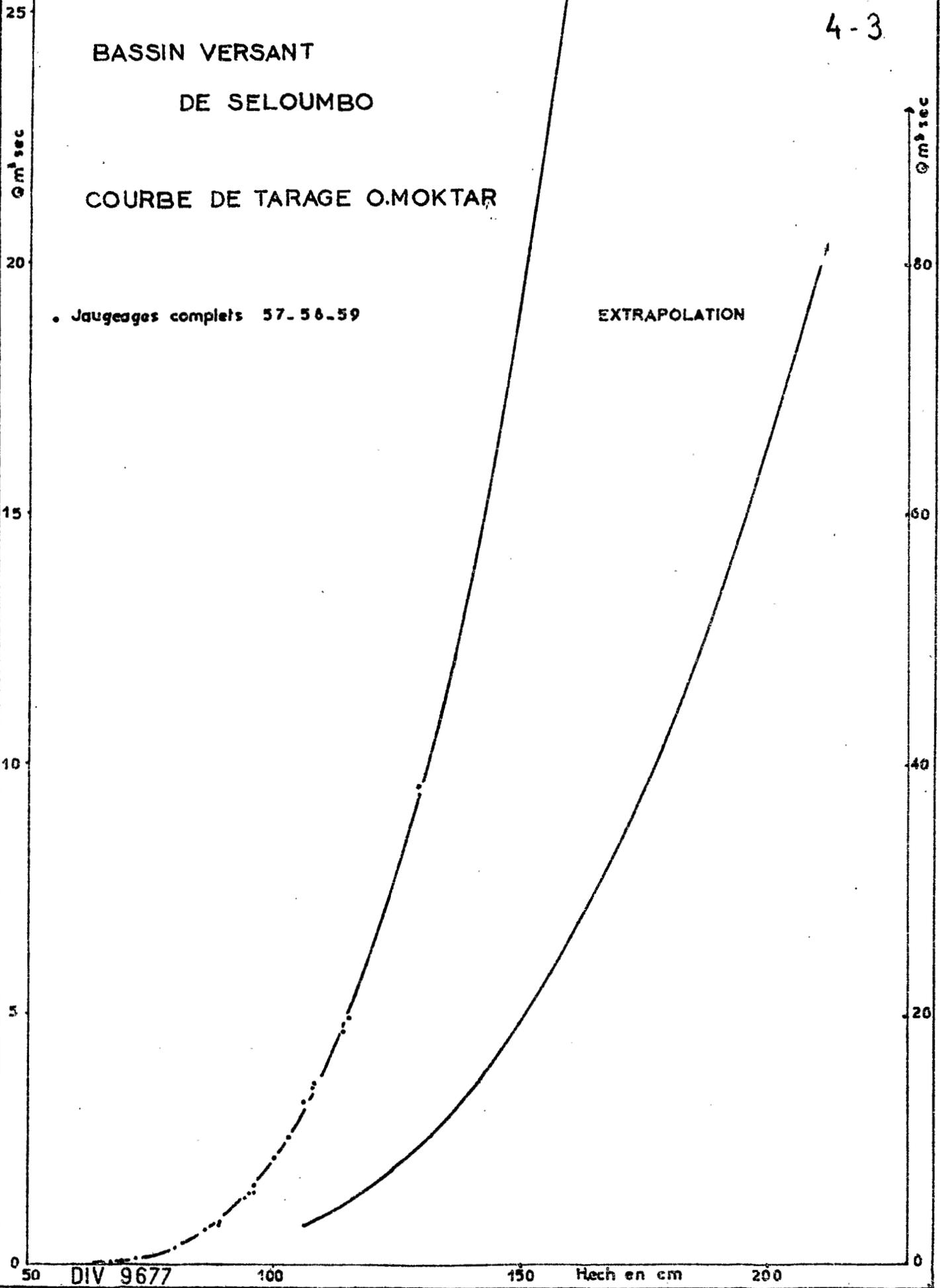
4-3

BASSIN VERSANT
DE SELOUMBO

COURBE DE TARAGE O.MOKTAR

• Jaugeages complets 57-58-59

EXTRAPOLATION



- crue n° 22 du 5 Août - arrivée de la crue 20 mn après l'averse maximale $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$ 1 h 20 après l'averse. Ecoulement complètement terminé 14 heures après l'averse. Volume écoulé $24,0 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ CAM 91 mm/h pour 5 mn.

1 crue complexe.

- crue n° 25 du 29 Août - débit maximal $9,7 \text{ m}^3/\text{s}$ volume écoulé $58,8 \cdot 10^3 \text{ m}^3$.

1 crue très importante.

- crue n° 24 du 27 Août. Nous n'avons pas de limnigramme de cette crue, ni même de limnimétrie, tout ayant été emporté à la montée. Le niveau maximal atteint a été de $2,05 \text{ m}$ d'après les délaissés. L'extrapolation de la courbe de tarage conduit y compris le petit bras RG, à supposer un débit maximal correspondant de $80 \text{ m}^3/\text{s}$. Le volume écoulé serait d'environ $400 \cdot 10^3 \text{ m}^3$, soit un CAM de 30 mm/h pour 40 mn.

Oued ALI

Le limnigraphe et la station de jaugeage se trouvent dans une petite mouille creusée dans les alluvions sableuses, à une vingtaine de mètres en aval du confluent des deux bras principaux (ALI Est et ALI Ouest). Les mesures de vitesses sont faites en jaugeage continu avec des variations rapides du niveau du plan d'eau et des modifications non moins rapides du fond sablonneux. Les berges se conservent, et la section mouillée varie très peu à une cote donnée. Le graphique 4-4 donne les caractéristiques de cette section et du débordement de la rive gauche - débordement qui n'est pas un petit bras comme à l'Oued MOKTAR, et qui, aux cotes observées, ne peut transporter que des débits négligeables. Un petit drain le vide, en partie, à la décrue, en amont de la station.

La cote maximale ayant fait l'objet de mesures a été de $1,65 \text{ m}$ cette année ($1,75$ en 1958 - $1,23$ en 1957). La courbe de tarage tracée l'an dernier n'a pas été modifiée, et 13 "jaugeages complets" de 1959 se placent bien sur cette courbe (graphique 4-5). Il semble que l'étalonnage soit resté constant depuis 1957 : la barre rocheuse qui forme la chute à 25 m environ à l'aval de la station est un déversoir naturel.

debordement RG

Lit mineur

eche. en cm.

P.moy

section

U

P.moy

section

4-4

BASSIN VERSANT DE SELOUMBO
OALI 1959
CARACTERISTIQUES SECTION DE JAUGEAGE

100

50

0

vitesse moy. en dm/s

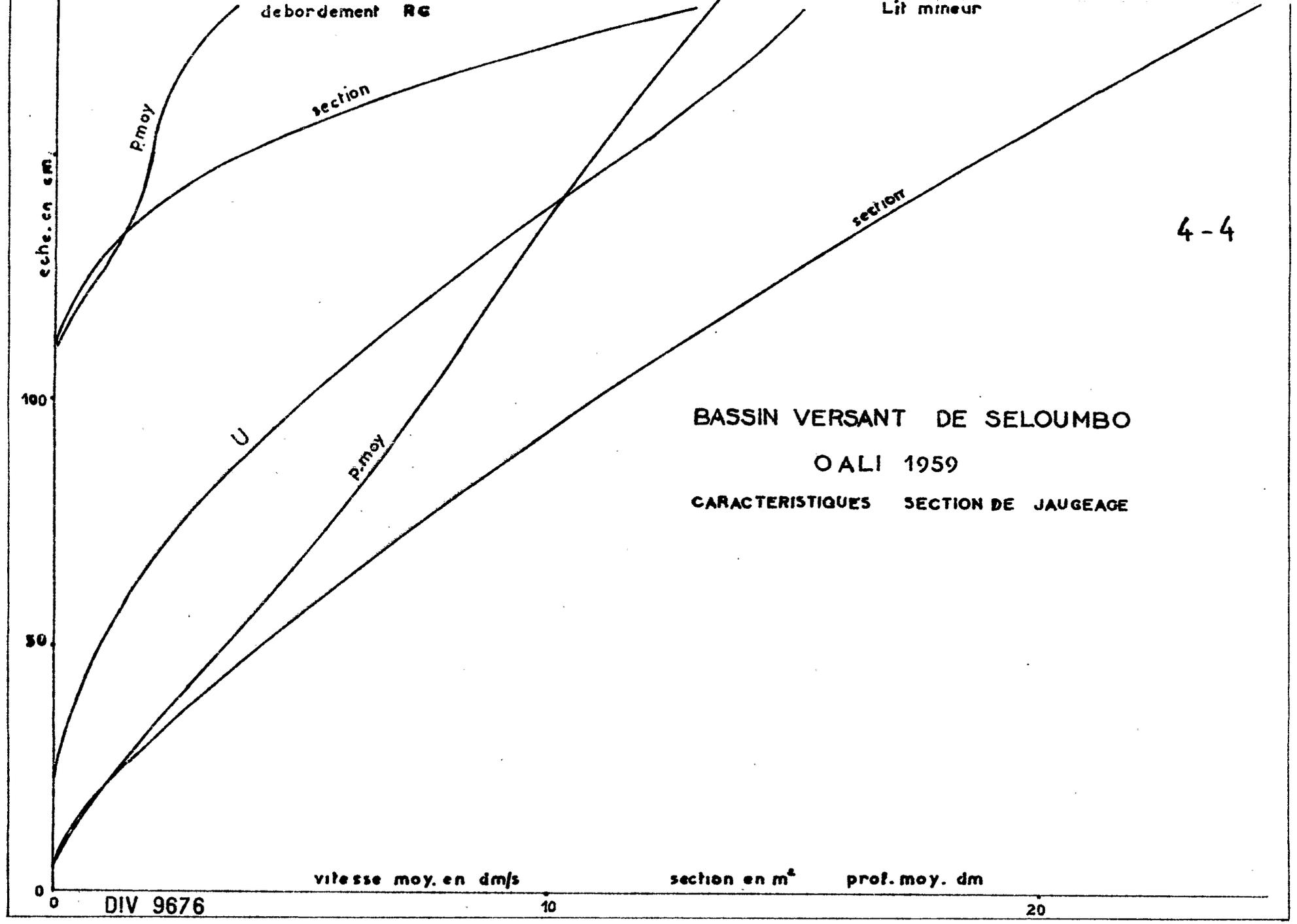
section en m²

prof. moy. dm

DIV 9676

10

20



25

Q m³sec

BASSIN VERSANT DE SELOUMBO

COURBE DE TARAGE O.ALI 1959

• Jaugeages complets 1959

4-5

13

10

5

0

Q m³sec

25

30

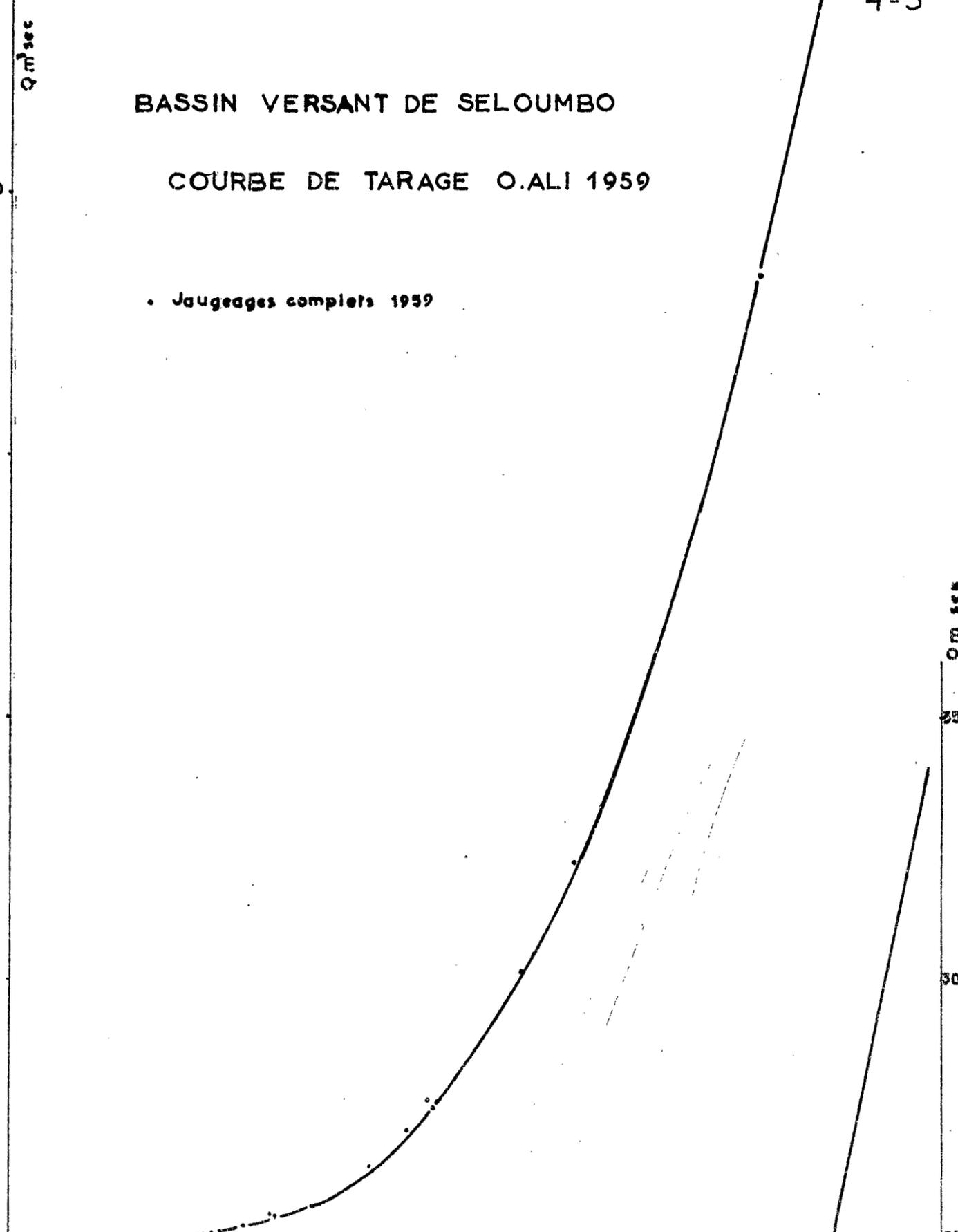
25

DIV 9675

50

100

150 Echen cms



2 crues correspondent à un faible écoulement.

- crue n° 22 du 5 Août : début de l'écoulement 20 mn après l'averse, premier maximum $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ 1 h après l'averse, deuxième maximum $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$ 3 heures après l'averse ; hypodermique. Volume écoulé $9,3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ CAM 86 mm/h pour 5 mn.
- crue n° 25 du 29 Août - complexe - débit maximal $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Volume écoulé $5,1 \cdot 10^3 \text{ m}^3$.

2 crues "unitaires"

- n° 21 du 4 Août : débit maximal $9,4 \text{ m}^3/\text{s}$ 40 mn après la pointe de l'averse, qui a intéressé principalement le cours inférieur des oueds. Ecoulement complètement terminé 9 heures après l'averse. Volume écoulé $41,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. CAM 51 mm/h pour 5 mn.
- n° 23 du 6 Août : début de la montée 30 mn après l'heure du centre de gravité du corps de l'averse, débit maximal $11,2 \text{ m}^3/\text{s}$ 9 h 20 après l'heure du centre de gravité. Volume écoulé $53,9 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. CAM 37 mm/h pour 20 mn. Ecoulement arrêté 13 heures après l'averse.

une crue importante

- n° 24 du 27 Août - non unitaire - débit maximal $32,7 \text{ m}^3/\text{s}$, volume écoulé $142 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Ecoulement complètement arrêté 12 heures après l'averse.

VI - ESSAIS d'INTERPRETATION -

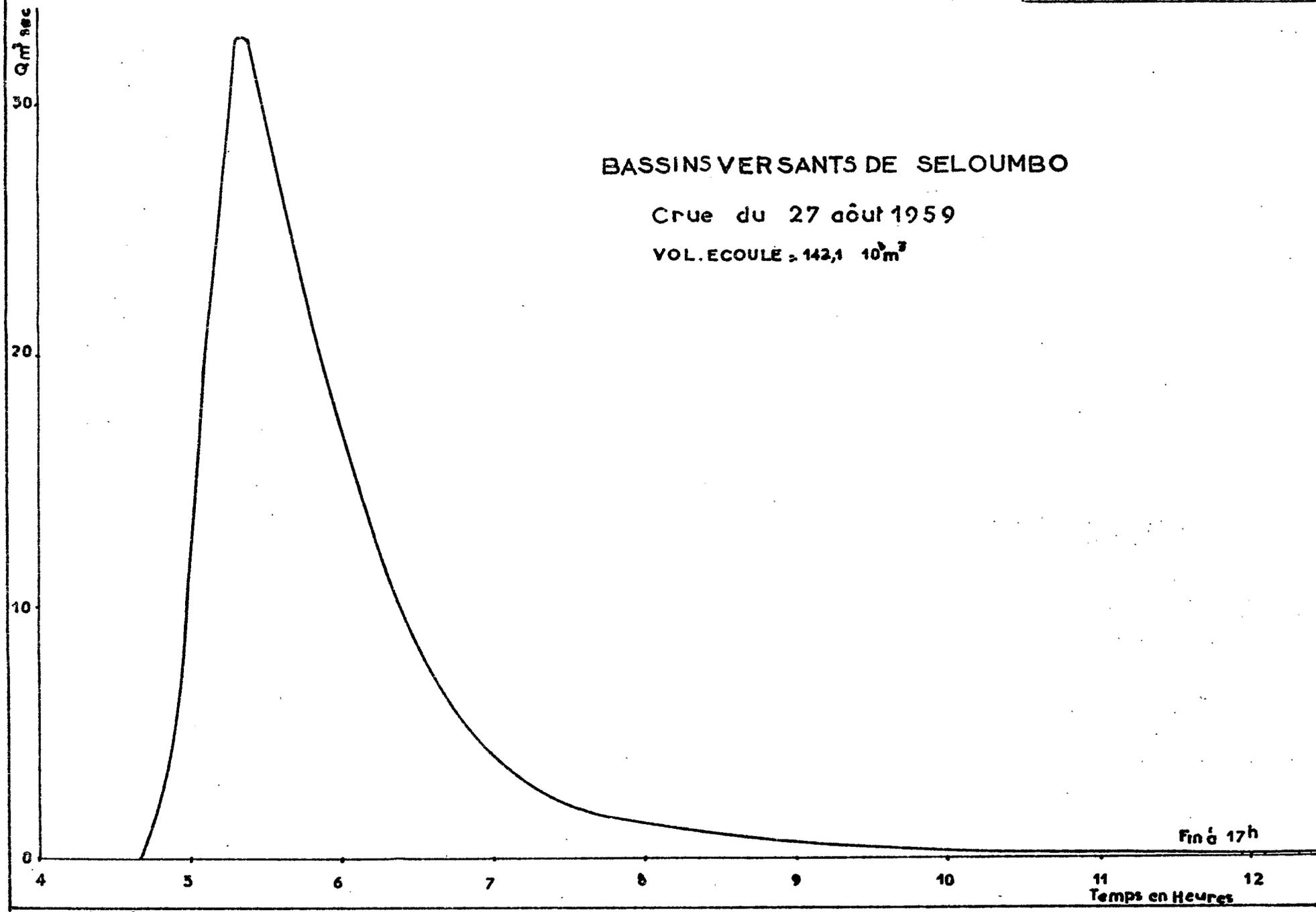
Les données relatives aux crues de 1957, 1958 et 1959 sont résumées dans les tableaux joints, dans lesquels les écoulements et débits de l'Oued MOKTAR ont été corrigés grâce à la nouvelle courbe d'étalonnage.

a) Détermination des hydrogrammes unitaires

On se reportera au rapport 1958 page 58.

b) Tableaux généraux d'interprétation

Ils ont été établis pour l'Oued MOKTAR et l'Oued ALI et les 3 années d'observations dans les conditions suivantes :



BASSINS VERSANTS DE SELOUMBO

Crue du 27 août 1959

VOL. ECOULÉ = 142,1 10³ m³

Fin à 17h

Colonne 1	numéro de l'averse
2	date
3	nombre d'heures depuis la dernière pluie précédente
4,5	pluviométries maximales et minimales relevées sur le B.V. en mm
6	pluviométrie moyenne de l'averse sur le B.V. en mm
7	durée de l'averse en minutes
8,9,10	Pu pluie utile moyenne sur le bassin : portion du corps de l'averse tombé à des intensités supérieures à 10 mm/h, Tu sa durée et Iu l'intensité moyenne pendant le temps Tu
11	Pe : hauteur de la pluie efficace moyenne (dont l'intensité a été supérieure à la GAM)
12	Temps de réponse ou lag : temps en minutes entre le centre de gravité de la pluie efficace et le moment du maximum de débit
13	Volumes écoulés en 10^3 m^3
14	Débit maximal en m^3/s
15	GAM totale en mm/h correspondant au volume écoulé
16	Volume ruisselé respectivement en 10^3 m^3
17,18	Coefficients de ruissellement rapportés: Kr à la pluie totale, Kru à la pluie utile
19	GAM _r capacité d'absorption moyenne.

OUED ALI

TABLEAU GENERAL d'INTERPRETATION 1957

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N°	Date	heures depuis dernière pluie	P min : mm	P max : mm	P moy : mm	durée : mn	Pu : mm	Tu : mn	Iu : mm/h	Pe : mm	lag : mn	Volume écoulé : 10 ³ m ³	Q _M : m ³ /s	Cam T	Vr : 10 ³ m ³	Kr : %	Kru : %	Cam r : mm/h
1	31-7	142				120						0	0					
2	9-8	171	4,6	12,1	8,9	135	5,2	15	21			0	0					
3	22-8	35	19,5	30,8	24,9	360	12,2	35	21			1,7	0,3		0	0	0	
4	23-8	8	28,9	42	37,1	230	15,4	45	13	70	48,5	7,6	0,3	0	42	10	24	
		9																
5	28-8	120	23,9	44,5	35,3	35	34,3	25	32	30	45,7	9,4	0,3	0	39	28	29	
		5																
6	31-8	67	2,9	22,5	?	150	?	5	?			#0	0,04		0	0	0	
7	4-9	95	6,0	16,7	7,7	20	5,5	10	66	5,5	35	3,8	1,0	62	#0	#0	0	#66
8	9-9	94	12,4	23,4	17,0	240	3,8	5	46			0	0					

OUED MOKTAR

TABLEAU GENERAL d'INTERPRETATION 1957

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N°	Date	heures depuis dernière pluie	P min mm	P max mm	P moy mm	durée mn	Pu mm	Tu mn	Iu mm/h	Pe mm	lag mn	Volume écoulé 10 ³ m ³	Q _M m ³ /s	Cam T mm/h	Vr 10 ³ m ³	Kr %	Kru %	Cam r %
1	31-7	142				120						38 ?	8,6?					
2	9-8	171	13,2	24,9	15,8	135	14,1	30	28	3,8	40?	9 ?	2,0?	#38	3 ?	1,6	1,8	43
3	22-8	35	27,7	37,6	31,6	(480)	20,6	(60)	21			60	34,0	6,2	28,0			
		16																
4	23-8	12	23,8	44,0	36,8	(150)	15,5	(30)	13			60	42,7	8,2	32,5			
		2																
5	28-8	120	31,8	38,1	35,8	(35)	34,8	(25)	32			75	9,2	1,9	3,2			
		5																
6	31-8	67	4,3	2,0								0	0					
7	4-9	95	6,3	14,0	9,5	20	6,8	5	81	6,8		#0	0,01	81	0	0	0	> 81
8	9-9	94	12,6	19,1	14,4	240	3,2	5	39	3,2		#0	0	39	0	0	0	> 39

OUED ALI

TABLEAU GENERAL d'INTERPRETATION 1958

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N°	Date	heures depuis dernière pluie	P min : mm	P max : mm	P moy : mm	durée : mn	Pu : mm	Tu : mn	Iu : mm/h	Pe : mm	lag : mn	Volume écoulé : $10^3 m^3$	Q_M : m^3/s	Cam T : mm/h	Vr : $10^3 m^3$	Kr : %	Kru : %	Cam r : mm/h
9	28-7	217	2,6	10	6,7	30	5,5	5	65			0	0					
10	31-7	63	19,7	27,2	25,6	330	10,8	25	26	5,1		2,1	0,15	60	0	0	0	
11	2-8	59	11,4	18,8	16,8	40	15,6	15	62	11,3	75	22,8	5	57	18,5	10	10	59
12	5-8	44	12,4	24,6	20,3	45	17,1	20	51	15,4	55	60,7	17	40	55	24	25	42
13	7-8	34	1,2	9,1	3,5	5	3,5	5	42			0	0					
14	8-8	22	2,7	17	8,5	110	5	10	30	3,7	20	7,9	1,5	36	# 0	0	0	
15	14-8	160	7	15,8	11,9	10	11,9	10	64	7,9		2,4	0,35	92	0	0	0	
16	20-8	139	20,5	41,2	30,1	35	28,8	25	69	24,2	45	131	34	50	122	36	37	54
17	29-8	223	12	26,5	17,6	210	14,2	15	57	9	80	10,9	1,5	96	# 0	0	0	
18	25-9	75	5,5	31,4	16,5	215	13,9	30	28	8		12	1,7	83	# 0	0	0	
19	1-10	127	11,2	43,5	21,9	240	14,2	35	24	7,3	120	17	4	35	13,5	5	8	37
pm	17-6	9 mois										90 ?	20 ?					

OUED MOKTAR

TABLEAU GENERAL d'INTERPRETATION 1958

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
N°	Date	depuis dernière pluie	P min mm	P max mm	P moy mm	durée mn	Pu mm	Tu mn	Iu mm/h	Pe mm	lag mn	écoulé 10 ³ m ³	Q _M m ³ /s	Oam mm/h	T 10 ³ m ³	Vr %	Kr %	Kru %	Cam mm/h
9	28-7	217	6,9	16	12,5	30	11,7	15	47	7,4	60	10,8	2,2	79	6,0	4	4	83	
10	31-7	62	23,6	29,9	28,6	600	13	20	39	5,3	60	25,4	2,5	40	11,4	3	7	53	
11	2-8	59	8,5	18,7	12,9	50	11,6	10	70	9	50	22,2	3,3	87	14,8	9	10	94	
12	5-8	44	22,3	31,4	28,2	35	21	15	84	17,9	60	106,5	22,6	57	96,0	27	36	62	
13	7-8	34	1,1	7	3,9	5	3,9	5	47			0	0						
14	8-8	21	10	18,6	13,4	115	10	10	60	10	40	37,3	8,2	32	28,2	17,5	23,5	46	
15	14-8	160	4	15	8,3	35	6,9	10	42			0	0						
16	20-8	(29)	19	31,7	25,3	50	23,6	20	71	15,3	50	88,0	17,1	53	71,5	22,5	24	58	
17	29-8	231	11,7	26,2	16,5	185	14	25	34	7		4,6	0,47	80	0	0	0		
18	25-9	75	3,3	13,7	6,5	135	4,7	10	28			0	0						
19	1-10	127	11,2	20	14,9	185	5	15	20			0	0						
pm	17-6	9 mois										90 ?	20?						

OUED ALI

TABLEAU GENERAL d'INTERPRETATION 1959

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N°	Date	de dernière	P min	P max	P moy	durée	Pu	Tu	Iu	Pe	lag	écoulé	Q _M	Cam T	Vr	Kr	Kru	Cam r
		pluie	mm	mm	mm	mn	mm	mn	mm/h	mm	mn	10 ³ m ³	m ³ /s	mm/h	10 ³ m ³	%	%	mm/h
20	2-7	9 mois										0	0					
21	4-8	150	11,3	37,5	23,8	45	21,9	25	53	7,9	40	41,2	9,4	51	35	13	14	57
22	5-8	25	8,5	11,7	10,1	10	11,7	10	60	8	60	9,3	1,1	86	# 0	0	0	
23	6-8	37	7,8	34,8	23,2	120	19,4	25	47	17,0	70	53,9	11,2	36	46	18	21	38
24	27-8	116	32,1	59,5	45,4	195	40,2	45	54	34,3	40	142	32,7	41	131	25,5	29	44
25	29-8	60	7,1	15,2	11,8	65	8,8	25	21	3		5,1	0,5	30	# 0	0	0	
26	13-9	345	9,5	21,0	14,0	70	13	25	31			0	0					

OUED MOKTAR

TABLEAU GENERAL d'INTERPRETATION 1959

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N°	Date	Date dernière	P min	P max	P moy	durée	Pu	Tu	Iu	Ie	lag	écoulé	Q _M	Cam T	Vr	Kr	Kru	Cam r
		pluie	mm	mm	mm	mn	mm	mn	mm/h	mm/h	mn	10 ³ m ³	m ³ /s	mm/h	10 ³ m ³	%	%	mm/h
20	2-7	9 mois										# 0	0,07		0	0	0	
21	4-8	150	13,1	37,2	27,4	45	24,5	25	159	75	60	52,5	13,0	59	42,5	12	14	62
22	5-8	25	9,0	13,2	11,7	10	11,7	10	70	114	85	24,0	4,6	91	18,0	12	12	97
23	6-8	(37)	3,4	19,3	7,5	200	3,5	10	21			# 0	0,07	24	0	0	0	
24	27-8	(116)	34,5	77,1	57,3	200	52,1	40	78	78		400 ?	80	30 ?	380 ?	52	58	33 ?
25	29-8	(60)	14,5	25,2	19,9	125	14	30	28	44	60	58,8	9,7	19	46,3	18,5	26	22
26	13-9	345	8,5	17,8	13,8	115	5,2	10	52			4,4	0,36	66	0	0	0	

OUED MOKTAR

DIAGRAMMES de DISTRIBUTION

Intervalles de 20 minutes - en pourcentage du volume ruisselé l'intervalle 0, est, pour chaque crue, tel que son emplacement corresponde au plus grand volume écoulé en 20 minutes.

N°	Date	- 2	- 1	0	1	2	3	4	5	6	7	Q _{max} m ³ /s
4	23-8-57	2,9	23,4	28,6	22,0	10,6	5,8	3,6	1,8	0,9	0,4	8,2
4	23-8-57	6,3	15,7	27,0	21,4	13,8	7,9	4,4	2,2	0,9	0,4	4,6
12	5-8-58	3,1	14,6	27,3	21,2	13,8	8,2	5,6	3,6	1,7	0,9	22,6
14	8-8-58	0	8,6	34,0	25,0	16,4	9,5	4,7	1,5	0,3	0	8,2
16	20-8-58	4,9	18,1	27,3	20,4	12,8	7,2	4,3	2,6	1,6	0,8	17,1
21	4-8-59	0	6,5	33,8	23,8	16,2	10,0	5,7	2,7	1,0	0,3	13,0
22	6-8-59	3,8	19,2	30,8	20,8	11,3	6,9	3,8	2,3	0,7	0,2	4,2
	Moyenne	3,0	15,1	29,8	22,1	13,6	8,0	4,6	2,4	1,0	0,4	

OUED ALI

DIAGRAMMES de DISTRIBUTION

Intervalles de 20 minutes - en pourcentage du volume ruisselé l'intervalle 0 est, pour chaque crue, tel que son emplacement corresponde au plus grand volume écoulé en 20 minutes.

N°	Date	- 2	- 1	0	1	2	3	4	5	6	7	Q _{max} m ³ /s
5	28-8-57	4,4	14,4	29,4	23,3	14,2	7,3	3,5	2,0	1,0	0,5	9,4
11	2-8-58	3,6	15,9	32,2	24,0	12,7	6,5	3,2	1,3	0,6	0	5,0
12	5-8-58	7,7	17,2	33,8	20,7	10,2	5,2	2,5	1,1	0,4	0,2	17,0
16	20-8-58	1,5	13,7	31,9	25,1	13,6	6,9	3,7	2,0	1,0	0,4	34,0
19	1-10-58	1,8	11,4	35,2	24,7	14,1	7,3	3,6	1,4	0,5	0	4,0
21	4-8-59	0,8	14,8	32,0	22,0	14,0	8,7	4,7	2,2	0,7	0,1	9,4
23	6-8-59	9,0	16,5	29,2	21,2	11,9	6,6	3,5	1,5	0,6	0,1	11,2
	moyenne	4,1	14,8	32,0	23,0	13,0	6,9	3,5	1,7	0,7	0,3	

Nous n'avons pu ajouter à chaque oued que 2 crues unitaires aux 5 que nous possédions déjà (voir tableaux). Les diagrammes de distribution et les hydrogrammes unitaires restent inchangés par rapport à ceux qui avaient été déterminés en 1958 (graphique 5-5 de 1958).

L'examen des coefficients de ruissellement portés dans les 6 tableaux est délicat, trop de facteurs interviennent.

Un fait assez évident : c'est la faible valeur des coefficients de ruissellement pour les premières averses de fin Juillet et de début Août.

L'influence de la hauteur utile est certaine. Celle de très fortes intensités n'est pas négligeable (cas des averses 16 de l'Oued ALI et 12 de l'Oued MOKTAR).

La durée de l'intervalle à la pluie précédente semble ne pas avoir une grande influence.

Il faut ajouter à ceci que les causes de dispersion sont nombreuses : pluie hétérogène dans le temps donnant lieu à un ruissellement exagéré ou hyétogramme complexe conduisant à un coefficient de ruissellement trop faible.

L'averse 24 sur l'Oued MOKTAR a présenté des conditions un peu plus favorables que les conditions moyennes : en plein centre de la saison des pluies et assez concentrée dans le temps.

Il semble que pour l'Oued MOKTAR, en considérant des conditions moyennes, le coefficient de ruissellement K_{ru} soit compris entre 45 et 55 % pour une pluie utile de 50 mm tombant vers le 20 Août. L'Oued ALI présente peut-être dans les mêmes conditions un coefficient de ruissellement moins élevé.

c) Valeurs annuelles

Crues

Nous ne trouvons pas en 1959 de véritables "averses annuelles". Les crues n° 21 (4 Août) ressembleraient bien à des crues annuelles, causées par des averses ayant à peu près le corps de l'averse "annuelle" mais ces averses sont tombées sur un sol très sec. La crue 24 sur l'Oued MOKTAR est très supérieure à la crue annuelle.

Les débits maximaux annuels seraient les suivants, les averses correspondantes restant les mêmes que celles figurant dans le rapport de 1958 :

$$P \text{ moyen} = 33 \text{ mm} \qquad P \text{ utile} = 22 \text{ mm}$$

Oued MOKTAR

$$Kru = 26 \% \qquad V_R = 72 \text{ 000 m}^3$$
$$Q \text{ max} = \underline{18 \text{ m}^3/\text{s}} \quad (\text{d'après l'hydrogramme type donné plus haut})$$

Pour l'Oued ALI

$$Kru = 24 \% \qquad V_R = 59 \text{ 000 m}^3$$
$$Q \text{ max} = \underline{16 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Valeurs annuelles - coefficients d'écoulement -

Après corrections, nous obtenons les chiffres suivants :

<u>Oued MOKTAR</u>	pluviométrie moyenne	coefficient d'écoulement
	1957 = 210 mm	9, 5 %
	1958 = 255 mm	12, 0 %
	1959 = 170 mm	25, 0 %
<u>Oued ALI</u>	1957 = 190 mm	9, 0 %
	1958 = 265 mm	11, 0 %
	1959 = 160 mm	14, 0 %

L'ensemble de l'année 1959 montre la difficulté de choisir un coefficient d'écoulement annuel pour de petits bassins : il varie énormément suivant la répartition journalière des hauteurs pluviométriques, et il suffit d'une très forte averse sur un faible total annuel pour donner un grand coefficient d'écoulement annuel. Nous choisissons pour la pluviométrie moyenne annuelle de 230 mm :

Oued MOKTAR coefficient d'écoulement 10,5 % soit $305 \cdot 10^3 \text{ m}^3$
Oued ALI coefficient d'écoulement 10,0 % soit $260 \cdot 10^3 \text{ m}^3$

d) Crues décennales

Il est regrettable que l'observation de la crue du 27 Août sur l'Oued MOKTAR ait été incomplète : cela nous aurait permis d'avoir d'excellentes données de la crue décennale puisque la pluie utile fournie par cette averse est sensiblement la même que celle résultant de la pluie décennale. Il est nécessaire de réduire les chiffres donnés en 1958 pour l'Oued MOKTAR :

Pluie utile 50 mm Kru = 55 % (au lieu de 68 en 1958)

Débit maximal 85 m³/s soit 6,8 10³ l/s.km²

Volume ruisselé 350.10³ m³ soit Kr = 37 %

Il en est de même pour l'Oued ALI : en admettant un coefficient de ruissellement Kru égal à 45 % on trouve VR = 250 000 m³ ce qui correspond à un débit maximal de 70 m³/s soit 6,2 . 10³ l/s.km².

VII - SOURCE de SELOUMBO -

Nous avons quelques mesures du débit de la source qui alimente la GUELTA de l'Oued ALI :

7 Avril	1959	4,08 l/mn
13 Juillet		3,70 l/mn (écoulements dans l'Oued non commencés)
10 Septembre		4,92 l/mn (dernier écoulement le 29 Août)
8 Octobre		4,81 l/mn

Le débit moyen de la source serait de 4,3 l/mn soit 2 250 m³ par an. Les quelques mesures montrent que la source est sensible et répond vite aux pluies, ou plutôt aux écoulement dans le lit inférieur de l'Oued ALI.

CHAPITRE VII

OBSERVATIONS EFFECTUEES SUR LES BASSINS DE LA LHOTO (DAHOMÉY)

A.1 - DESCRIPTION DU BASSIN

On se reportera aux rapports des campagnes 1956 et 1957 pour la description sommaire des bassins et en particulier pour l'étude pédologique.

Les superficies des bassins versants étudiés sont les suivantes :

- LHOTO à MOUMOU DJI = 45 km²
- KOLOMANDJE = 13 km²

Le bassin de la LHOTO comporte :

- à l'est un massif granitique décomposé en boules, très perméable
- un plateau latéritique relativement perméable au nord et à l'ouest
- des alluvions sablo-argileuses, moins perméables dans les thalwegs.

A.2 - EQUIPEMENT DU BASSIN

Le dispositif de l'année précédente a été maintenu avec deux stations hydrométriques principales et une station météorologique à MOUMOU DJI.

Au point de vue pluviométrique, quelques modifications de détail ont été apportées au plan de 1958:

- 4 pluviographes se répartissent comme suit : A sur la Haute-LHOTO, C sur la SOUSSOU, B à MOUMOU DJI 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.3 - EVAPORATION

Les mesures ont été poursuivies à MOUMOU DJI sur bac Colorado type enterré jusqu'à fin Octobre 1959.

En reprenant les observations des 4 campagnes, 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 KOLONANDJE.

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 KOLONANDJE) 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 $P = 1100$ mm
- l'écart-type $= 250$ 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	KOLONANDJE	LHOTO	KOLONANDJE
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 KOLOMANDJE. 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.

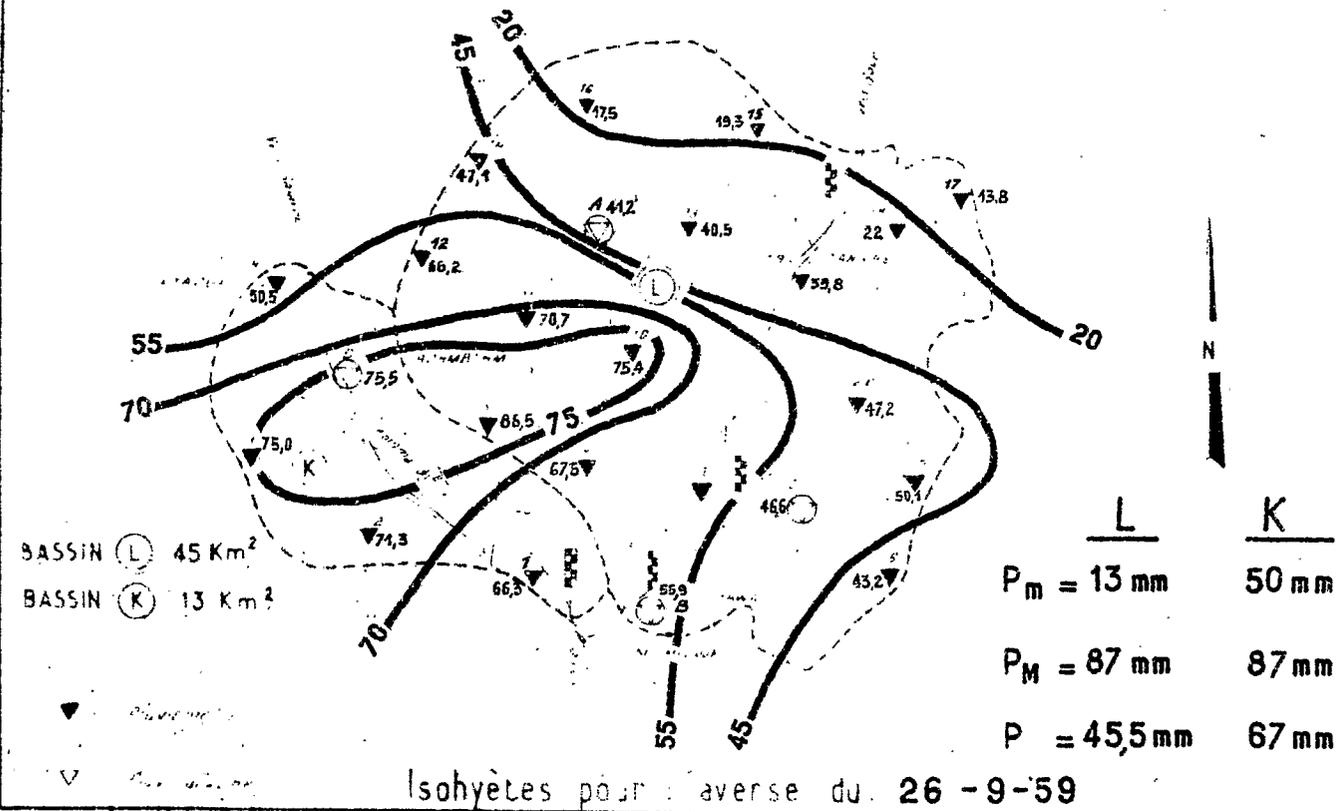
Il nous faut encore signaler une averse moins importante certes, mais qui ayant bénéficié de bonnes conditions de saturation d'une part, et de répartitions dans le temps et l'espace favorables, a entraîné de fortes crues. Il s'agit de l'averse du 9 Octobre, centrée sur l'aval du bassin de la LHOTO, ($P_M = 53,8$ 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

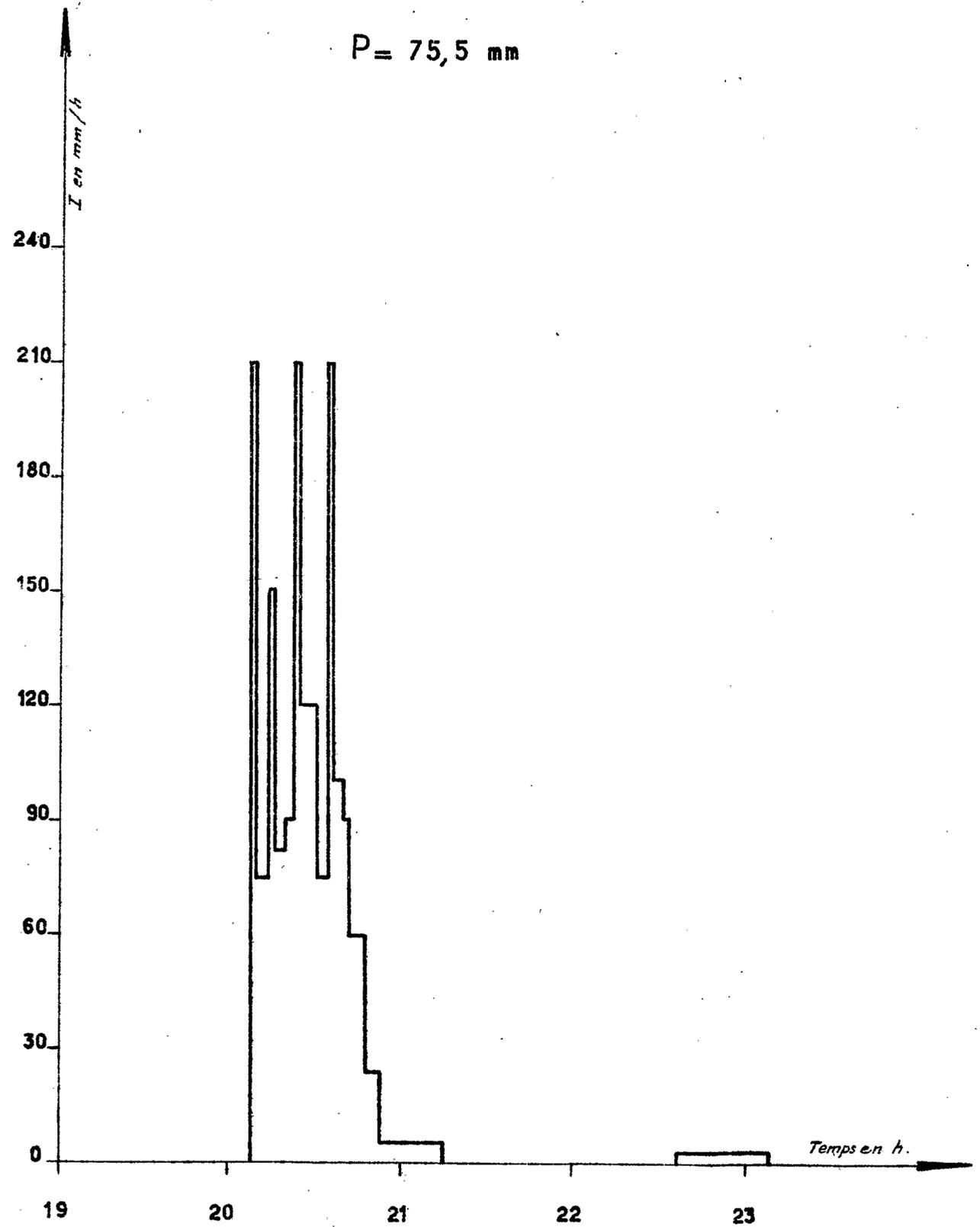
BASSINS VERSANTS DE LA LHOTO ET DE LA KOLOMANDJE

AVERSE N°9



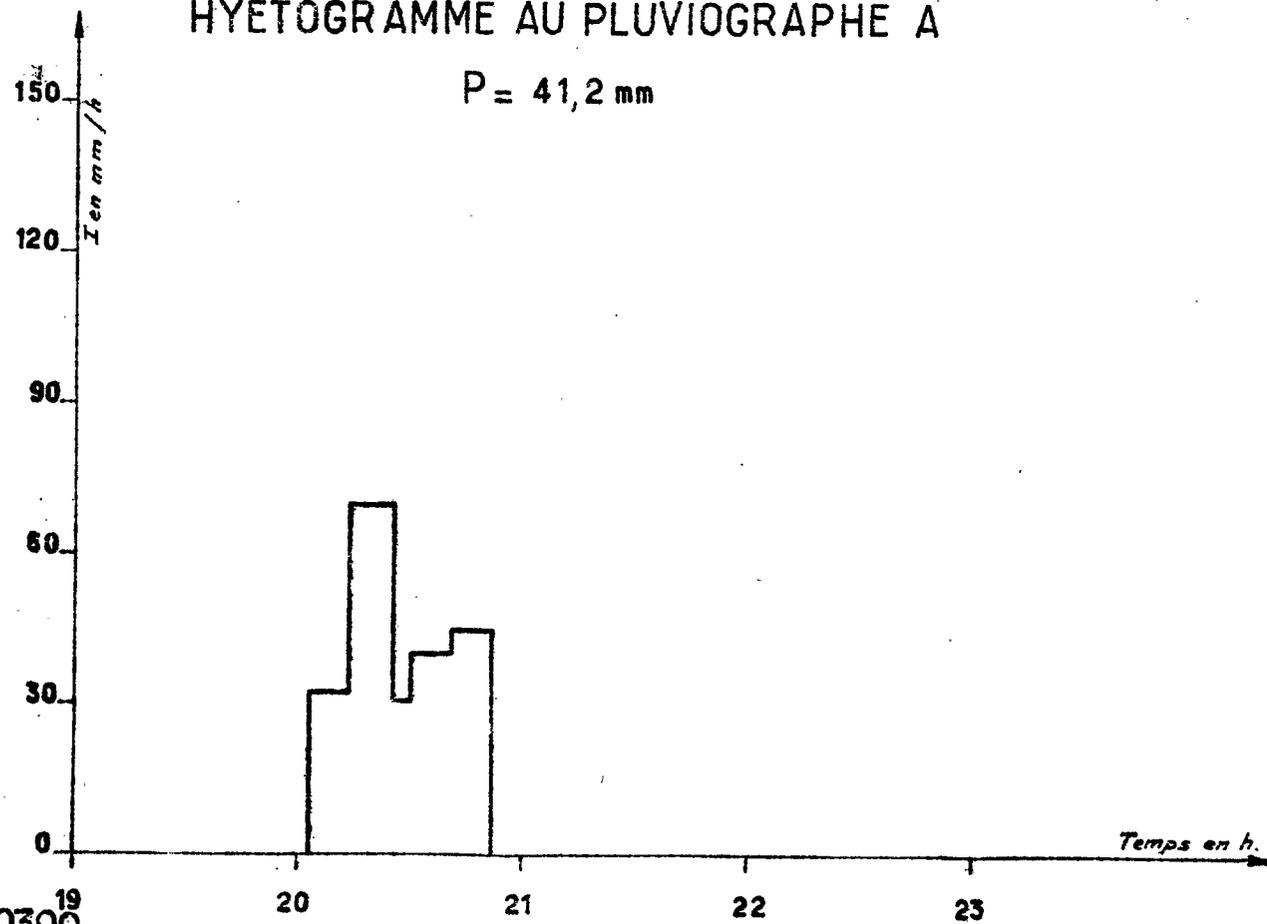
HYÉTOGRAMME AU PLUVIOGRAPHE D

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.

Douze 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'écrêtement 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.

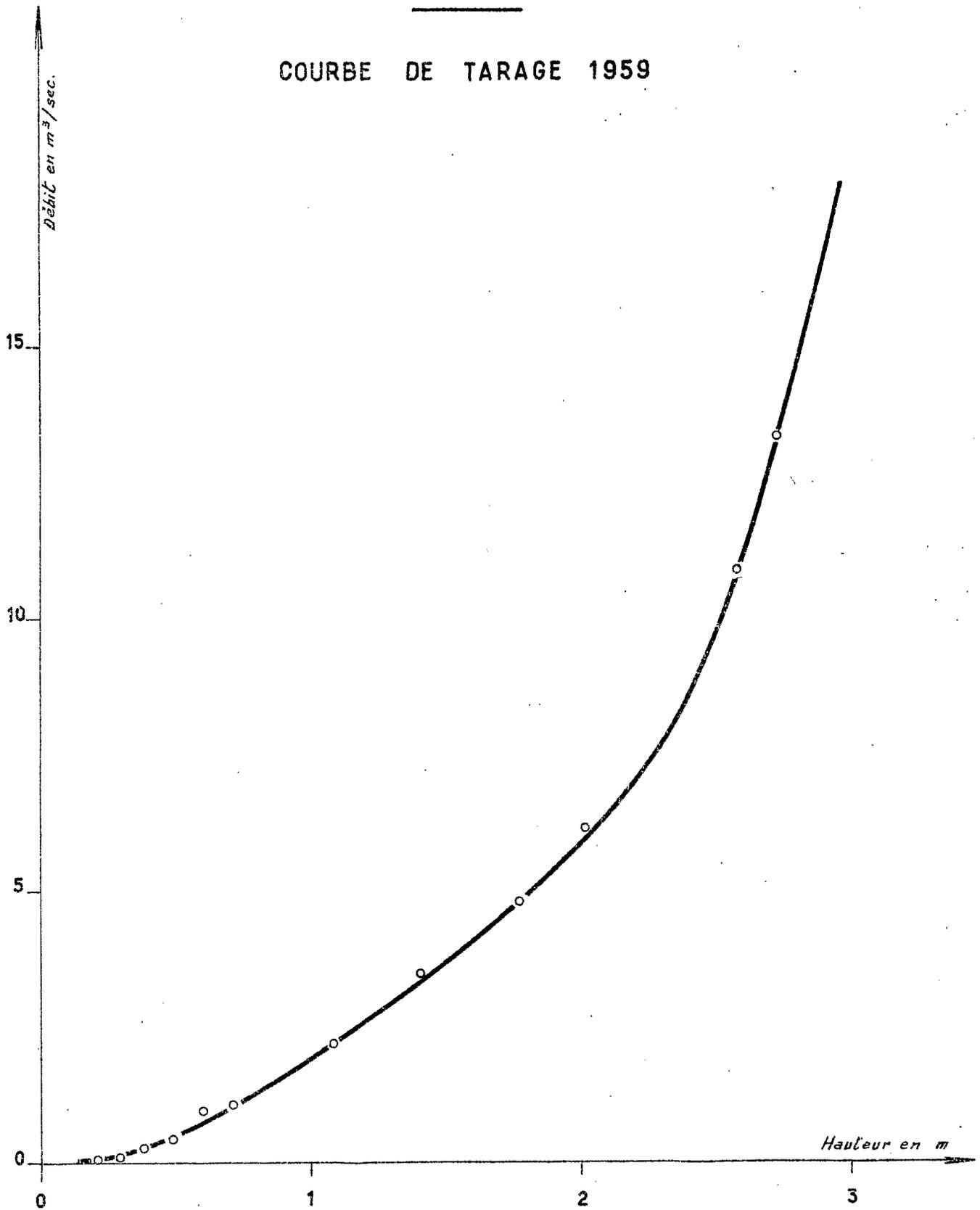
Nous avons été amenés, par souci de précision, à retracer une nouvelle courbe de tarage pour 1959 qui :

- 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 MOUMOUDJI

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 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 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 MOUMOUJJI. 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.

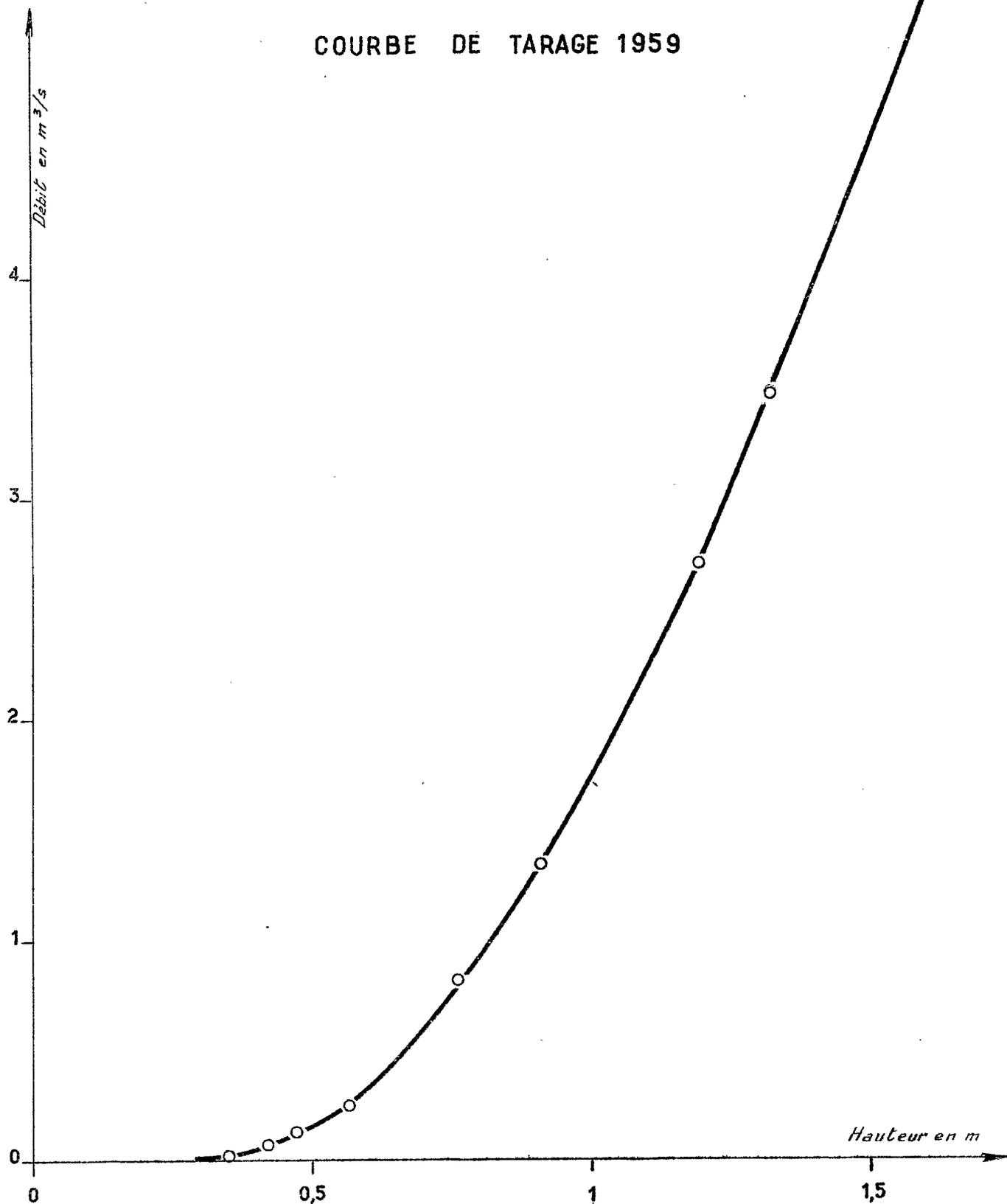
La sécheresse de 1958 et l'état des réserves souterraines très déficitaire en 1959 par rapport à 1957 justifient l'absence de crues sur la SOUSSOU. On y a seulement observé quelques écoulements intermittents, limités à de courtes périodes durant lesquelles la nappe devait être assez haute pour franchir 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 m³/s au maximum, ce qui fait 400 l/s.km². La 2ème crue est évidemment due à l'averse du 9 Octobre ; le débit maximal de 4,9 m³/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 l/s.km^2 .

D) INTERPRETATION DES CRUES DE LA LHOTO A MOUMOU DJI -

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 MOUMOU DJI 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 averse, 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 averse, 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 MOUMOUJJI EN 1959

A = 45 km²

Date	t _a : Jour	P _M : mm	K%	P : mm	P _u : mm	t _u : min.	V _r : 10 ³ m ³	K _r : %	K _{ru} : %	Q _o : m ³ /s	Q _M : m ³ /s	t _p : heures	t _m	Observations
31-8	2	88	61	53,8	43	60	114	4,7	5,9	0,030	2,83	15/7	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_a { 1 jour après une pluie inférieure à 10 mm La colonne "observations"
 1 " " " " entre 10 et 20 mm indique la position du centre
 1 " " " " supérieure à 10 mm 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_r 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_r . 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 situeront entre 2 et 10%

b) Sur un sol caractérisé par :

$$\begin{aligned} 200 \text{ l/s} &\leq Q_0 < 500 \text{ l/s} \\ 1 \text{ j} &< t_a < 5 \text{ j} \end{aligned}$$

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 :

$$\begin{aligned} t_a &< 1 \text{ jour} \\ q_0 &> 1.000 \text{ l/s} \end{aligned}$$

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 :

$$\begin{aligned} P &= 13,2 \text{ mm} \\ t_a &= 1 \text{ j} \\ Q_o &= 1.500 \text{ l/s} \end{aligned}$$

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 :

$$\begin{aligned} t_a &= 5 \text{ j} \\ Q_o &= 175 \text{ l/s} \end{aligned}$$

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 MOUMOUJJI. Ramenés à un volume ruisselé de 100.000 m³, ces diagrammes se classaient en 2 groupes :

- l'un dont les débits maximaux de l'ordre de 3,7 m³/s ne dépassaient pas 4 m³/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 m³/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 m³/s pour V_r = 100.000 m³)

Date de la crue	N° de crue	- 4h	- 3h	- 2h	- 1h	Q _M	+ 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:

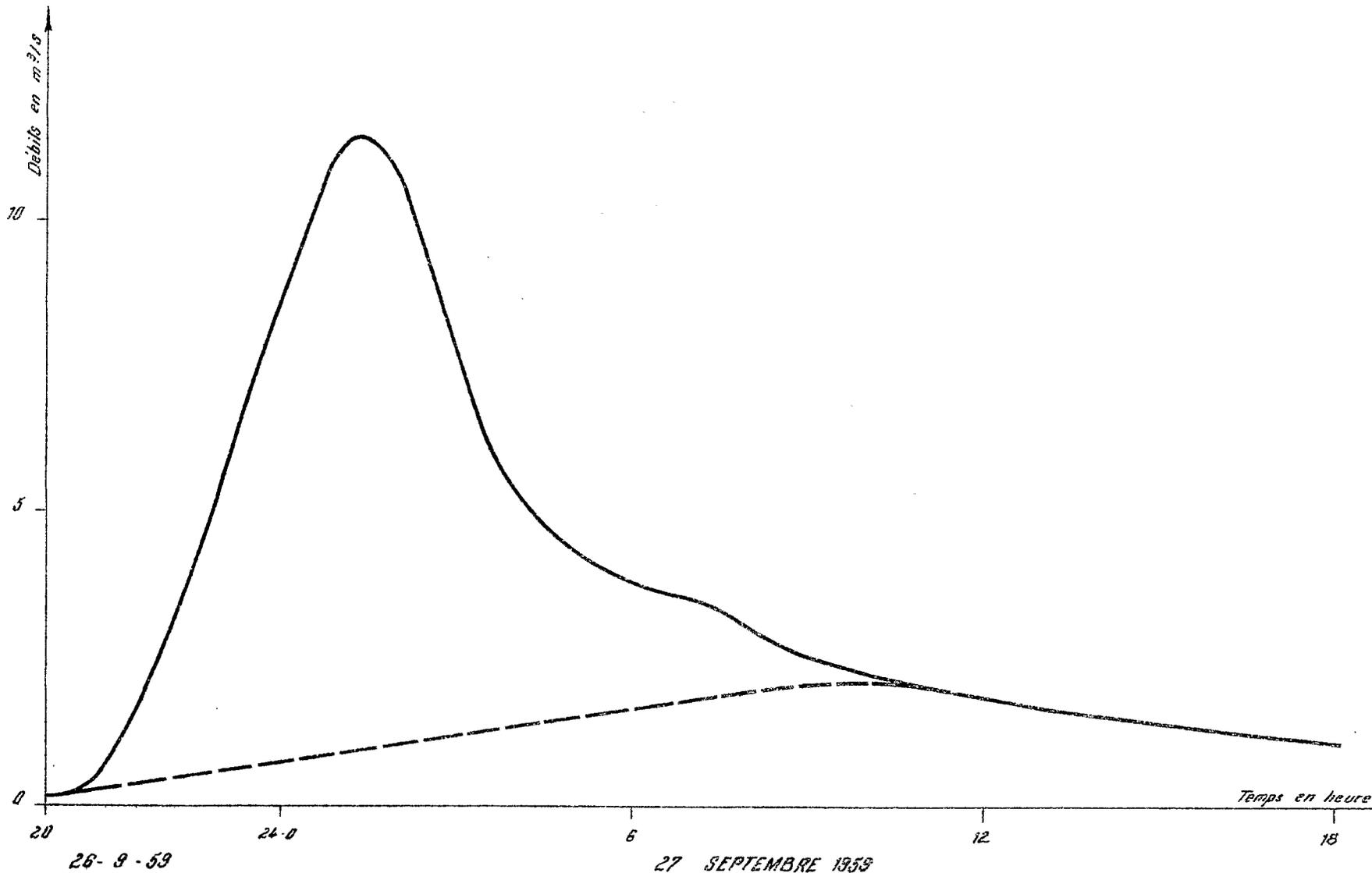
TUBE N°:

AO

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

BASSIN VERSANT DE LA LHOTO A MOUMOUDJI

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 lère 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 m³/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 m³/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 km²

Date	t _a : Jour	P _M : mm	K%	P : mm	P _u : mm	t _u : min.	V _r : 10 ³ m ³	K _r : %	K _{ru} : %	Q _o : m ³ /s	Q _M : m ³ /s	t _p : heures	t _m
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 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 m^3 .

Date de la crue:	-4h	-3h	-2h	-1h	- $\frac{1}{2}$ h	Q _M	+ $\frac{1}{2}$ h	+1h	+2h	+3h	+6h	+9h
	:m ³ /s:											
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 $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le débit maximal ; ce qui correspond à 420 l/s.km^2 pour une lame d'eau ruisselée de 10 mm.

Ce chiffre est inférieur à celui de la LHOTO (500 l/s.km^2). On se rappellera qu'en 1957 pour la LHOTO et BOHM-BOHM, on avait retenu 650 l/s.km^2 . 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.

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'égalée au produit des fréquences de la pluie et d'apparition des conditions de saturation favorables.

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

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

La méthode de calcul varie un peu, en ce sens que le débit maximal de l'hydrogramme type passe de 4,8 à 5 m³/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 m³/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 $t_a < 5$ 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 m³/s.

On retrouve un débit légèrement inférieur à celui de la plus forte crue observée (n° 17 en 1957) qui avait atteint 22 m³/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.km².

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 m³/s, auquel on ajoute 2 m³/s de débit de base.

La crue décennale est donc estimée à 19 m³/s, soit 1.450 à 1.500 l/s.km².

Pour l'averse annuelle, même processus :

- P_M = 75 mm avec K = 80 % d'où P = 60 mm
- Averse unitaire avec K_r = 20% d'où V_r = 156.000 m³

Le débit maximal de la crue annuelle, en admettant 1 m³/s d'apports souterrains, s'élève à 7,5 m³/s, soit 550 à 600 l/s.km².

La plus forte crue observée, pour une pluie de P_M = 87 mm qui n'avait pas trouvé un sol bien saturé (Q = 11 l/s et t = 9 jours) n'atteignait que 5,17 m³/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_M = 75 mm avec K = 80% d'où P = 60 mm
- Averse unitaire à K_r = 10% d'où V_r = 44.500 m³
- La crue annuelle avec 600 à 700 l/s d'apports souterrains, atteint 6 m³/s soit 800 l/s.km².

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 m³ et le débit maximal de crue annuelle atteint 6,5 m³/s, soit 550 l/s.km² environ.

La crue n° 17 du 4/8/57 est tout à fait comparable à cette estimation : Q_M = 6,3 m³/s après une pluie de P_M = 81 mm.

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

- 16 m³/s ou 2.150 l/s.km² sur la SOUSSOU
- 18 m³/s ou 1.500 l/s.km² 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 α 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 km²)

• Périodes •	• P _{mm} •	• V _e m ³ •	• L _e mm •	• D _e mm •	• K _e % •
• 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 m³ 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 MOUMOUJJI en 1957, et cela pour les mêmes raisons inhérentes à la composition des sols.

CHAPITRE VIII

CONCLUSIONS GENERALES

Nous allons essayer d'extraire de l'ensemble des rapports préliminaires relatifs aux bassins expérimentaux étudiés pour le compte de l'ancien service de l'Hydraulique de l'A.O.F., une première série d'enseignements concernant les débits de crues décennales des petits cours d'eau de cette partie de l'Afrique. Nous utiliserons également pour cette étude les résultats obtenus sur d'autres bassins versants situés ou non dans l'ancienne fédération de l'A.O.F.

Comme il a été fait dans l'étude présentée à la fin du rapport préliminaire de 1957, nous rapporterons sur un ensemble de tableaux les valeurs les plus probables des crues décennales, en fonction des caractéristiques physiques du bassin : pluviométrie, pente, sol, végétation, etc...

Comme pour le rapport de 1957, on trouvera 4 groupes principaux :

- zones désertique et sahélienne où les influences du sol et de la pente sont prépondérantes
- zone forestière où prédomine l'influence de la couverture végétale
- zone de savanes où ces diverses influences se combinent
- zone urbaine dont le caractère artificiel a des répercussions immédiates sur le ruissellement

La pente est indiquée de façon qualitative. La détermination de l'indice de pente pour l'ensemble des 27 bassins étudiés est une opération assez longue qui aurait risqué de retarder la diffusion du présent rapport.

Cependant, pour fixer les idées, nous donnerons ci-dessous le classement d'un certain nombre de bassins en regard des pentes longitudinales L mesurées sur le profil en long et de la valeur médiane des pentes transversales T entre ligne de partage des eaux et thalwegs.

<u>Pentes très fortes</u>	L supérieur à 5 %
BOULORE	L = 10 % T = 20 à 25 %
LOUE	L = 7 % T = 40 %
NION	L = 7,5 % (petit NION)
<u>Pentes fortes</u>	2 % < L < 5 %
KOURIEN DOULIEN	L = 2,2 % T = 15 à 20 %
BARLO	L = 2 % T = 4,5 %
LHOTO (SOUSSOU)	L = 2 % T = 7 à 10 %
NGOLA	L = 4 à 5 % T = 10 à 20 %
COMBA	L = 2 %
<u>Pentes assez fortes</u>	1 % < L < 2 %
KOUMBAKA II	L = 1 % T = 2 %
DOUNFING	L = 1,5 %
ABOU GOULEM	L = 1,1 % T = 4 %

<u>Pentes modérées</u>	$0,5 \% < L < 1 \%$
CAGARA ouest	L = 0,5 %
FLAKOHO	L = 0,6 % T = 2 %
TERO	L = 0,8 % T = 2,5 %
DIALABO	L = 0,6 %
<u>Pentes faibles</u>	L < 0,5
IFOU	L = 0,5 %
OUADI-KAOUN	L = 0,4 % T = 0,8 %
BIBANGA	L = 0,3 %

Dans le stade actuel de cette interprétation, il serait absolument illusoire de raffiner davantage sur la définition des pentes.

Comme en 1957, nous avons conservé une colonne unique Terrains superficiels, pour représenter le sol ou le sous-sol quand le sol est inexistant, nous avons montré en 1957 que cette façon de procéder n'entraînait pas d'inconvénient majeur.

Pour la végétation, nous nous rapprochons autant que possible de la classification de TROCHAIN, nous avons jugé inutile de préciser le type de couverture végétale pour les zones désertiques et sahéliennes. Cette couverture est assez peu dense. De l'isohyète annuelle 600 mm à l'isohyète 400 mm, il s'agit d'une savane armée ou du même type dont la densité est toujours faible ; sur la MAGGIA les pentes inférieures

et le fond des vallées sont couverts de cultures. A KOUMBAKA un cordon forestier notable borde le marigot à partir de la station II.

Les bassins de TIN ADJAR et de l'Oued ALI présentent déjà des caractéristiques steppiques.

Enfin, sur les bassins de BACHIKELE et de KOURIEN DOULIEN la végétation arbustive et herbacée est si clairsemée que son effet est presque nul sur le ruissellement.

La colonne suivante représente la hauteur de précipitation annuelle.

Nous avons porté également dans ce tableau la hauteur ponctuelle de l'averse décennale ; il s'agit généralement de valeurs provisoires déterminées de façon sommaire, puisque l'étude générale des précipitations n'a pas encore été effectuée.

On observera d'ailleurs à ce sujet que certains chiffres semblent ne pas concorder avec les valeurs données pour des latitudes voisines, ceci tient au fait que la précision avec laquelle ont été déterminés ces chiffres est très inégale d'un bassin à l'autre, les plus mauvaises estimations pouvant être affectées ultérieurement de corrections de l'ordre de 10%. Ces corrections seront effectuées après les études générales de fortes averses qui seront entreprises prochainement.

Comme précédemment, tous les bassins ont été ramenés à 25 km², ce qui n'entraîne pas, en général, de correction importante, ainsi que nous l'avons déjà expliqué dans les rapports précédents, en reprenant les mêmes réserves sur la dégradation hydrographique des bassins désertiques. On remarquera sur ce tableau que de nombreuses valeurs du débit de crue restent inchangées mais que, par contre, certaines ont dû subir des corrections notables à la suite des dernières campagnes d'observations et des études partielles d'averses décennales.

I - Zones désertiques et sahéliennes :

a) Les pentes en zone désertique sont souvent dépourvues de sol. La roche est alors à nu, tantôt en dalles lisses et recouvertes parfois du vernis noir caractéristique de ce climat, tantôt fissurée.

La perméabilité de la roche elle-même est dominante.

Le rôle de la pente est difficile à définir, il ne semble pas que ce soit la pente des arêtes rocheuses limitant ou compartimentant le bassin qui importe, mais surtout la pente des zones recouvertes par les produits de décomposition au pied de ces arêtes. La dégradation hydrographique est rapide dès que la pente de la vallée diminue par suite :

- de l'accumulation de matériaux perméables transportés
- de la faible hauteur des berges
- de la brièveté et de la rareté des crues.

L'écoulement cesse alors rapidement à moins que de petits affluents ne viennent alimenter le lit principal, cas assez fréquent dans certaines zones de l'AIR ou du TIBESTI.

Bien entendu, n'ont été étudiés que les massifs donnant lieu à ruissellement. Il existe d'immenses étendues où le sol perméable et la faible pente interdisent tout ruissellement, si ce n'est sous la forme de ruisselets atteignant au maximum quelques dizaines de mètres de longueur et qui coulent une fois par an ou tous les deux ou trois ans. Mais de façon générale, dès que la pente est nette et le sol pas trop perméable, il y a ruissellement même pour des pluies de quelques mm par suite :

- de l'absence de sol
- de l'absence de végétation
- de la forte intensité des averses.

Aux quatre exemples du rapport 1957, nous ajouterons les données plutôt qualitatives recueillies sur le bassin secondaire de DIONABA.

CRUES DECENNALES SUR QUELQUES BASSINS D'AFRIQUE OCCIDENTALE

I - Zones désertiques et sahéliennes (A = 25 km²)

Bassin	Régime hydrologique	Pente	Terrains superficiels	Précipitation annuelle mm	Pluie décennale : ponctuelle mm	Crue décennale l/s.km ²
KOURIEN-DOULIEN	désertique	forte	grès imperméable	100	50	5.000 à 7.000
BACHIKELE	désertique	forte	grès imperméable	150 à 200	56	7.000 à 9.000
OUED ALI	subdésertique	assez forte	grès imperméable	230	82	4.500 à 5.500
TIN-ADJAR	subdésertique	modérée (1)	quartzite+argile imperméable	300	95	3.500
DIONABA secondaire	subdésertique	modérée	schistes décomposés légèrement perméables	300	92	800 à 1.000
CAGARA Est	sahélien	très faible	argile imperméable	450	95	1.500
CAGARA Ouest	sahélien	modérée	lég ^t perméable sur granit	450	93	3.000
OUADI-KAOUN	sahélien	faible	perméable	500	86	800 à 1.200
OUADI ABOU GOULEM	sahélien	assez forte	assez perméable	500	86	3.500
MAGGIA	sahélien	assez forte	argile imperméable + latérite	520	85	6.000 à 7.000
KOUMBAKA	sahélien	assez forte	grès imperméable	600	100	8.000 à 10.000

(1) La chaîne des quartzites assez perméable n'est pas comprise dans l'évaluation de la pente.

II - Zones de savane (A = 25 km²)

Bassin	Régime hydrologique	Pente	Terrains superficiels	Végétation	Précipitation annuelle mm	Pluie décennale ponctuelle mm	Crue décennale l/s.km ²
BOULORE	tropical	très forte	argile imperméable	savane mixte clairsemée	800	120	8.000 à 10.000
BARLO	tropical	forte	décomposition de granit perméable	savane mixte clairsemée	800	107	4.000 à 5.000
DOUNFING	tropical	assez forte	latérite très perméable	savane claire guinéenne	1.000	120	1.500 à 1.800
FLAKOHO	tropical de transition	modérée	latérite perméable	savane guinéenne	1.350	135	1.600 à 2.000
TERO	tropical de transition	modérée	latérite perméable	savane guinéenne	1.350	135	1.200 à 1.500
DIALABO	tropical de transition	modérée	latérite perméable	savane guinéenne dégradée	1.700	140	1.100 à 1.200
MAYONKOURE	tropical de transition	forte	grès assez perméable	savane boisée	2.100	160	2.000
NGOIA	tropical de transition	forte	sables très perméables	savane boisée dense	1.600	140	400 à 500
COMBA	équatorial	forte	argile imperméable	pseudo-steppe	1.400	130	4.500 à 5.500
LHOTO	dahoméen	forte	arènes très perméables	savane boisée dense	1.150	130	1.000 à 1.200
KOLOMANDJE	dahoméen	modérée	latérite perméable	savane boisée	1.150	130	1.200 à 1.400
Plateaux Batékés	équatorial	modérée	sols extrêmement perméables	pseudo steppe	1.500	130	60

III - Zones forestières (A = 25 km²)

Bassin	Régime hydrologique	Pente	Terrains superficiels	Végétation	Précipitation annuelle mm	Pluie décennale ponctuelle mm	Crue décennale l/s.km ²
IFOU	équatorial	faible	soils ferrallitiques perméables	forêt dégradée	1.200	150	400 à 600
BIBANGA	équatorial	faible	soils ferrallitiques assez perméables	forêt	1.800	130	200 à 300
LEYOU	équatorial	forte	soils ferrallitiques assez perméables	forêt	1.800	130	600 à 800
LOUE	tropical de transition	très forte	perméabilité moyenne	forêt	2.200	200	1.500 à 2.000
NION	tropical de transition	très forte	perméabilité moyenne	forêt très dégradée	1.800	175	1.200 à 1.800
SITOU	équatorial	assez forte	perméabilité faible	forêt très dégradée	1.700	160	2.100 à 2.300
BAFO	équatorial	assez forte	perméabilité faible	forêt moins dégradée	1.700	160	1.400 à 1.700

IV - Zones urbaines

Bassin	Régime hydrologique	Pente	Terrains superficiels	Végétation	Précipitation annuelle mm	Pluie décennale ponctuelle mm	Crue décennale l/s.km ²
BRAZZAVILLE	équatorial	assez forte	sables imperméables	citée africaine	1.500	150	4.000 à 6.000
TOHINOUKA	équatorial	faible	sables semi-perméables	moitié citée africaine, moitié savane	1.250	160	300 à 500
HAUTE SONGOLO	équatorial	assez forte	sables très perméables	peu d'habitation, savane	1.250	160	50

Les deux premiers bassins sont dans l'ENNEDI sur des grès du TASSILI. La différence de crue décennale provient de la hauteur de pluie décennale un peu plus faible à KOURIEN-DOULIEN. Peut-être ce dernier bassin est-il un peu plus perméable. On voit par cet exemple que la crue décennale est tout à fait comparable à celle des bassins sahéliens ou soudaniens qui ruissellent le plus, tels que KOUMBAKA et le BOULORE, malgré des hauteurs de précipitations annuelles 5 à 10 fois plus faibles et des hauteurs de précipitations décennales deux fois plus faibles.

A l'Oued ALI, dans le TAGANT (Mauritanie), la pente est plus faible et il y a un peu de sol, ce qui explique des chiffres plus faibles : 4.500 à 5.500 l/s.km².

A TIN-ADJAR la pente moyenne est encore plus faible et une partie du bassin est plus perméable, surtout la quartzite qui représente pourtant la zone à plus forte pente d'où 3.500 l/s.km² pour le bassin réduit, 2.000 si l'on considère le bassin dans son ensemble malgré une averse décennale de 95 mm au lieu de 50 à 60.

Si au lieu de grès on a affaire à des roches granitiques ou à des schistes cristallins, on peut retrouver des débits de crues comparables, c'est ce que nous avons trouvé dans l'AIR, par exemple, malheureusement les bassins étudiés étaient trop petits pour en déduire des valeurs quantitatives valables pour 25 km².

Mais, si en terrain granitique ou sur les schistes cristallins, la pente s'atténue et les produits de décomposition sont perméables, on arrive aux résultats de DIONABA dans le BRAKNA (Mauritanie) 800 à 1.000 l/s.km², valeur souvent rencontrée pour les bassins les plus perméables des zones sahéliennes en terrains granitiques.

Bien entendu, si la perméabilité augmente encore, la crue décennale peut tomber bien en-dessous de 1.000 l/s.km².

b) La zone sahélienne est représentée par 6 séries de bassins. De façon générale, l'averse décennale est la même, de 85 à 95 mm, aussi la hauteur de précipitation annuelle est ici absolument sans influence sur la crue décennale, alors qu'elle jouait très légèrement dans la catégorie précédente.

La pente exerce une certaine influence difficile à démêler de celle du sol dans les 6 exemples étudiés. Cependant, la comparaison de l'Ouadi KAOUN et de l'Ouadi ABOU GOULEM est assez instructive à ce sujet, surtout si on rapproche ces exemples de celui de DIONABA examiné dans la catégorie précédente.

Le sol est le facteur essentiel : il semblerait invraisemblable qu'un terrain ayant les mêmes pentes que CAGARA Est (qui est un marécage de reg argileux en période de grosse averse) et le même sol que l'Ouadi KAOUN, puisse ruisseler, alors que grâce à son sol imperméable CAGARA Est admet une crue décennale de 1.500 l/s.km², ceci prouve qu'il est bon d'apporter le plus grand soin à l'étude de ces bassins imperméables qui peuvent apporter des surprises même avec des pentes dérisoires. La MAGGIA et KOUMBAKA constituent presque les possibilités maximales de cette zone sahélienne : 8.000 à 10.000 l/s.km² sur argile ou grès à forte pente à comparer aux régions nord de la zone tropicale tel que le BOULORE qui ne reçoit que 200 mm de plus par an.

L'action directe de la couverture végétale est peu sensible sur la valeur des débits de crue exceptionnelle. La végétation n'exerce son influence qu'en fin d'hivernage quand les herbes amorcent leur poussée brutale avant la floraison. Elle joue alors un rôle secondaire de frein vis à vis du ruissellement des dernières tornades. Evidemment, nous avons toujours supposé que l'averse décennale survenait au début ou au milieu de la période des pluies.

II - Zone de savane

On range dans cette catégorie des savanes guinéennes ou soudaniennes plus ou moins arbustives, et les savanes équatoriales du MOYEN-CONGO (COMBA) qui sont des pseudo-steppes pas plus protégées par la végétation que le bassin du BOULORE.

Les savanes guinéennes offrent une protection déjà plus efficace, surtout la savane de la NGOLA. La végétation prend en effet, dans ce cas, un rôle important quand la pluviométrie est suffisante pour lui permettre de se développer, tant sous forme graminée qu'arbustive. La bande pluviométrique intéressée est vaste puisqu'elle va de 800 mm à 2.100 mm, à la limite de la forêt.

Contrairement à ce qu'on observe en zone sahélienne, l'action de la végétation est presque permanente (sauf dans certaines zones, tout au début de la saison des pluies). Les arbres et arbustes couvrent toujours le sol plus ou moins, sauf dans le cas des pseudo-steppes, du MOYEN-CONGO par exemple. L'action de la strate herbacée est comparable à celle qu'on observe en fin d'hivernage en climat sahélien, mais elle est plus intense.

Le sol est très souvent soumis à la latérisation générale, ce qui tend à accroître considérablement la perméabilité.

Nous avons retenu douze bassins pour cette analyse. Trois bassins donnent lieu à un fort ruissellement, par suite d'une couverture végétale de faible densité, de l'absence de cuirasse latéritique et de la forte pente : on trouve les débits de crues décennales suivants :

- 8 à 10.000 l/s.km² pour le BOULORE ou nord CAMEROUN qui semble cumuler tous les facteurs favorables au ruissellement, mais il n'est pas impossible de rencontrer des bassins donnant des chiffres un peu plus élevés, nous en avons des exemples au nord CAMEROUN

- 4.500 à 5.500 l/s.km² sur la COMBA dans la pseudo-steppe du bassin Congolais, cette forme de couverture végétale où les arbustes sont rares n'offre qu'une très faible protection. Les terrains y sont imperméables, la pente générale est cependant moins forte qu'au BOULORE. Comme pour le cas précédent, il n'est pas impossible de trouver des bassins de ce genre en Afrique Occidentale
- 4.000 à 5.000 l/s.km² sur le bassin du BARLO qui, comme le BOULORE, est situé à la limite de la zone sahélienne et de la zone soudanienne, donc avec une faible couverture végétale, mais le terrain est dans l'ensemble plus perméable que dans le cas des deux bassins précédents. Des bassins de ce genre existent en Afrique Occidentale.

Les bassins du MAYONKOURE font la transition avec les terrains latéritiques typiques. La couverture végétale est notable, le sol assez perméable, mais la pente forte, le débit de crue atteint encore 2.000 l/s.km².

Le ruissellement diminue pour les bassins latéritiques du DOUNFING, du FLAKOHO, de la TERO, du DIALABO et de la KOLOMANDJE, les trois derniers étant les plus classiques. Le DOUNFING a une couverture végétale plus clairsemée, mais la carapace est en bien plus mauvais état et beaucoup plus perméable.

La couverture végétale et la perméabilité des sols se cumulent pour donner lieu à des débits de crue assez faibles compris entre 1.000 à 2.000 l/s.km². Ils varient entre ces limites suivant la pente dont le rôle ne semble pas primordial et la perméabilité des terrains, en particulier la plus ou moins grande proportion des sols hydromorphes qui deviennent vite imperméables. Ces débits sont un peu plus élevés qu'on ne le pensait en 1958.

On avait pensé trouver sur un affluent de la LHOTO un ruissellement plus important dû à un relief accentué et un sol non latéritisé. Mais les produits de décomposition du granit dans cette zone climatique sont très perméables et en définitive les débits de crue ne sont pas plus élevés que dans les terrains latéritiques, la forte pente étant largement

compensée par la perméabilité des éboulis et des arènes granitiques.

Il est intéressant de comparer les résultats de cette fraction du bassin de la LHOTO à ceux du BARLO, de nature géologique semblable. L'analyse détaillée des observations montre de nombreuses analogies, mais trois facteurs interviennent pour donner sur le BARLO des crues plus fortes :

- la végétation plus septentrionale et beaucoup moins dense
- l'évolution naturelle des sols sous un climat différent (tropical) donne lieu par endroit à des zones peu perméables
- enfin les pluies beaucoup plus rapprochées dans le climat tropical que dans le climat dahoméen, conduisent beaucoup plus fréquemment à la saturation du sol, difficile à atteindre dans le sud du DAHOMEY.

Le débit de crue décennal peut, dans certains cas, descendre nettement en-dessous de 1.000 l/s.km². La NGOLA en République Centrafricaine nous donne en quelque sorte une limite inférieure avec 400 à 500 l/s.km², mais le terrain est encore plus perméable qu'en zone latéritique et la couverture végétale presque aussi efficace que la forêt.

Bien entendu, tous ces chiffres sont valables pour des pentes longitudinales supérieures à 0,5%. Pour des terrains plus plats les débits de crues décennales s'abaissent nettement au-dessous de 1.000 l/s.km², même si la végétation n'est pas très dense ou si le sol n'est pas particulièrement perméable.

Enfin, à titre indicatif, nous donnons le chiffre qui a été estimé pour les sables particulièrement perméables des plateaux batékés : 60 l/s.km². Il n'est pas sûr qu'il existe des régions sablonneuses comparables en Afrique Occidentale.

III - Zones forestières

La couverture forestière pour ces bassins n'est pas obligatoirement constituée par de la forêt. Dans le cas des bassins du NION, par exemple, la forêt classique n'est plus qu'un souvenir, mais elle est remplacée par une brousse secondaire offrant un freinage efficace au ruissellement ou par des cultures qui, évidemment, protègent nettement moins le sol, surtout si elles sont intensives.

L'influence de la couverture forestière n'est prépondérante que dans une certaine gamme de pentes et de perméabilité.

Sur les bassins de l'IFOU, de la BIBANGA et du LEYOU, la pente ou la perméabilité ont une action non négligeable, on le voit par les valeurs plus faibles pour la BIBANGA et l'IFOU, mais cette action ne conduit pas à de très fortes différences.

On voit que dans ces cas très courants les débits de crue décennale de forêt sont probablement compris entre 300 et 800 l/s.km², chiffres très inférieurs à ceux que nous avons trouvés en savane.

Mais si la pente devient très forte, l'effet de freinage de la végétation est insuffisant et même en terrain perméable les débits de crue décennale peuvent atteindre 2.000 l/s.km² ; n'oublions pas cependant qu'en climat soudanien par exemple, avec des pentes qui sont supérieures à celle du BOULORE et une averse de 200 mm, le débit de crue atteindrait peut-être 15.000 l/s.km².

Si, d'autre part, la perméabilité devient très faible par suite de la présence de sols hydromorphes sur la majeure partie du bassin : cas du SITOU et du BAFO, le débit de crue peut s'élever jusqu'à 1.500 à 2.300 l/s.km². Il y aurait le plus grand intérêt à rechercher quelle est l'extension en COTE d'IVOIRE de terrains de ce genre, car si la pente d'un bassin est un facteur dont on peut immédiatement juger de l'importance, pouvoir juger immédiatement de la nature des sols de l'ensemble est une opération beaucoup plus subtile. On ne doit pas oublier, par exemple, que la perméabilité de sol argileux est liée

beaucoup moins à la teneur en argile qu'à la structure du sol. Or, si le sol devient très imperméable, le débit de crue peut être multiplié par 2 ou 3 en forêt.

Bien entendu, ne sont pas compris dans cette étude des sols à perméabilité exceptionnelle, par exemple des terrains entièrement sableux pour lesquels le débit de crue décennale serait probablement inférieur à 300 l/s.km².

IV - Zones urbaines

Nous n'avons pas effectué en Afrique Occidentale d'étude sur des bassins urbains, mais les observations faites au Moyen CONGO à BRAZZAVILLE et POINTE NOIRE sont fort intéressantes, car le sol à l'état naturel est extrêmement perméable, de sorte que l'effet de l'influence humaine est encore beaucoup plus sensible qu'elle ne le serait pour la plupart des grandes villes d'Afrique Occidentale.

L'influence humaine arrive à rendre imperméable des sols sableux très perméables. La progression est stupéfiante entre :

- la Haute SONGOLO où la forte perméabilité des sables n'est pas modifiée par un habitat très dispersé, ce qui conduit à une crue décennale dérisoire de 60 l/s.km^2 (1)

- la TCHINOUKA, à moitié urbanisée sur même terrain, peut donner des crues décennales 8 à 10 fois supérieures : 300 à 500 l/s.km^2

- BRAZZAVILLE où la pente associée au degré d'urbanisation élevé d'une cité africaine (pratiquement sans revêtement cimenté ou bitumeux) conduit à des débits spécifiques élevés de 4.000 à 6.000 l/s.km^2 . Ce chiffre ne doit pas subir de très fortes augmentations si l'on part de terrains naturels moins perméables.

Cette revue des données que nous possédons sur les bassins de 25 km^2 montre une large gamme de variation entre 60 et peut-être plus de 10.000 l/s.km^2 . Nous ne prétendons pas avoir prospecté tous les types de bassins, mais il semble peu probable qu'on trouve des valeurs de maxima ou minima en dehors des limites 60 l/s.km^2 - 15.000 l/s.km^2 , ce dernier chiffre nous rapproche des valeurs élevées trouvées dans les pays

(1) l'averse décennale n'est pas l'averse du littoral, nous avons, pour faciliter les comparaisons, pris l'averse de l'intérieur qui n'atteint que 160 mm au lieu de 200 mm environ.

à cyclone, mais ils restent cependant loin derrière les maxima mondiaux : 50.000 l/s.km² par exemple à la REUNION et peut-être plus en certaines régions du globe.

Nous avons souvent cherché au cours de ces études les régions ruisselant le plus. La moyenne des bassins de 25 km² en savane doit présenter des débits de crues entre 1.000 et 2.000 l/s.km², ce qui est très raisonnable et entre 400 et 500 l/s.km² en forêt, ce qui est encore mieux ; mais il existe un certain nombre de cas assez courants où la forte pente, l'imperméabilité du sol et l'absence de végétation peuvent donner lieu à des débits beaucoup plus élevés et surprendre le technicien, les exemples donnés en forêt sont les plus frappants.

Il serait souhaitable d'étendre ces recherches à des bassins de superficie plus faible ou plus grande. C'était là une seconde étape qui devait succéder à la présente étude de bassins expérimentaux. Les études systématiques prévues n'ont pas pu être entreprises. Cependant, à l'occasion de la première phase et d'études particulières, il a été possible de rassembler certaines données qui ne sont pas dépourvues d'intérêt. Nous avons donc établi :

- d'une part, deux tableaux présentant les valeurs de crues décennales pour des bassins de 5 et de 100 km² à partir d'observations effectuées sur des bassins de superficie du même ordre de grandeur
- d'autre part, pour certaines régions, la série de débits spécifiques de crues décennales décroissant avec les diverses valeurs de la superficie

Les chiffres donnés dans le tableau correspondant à A = 100 km² n'ont pas en général la valeur de ceux présentés dans les tableaux précédents :

CRUES DECENNALES SUR QUELQUES BASSINS D'AFRIQUE OCCIDENTALE

A = 5 km²

Bassin	Régime hydrologique	Pente	Terrains superficiels	Précipitation annuelle mm	Pluie décennale ponctuelle mm	Crue décennale l/s.km ²
IN TIZIOUEN	désertique	très forte	granit et ses produits de décomposition assez imperméables	170	50	12.000 à 14.000
KERENG	tropical	assez forte	schistes cristallins + sol peu perméable	800 (1)	110	15.000 à 20.000
BOULORE	tropical	très forte	argile imperméable	800 (1)		12.000 à 15.000
MAKABANA	équatorial	forte	sol argileux imperméable	1.200 (2)	130	7.000
LEYOU	équatorial	forte	sol ferrallitique assez perméable	1.800 (3)	130	1.100 à 1.400

(1) végétation : savane arbustive claire

(2) végétation : pseudo-steppe

(3) végétation : forêt

CRUES DECENNALES SUR QUELQUES BASSINS D'AFRIQUE OCCIDENTALE

A = 100 km²

Bassin	Régime hydrologique	Pente	Terrains superficiels	Végétation	Précipitation annuelle mm	Pluie décennale ponctuelle mm	Crue décennale l/s.km ²
DIONABA	subdésert.	modérée	schistes cristallins, perméables moy.	savane arborée très claire	300	92	500 ?
KAOUN	sahélien	faible	perméable	savane arborée	500	86	200 à 400
ABOUGOULEM	sahélien	modérée	assez perméable	savane arborée	500	86	1.800 à 2.000
MAGGIA	sahélien	assez forte	argile imperméable + latérite	savane arborée + culture	520	85	2.000 à 3.000
KOUMBAKA I	sahélien	assez forte	grès imperméable + latérite	"	600	100	1.200 à 1.400
FARAKO	tropical	assez forte	latérite + alluvions sablo-argileuses	savane soudanaise	1.230	125	1.000 à 1.500
TIEMORO	tropical de transition	modérée	latérite perméable	savane guinéenne dégradée	1.700	140	700 à 800
MAYONKOURE	"	forte	grès assez perméable	savane boisée	2.100	160	1.650
LHOTO	dahoméen	modérée	latérite + arènes perméables	savane boisée + cultures	1.150	130	1.000
NION	tropical de transition	assez forte	perméabilité moyenne	forêt très dégradée	1.800	175	500
IFOU	équatorial	faible	sols ferrallitiques perméables	forêt dégradée	1.200	150	200 à 300
MANSO	équatorial	modérée	perméabilité faible	forêt	1.700	160	1.000

- Pour DIONABA, le FARAKO, l'IFOU, le MANSO, la durée des observations est bien courte pour calculer le débit de crue décennale
- Pour l'Ouadi KAOUN, l'Ouadi ABOUGOULEM, la MAGGIA, le TIEMORO, la LHOTO, les données brutes proviennent de bassins de 50 km² environ et la correction pour passer à un bassin de 100 km² est délicate.

Il faut considérer ces chiffres comme des ordres de grandeur, sauf pour deux ou trois d'entre eux dont KOUMBAKA I par exemple pour lequel la crue décennale a été effectivement observée.

Dans certains cas, on a estimé le débit de crue décennale pour diverses valeurs de la superficie en supposant que les bassins restent homogènes.

I - Cas de la savane boisée sur grès, du MAYONKOURE

pour 10 km ²	2.500 l/s.km ²
25 km ²	2.100 l/s.km ²
100 km ²	1.650 l/s.km ²
500 km ²	750 l/s.km ²

II - En zone forestière humide à pente notable sur sol ferrallitique assez perméable on aboutirait aux débits spécifiques suivants :

10 km ²	1.000 à 1.200 l/s.km ²
25 km ²	600 à 800 l/s.km ²
100 km ²	300 à 400 l/s.km ²
500 km ²	150 à 300 l/s.km ²

L'examen du premier tableau montre une majoration notable des débits spécifiques entre 25 km² et 5 km², même dans le cas des régions forestières à forte pente. Les chiffres sont très comparables entre régions subdésertiques sahéliennes et soudanaises si le sol est peu perméable et la pente forte, malgré les hauteurs différentes des averses décennales ; ceci tient à l'absence de sol sur les bassins désertiques étudiés. On constate incidemment que certains bassins granitiques du désert (IN TIZIOUEN dans

l'AIR) ruissellent autant que les bassins gréseux du TAGANT ou de l'ENNEDI. Ceci est d'ailleurs confirmé par l'étude des divers cours d'eau de la région d'AGADES.

Dans le même ordre d'idées, les résultats obtenus sur les bassins de MAKABANA confirment ceux du bassin de la COMBA sur les possibilités de ruissellement de la pseudo-steppe.

Malheureusement, ce premier tableau est très incomplet : de nombreux bassins, sahéliens, guinéens et forestiers supplémentaires seraient bien nécessaires, d'autant plus que les 5 bassins qui y figurent correspondent tous, chacun dans leur catégorie, à des valeurs très élevées du ruissellement, avec une gamme plus complète on verrait beaucoup mieux que l'éventail des débits spécifiques est encore plus large pour 5 km^2 que pour 25 km^2 . Ce fait résulte de l'allure du réseau des courbes tout à fait théoriques représentant pour chaque type de bassin le débit spécifique de crue décennale, en fonction de la superficie du bassin.

Inversement, nous allons voir que pour le tableau correspondant à 100 km^2 les débits obtenus sont compris entre deux limites beaucoup plus resserrées que pour 25 km^2 : peut-être 200 à 5.000 au lieu de 200 à 12.000 (nous mettons à part les sables très perméables).

On relève dans ce tableau peu de débits spécifiques élevés pour les bassins sahélien et sub-désertique : en effet entre 25 km^2 et 100 km^2 le réseau hydrographique se dégrade.

L'Oued ALI et le marigot de TIN ADJAR, par exemple, se perdent dans des mares bien avant que le bassin atteigne 100 km^2 . Mais cependant dans certaines régions sahéliennes et même subdésertiques comme l'AIR, la dégradation hydrographique est encore peu marquée pour des bassins de 100 km^2 , les valeurs des crues décennales dépassent facilement celles de DIONABA et de l'Ouadi KAOUN et même probablement celles des petits affluents de la MAGGIA, comme le guébé de SABONGA qui figure à la 4ème ligne. Citons parmi les régions que nous connaissons : le versant sud-ouest de l'AIR (tributaires du TELOUA et de l'ANOU MAKAREN) et les montagnes du Nord CAMEROUN à la limite des régions sahéliennes et soudaniennes.

Mais de façon plus générale, si la dégradation n'est pas trop accentuée et le relief notable, on doit trouver en zone sahélienne dans les cas les plus fréquents, des chiffres comparables à ceux du Ouadi ABOU GOULEM ou du marigot de KOUMBAKA.

Dans les régions soudanienne et guinéenne classiques, avec pente modérée ou assez forte, il semble bien que l'on doive compter entre 700 et 1.500 l/s.km², on voit que la variation de débits spécifiques entre 25 et 100 km² est nettement moins forte que dans les régions sahéliennes et subdésertiques, ce qui s'explique facilement d'ailleurs.

La différence doit être encore moins grande en région forestière, sauf dans des cas particuliers, comme celui du NION où la pente diminue très vite entre le bassin supérieur utilisé dans les premiers tableaux et le grand bassin qui a été utilisé pour le dernier tableau.

De façon générale, la différence entre débits de crues spécifiques pour bassin de 5 km² et 100 km² est d'autant plus grande que le ruissellement rencontre moins d'obstacles.

A l'opposé, le cas extrême est celui des plateaux batékés où le débit de crue décennale est de 60 l/s.km² pour 25 km² et 35 l/s.km² pour 8 à 10.000 km².

Nous croyons nécessaire pour l'utilisation de ces données de reprendre les recommandations du rapport de 1957 (Tome III) :

Tels qu'ils sont dressés, nos tableaux ne prétendent pas être parfaits et ne permettent pas de fournir le débit de crue décennale pour n'importe quel bassin. En fait, un certain nombre de constatations restrictives s'imposent, pour empêcher un emploi systématique des tableaux :

a) les coefficients de ruissellement ne sont pas donnés, parce que difficiles à manier avec précision quand on passe d'un bassin à un autre, sous un même climat

b) dès qu'un bassin dépasse 25 km^2 , il faut être extrêmement attentif à l'hétérogénéité des caractères physiques presque inévitables. Des erreurs de 1 à 5 pourraient être faites par exemple en extrapolant les débits du haut bassin de KOUIMBAKA à celui de 70 km^2 , qui englobe à l'aval des zones basses et perméables. A l'inverse, sous forêt congolaise, on a sous-estimé la crue de la LEGALA (175 km^2) par comparaison avec la BIBANGA (25 km^2), parce qu'on avait négligé quelques affluents proches de l'exutoire dont le régime était celui du LEYOU (plus forte pente).

c) Il ne faut donc utiliser les données de ce tableau, à savoir les débits spécifiques de crue, que pour des bassins homogènes à réseaux hydrographiques comparables et surfaces voisines de 25 km^2 (15 à 40 km^2 environ). L'étude de bassins hétérogènes, tant en ce qui concerne la variation des pentes que celle des perméabilités, nécessite l'intervention d'un hydrologue confirmé et d'un pédologue, car il s'agit d'un travail délicat, où les erreurs peuvent être énormes si l'on s'en tient à la lecture des cartes.

Quoi qu'il en soit, lorsque nous aurons établi des tableaux plus complets dans le rapport de Synthèse Générale qui fera suite à ces rapports préliminaires, ces données ne permettront jamais, sauf dans des cas très faciles, de prévoir la crue décennale d'un bassin donné, par simple calcul en appliquant une formule quelconque.

La présence d'un spécialiste restera nécessaire pour résoudre les cas particuliers, mais alors une courte reconnaissance sur le terrain de quelques jours suffira, ce qui constitue malgré tout une remarquable économie, en regard du coût actuel de plusieurs millions CFA, nécessité par une simple campagne de saison des pluies.