

RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

SERVICE DE L'HYDRAULIQUE

Étude Hydrologique de petits bassins versants en
CÔTE D'IVOIRE

RAPPORT GÉNÉRAL

TOME 2 - Zone de Savane

par

Mr. P. Dubreuil

MAITRE DE RECHERCHES A L'O.R.S.T.O.M.

O.R.S.T.O.M
SERVICE HYDROLOGIQUE

JANVIER 1960

REPUBLIQUE de COTE d'IVOIRE

MINISTERE des TRAVAUX PUBLICS

SERVICE de l'HYDRAULIQUE

ETUDES HYDROLOGIQUES de PETITS BASSINS VERSANTS
en COTE d'IVOIRE

Rapport Général

TOME II - Zone de savane

par

P. DUBREUIL
Maître de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

Service Hydrologique

Mai 1960
-

S O M M A I R E

		<u>pages</u>
Chapitre V	- Observations effectuées sur le bassin versant du KAN près de BOUAKE	1
Chapitre VI	- Observations effectuées sur les bassins du FLAKOHO (région de FERKESSEDOUGOU)	45
Chapitre VII	- Observations effectuées sur le bassin de la BINAWA à TOUMODI	100
Chapitre VIII	- Essai de synthèse des résultats obtenus en zone de savane	128
	CONCLUSION	141

CHAPITRE V

OBSERVATIONS EFFECTUEES SUR LE BASSIN VERSANT DU KAN près de BOUAKE

Introduction

L'étude du petit bassin versant du KAN a été effectuée en vue du calcul du bilan hydrologique de ce marigot sur lequel doit être construit un ouvrage de retenue pour l'alimentation en eau de la ville de BOUAKE.

Le choix de cet emplacement de la retenue s'est imposé pour diverses raisons :

- la proximité de BOUAKE d'où une réduction appréciable de la longueur de la conduite d'amenée
- la retenue permet, outre l'alimentation de la ville, d'approvisionner la station de pisciculture de KOKONDEKRO, située 1 km,500 aval
- la zone inondable ne recouvrira que des terrains dont l'expropriation ne pose pas de problèmes
- un site de barrage dont les conditions d'utilisation sont favorables a été décelé sur ce marigot.

Nous apporterons, au cours de ce chapitre, quelques modifications au plan généralement suivi dans les chapitres précédents.

En plus des résultats que dégage l'interprétation des averses et crues observées et des estimations de crues annuelle et décennale, l'importance de l'ouvrage à réaliser et l'urgence de sa mise en chantier ont conduit l'arrondissement Hydraulique à nous demander des renseignements complémentaires.

Il s'agit d'estimer :

- le débit maximal de la crue cinquantenaire
- les coefficients d'écoulement annuels (semestriels et mensuels, si possible) de chacune des années antérieures pour lesquelles est connue la pluviométrie à BOUAKE.

Ces renseignements, déjà fournis par lettres, sont inclus dans ce rapport définitif sur les observations effectuées en 1959.

A.- DESCRIPTION SOMMAIRE DU BASSIN

A.1 - Situation

Le bassin versant du KAN ayant pour limite Nord la voie de chemin de fer qui traverse la ville de BOUAKE, s'étend au Sud et à l'Ouest de celle-ci entre 05° 01' et 05° 05' de longitude Ouest et 07° 38' et 07° 41' de latitude Nord.

La superficie du bassin a pu être déterminée avec une assez grande précision grâce aux photos aériennes et aux reconnaissances complémentaires faites sur le terrain.

Le bassin drainé par le KAN correspond à une superficie de $24,5 \text{ km}^2$ à la station de jaugeage de KOKONDEKRO et de $18,7 \text{ km}^2$ au site du barrage projeté.

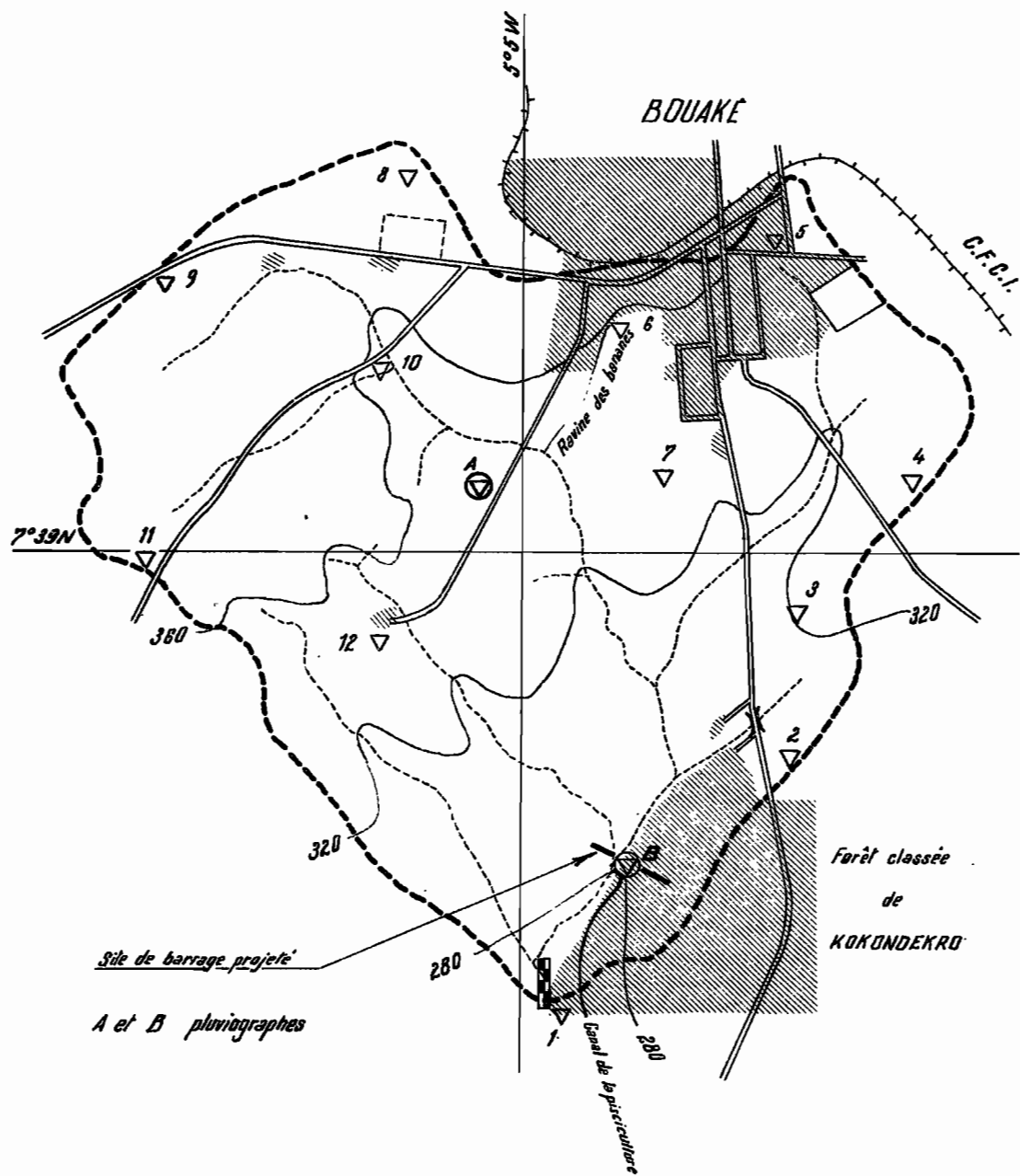
Sa forme générale s'apparente grossièrement à celle d'un triangle dont l'exutoire occuperait le sommet sud, et la voie ferrée le côté opposé, au nord ; le coefficient de forme

$$K_f = \frac{P}{2 \pi \sqrt{A}} = 1,14 \quad \begin{array}{l} \text{(P périmètre,} \\ \text{A surface)} \end{array}$$

A.2 - Relief et réseau hydrographique

Sur le substratum granitique que l'on retrouve dans toute la région de BOUAKE, le faciès morphologique du bassin expérimental est classique : collines peu élevées aux sommets aplanis, pentes faibles, thalwegs évasés avec des versants convexes. L'une de ces colli-

BASSIN VERSANT DU KAN A BOUAKE



nes est occupée, au nord, par la ville de BOUAKE ; on y trouve le point culminant du bassin : 366 m,50.

Le réseau hydrographique s'adapte à cette configuration du relief : pentes faibles sur les hauts de collines, inférieures à 10 m/km dans les thalwegs. Entre ces extrêmes, les versants obligent les cours d'eau à un accroissement temporaire de leur pente ; ceux-ci descendent de 360 à 300 mètres en 2 à 3 km. Les pentes du terrain peuvent alors atteindre 20 à 30 m/km ; compte tenu de leurs sinuosités, les cours d'eau ont certainement des pentes plus faibles.

La station de jaugeages de KOKONDEKRO est à une cote légèrement inférieure à 280 mètres, ce qui conduit à une pente moyenne globale du bassin de 10 m/km environ.

Le KAN est formé de la réunion de 2 bras principaux issus des régions nord-ouest (le plus long) et nord-est du bassin, ayant subi l'un et l'autre les deux ruptures de pente imposées par le relief. Après la seconde rupture, c'est-à-dire en dessous de la cote 300, il se produit un étalement du lit dans une zone plate où des marécages se forment en hivernage.

Aval, le thalweg se resserre ; le lit mineur est bien marqué à l'emplacement du barrage indiqué par des pointements granitiques qui en justifient le choix. La station de contrôle n'est qu'à 1 km,500 aval ; le lit est toujours encaissé entre des berges franches dominant le fond d'1m,50 à 2 m ; sa largeur est de 5 mètres environ.

Le KAN reçoit deux affluents de rive droite, le 1er juste aval du site de barrage, le second à quelques centaines de mètres de la station.

A.3 - Aperçu pédologique

Il n'y a pas lieu de s'étendre sur cette question qui a été étudiée en détail par des géologues et hydrogéologues lors de la prospection des nappes aquifères de la région. Nous ne retiendrons de leurs rapports que les caractères susceptibles d'influencer le régime des crues du KAN et son bilan hydrologique.

Sur le substratum granitique, les terrains de recouvrement sont formés par les produits d'altération de celui-ci, qui n'ont généralement pas été remaniés.

Le substratum affleure par endroits et l'on peut observer le granite sain au site de barrage, par exemple. Le KAN cascade sur 2 mètres de chutes environ ; la roche apparaît tantôt en dalles, au fond du lit, tantôt en boules sur les berges. Il est évidemment très fissuré. La plupart du temps c'est un granite très altéré qui peut être rencontré.

Les divers stades d'altération du granite se présentent dans le bassin sous les formes suivantes :

- argile blanchâtre à kaolinite
- arènes granitiques d'où l'argile est partie par lessivage des eaux d'infiltration
- latéritisation.

Il faut en retenir trois points essentiels :

- forte perméabilité des horizons superficiels très sableux, par suite du lessivage
- possibilité d'accroissement du taux d'argile en profondeur
- épaisseur notable d'une zone perméable abritant une nappe phréatique.

Pour l'application hydrologique, il faut s'attendre à une perméabilité élevée qui se traduira par une faiblesse des coefficients de ruissellement et une hauteur de précipitation limite assez forte.

Par ailleurs, la présence d'horizons aquifères est susceptible de jouer un rôle régulateur de la pluviométrie en facilitant l'accumulation de réserves suffisantes pour permettre un écoulement perenne du marigot. Un exemple en est donné par le ravin dit "des Bananes" situé en zone urbaine, où les forages actuels retirent journellement 1.200 m³ environ. Cette exploitation dure depuis 10 ans. Ce ravin, situé près de la limite nord du bassin, n'a guère plus d'un kilomètre de long ; sa zone d'alimentation est donc réduite. On peut ainsi admettre que les possibilités de drainage du KAN sont élevées. Au début de 1959, le débit d'étiage du marigot n'est pas descendu en dessous de 3 l/s, bien que l'année précédente, 1958, n'ait reçu qu'une pluviométrie très faible.

A.4 - La couverture végétale

Elle est du type savane arbustive dense, formée d'arbres, mais surtout d'arbustes d'une densité de peuplement très variable.

Les principales essences rencontrées sont :

- Cassia Siaméa (Cassia) (
 - Tectona Grandes (Teck) (
-) Forêt classée
- Cola Cordifolia (Colas)
 - Ceibea Pentandra (Fromager)
 - Lophira Alata (méné ou faux karité)
 - Lannea Acida
 - Berlinia Lendelotiana
 - Bauhinia Thonningii
 - Khaya Senegalensis (Cailcédrat)
 - Khaya Grandifolia (Acajou)
 - Butyrospermum Parkii (Karité)
 - Parkia Biglobosa (Néré)

On trouve quelques zones boisées d'assez forte densité sur les versants et d'importantes galeries forestières le long des marigots.

La culture du manioc et de l'igname n'est guère pratiquée que sur les parties hautes et basses du bassin, où la pente est faible. Le reste du bassin versant est recouvert, particulièrement au cours de la saison humide, d'un épais tapis de hautes herbes (graminées), dont les plus répandues sont :

- Imperata Cylindrica (Herbe à paille)
- Pennisetum Purpureum (Herbe à éléphant)
- Pennisetum Typhoideum (Herbe à buffle)

L'importance relative des diverses zones à végétation différente est sensiblement la suivante :

- savane à grandes herbes et zones de cultures se répartissent également 65% de la superficie du bassin
- 20% sont occupés par les galeries forestières et une partie de la forêt classée de KOKONDEKRO à l'extrémité aval du bassin
- la zone urbaine couvre au nord les 15% restants.

La part de cette dernière zone, où l'imperméabilité est grande, est insuffisante pour influencer notablement la genèse du ruissellement qui rencontre avec la couverture végétale un obstacle sérieux qui vient s'ajouter à la perméabilité des sols.

Il est intéressant de noter que la proximité de la ville et de la forêt classée empêchent pratiquement toute destruction de la savane par le feu.

B.- EQUIPEMENT DU BASSIN

Pratiquement, le matériel nécessaire aux observations était en place au début de Janvier, ce qui a permis d'obtenir une année complète de relevés.

Les observations pluviométriques étaient réalisées au début de l'année par :

- 1 pluviographe à augets, situé dans le tiers amont du bassin
- 5 pluviomètres Association répartis sur la périphérie du bassin.

Cet équipement, assez modeste pour une superficie de 24,5 km², a été complété de la manière suivante, au début du mois d'avril, lorsque l'hydrologue de l'ORSTOM a pris en charge les observations :

- pose de 7 nouveaux pluviomètres Association régulièrement répartis sur le bassin
- installation d'un second pluviographe à augets, à proximité du barrage de la pisciculture.

Ainsi, l'équipement pluviométrique du bassin a été successivement :

- de 5 pluviomètres et d'un enregistreur jusqu'au 20 Mai
- de 9 pluviomètres et un enregistreur à partir du 20 Mai
- de 9 pluviomètres et de 2 enregistreurs à partir du 3 Juin
- de 12 pluviomètres et de 2 enregistreurs à partir du 25 Juin,
c'est-à-dire une densité d'un appareil pour moins de 2 km², ce qui est très satisfaisant.

Outre les 12 pluviomètres Association utilisés pour l'étude et le calcul de la moyenne pondérée de chaque pluie du bassin versant, il existe 5 autres pluviomètres inégalement répartis sur la zone dite du "Ravin des Bananes". Un seul d'entre eux a pu être retenu pour nos mesures, le n° 6.

Remarque : Pour une meilleure répartition des aires d'influence, le pluviomètre n° 9 a été déplacé le 20 Mai, et le calcul de la moyenne pondérée de toutes les averses antérieures à cette date a été fait en tenant compte de la position initiale de l'appareil.

L'extrapolation des isohyètes en dehors du bassin versant permettant de donner la direction générale et la courbure de ces lignes, a été rendue possible grâce aux relevés des trois stations pluviométriques de :

- la météorologie à l'Aérodrome (7 km au nord-ouest de BOUAKE)
- l'I.R.C.T. à 4 km au nord-est
- Centre de Recherches Agronomiques (7 km à l'ouest)

Bien que la station météorologique de BOUAKE, très proche, fournisse tous les renseignements désirables sur le climat de la région, il a été décidé d'effectuer quelques observations complémentaires à proximité du site de la retenue pour dégager éventuellement les nuances d'un microclimat de bas-fonds. Il s'agissait essentiellement de connaître les facteurs physiques influant l'évaporation, donnée essentielle pour le projet de retenue.

A la station de pisciculture de KOKONDEKRO, nous avons rassemblé l'équipement suivant :

- | | | |
|----------------|---|--|
| sous un hangar | { | évaporomètre Piche |
| | } | psychromètre |
| | { | thermomètre |
| à l'air libre | { | installation dans un bassin piscicole d'un bac d'évaporation Colorado d'un m ² monté sur flotteurs et de 2 thermomètres aux profondeurs de 0,10 et 0,50 m pour déterminer la température de l'eau |
| | } | un pluviomètre à proximité du bac. |

Au point de vue hydrométrique, la station de contrôle de KOKONDEKRO était pourvue :

- d'un limnigraphe Ott type XV monté sur buses de 0,80 m
- d'une échelle de 3 mètres
- d'une passerelle fixe en tubes métalliques pour les mesures de débits.

Il y avait en outre, une échelle de 1 mètre dans le canal alimentant la station piscicole juste après la prise en rivière, sensiblement au droit du site du barrage projeté.

En avril, l'hydrologue de l'ORSTOM a procédé aux travaux suivants :

- surélévation du limnigraphe et protection par un abri métallique
- installation d'un éclairage pour travaux de nuit
- aménagement de digues en terre, dans le but de collecter les débordements éventuels du lit mineur.

C.- DONNEES CLIMATOLOGIQUES

Elles nous sont fournies par les relevés de la station météorologique de BOUAKE, qui datent de nombreuses années. Nous avons déjà, au chapitre III sur le bassin de l'IFOU, donné un aperçu du climat de la région, qui est de type équatorial de transition.

La saison des pluies est bien dédoublée, après une première saison sèche prédominante ; la faiblesse des précipitations (voir paragraphe D) conduit à un climat relativement sec pour cette latitude.

C.1 - Températures

Nous possédons les valeurs moyennes des températures maximales et minimales journalières pour chaque mois de l'année, calculées sur une période de 18 ans : 1932-1949.

Les températures maximales varient régulièrement entre leur maximum de février ($34^{\circ}7$) et leur minimum d'août ($28^{\circ}8$) ; cet écart est faible et pratiquement les températures maximales journalières restent pendant 350 jours par an supérieures à 25° . Le maximum absolu est de $38^{\circ}5$ en février 1933, pour la période envisagée.

Les températures minimales sont plus sensibles aux diverses influences ; elles présentent un point bas en décembre et janvier ($20^{\circ}2$), rappel caractéristique de la fraîcheur nocturne du climat tropical à cette époque de l'année. Elles s'élèvent ensuite jusqu'à $21^{\circ}9$ en mars et avril, d'où l'apparition des premières pluies les font redescendre jusqu'à leur deuxième minimum, celui d'août ($20^{\circ}4$) ; elles vont croître à nouveau jusqu'à $20^{\circ}9$ en octobre et novembre. Le minimum absolu est de 16° en janvier et décembre. Les températures minimales journalières restent pratiquement 250 à 340 jours par an supérieures à 20° .

Le tableau ci-après donne les moyennes journalières des mesures effectuées au cours de l'année 1959 :

- à la station de KOKONDEKRO à l'air libre sous le hangar
- à la station de l'Aérodrome sous abri météo
- à la station de l'I.R.C.T. également sous abri météo

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
KOKONDEKRO	27°7	27°	29°2	29°3	28°8	27°9	25°7	25°2	26°2	27°	27°9	27°2
Aérodrome	26°8	27°4	28°2	28°2	27°1	26°1	24°8	24°5	25°2	25°9	26°3	26°
I.R.C.T.	26°7	27°4	27°5	27°8	26°1	25°6	24°4	24°	24°9	25°4	25°6	25°6

L'excès systématique des relevés de KOKONDEKRO ne doit pas être interprété comme une preuve d'existence d'un microclimat plus chaud. Cela peut être possible, étant donné l'implantation de la station piscicole, dans la forêt classée, en une clairière certes peu ventilée. Cependant, l'absence d'abri météo réglementaire à cette station peut suffire à expliquer les écarts relevés (réverbération du sol du hangar, effet de serre du toit de celui-ci).

D'une année à l'autre, les variations sont de faible ampleur. A l'aérodrome, les valeurs mensuelles données ci-dessus pour 1959, sont pratiquement égales à celles de l'année moyenne.

C.2 - Humidité

L'humidité relative suit étroitement les variations de la température de l'air. Elle est très élevée le matin à 6 h : 88% en janvier, 97% en août, ce qui montre bien l'influence équatoriale.

La diminution est nette au cours de la journée, où l'on observe couramment des valeurs de 40 à 70% suivant la saison.

L'amplitude des variations est encore plus forte si l'on regarde les valeurs extrêmes.

L'humidité relative maximale nocturne peut atteindre pratiquement 100% tous les mois, sauf en janvier et février (98%).

Dans l'après-midi, l'humidité relative minimale est sujette à de grands écarts : toujours supérieure à 40 et 50% pendant la saison des pluies, elle descend en-dessous de 30 et même 20% en pleine saison sèche. On a relevé 10% seulement, au mois de février, certaines années.

Quant à la tension de vapeur, elle reste toute l'année entre 23 et 27 millibars (moyenne journalière), avec une valeur nettement plus faible en Janvier, mois où elle peut descendre en-dessous de 20 mb.

C.3 - Le régime des vents au sol

Les vents au sol sont régis par la mousson.

Les relevés des directions ne sont effectués que pour les vents d'une certaine importance (de vitesse supérieure à 6 km/h); pour la période 1951-1955 on constate une prédominance continue des vents du secteur sud et ouest (la direction sud-ouest étant de beaucoup la plus fréquente), qui sont les seuls à souffler en juin-juillet et août (99% des vents de ce dernier mois viennent de ces secteurs sud et ouest). Les autres mois de l'année, l'harmattan sec du secteur nord-est atteint la région de BOUAKE : la fréquence des vents sud-ouest tombe à 40% en décembre, mais elle reste supérieure à 60% tous les autres mois.

La caractéristique des vents de mousson, c'est d'être calmes; les météorologistes considèrent qu'il en est ainsi lorsque leur vitesse reste inférieure à 6 km/h. La fréquence d'observation des vents calmes varie en cours d'année :

64 % en Janvier
60 % en Avril
42 % en Août
72 % en Octobre

Il y a donc fort peu de vents animés d'une grande vitesse ; presque toutes les vitesses enregistrées sont inférieures à 25 km/h. On observe seulement de janvier à avril 1 ou 2% de vents dont les vitesses se situent dans la gamme supérieure : 25 à 50 km/h.

A BOUAKE, la plus forte vitesse enregistrée au cours d'une tornade est de 22 m/s, ce n'est toutefois pas là un maximum et l'on peut considérer comme maximum possible une vitesse de 25 m/s (90 km/h).

La majeure partie des lignes de grains viennent du secteur nord-est ; les vents précurseurs sont assez forts, de 8 à 10 m/s, mais de courte durée, et leur intensité baisse rapidement dès le début de la précipitation.

Le bassin versant se trouvant au sud, sud-ouest de la ville, il arrive fréquemment que par ascendance de l'air chaud, les nuages se dissipent au-dessus de la zone urbaine, ce qui réduit la pluviométrie sur le bassin.

Ainsi, les pluviomètres n° 6, 7, 8 sont largement déficitaires comparativement à la station de l'I.R.C.T. et aux pluviomètres n° 1 et 4 qui sont en dehors de cette zone d'influence.

Ce phénomène est particulièrement remarquable en période orageuse, en début et en fin de la saison des pluies, où les orages de formation isolée sont très fréquents ; par contre, les précipitations de la saison humide, qui sont des pluies de mousson, intéressent généralement toute la région et proviennent de nuages à basse altitude qui limitent l'insolation et, par là, les ascendances.

C.4 - Evaporation

L'évaporation sur une nappe d'eau libre est conditionnée essentiellement par la variation des 3 facteurs étudiés ci-dessus. On peut concevoir, à priori, qu'elle sera d'autant plus forte que la température sera élevée : intense en mars-avril, elle sera réduite en décembre et janvier.

La très forte humidité relative des mois d'hivernage vient ralentir encore le processus évaporatoire de cette période de l'année, accroissant l'écart avec les mois de saison sèche.

On peut avoir un ordre de grandeur de la variation du pouvoir évaporant de l'atmosphère en examinant les résultats des mesures effectuées à l'évaporomètre Piche.

Le tableau ci-dessous donne l'évaporation en millimètres par mois aux stations observées en 1959 :

- 1 - Aérodrome, Piche sous abri météo
- 2 - I.R.C.T., Piche sous abri météo
- 3 - KOKONDEKRO, Piche à l'air libre sous hangar

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1	169,5	158,1	141,2	124,4	77,5	62,8	52,3	59,-	46,5	59,8	62,2	93,8	1107,1
2	120,4	92,-	94,-	92,1	57,3	51,2	37,8	45,4	37,4	48,3	51,-	68,-	794,-
3							50,7	55,6	45,2	58,3	62,2	86,3	

Les observateurs à la station de KOKONDEKRO n'ont commencé qu'en Juillet. La différence entre les résultats de l'aérodrome et de l'I.R.C.T. s'explique

avec l'exposition des 2 stations : plateau bien ventilé et dégagé pour l'aérodrome ; bas-fond encaissé à atmosphère lourde pour l'I.R.C.T.

Les variations de l'évaporation au Piche d'une année à l'autre sont très fortes et qui plus est, la corrélation avec les relevés directs sur bac d'eau libre n'est pas très nette et admet un coefficient variable avec la saison.

Nos observations directes sur bac Colorado d'un mètre carré se réduisent à la période juillet-décembre. C'est peu, trop peu même, si l'on veut essayer d'analyser les variations de l'évaporation en fonction du déficit de saturation et de la vitesse du vent, par application de la relation linéaire de Dalton aux données météorologiques observées à la même station :

$$E = K (e_w - e) \text{ dans laquelle}$$

E désigne l'évaporation journalière moyenne mensuelle en mm/jour

e_w la tension de vapeur saturante de l'eau pour la température moyenne de l'air

e la tension de vapeur d'eau dans l'air ambiant

K est un facteur constant pour Dalton, que nous admettrons n'être fonction que de la vitesse moyenne du vent.

Pour la station d'évaporation de KOKONDEKRO, nous n'aurions que 6 points (correspondant à la période juillet-décembre 1959), ce qui est nettement insuffisant pour donner une valeur moyenne de l'évaporation, et estimer l'ampleur de ses variations interannuelles.

Pour ce 2ème point, une étude détaillée de la question a été faite pour la retenue du KOUILOU au CONGO, où les conditions climatiques sont peu différentes ; on a conclu à une variation décennale de $\pm 9\%$ autour de la valeur moyenne. On conviendra que cet écart est de faible importance.

Quant au 1er point, nous nous contenterons de comparer les observations à KOKONDEKRO avec celles effectuées pendant deux ans sur les bassins du FLAKOHO (voir chapitre suivant), de la LHOTO au DAHOMEY et de l'IFOU.

Il faut de suite remarquer que les renseignements fournis par un bac évaporatoire sont sous l'influence étroite de son implantation.

Le microclimat du site de KOKONDEKRO est très défavorable à l'évaporation : clairière dans une forêt classée, sans aération, à proximité du lit du KAN. Dans de telles conditions on admet que le coefficient pour passer de l'évaporation sur bac à celle sur grande nappe d'eau libre est voisin de 1 ; il est même vraisemblable qu'ici les relevés fournis par le bac soient légèrement inférieurs à ce que l'on observera sur la retenue qui sera mieux ventilée (d'autant plus que le bas est flottant dans un bassin de pisciculture).

Pour les bacs du FLAKOHO et de la LHOTO, l'implantation est du même type, mais moins défavorable ; on peut admettre un coefficient de tarage voisin de 0,90, le bac étant enterré.

Le bac de l'IFOU est aussi dans des conditions défavorables sous couvert forestier léger.

Voici les résultats des mesures effectuées à KOKONDEKRO, en millimètres par jour (valeurs moyennes mensuelles) :

juillet	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total du 2 ^e semestre
2,5	2,6	2,4	2,7	3,0	3,1	497 mm

Ces évaporations moyennes mensuelles sont :

- égales à environ 60% de celles du FLAKOHO où la hauteur moyenne évaporée par année atteint 2.000 mm
- égales à environ 65% de celles de la LHOTO, où le total annuel n'est plus que de 1.680 mm
- supérieures de 100% à celles de l'IFOU, dont l'évaporation annuelle n'est que de 600 mm

Il n'est pas invraisemblable d'admettre pour le site de KOKONDEKRO une hauteur moyenne annuelle de l'évaporation sur bac flottant et nappe d'eau libre de l'ordre de :

1.200 mm

En se rappelant que l'amplitude de variation interannuelle pour des fréquences décennales est de l'ordre de + 10%, on peut assigner à cette évaporation des limites de 1050 et 1350 mm qu'elle ne dépassera que pour des fréquences plus rares.

Les variations mensuelles de l'évaporation sont de faible amplitude :

- minimum de saison des pluies compris entre 2 et 2,5 mm/jour
- maximum de fin de saison sèche, en mars-avril, pouvant atteindre 4 à 5 mm/jour, et restant plus vraisemblablement entre 3 et 4 mm/jour, comme en novembre et décembre.

D.- ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE

Le régime pluviométrique de BOUAKE est du type équatorial de transition, caractérisé par :

- une saison sèche très nette de novembre à février, marquée toutefois chaque année par quelques précipitations isolées
- une période de transition très orageuse en mars
- une 1ère saison des pluies d'avril à juin (150 mm par mois environ)
- une 2ème saison des pluies en septembre-octobre, plus intense
- une saison moins pluvieuse entre les deux, en juillet et août.

Les hauteurs pluviométriques de la région de BOUAKE nous sont données par diverses sources de renseignements :

1°- Le Service Météorologique dont les observations faites depuis 1922 ont successivement eu lieu aux points de coordonnées suivants :

- de Décembre 1922 à Décembre 1936 : 07° 40' 56" N
05° 01' 49" W
- de Décembre 1936 à Décembre 1954 : 07° 40' 57" N
05° 01' 55" W
- depuis Janvier 1955, à l'Aérodrome de BOUAKE à 7 km au nord-ouest de la ville : 07° 44' N
05° 04' W

Altitude 375,528 (dernier système I.G.N.)

2°- La station expérimentale de l'I.R.C.T. à 4 km au nord-est, de coordonnées : 07° 41' nord - 05° 02' ouest (altitude 338 m,26). Les observations météo y sont faites de façon régulière et très complète depuis 1945.

3°- Le Centre de Recherches Agronomiques
(C.R.A.) à 7 km à l'ouest, de coordonnées : 07° 40' nord -
05° 06' ouest (altitude 380 m). Ce Centre ne dispose
pas d'une station météo complète, mais cependant les
relevés pluviométriques y sont faits avec précision.

1 - Pluviométrie annuelle

Nous nous contenterons des relevés effectués
à la station météorologique de BOUAKE dont la série de
37 ans est la seule suffisante pour une interprétation
statistique.

Le total pluviométrique annuel est une varia-
ble aléatoire et indépendante. Nous classons les 37
valeurs observées par ordre décroissant et nous affec-
tons à chacune d'elles une fréquence au dépassement F
telle que :

$$F = \frac{n - 1/2}{N}$$

n étant le numéro du rang occupé dans la série
classée

N le nombre de valeurs (ici 37)

Le report sur un graphique à échelle gaussi-
que pour les fréquences montre un bon alignement des
37 points, ce qui permet de conclure qu'une loi de
Gauss normale peut être prise pour représenter vala-
blement une série de totaux pluviométriques annuels.

L'échantillon de 37 valeurs admet les carac-
téristiques suivantes, si on effectue l'ajustement de
Gauss :

$$\bar{P} = 1.202 \text{ mm pluviosité moyenne annuelle}$$

$$\sigma = 224 \text{ mm écart-type}$$

A l'aide de ces deux caractéristiques, on
peut calculer, soit la pluviométrie annuelle pour une
fréquence donnée, soit la fréquence correspondant à une
année observée.

analysé en détail ces variations mensuelles. Dans le tableau ci-après, on verra de part et d'autre des moyennes les hauteurs minimales et maximales mensuelles observées pendant la période 1923-1959, sans tenir compte de l'année des phénomènes.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Hauteurs minimales observées en mm	0	0	11	19	38	47	3	12	54	43	0	0	
Année moyenne sur 1923-1959	13	43	94	142	148	136	97	108	218	143	38	22	1.202
Hauteurs maximales observées	65	114	189	321	311	398	315	249	399	499	135	133	

L'importance des variations des précipitations mensuelles est évidemment plus grande que celle du total annuel. Mais pour la question qui nous préoccupe, à savoir le remplissage de la retenue projetée, les hauteurs mensuelles prises au hasard sont sans intérêt et il faut examiner seulement leur liaison dans une année donnée. On constate en effet pour les années exceptionnelles que les relevés de certains mois n'ont rien d'extraordinaire et présentent parfois des fréquences inverses de celle de l'année considérée : mois sec dans une année humide et vice-versa.

De notre série de 37 valeurs, nous avons extrait un certain nombre d'années caractéristiques, pour lesquelles nous donnons plus loin la répartition mensuelle des pluies, dans un tableau. Il s'agit de :

- 1956 année la plus sèche observée complètement
- 1934 année plus sèche que 1956, mais pour laquelle le relevé de mars est douteux
- 1958 l'année la plus proche du total de fréquence décennale sèche
- 1930 l'année dont le total relevé est le plus proche de celui correspondant à l'année décennale humide
- 1949 année la plus humide observée.

Années :	J :	F :	M :	A :	M :	J :	J :	A :	S :	O :	N :	D :	Année :
1956 :	34 :	51 :	150 :	125 :	38 :	82 :	35 :	68 :	136 :	45 :	20 :	10 :	794 mm :
1934 :	0 :	7 :	(160) :	40 :	85 :	149 :	36 :	101 :	104 :	74 :	0 :	1 :	(757) " :
1958 :	19 :	3 :	136 :	241 :	68 :	69 :	3 :	33 :	66 :	164 :	89 :	26 :	917 " :
1930 :	20 :	34 :	134 :	103 :	227 :	167 :	207 :	76 :	238 :	102 :	135 :	13 :	1456 " :
1949 :	0 :	36 :	167 :	252 :	212 :	162 :	135 :	249 :	399 :	111 :	34 :	0 :	1757 " :
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Les caractéristiques de ces années exceptionnelles vont en s'accroissant si l'on envisage leur influence sur l'écoulement.

Les années sèches 1956 et 1958 ont des mois de saison sèche excédentaires suivis de mois d'hivernage très déficitaires; l'évaporation étant plus élevée au cours des premiers mois de l'année, l'écoulement sera encore plus défavorisé que si, pour un même total annuel, ces années présentaient une répartition mensuelle conforme.

Quant aux années excédentaires, elles se caractérisent avec des mois à très forte pluviosité, par une diminution sensible de la petite saison sèche, ce qui permet au débit de drainage des nappes de conserver une valeur soutenue en juillet et août; les précipitations de septembre et octobre rencontrent alors des conditions éminemment favorables au ruissellement.

Notre seule année de référence en matière d'écoulement est 1959. Cette année, le total pluviométrique à BOUAKE est de 1276 mm, valeur qui occupe le 13ème rang sur 37 dans la série classée.:

fréquence au dépassement $f = 0,34$

fréquence de Gauss dans l'ajustement = 0,37

Il s'agit donc d'une année très proche de l'année moyenne.

Sur le bassin versant du KAN, la hauteur moyenne de précipitation atteint 1.201 mm ; cet écart n'est pas significatif, car il est normal qu'un relevé ponctuel soit plus fort qu'une moyenne sur une certaine surface.

Vaici la répartition mensuelle de ces relevés :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BOUAKE 1959	0	69	84	125	157	200	140	101	159	173	55	13
Moyenne s/le B.V. du KAN	12	71	104	123	96	168	131	76	191	125	43	60

3 - Les précipitations journalières

Pour la période d'observations, le nombre moyen de jours de pluie à BOUAKE est de 98,5 par an, qui se répartissent comme suit entre les différents mois :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nombre moyen de jours de pluie	1,2	3,6	6,5	8	10,1	11,2	9,6	13,2	17,1	12,4	3,5	2,1

Les dimensions du déversoir du barrage doivent être calculées pour permettre l'évacuation des crues exceptionnelles. La détermination des pluies de fréquences rares est donc essentielle.

Lorsqu'il s'agit de très fortes précipitations, l'expérience montre qu'il ne se produit que très rarement plus d'une averse en 24 heures, et que l'on peut remplacer l'étude des averses par celle des précipita-

tions en 24 heures (pour laquelle nous possédons des renseignements), sans risquer de grosses erreurs.

Pour la station de BOUAKE, nous disposons des relevés pluviométriques journaliers de 1924 à 1959 ; nous avons dû éliminer les années 1935 et 1936 où abondaient les hauteurs fantaisistes ; il nous reste un échantillon de 34 ans, soit 12.410 jours.

Toutes les précipitations journalières de cette période ont été classées par tranches de 10 mm. Le tableau suivant résume ce travail :

Tranches de pluies en mm	+de 0	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
N ^{bre} d'observations	3425	2138	605	301	173	89	55	30	9
Tranches de pluies en mm	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140	+de 140		
N ^{bre} d'observations	10	6	4	2	1	1	1	(183mm)	

L'analyse statistique de ce matériau a été réalisée par le biais d'une loi de Gibrat-Gauss à troncature logarithmique, pour laquelle nous avons procédé à une modification supplémentaire pour l'échelle des fréquences. Les résultats obtenus sont satisfaisants et permettent l'extrapolation vers les fréquences rares, selon une hypothèse logique et la plus vraisemblable.

Nous avons déterminé les hauteurs de précipitations ponctuelles susceptibles de se produire une fois par an, tous les 10 ans et tous les 50 ans :

pluie annuelle	75 mm
" décennale	130 mm
" cinquantenaire	165 mm

Ces valeurs seront utilisées pour le calcul des débits maximaux des crues de même fréquence.

E.- AVERSES ET CRUES OBSERVEES EN 1959

Les observations, nous l'avons vu, ont duré toute l'année sur le bassin du KAN.

Nous donnons dans le tableau ci-après les nombres de précipitations observées et classées par tranches de 10 mm, d'une part à la station de BOUAKE-Aérodrome, d'autre part pour l'ensemble du bassin du KAN (la hauteur prise en considération étant la moyenne sur le bassin).

Tranches de pluies:	0 à 10:	10-20:	20-30:	30-40:	40-50:	50-60:	+de 60:	Total:
BOUAKE	98	20	8	6	3	2	1	138
Bassin du KAN	37	23	10	7	3	1		81

Le nombre de jours de pluies à BOUAKE est nettement supérieur à la moyenne (98,5) de 40%. Mais les faibles précipitations, de moins de 10 mm, sont les bénéficiaires de cet excès ; on n'a observé aucune forte averse. La précipitation maximale n'atteint que 60,3 mm le 28 avril ; elle est d'une fréquence supérieure à celle de la pluie annuelle (75 mm). Nous remarquerons que ce jour là le centre de la pluie était à l'est de la ville ; on a enregistré 79 mm à la station de l'I.R.C.T.

Le nombre d'averses observées sur le bassin est faible : 81 contre 138 à BOUAKE. En fait, les averses sont en nombre identique quand elles dépassent 10 mm, car à partir de ce seuil elles couvrent en général tout le bassin ; les pluies inférieures à 10 mm n'atteignent bien souvent qu'un ou deux pluviomètres du bassin, aussi la moyenne reste t-elle voisine de zéro, d'où la réduction du nombre d'averses porté au tableau.

Sur le bassin du KAN, 5 précipitations ont dépassé 50 mm en un point du bassin.

- La plus élevée, celle du 28 Avril ($P_M = 65,7$ mm) est en fait une averse double dont les 2 pointes (d'importance égale) sont séparées de 4 heures durant lesquelles il n'a pour ainsi dire pas plu. La crue résultante est donc très faible.

- L'averse du 11 Juillet ($P_M = 54$ mm) est très mal répartie dans l'espace et subit 50% de réduction sur l'ensemble du bassin ; tombée à des heures différentes au nord et au sud du bassin, la pointe principale n'a pas engendré de forte crue.

- L'averse du 25 Septembre dont l'épicentre était sur le nord-ouest du bassin ($P_M = 51,8$ mm) est courte et intense (78 mm/h pendant 10 minutes) mais elle supporte une réduction notable de 78% ($P = 40,6$ mm). Elle a donné lieu à la plus forte crue de l'année.

- Une autre averse importante ($P_M = 54,2$ mm) est tombée le 12 Décembre, courte et intense, mais sa mauvaise répartition dans l'espace ($K = 55\%$, $P = 29,7$ mm) et sa date tardive ne lui permettent pas d'être suivie d'une bonne crue.

D'une façon générale, et pour chaque pluie, l'intensité très forte au début de la précipitation devient maximale un très court instant, puis diminue progressivement pour former une "trainée d'averse".

Les intensités maxima enregistrées ont été de :

- 138 mm/h pendant 10 minutes (averse n° 30 du 27 Juin)
- 126 mm/h pendant 5 minutes (averse n° 8 du 22 Mars).

Viennent ensuite des intensités de :

- 120 - 108 - 105 et 102 mm/h pendant 5 minutes.

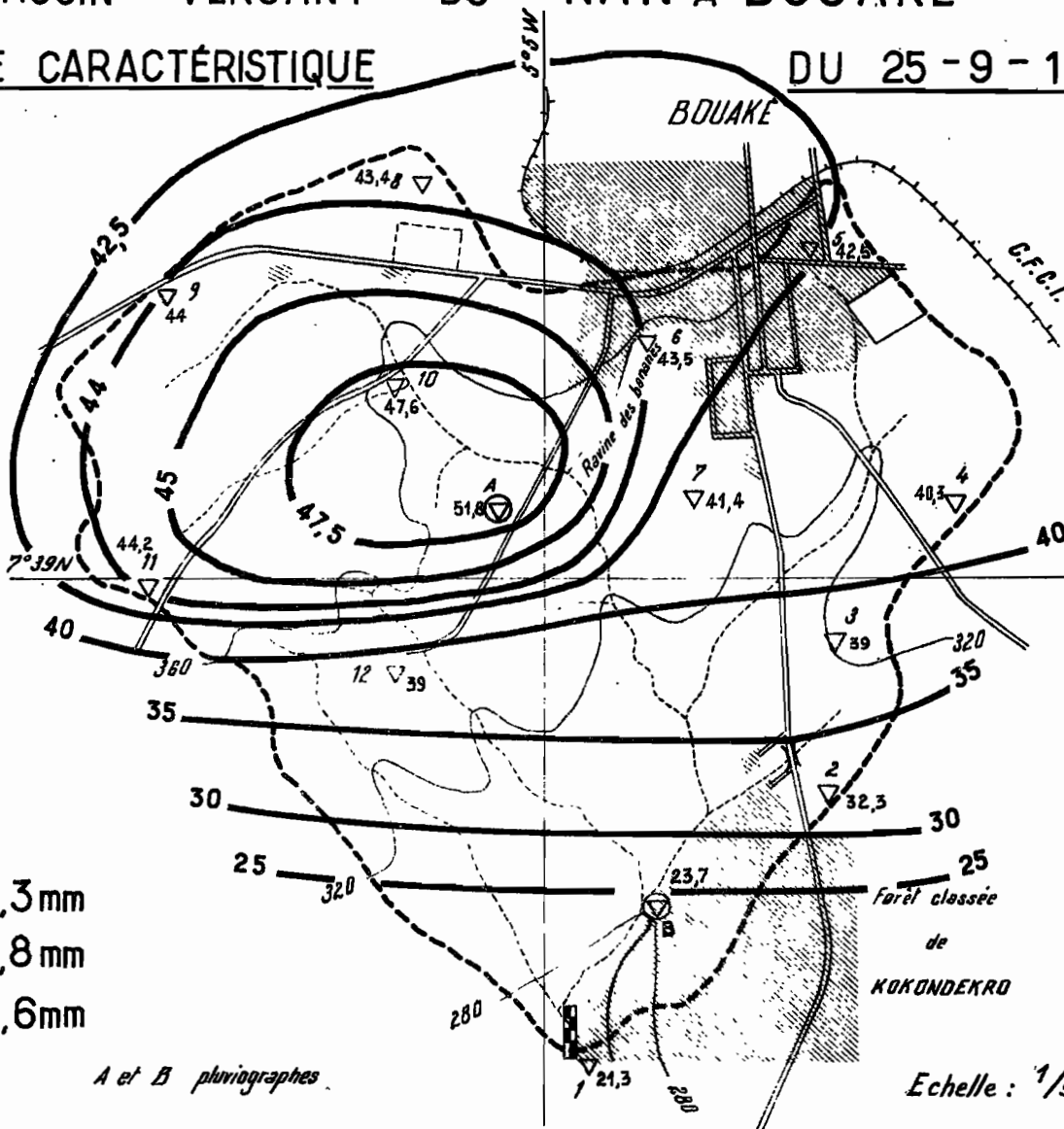
Les intensités de 90 mm/h sont assez fréquentes.

La plupart des averses atteignent 78, 72 et 60 mm/h pendant des périodes pouvant atteindre 15 minutes.

BASSIN VERSANT DU KAN A BOUAKÉ

AVERSE CARACTÉRISTIQUE

DU 25-9-1959

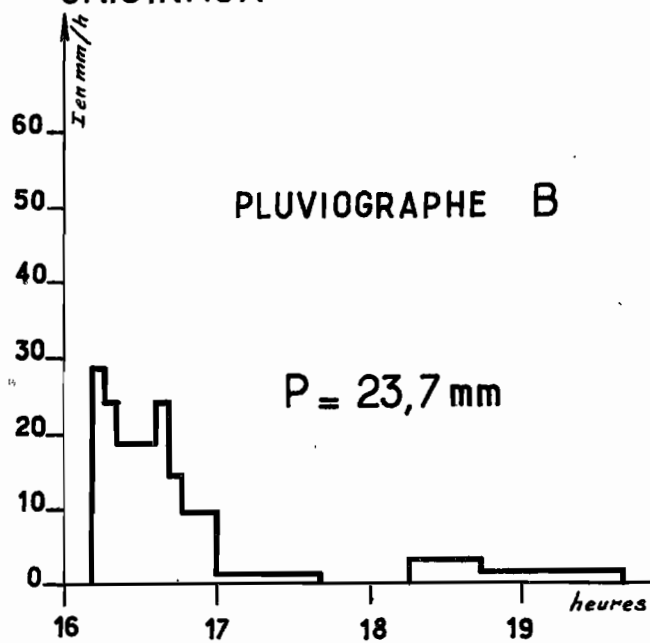
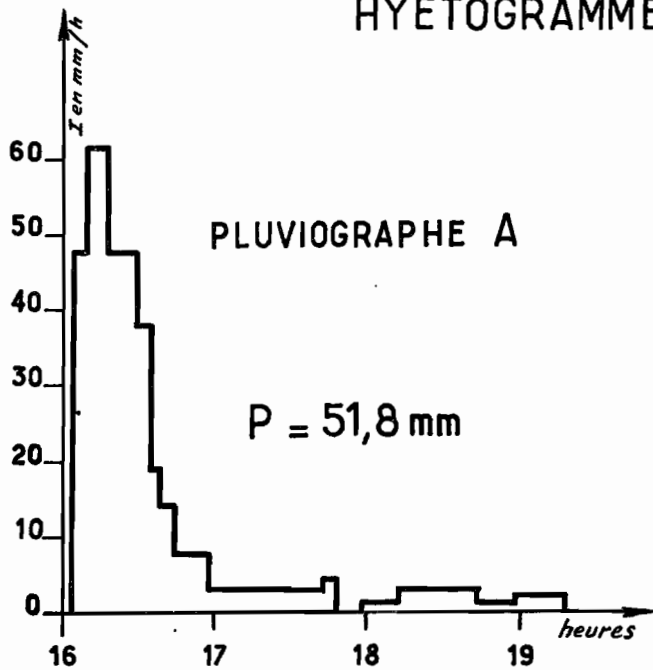


$P_m = 21,3 \text{ mm}$
 $P_M = 51,8 \text{ mm}$
 $P = 40,6 \text{ mm}$

A et B pluviographes.

Echelle : 1/50.000 appr.

HYÉTOGRAMMES ORIGINAUX



Aucune des précipitations observées sur le bassin du KAN n'atteint la fréquence annuelle. Les crues résultantes sont faibles et nous aurons quelques difficultés à interpréter de telles observations pour l'estimation des crues exceptionnelles.

La hauteur d'eau du KAN à BOUAKE a été enregistrée continuellement en 1959 par un limnigraphe. Toutes les crues nous sont donc parfaitement connues. La traduction des hauteurs en débits s'effectue sans difficulté. En effet, la courbe de tarage de la station de KOKONDEKRO a pu être tracée avec précision, compte tenu des nombreuses mesures faites :

- par un agent technique de l'Hydraulique, en basses-eaux (environ une quinzaine)
- par l'hydrologue de l'ORSTOM, lors des crues.

Ce dernier a réalisé 14 jaugeages entre les cotes 0m,21 et 0m,745, la cote maximale atteinte en 1959 ayant été 0m,76, il n'y a eu aucun débordement et les débits de crues sont connus avec exactitude.

Pour les étiages, les mesures sont nombreuses certes, mais moins précises. Cela tient au fait que la section de jaugeages retenue excellente pour la majeure partie de l'année (H supérieur à 0m,25 par exemple) n'est pas assez sensible en très basses eaux ; c'est-à-dire que pour une variation de 1 centimètre à l'échelle, le débit mesuré passe de 4,5 l/s à 8 l/s entre 0m,17 et 0m,18, d'où un écart de plus de 100%. Le KAN n'est pas descendu en-dessous de 0m,16 en 1959, cote pour laquelle le débit est estimé à 3 l/s.

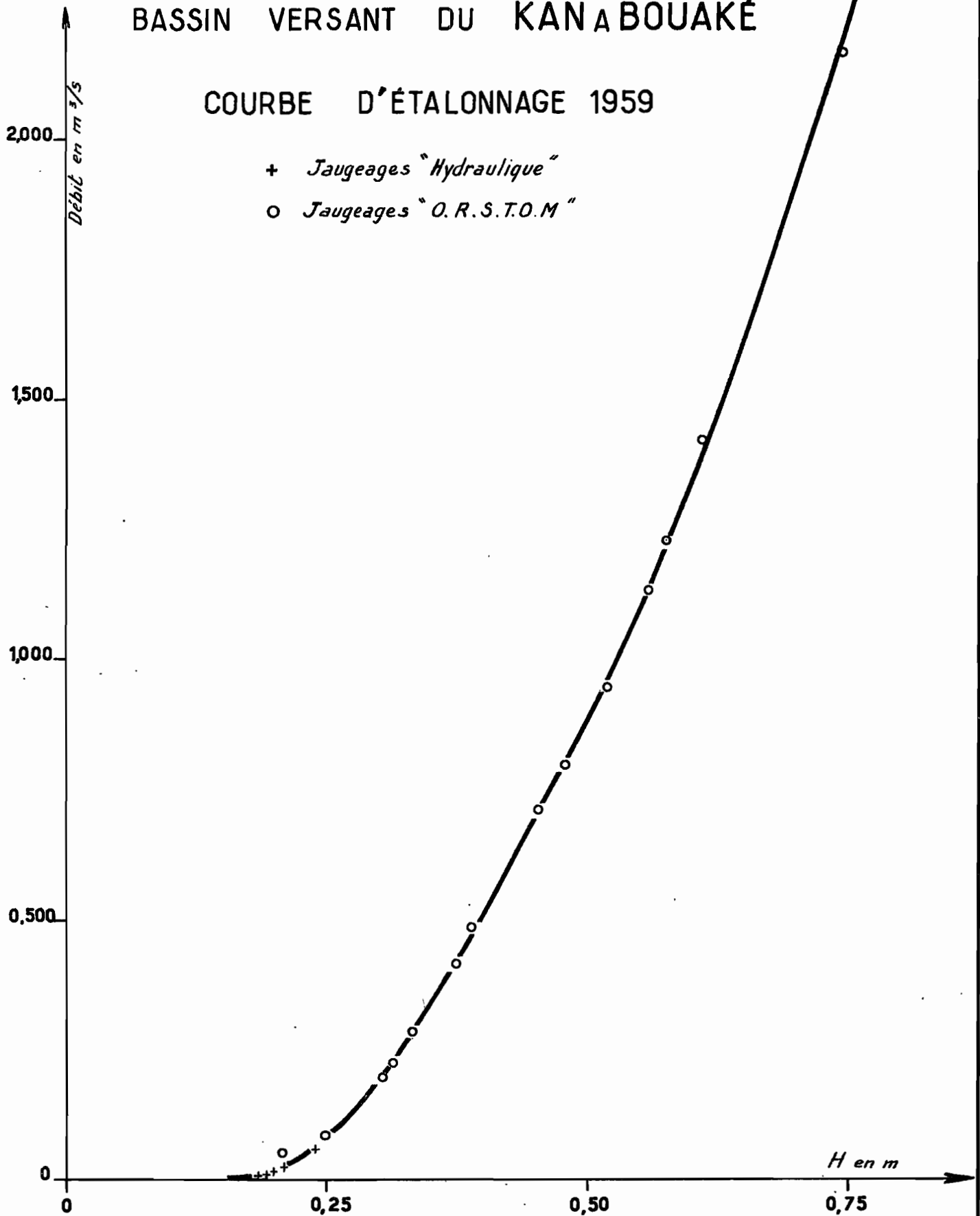
La précision des mesures d'étiage est médiocre les débits indiqués ne représentent qu'un ordre de grandeur assez vraisemblable.

Les crues sont très faibles ; les débits de pointe varient entre 600 l/s et 1 m³/s pour des averses de 20 à 30 mm. On n'a enregistré que 5 crues dépassant 1 m³/s dont 2 ont franchi le cap des 2 m³/s. La plus forte étant celle du 26 septembre avec un débit maximal de 2,25 m³/s soit 92 l/s.km². Nous sommes dans une gamme de débits qui rappellent ceux de l'IFOU, mais pour des motifs un peu différents, comme nous allons le voir.

BASSIN VERSANT DU KANABOUAKÉ

COURBE D'ÉTALONNAGE 1959

- + Jaugeages "Hydraulique"
- o Jaugeages "O.R.S.T.O.M"



DIV 9556

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

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

AO

F.- INTERPRETATION DES CRUES

L'hétérogénéité morphologique du bassin versant (zones urbaines et savanes) d'une part, la perméabilité notable des terrains, d'autre part, ont pour conséquences :

- un faible ruissellement
- des crues d'allure irrégulière.

1 - Conditions limites du ruissellement

A partir de quelle limite le ruissellement apparaît-il ? C'est-à-dire au-delà de quelle hauteur d'eau une pluie peut-elle raisonnablement donner lieu à un ruissellement ? Comme pour les bassins de zone forestière, nous avons examiné la relation entre la hauteur d'eau moyenne tombée sur le bassin lors d'une averse (en ordonnée sur le graphique joint) et l'écart de temps qui sépare cette averse de la précédente (porté en abscisse).

Les averses ayant ruisselé peuvent être séparées sans trop de mal de celles restées sans effet, par une courbe qui représente la précipitation limite nécessaire pour créer un ruissellement. Cette courbe passe par les points suivants :

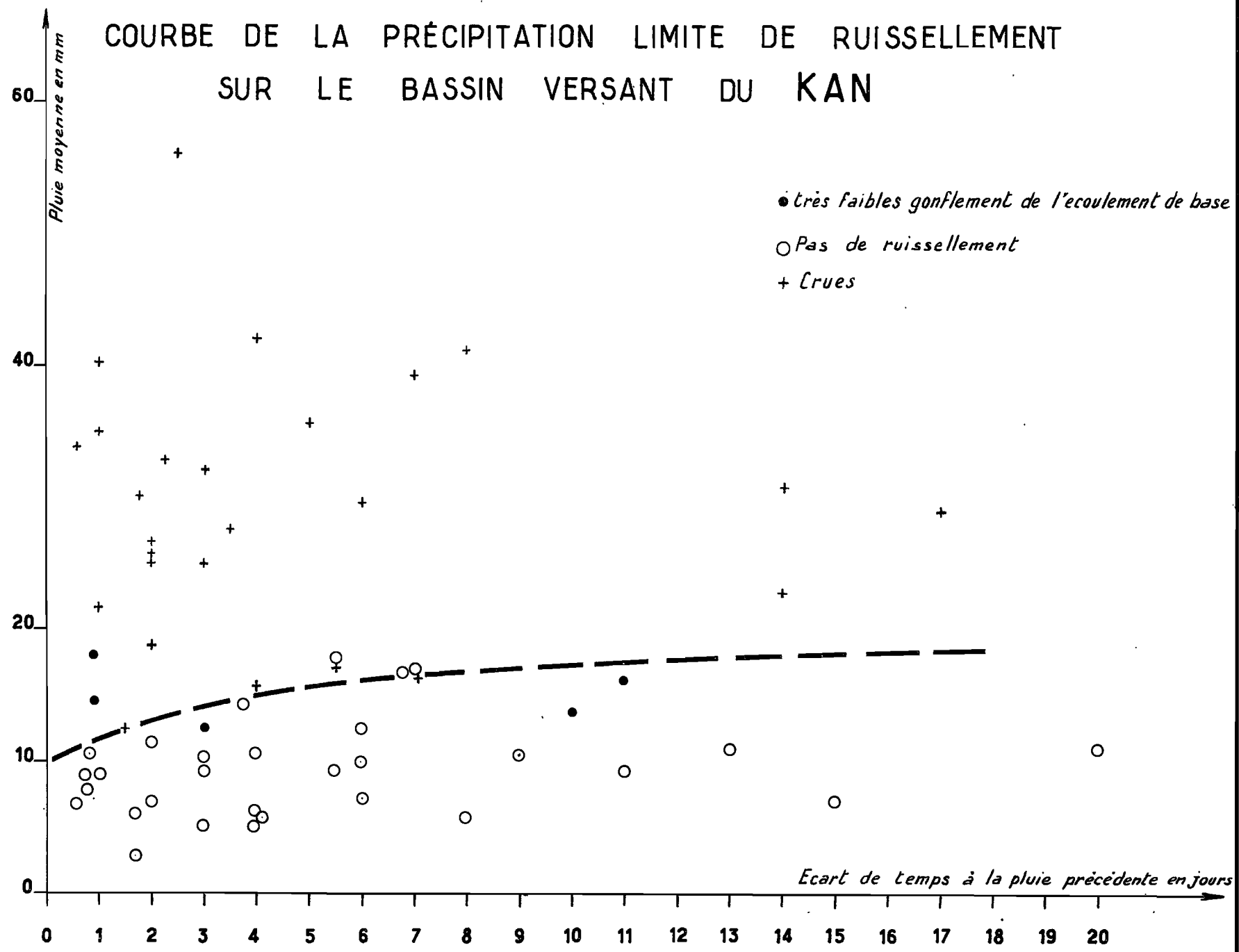
11 mm	après	12 h	sans	pluie	
12 mm	"	24 h	"	"	
13 mm	"	48 h	"	"	
15 mm	"	3 jours	"	"	
16 mm	"	6 jours	"	"	
18 mm	"	12 jours	"	"	(sous réserve)

Cette précipitation limite est notable pour un bassin de savane, sur lequel la couverture végétale est d'importance moyenne, parce que la perméabilité des horizons superficiels des terrains est très élevée.

DIV 9563

ED: ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER
LE:
DES:
VISA:
TUBE N°:
AO

COURBE DE LA PRÉCIPITATION LIMITE DE RUISSELLEMENT SUR LE BASSIN VERSANT DU KAN



Il faut donc pratiquement qu'une précipitation dépasse 15 mm de hauteur moyenne sur le bassin pour observer un ruissellement à la station. Cette limite de 15 mm doit même être dépassée au point le moins arrosé si l'on veut que le ruissellement soit généralisé et que la crue résultante soit typique.

Les averses observées en 1959 atteignent des hauteurs moyennes de l'ordre de 30 à 40 mm ; compte tenu du prélèvement de 15 mm environ pour l'imbibition des terrains, la part disponible pour le ruissellement est assez réduite. Il n'y a pas lieu de s'étonner de la faiblesse des crues observées.

2 - Allure des crues

Le ruissellement arrive à la station de jaugeages par à coup sans présenter d'hydrogramme régulier. Les courbes de montée et de tarissement sont complètement déformées et d'une manière différente lors de chaque crue. En fait, on observe l'arrivée de 3 ou 4 ondes de ruissellement nettement distinctes qui n'arrivent pas à se fondre.

L'hydrogramme présente une allure en escalier, chaque onde se compose d'une montée rapide suivie d'un palier lors du maximum de crue, puis d'un tarissement très ralenti auquel se raccorde la montée de l'onde suivante après un palier inférieur.

Ce phénomène saccadé de ruissellement s'observe couramment en région subdésertique pour de faibles pluies et dans des régions semblables à celles de BOUAKE, soumises à un régime équatorial de transition à faible total pluviométrique (inférieur à 1300 mm) sur des terrains très perméables. L'exemple typique est celui de la LHOTO au centre du DAHOMEY. Mais sur la LHOTO, lorsque le sol est bien saturé et que survient une forte averse (80 mm et plus) on enregistre un hydrogramme homogène. Rapporté à un volume de ruissellement donné, le débit maximal d'une telle crue est assez fort et nettement supérieur à celui des crues faibles et saccadées (de 20 à 30%). Ceci est très important et doit être pris en considération pour l'estimation des débits maximaux de crues exceptionnelles du KAN, sur lequel le même processus peut très vraisemblablement se produire.

Pour les crues de 1959, chaque onde de ruissellement présente des temps de montée t_m et de réponse t_p assez variables mais cependant caractéristiques. Ces deux temps ont d'ailleurs des valeurs voisines, dont l'écart n'excède pas 1/2 heure en général, car le ruissellement commence à la station dès le début de la période intense de l'averse.

Le maximum de la 1ère onde se produit 1 h 1/2 à 2 h 1/2 après l'averse. Sur une crue importante, il est très faible (200 à 300 l/s).

La 2ème onde est un peu plus importante, elle arrive avec un retard de 3 h à 4 h 1/2. C'est en général la 3ème onde qui donne le débit maximal de la crue et la plus grande part du volume ruisselé. Son temps de réponse est variable entre 6 h 1/2 et 9 h.

Quant à la 4ème onde, elle ne se manifeste la plupart du temps que sous l'aspect d'un long palier interrompant le début du tarissement de la 3ème onde. Il apparaît avec 11 h de décalage sur l'averse. La participation de cette onde au volume ruisselé n'est pas négligeable.

L'existence de ces ondes de crue séparées se justifie par la faiblesse du ruissellement. Chaque onde peut être considérée comme apportant le ruissellement d'un thalweg du bassin, pour lequel le temps de parcours moyen a une valeur bien nette et différente de celles des autres thalwegs.

On peut essayer de reconstituer l'histoire de chaque crue :

- l'affluent de rive droite du KAN, qui conflue juste amont de la station est responsable de la 1ère onde. Ceci peut se vérifier par l'examen de la crue du 14 Juin due à une averse strictement limitée à la partie méridionale du bassin. Les temps caractéristiques sont : $t_m = 2 \text{ h } 1/4$ et $t_p = 1 \text{ h } 3/4$.

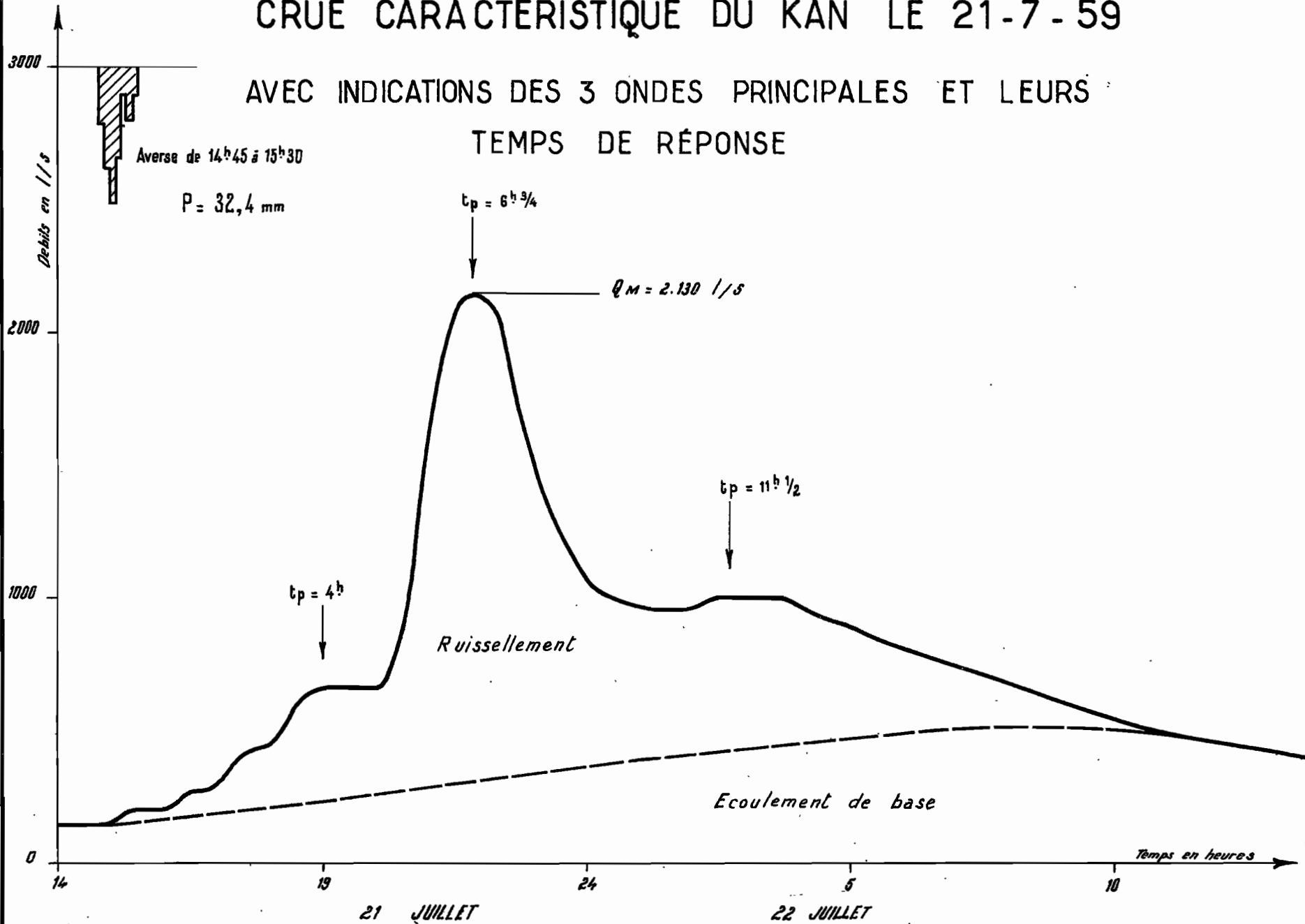
- l'autre affluent de rive droite qui conflue vers le site de barrage peut être responsable de la 2ème onde.

DIV 9560

ED: ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER
LE:
DES:
VISA:
TUBE N°:
AO

CRUE CARACTÉRISTIQUE DU KAN LE 21-7-59

AVEC INDICATIONS DES 3 ONDES PRINCIPALES ET LEURS TEMPS DE RÉPONSE



- les 3ème et 4ème ondes proviennent du nord du bassin. Il est difficile de les situer l'une par rapport à l'autre, car tout dépend de la rapidité d'écoulement des eaux en ville. Il semble bien que ce drainage soit assez lent du fait qu'aucun collecteur ne rassemble les eaux récupérées çà et là par les quelques caniveaux existants. Les eaux de ruissellement ne doivent rejoindre les thalwegs du ravin des Bananes et de l'est du bassin qu'après avoir longtemps stagné en ville. Il est donc plausible d'attribuer au lit principal du KAN, qui draine tout le nord-ouest du bassin, l'onde de crue principale qui arrive à la station après 6 à 9 h, suivant l'importance du ruissellement et la position respective des ondes de crue.

Pour une forte averse, supérieure à 80 mm, tombant sur un sol saturé, le ruissellement sera volumineux et rapide, de telle sorte que l'on peut admettre que les diverses ondes de crue arriveront plus vite à la station et s'amalgameront pour former un hydrogramme régulier, dont le débit maximal dû à la superposition de 3 ou 4 ondes sera supérieur à celui de la seule 3ème onde, comme on l'observe en 1959.

3 - Les coefficients de ruissellement

Notre analyse a porté sur les 17 principales crues de l'année. On trouvera sur le tableau classique joint, les valeurs caractéristiques de ces crues, présentées comme pour les bassins forestiers.

Avec les débits maximaux auxquels nous avons fait allusion au paragraphe précédent (40 à 92 l/s.km²), on ne pouvait pas s'attendre à des coefficients de ruissellement élevés. Ils sont de l'ordre de 1 à 4% pour les averses normales ; les plus importantes qui bénéficient de conditions de saturation préalables correctes atteignent 4,5 et 4,6%. Il s'agit des coefficients K_r calculés par rapport à la pluie totale ; les 17 valeurs se répartissent comme suit :

2	en dessous de	1 %
2	entre	1 et 2 %
5	"	2 et 3 %
2	"	3 et 4 %
6	"	4 et 4,6 %

A = 24,5 km²

TABLEAU DES VALEURS CARACTERISTIQUES
DES CRUES DU KAN

Code : crue :	Date	Pm : mm :	K%	P : mm :	ta : jours :	Vr : m ³ :	Kr : % :	Qo : l/s :	QM : l/s :	tm1 : heures :	tm2 : heures :	tp1 : heures :	tp2 : heures :
8	22-3-59	47	90	42	4	27.360	2,7	40	1.000	8 ½	11 ½	8	11
11	15-4	38,2	76	28,9	17	4.130	0,6	40	240	3	-	13	-
13	19-4	43,8	57	25	4 ½	5.450	0,9	35	195	6 ½	14 ½	6	14 ½
15	28-4	65,7	85	56,1	2 ½	34.870	2,5	50	1.040	3 ½	-	-	-
18	9-5	50	70	35,1	1	23.820	2,8	77	655	4 ½	9 ½	4	9
24	11-6	49,9	72	35,7	5	14.970	1,8	35	500	5	12	4 ¾	11 ¾
25	13-6	34,3	88	30	1 ½	21.800	3	70	635	5	8 ½	9	12 ½
26	14-6	35,7	35	12,4	1 ½	12.950	4,2	80	770	2 ¼	-	1 ¾	-
30	27-6	37,2	74	27,5	5	18.470	2,7	60	580	4 ½	9	3 ¾	8 ¼
35	11-7	54	50	26,9	1	27.450	4,2	80	600	4 ½	10	-	-
39	21-7	48,2	67	32,4	3	35.500	4,5	140	2.130	6 ¾	-	6 ¾	11 ½
41	24-8	38,5	80	30,9	14	12.500	1,6	45	287	18	-	-	-
42	25-8	40,9	82	33,7	1 ½	32.800	4	120	760	4 ½	10 ½	4 ½	10 ½
54	25-9	51,8	78	40,6	1	46.150	4,6	160	2.255	6 ½	-	6 ½	-
56	7-10	45,2	87	39,4	8	33.200	3,4	150	1.135	-	11	-	-
58	15-10	27,9	92	25,7	2	26.600	4,2	170	1.025	4	7 ½	3 ¾	7 ¼
67	10-12	54,2	55	29,7	6	21.320	2,9	50	785	4	7 ½	7 ½	11

Colonne ta : { 1 jour après une pluie inférieure à 20 mm
1 jour après une pluie entre 20 et 50 mm

Colonnes tm et Tp : nous avons indiqué les temps caractéristiques de la ou des pointes principales de la crue, suivant les cas.

Comment varie le coefficient de ruissellement avec la hauteur de précipitation et l'état de saturation préalable du sol ? La corrélation entre K_r et P est pratiquement nulle si l'on ne fait pas intervenir le 2ème facteur. Pour représenter celui-ci, la valeur de t_a , écart de temps à l'averse précédente, n'est pas probante ; en effet, nous sommes devant un bassin dont les réserves souterraines sont notables, le débit de base est dans ce cas beaucoup plus figuratif.

Sur un graphique où l'on porte :

K_r en abscisse

P en ordonnée

chaque point figurant une crue est affecté du débit initial de base Q_0 , en indice. Les différents points semblent se grouper par bandes à débits Q_0 voisins, dans lesquelles K_r croît avec P , bien entendu. Le tracé d'une droite moyenne dans cette bande, pour un débit Q_0 fixe est plus facile si l'on envisage seulement les crues unitaires.

Nous avons considéré comme étant unitaires toutes les crues résultant d'une averse unique, intense et de durée inférieure à 1 heure. Cette limite est correcte, si l'on veut bien se rappeler que la 3ème onde arrive au plus tôt avec $t_m = 6$ heures. Dans le cas d'une forte crue, ce temps^m de montée ne pourrait pas s'abaisser au-delà de 4 heures, d'où notre limite prise égale au quart de ce temps.

Le graphique ainsi tracé montre que les coefficients de ruissellement K_r doivent atteindre au plus 8 à 10% pour de fortes crues. Ceci n'est qu'un ordre de grandeur vraisemblable que nous utiliserons pour les crues exceptionnelles, faute de mieux. Il va sans dire que la corrélation possible que suggère ce graphique ne s'appuie pas sur des éléments statistiques sûrs, étant donné, d'une part le faible nombre de points d'observations, d'autre part le fait que dans cette relation $K_r = f(P, Q_0)$ tous les facteurs influant sur le coefficient de ruissellement K_r n'ont pas été pris en considération, d'où la dispersion constatée. Ce graphique est ce qu'il est : un simple instrument de travail, permettant d'estimer l'ordre de grandeur de K_r et ses limites probables pour des pluies et des états de saturation variables.

VARIATIONS DU COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT, AVEC

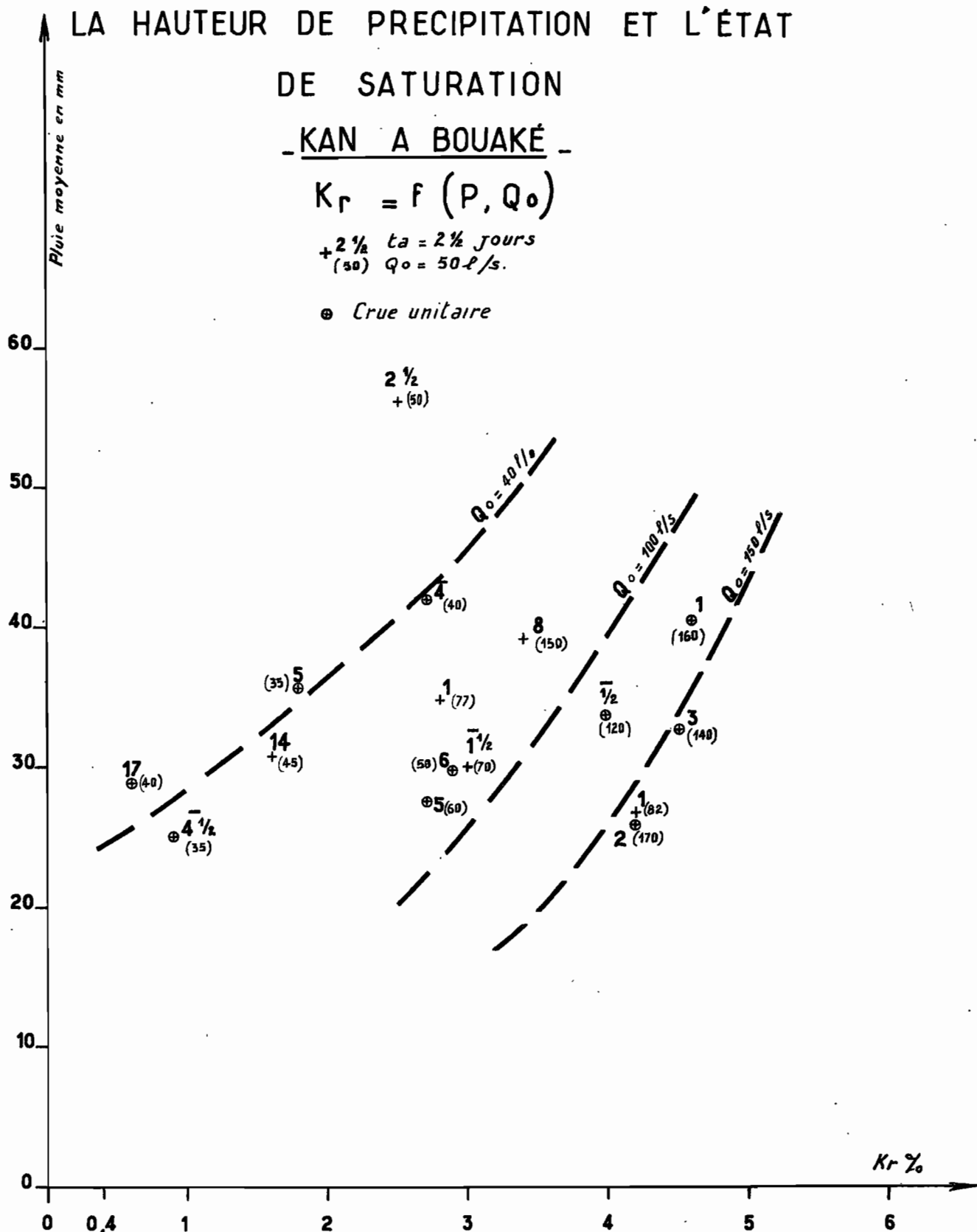
LA HAUTEUR DE PRECIPITATION ET L'ÉTAT DE SATURATION

- KAN A BOUAKÉ -

$$K_r = f(P, Q_0)$$

+ 2 1/2 ta = 2 1/2 jours
 (30) Q₀ = 50 l/s.

⊕ Crue unitaire



4 - Hydrogramme-type

On peut dire que le bassin du KAN n'est susceptible de se comporter comme un bassin homogène que lorsqu'il reçoit des pluies supérieures à 80 mm environ ; alors, seulement, l'hydrogramme de crue sera régulier et typique, on pourra lui appliquer la méthode des hydrogrammes unitaires.

Avec les crues de 1959, cette analyse n'est pas concluante. Pour les averses unitaires (n° 8 - 24 - 30 - 39 - 54 - 58 et 67) nous avons essayé d'extraire l'hydrogramme de ruissellement. Nous nous sommes contentés de retirer l'écoulement des nappes souterraines, la séparation des formes superficielles de l'écoulement : ruissellement et hypodermique n'est pas possible, la 2ème forme devant jouer un rôle non négligeable.

Ces hydrogrammes rapportés à un volume de ruissellement $V_r = 100.000 \text{ m}^3$ ne sont pas du tout comparables, leurs pointes de crue ne se produisent pas régulièrement et les débits affectés à un moment donné sont très dissemblables. Les débits maximaux de ruissellement varient, eux, de 1,7 à 5,1 m^3/s .

Les caractères physiques du bassin (forme, pentes, sols) d'une part, et l'allure des crues, d'autre part, montrent que l'aptitude au ruissellement est plus grande au nord et surtout au nord-ouest du bassin, que sur les zones méridionales drainées par deux affluents à faible pente et dont les bassins sont filiformes.

Les averses unitaires centrées sur le haut bassin sont les plus susceptibles d'engendrer des crues violentes à forts débits de pointe. C'est en effet ce que nous avons observé avec les crues n° 39 et 54.

Le 21 Juillet (n° 39) plus de 40 mm tombent en quelques minutes ($I_{\text{max}} = 130 \text{ mm/h}$) sur la région nord-ouest ($P_M = 48,2 \text{ mm}$) ; la saturation est bonne ($Q_0 = 140 \text{ l/s}^M$) ; la crue résultante atteint 2,13 m^3/s . L'hydrogramme unitaire a un débit maximal de 5,1 m^3/s pour 100.000 m^3 .

Le 25 Septembre (N° 54) une précipitation d'allure identique ($P_M = 51,8$ mm) sur un sol mieux saturé ($Q_0 = 160$ l/s)^M donne la plus forte crue de l'année : $Q_M = 2,25$ m³/s. Le débit maximal de l'hydrogramme unitaire est de 4,25 m³/s.

La crue du 21 Juillet 1959 est la plus violente. Nous ne disons pas que son hydrogramme de ruissellement est typique du bassin, mais son débit maximal est à retenir. En admettant que le même phénomène observé sur la LHOTO se produise sur le KAN, nous augmenterons de 20 à 30% ce débit pour avoir le débit maximal de ruissellement de l'hydrogramme type du bassin, pour fortes averses.

Voici le schéma proposé pour cet hydrogramme-type ($V_r = 100.000$ m³)

temps de montée entre 4 et 6 h

débit maximal : 6,5 m³/s, soit 265 l/s.km²

temps de base ou durée du ruissellement :
24 heures

Ce schéma est théorique puisque nous n'avons pu observer de forte crue. C'est cependant lui que nous retiendrons, par mesure de sécurité, pour le calcul des crues exceptionnelles.

Etant donné la faiblesse et l'hétérogénéité des crues, nous n'avons pas jugé indispensable de rechercher de façon systématique les coefficients de ruissellement K_{ru} par rapport à la pluie utile et les capacités apparentes d'absorption.

L'essai n'a été tenté que pour les crues n° 39 et 54 pour lesquelles nous trouvons des coefficients K_{ru} de 8% et des capacités apparentes d'environ 40 mm/h.

G.- ESTIMATION DES CRUES EXCEPTIONNELLES

1 - Crue annuelle

Son débit de pointe se calculerait comme suit :

- $P_M = 75 \text{ mm}$ subissant 75% de réduction, d'où
 $P = 56,5 \text{ mm}$

- Averse unitaire

- avec $Q_0 = 140 \text{ l/s}$, on prend $K_r = 6\%$

- $V_r = 56,5 \cdot 10^{-3} \times 24,5 \cdot 10^6 \times 0,06 = 83.000 \text{ m}^3$

- Le débit maximal de ruissellement

$$Q_{Mr} = \frac{6,5 \times 83.000}{100.000} = 5,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Les apports souterrains sont estimés à 400 l/s ,
d'où un débit total de $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$

En valeurs spécifiques, on retiendra :

$$\underline{230 \text{ à } 250 \text{ l/s.km}^2}$$

2 - Crue décennale

- $P_M = 130 \text{ mm}$, avec $K = 77\%$, d'où $P = 100 \text{ mm}$

- L'averse est considérée comme étant unitaire, sa durée ne devant pas excéder 2 heures pour sa partie utile

- On prendra $K_r = 10\%$, d'où $V_r = 245.000 \text{ m}^3$

- $Q_{Mr} = 15,9 \text{ m}^3/\text{s}$ auxquels s'ajoutent quelques 600 l/s
d'apports souterrains. Le débit maximal est de $16,5 \text{ m}^3/\text{s}$. On l'estime valablement situé entre $650 \text{ et } 700 \text{ l/s.km}^2$

3 - Crue cinquantenaire

Cette estimation est la plus délicate, car il s'agit d'un phénomène que nous n'avons jamais observé. Les résultats sont de simples ordres de grandeur.

$$P_M = 165 \text{ mm} \quad \text{avec } K = 80\% \quad \text{on a } P = 130 \text{ mm}$$

L'averse utile dépasse certainement 2 heures ; on admet qu'elle peut être fractionnée en 2 averses unitaires de 65 mm chacune.

On choisit un coefficient global

$$K_r = 15\% \text{ d'où } V_r = 480.000 \text{ m}^3$$

1ère averse unitaire	2ème averse unitaire
$P = 65 \text{ mm}$	$P = 65 \text{ mm}$
$K_r = 7 \%$	$K_r = 23 \%$
$V_r = 110.000 \text{ m}^3$	$V_r = 370.000 \text{ m}^3$
$Q_{Mr} = 7,1 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{Mr} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$

On considère que le débit maximal de l'hydrogramme résultant de l'addition des deux hydrogrammes unitaires n'est que de $29 \text{ m}^3/\text{s}$ pour tenir compte du décalage des maximums (1 h 1/2 à 2 h environ).

L'écoulement de base doit être voisin d' $1 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui conduit à $30 \text{ m}^3/\text{s}$ de débit total.

La bande de variation doit être prise largement de $1.200 \text{ à } 1.500 \text{ l/s.km}^2$ par exemple.

En dehors de ces débits de pointe, l'allure des crues exceptionnelles est difficile à connaître. Si la crue annuelle doit présenter un schéma voisin de l'hydrogramme-type supposé : $t_m = 4 \text{ h}$ et $t_B = 24 \text{ h}$, les crues décennales et cinquantenaires seront plus longues à monter : 6 à 10 heures et le ruissellement durera 36 à 48 heures environ.

H.- REGIME ET BILAN HYDROLOGIQUE DU KAN

1 - L'année 1959

Elle représente presque parfaitement l'année moyenne. Il est tombé 1.201 mm de pluviométrie moyenne sur le bassin, 1276 mm à BOUAKE-Aérodrome. La répartition mensuelle de ces pluies est très voisine de celle que nous avons donnée pour l'année moyenne (paragraphe D).

Le graphique des débits journaliers du KAN à la station de KOKONDEKRO est une très parlante représentation d'un régime équatorial de transition de petit bassin versant perméable, à 2ème saison des pluies plus abondante en volumes écoulés que la lère.

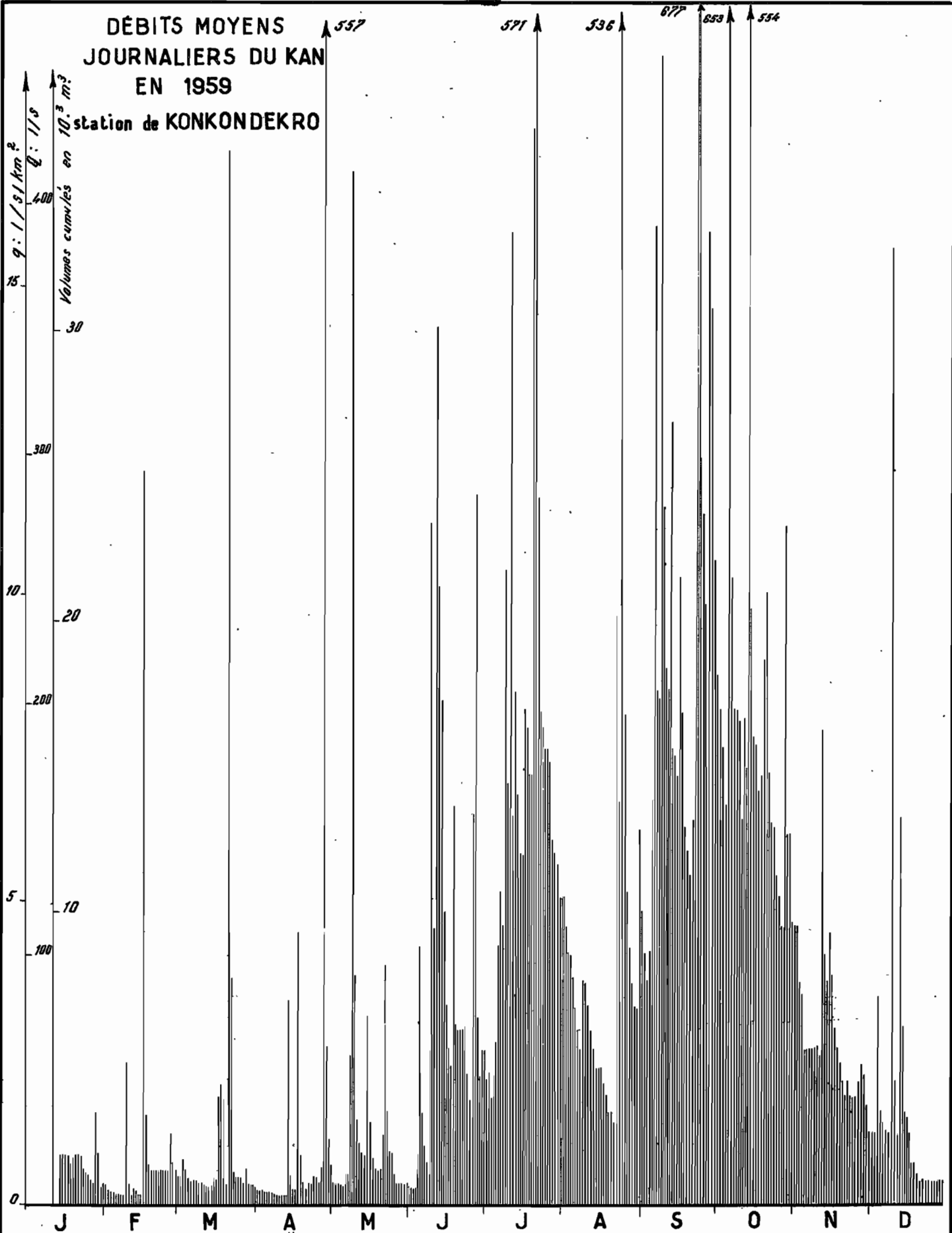
Le tarissement commence en Novembre ; l'étiage se poursuit de Décembre jusqu'en Avril, interrompu parfois de quelques pointes de crues isolées.

Les pluies d'Avril et Mai servent surtout à regonfler les réserves épuisées des nappes, les débits ne croissent réellement qu'avec les pluies de Juin. Les mois de Septembre et Octobre sont nettement les plus abondants. Au cours de la petite saison sèche d'Août, le débit peut s'abaisser jusqu'à des valeurs comparables aux étiages de la grande saison sèche.

Le KAN à KOKONDEKRO a été amputé d'une partie de son débit par le canal de la pisciculture. Le prélèvement ainsi opéré est peu variable en cours d'année. Une échelle limnimétrique était placée dans ce canal, après la prise et le déversoir de trop plein ; des jauges ont permis un étalonnage correct, donc une estimation des volumes prélevés. On est arrivé à un débit moyen de 20 l/s, considéré comme étant constant pour faciliter les choses. Il est bien certain qu'un tel prélèvement de peu d'importance pendant les mois d'hivernage devient pratiquement prépondérant en étiage. Les 11 et 12 Avril 1959, le débit à KOKONDEKRO est descendu à 3 l/s, alors que dans la présente conjoncture, les apports du KAN étaient de 23 l/s environ (près d'1 l/s.km²).

DÉBITS MOYENS
JOURNALIERS DU KAN
EN 1959

station de KONKONDEKRO



DIV 9570

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

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

AO

Les caractéristiques de l'étiage 1959 du KAN sont les suivantes :

- étiage absolu les 11-12/4 23 l/s soit 1 l/s.km²
- étiage caractéristique 23 l/s,5 soit 1 l/s.km²
(dépassé 10 jours)

Ce débit fut observé à 2 reprises, à la mi-février et à la mi-avril :

étiage d'août 51 l/s. le 22 soit 2 l/s.km²
le 31 décembre, il n'y avait déjà plus que 28 l/s.

Comme on le constate, le débit d'étiage est très fort, on est en présence d'un petit cours d'eau qui assure un parfait drainage de terrains perméables gîtes d'une solide nappe aquifère. Les grandes rivières de l'est de la COTE d'IVOIRE ont des débits spécifiques d'étiage 10 à 20 fois plus faibles en général. Les réserves de cette nappe sont abondantes et permettent au KAN de résister à des années de sécheresse sans se tarir. Il faut heureusement remarquer que sur 37 ans connus à BOUAKE, les années de sécheresse sont toujours isolées et encadrées par des années moyennes ou humides, regonflant la nappe partiellement épuisée.

L'année 1958, sensiblement de fréquence décennale sèche au point de vue pluviométrique, avait un dernier trimestre plus abondant, supérieur à la moyenne. L'étiage du débit de 1959 n'est donc pas catastrophique, il est cependant faible et certainement inférieur à la moyenne.

1959, année peu riche en grosses averses, n'a pas vu de crues importantes. Les débits caractéristiques de crue sont modestes :

- maximum journalier 697 l/s le 26 Septembre, soit
28,5 l/s.km² (crue n° 54)
- débit de crue caractéristique : 432 l/s ou 17,5 l/s.km²
(dépassé 10 jours)

- débit de crue de 3 mois : 158 l/s ou 6,5 l/s.km²
- débit de crue de 6 mois : 65 l/s ou 2,6 l/s.km²

Le débit semi-permanent observé 6 mois par an (soit 180 jours au total) n'est pas le triple du débit de basses-eaux. L'importance des crues est très faible et n'intervient que pour un petit nombre de jours par an. Sur 80 jours de pluie, une vingtaine seulement jouent un rôle efficace dans l'accroissement du volume écoulé.

Autre constatation du même ordre : le débit de 3 mois est équivalent au débit initial de base Q_0 nécessaire pour qu'une averse bénéficie d'une saturation correcte. Cela limite pratiquement à de courtes périodes en Juin-Juillet et Septembre-Octobre, les moments adéquats pour qu'une forte averse donne un bon ruissellement.

Le bilan hydrologique de l'année 1959 est facile à établir. Nous donnons ci-dessous :

- a) les débits moyens mensuels en litres/seconde du KAN, y compris le prélèvement de la pisciculture
- b) les coefficients d'écoulements mensuels pour les mois d'hivernage, ces rapports n'ayant plus de signification en saison sèche où le débit ne représente que la vidange des nappes
- c) les rapports entre les apports mensuels et le volume total écoulé dans l'année, en pourcentage, afin de se rendre compte de l'importance réciproque de chaque mois.

Mois	Débits moy. : Q en l/s	Pluie moy. : P en mm	Ke %	Apports mensuels : en % du total
Janvier	37	12		2,8
Février	42	71		3
Mars	53	104		4,1
Avril	58	123	3	4,4
Mai	63	96	4	5
Juin	114	168	6	8,6
Juillet	190	131	15	14,9
Août	112	76	14	8,7
Septembre	249	191	13	18,9
Octobre	230	125	18	18
Novembre	91	43	17	6,9
Décembre	60	60		4,7
Année 1959	108,5	1.200	11,6	100

Ce tableau illustre plusieurs points caractéristiques du régime du KAN :

- l'écoulement au cours de la lère saison des pluies est très faible (K_e voisin de 5%), les pluies réalimentant la nappe
- la moitié des apports annuels sont fournis par les 3 mois de Juillet, Septembre et Octobre
- le module est de 10,8 l/s, soit 4,4 l/s.km². Comme le coefficient d'écoulement annuel de 11,6%, il s'agit d'un chiffre important, témoignant de l'abondance des réserves. L'IFOU ne fournit qu'1% d'écoulement en année moyenne. Les rivières telles le N'ZI et la COMOIE atteignent seulement 4 à 6%

Nous n'avons pas voulu alourdir le tableau en y incorporant les volumes écoulés et les lames d'eau. On les calculera aisément comme suit :

Volume d'apports mensuels V_e en $m^3 = Q \text{ l/s} \times 86,4 n$
n étant le nombre de jours du mois

$$\text{Lame d'eau écoulée } H_e \text{ mm} = \frac{V_e \text{ m}^3 \times 10^{-3}}{A \text{ km}^2}$$

A étant la surface du bassin

Ainsi en 1959, on a eu respectivement :

3.419.250 m^3 d'apports

140 mm de lame d'eau

2 - Variations interannuelles

Pour connaître la rentabilité de la retenue projetée sur le KAN et justifier sa raison d'être, nous devrions connaître les limites de variation des apports mensuels et annuels du KAN. Nos observations ne portent que sur une seule année. Il est donc impossible d'évaluer correctement les variations interannuelles de ce petit cours d'eau, car en-dessous de 1.000 km^2 les méthodes d'analogie hydrologique sont très scabreuses et peuvent donner des résultats complètement faux.

Il est admis par la majorité des spécialistes que la corrélation pluies-modules suit une loi parabolique et que cette loi peut être assimilée à une relation linéaire en zones équatoriales où l'abondance pluviométrique annuelle est suffisante pour que nous soyons assez loin du sommet de la parabole. Cela est vrai pour un grand bassin ; nous n'en savons rien pour un petit bassin, mais c'est beaucoup plus douteux. Aussi avec un seul couple de points H et P est-il rigoureusement impossible de sortir une relation $H = f(P)$ quelconque, pour les écoulements annuels.

C'est encore pire pour les écoulements mensuels où la corrélation avec la hauteur de précipitation est plus lâche, parce qu'il existe deux facteurs plus influents :

- le débit du mois précédent, c'est-à-dire pratiquement l'état des réserves
- la répartition des pluies et le nombre de fortes averses.

Ce tableau est très noir, et pourtant pour permettre aux réalisateurs de l'ouvrage de ne pas trop oeuvrer dans l'inconnu, nous avons tenté de leur fournir les ordres de grandeur des écoulements en années exceptionnelles sèches ou humides. Nos estimations s'appuient sur peu de choses ; voici l'inventaire de ces données de départ :

- les observations en 1959 sur le KAN
- le fait qu'il ne doit jamais y avoir tarissement complet de la nappe, mais que le débit d'étiage peut descendre en-dessous de 1 l/s.km^2 (il s'agit d'une hypothèse)
- l'ordre de grandeur des variations du coefficient d'écoulement mensuel, voisin de 5% au cours de la première saison des pluies, atteignant 15 à 20% pendant la seconde
- les observations effectuées sur la LHOTO au DAHOMEY
- les valeurs caractéristiques du régime des grandes rivières de l'est du pays : N'ZI, BANDAMA et COMOÉ, connues pour des années sèches (56 et 58) et humides (55 et 57)
- les relevés journaliers et les totaux mensuels de la pluviométrie à la station météorologique de BOUAKE.

Nous avons reconstitué de la sorte les débits moyens mensuels probables du KAN pour les 3 années les plus sèches de la période 1923-1959 pour laquelle nous connaissons la pluviométrie à BOUAKE : 1934, 1956 et 1958. Nous leur avons adjoint les années précédentes : 1933, 1955 et 1957 susceptibles d'influencer, par l'allure de leur tarissement, l'étiage de ces 3 années.

Il s'agit des cas les plus défavorables pour la retenue ; les années 1934, 1956 et 1958 occupant dans la série des pluviométries annuelles classées de BOUAKE les 37ème, 36ème et 32ème rangs sur 37 années.

La pluviométrie de l'année 1958 est pratiquement de fréquence décennale sèche.

En outre, l'année 1957 venant au 3ème rang sur 37, représente le cas d'une année très humide (fréquence inférieure à l'année décennale humide).

Nous couvrons ainsi toute la gamme des écoulements possibles. Il est inutile de procéder à des reconstitutions plus poussées, les autres années n'ayant pas présenté de saison sèche aussi critique ; cependant les étiages 1940-1941 et 1941-1942 ne sont pas beaucoup moins sévères que ceux de 1934-1935 et 1956-1957.

L'ensemble de ces reconstitutions est présenté dans un tableau page suivante. Nos hypothèses nous ont conduit aux résultats suivants :

- a) le débit moyen mensuel le plus sévère est celui de Mars 1935, estimé à 12 l/s, soit 0,5 l/s.km²
- b) les coefficients d'écoulements annuels varient de 5% à 15% (en 1957), chiffre qui ne serait pas dépassé de plus de 2 ou 3 unités pour l'année la plus humide de la période observée
- c) le module annuel pour sa part varie non plus de 1 à 3, mais de 1 à 7, soit entre 30 et 200 l/s.
- d) le plus faible volume d'apports annuels est celui de 1934 : 970.000 m³ environ et 3.200 m³ celui de Mars 1935.

Encore une fois, nous dirons que ces chiffres peuvent permettre de procéder à l'étude d'exploitation de la retenue, mais qu'il serait illusoire d'essayer d'en tirer des relations précises entre leurs valeurs et celles des précipitations.

ESTIMATION des DEBITS MOYENS MENSUELS
 en l/s du KAN à BOUAKE
 (prélèvements de la pisciculture compris)
 pour des ANNEES EXCEPTIONNELLES

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1933	30	20	50	57	50	65	90	230	200	100	160	70
1934	35	20	40	20	30	45	25	35	45	35	25	20
1935	18	15	12	80								
1955	30	35	35	60	65	210	210	100	250	220	80	55
1956	37	40	55	60	35	45	30	32	40	35	25	20
1957	18	15	40	70	100	130	200	380	600	525	180	80
1958	45	35	50	100	40	35	25	25	30	65	50	40

VALEURS ESTIMEES
 du BILAN HYDROLOGIQUE ANNUEL
 du KAN
 pour les mêmes années

Année	Module en l/s	Lame d'eau écoulée en mm	Pluie à BOUAKE en mm	K_e %
1933	93,5	118	1197	10,7
1934	31	39,5	757	5,2
1955	112,5	142	1231	11,5
1956	38	47,5	794	6
1957	195	245	1624	15,1
1958	45	56,5	917	6,2

CHAPITRE VI

OBSERVATIONS EFFECTUEES sur les BASSINS du FLAKOHO (région de FERKESSEDOUGOU)

A - 1 DESCRIPTION SOMMAIRE du BASSIN -

Le bassin versant du FLAKOHO est situé entre les latitudes 9° 41' et 9° 45' Nord et les longitudes 5° 03' et 5° 10' Ouest, environ 15 km au Nord de FERKESSEDOUGOU.

Sa superficie à la station aval de NAMBONKAHA est de 50 km².

Il se présente sous la forme d'un rectangle allongé dans le sens de l'écoulement d'Est en Ouest (15 km de long sur environ 4 de large). Son coefficient de forme de Gravelius est :

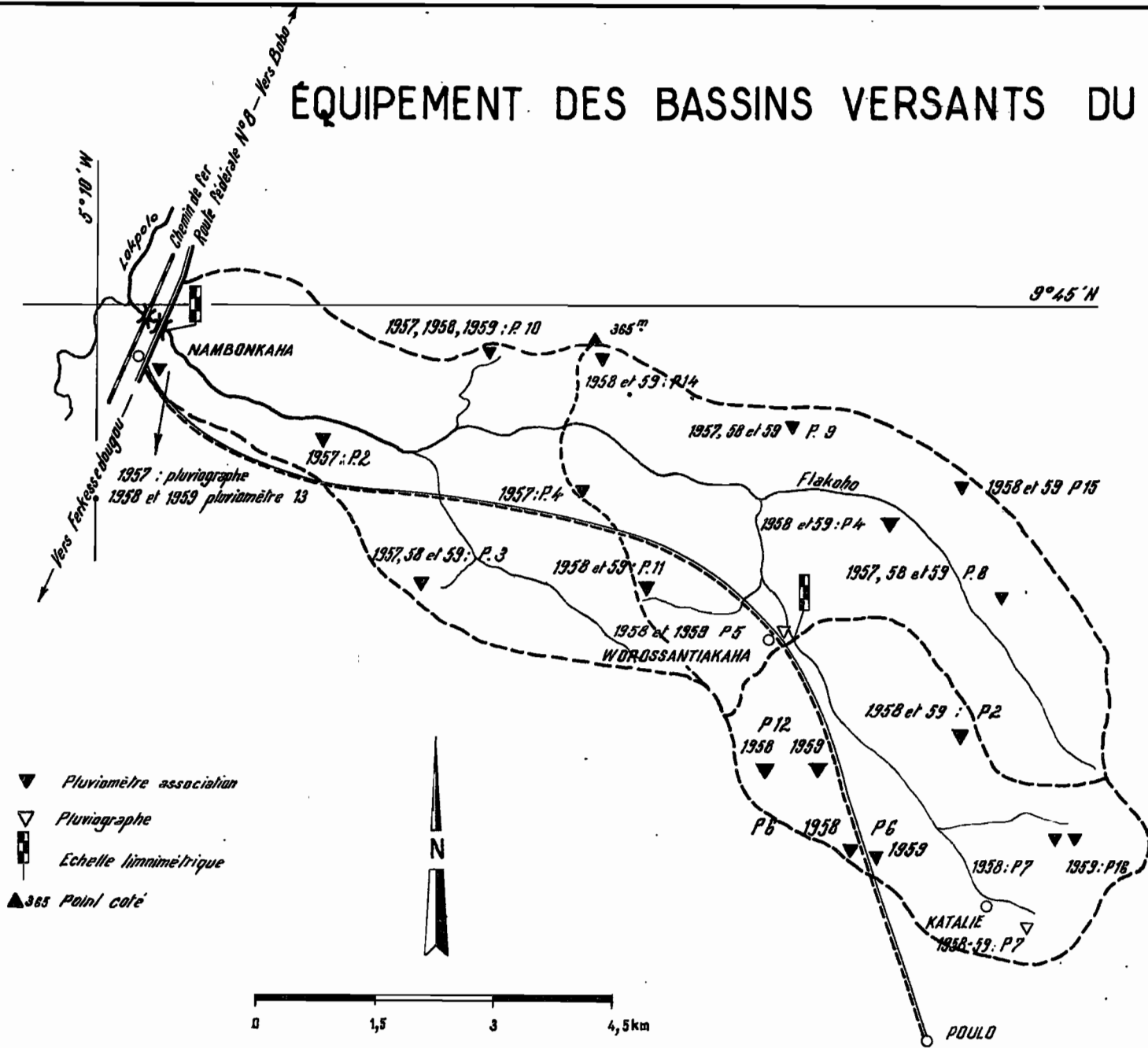
$$K = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 1,39$$

A moins d'un kilomètre en aval de NAMBONKAHA, le FLAKOHO se jette, en rive gauche, dans le LOKPOLO, rivière qui draine environ 1.000 km² ; non loin de FERKESSEDOUGOU, le LOKPOLO se jette à son tour dans le BANDAMA.

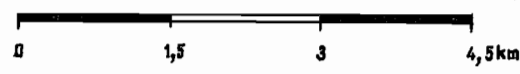
Les photographies aériennes nous ont grandement facilité l'observation de la topographie du bassin et la délimitation de la surface drainée.

Le relief est peu accidenté et caractérisé par des tables cuirassées latéritiques recouvrant d'une manière discontinue les lignes de crête et se terminant par des

ÉQUIPEMENT DES BASSINS VERSANTS DU FLAKOHO



- ▼ Pluviomètre association
- △ Pluviographe
- ▭ Echelle limnimétrique
- ▲ 365 Point coté



DIV. 9571

ED: ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER
 LE:
 DES:
 VISA:
 TUBE N°:
 A.O.

corniches d'éboulis de quelques mètres de haut. Les vallées et thalwegs sont largement évasés. Une petite plaine alluviale occupe la partie aval du bassin (50 à 100 m de large environ).

Les lignes de crête du bassin, jalonnées par les buttes témoins cuirassées, sont situées à une altitude de 360 à 370 m. La zone alluviale basse du bassin est située à 290/300 m environ.

Le FLAKOHO est formé par la réunion de deux bras d'égale importance, issus du plateau latéritique, au Nord de POULO. Sur le bras gauche, a été installé la station de mesures secondaire, à proximité du village de WOROSSANTIAKAHA. Ce cours d'eau qui draine un bassin de 14 km² seulement, est un petit ruisseau d'un mètre de large et de quelques dizaines de centimètres de profondeur qui serpente au milieu d'une végétation herbacée et arbustive touffue, petite "galerie forestière" en miniature.

Lors des crues, les eaux se répandent sur une bonne dizaine de mètres de largeur, court-circuitent les méandres et coulent assez rapidement.

Il n'y a pas de traces nettes d'érosion ; le couvert végétal est encore assez dense et la pente peu importante pour que le phénomène prenne de l'ampleur.

Dans la partie aval du bassin, la pente diminue fortement et le thalweg s'élargit en une dépression marécageuse. En amont du pont-route, il y a une assez grande mare pérenne qui amortit considérablement l'arrivée de la crue, laquelle traverse la route par un dalot de 10 m² d'ouverture environ. On y a installé la station principale de NAMBONKAHA, en 1957.

L'hydrographie générale du bassin est simple, le chevelu clairsemé. Les thalwegs ne concentrent l'écoulement en un lit marqué (en forme de U très large) qu'à partir d'une surface drainée assez importante.

Pour ce qui est des caractères hypsométriques du bassin, on observera que la pente générale du FLAKOHO est faible, que ce soit sur le plateau (où l'écoulement n'a lieu qu'en hivernage) ou dans la vallée (écoulement permanent). Il n'y a une rupture de pente, d'ailleurs très localisée, qu'à la descente du plateau.

L'altitude maxima du plateau dans le bassin doit voisiner 360 m. A NAMBONKAHA, nous sommes à la cote 300 m. Pour un cours d'eau d'environ 20 km, cela correspond à 3 m/km de pente moyenne ; ce chiffre n'est d'ailleurs pas significatif de la pente réelle de l'écoulement, par suite de l'accident créé par la descente du plateau.

Certains petits affluents de la partie aval du bassin drainent des pitons rocheux (cote 365) et possèdent alors une assez forte pente. Cette anomalie entraîne une irrégularité dans la propagation des crues le long du FLAKOHO. A NAMBONKAHA, on observe généralement 2 pointes de crues : la 1ère due à ces petits affluents à forte pente, voisins de l'exutoire, la 2ème, en provenance du haut-bassin, retardée par la traversée des marécages qui jalonnent le lit du FLAKOHO, dès son arrivée dans la plaine. Cette irrégularité des crues à NAMBONKAHA nous a conduit à modifier notre dispositif d'observations, en 1958.

A - 2 - EXECUTION du PROGRAMME d'OBSERVATIONS -

Le choix de l'emplacement du bassin a été effectué lors d'une reconnaissance, en Février 1957.

Du 15 Avril au 15 Juin, Monsieur MICHENAUD a effectué les gros travaux d'aménagement :

- construction d'un campement pour l'hydrologue, au village de NAMBONKAHA, à proximité de la station principale,
- édification des passerelles (en tubes métalliques et platelage en bois) aux deux stations de jaugeage de NAMBONKAHA et WOROSSANTIAKAHA,
- pose des échelles limnimétriques à ces stations.

Le 15 Mai, Monsieur RUAT passait sur le bassin pour prendre contact avec Monsieur MICHENAUD. Il devait revenir le 22 Juin, accompagné de Monsieur RANC, responsable des observations durant l'hivernage.

Ensemble, ils ont installé les limnigraphes aux deux stations, mis en place les pluviographes et pluviomètres, prolongé la passerelle de WOROSSANTIAKAHA et construit une passerelle supplémentaire pour les hautes eaux à la station de NAMBONKAHA, contre le pont du chemin de fer.

Les observations continues ont duré depuis le 20 Juillet jusqu'au 1er Novembre. La saison des pluies était assez avancée ; cependant, une bonne collection d'averses et crues observées put être réunie.

Il n'y a pas eu de gros ennuis de fonctionnement. La passerelle de hautes eaux de NAMBONKAHA s'avéra inutile se trouvant dans la courbe de remous de la confluence avec le LOKPOLO. La passerelle primitive installée au pont-route a été suffisante.

L'éloignement de WOROSSANTIAKAHA et la rapidité des crues sur ce petit bassin n'ont pas permis l'étalonnage complet de cette station. Messieurs RUAT et DUBREUIL sont venus, en cours d'hivernage, conseiller Monsieur RANC et contrôler son travail.

En 1958, on a relégué NAMBONKAHA au rôle de station secondaire, et installé une station dite centrale, en amont des marécages, peu après la confluence des deux principaux bras formant le FLAKOHO. La surface du bassin drainée était de 31,5 km². Les deuxièmes pointes de crues observées à NAMBONKAHA en 1957 sont pratiquement issues de ce bassin, auquel nous les rattacherons pour les analyser comparativement à celles observées en 1958 et 1959 à la station centrale.

L'hydrologue chargé du bassin, Monsieur BOREL s'est installé à WOROSSANTIAKAHA, afin d'être à même d'effectuer des jaugeages lors des crues à la station amont. Les observations continues ont duré du 15 Mai au 15 Novembre.

Elles furent reprises une 3ème année, en 1959, par suite du caractère très déficitaire de la pluviométrie en 1958. Monsieur LEULLIEUX, agent technique hydrologue, a contrôlé les observations de la saison des pluies, avec le même dispositif d'ensemble qu'en 1958.

Le contrôle technique du bassin a été assuré pendant ces deux années par Messieurs RUAT et FALABREGUES.

A - 3 - ETUDE PEDOLOGIQUE -

Les caractéristiques générales du sol, du sous-sol et de la végétation sont données par le rapport pédologique de Noël LENEUF et Bernard DABIN dont nous reprenons le texte ci-après :

"Le substratum géologique précambrien est constitué, dans la partie Est du bassin, par des granites calco-alcalins à 2 micas, parfois à texture plus ou moins fluidale au contact des schistes et présentant par endroits un faciès nettement pegmatitique (profil A.8).

Les schistes argileux, profondément altérés, traversés de filonnets de quartz, affleurent au Nord d'une ligne S.W. - N.E., passant au Nord de WOROSSANTILAKAHA.

La végétation

Une savane arbustive claire (savane soudano guinéenne), assez basse, constitue l'essentiel de la végétation des pentes et plateaux. Parmi les espèces relevées, nous trouvons :

Butyrospermum Parkii
Détarium sénégalense
Daniella Oliveri
Upaca Somon
Isoberlinia doka
Grewia sp

Dans les thalwegs, les sols sont plus frais et entretiennent une végétation plus humide :

Raphia sp
Sarcocephalus esculentus
Vitex sp
Pseudocedrela Kostchii
Bauhinia reticulata
Terminalia sp
qqe Elaeis

D'importantes superficies de cultures occupent la partie amont du bassin en zone granitique où les sols sont plus sableux et moins cuirassés qu'en zone schisteuse.

Une forêt classée occupe la partie N.W. du bassin entre WOROSSANTLAKAHA et NAMBONKAHA.

Une végétation herbacée de Graminées, Cyperacées et Maranthacées occupe la zone alluviale du bassin, associée avec quelques espèces arbustives (Mitragyne et Sarcocephalus).

Les sols

Sur pentes et plateaux, des sols tropicaux ferrugineux lessivés et fortement concrétionnés ou cuirassés représentent l'évolution pédologique actuelle de cette région, dans les conditions climatiques soudano-guinéennes. Les buttes témoins cuirassées, en relief dans toute cette région, constituent les vestiges d'une ancienne surface d'érosion aujourd'hui démantelée par l'action des eaux par suite de l'abaissement du profil d'équilibre des rivières locales. Les formations colluvionnaires de thalwegs sont sableuses, assez profondes, et très limitées en extension latérale. Elles ont une évolution hydromorphique due à un engorgement temporaire de nappe phréatique et subissent un lessivage assez important vertical et oblique.

CLASSIFICATION et DESCRIPTION des SOLS -

1 - Buttes-témoins cuirassées

Vestiges d'une altération ferrallitique ancienne, elles sont recouvertes d'une cuirasse ferrugineuse, parfois épaisse de 1 à 3 m, qui se disloque en blocs s'accumulant en éboulis cahotiques le long des corniches. La structure compacte et l'aspect vernissé des zones non disloquées donne une forte impression d'imperméabilité de ces zones cuirassées. Dans les périmètres de dislocation, la perméabilité varie en fonction de l'état structural du liant argileux intercalaire et des fissures existant dans ces amoncellements de blocs, et elle est difficilement appréciable.

GUI 8019

ED:

LE: 15. 9. 1958

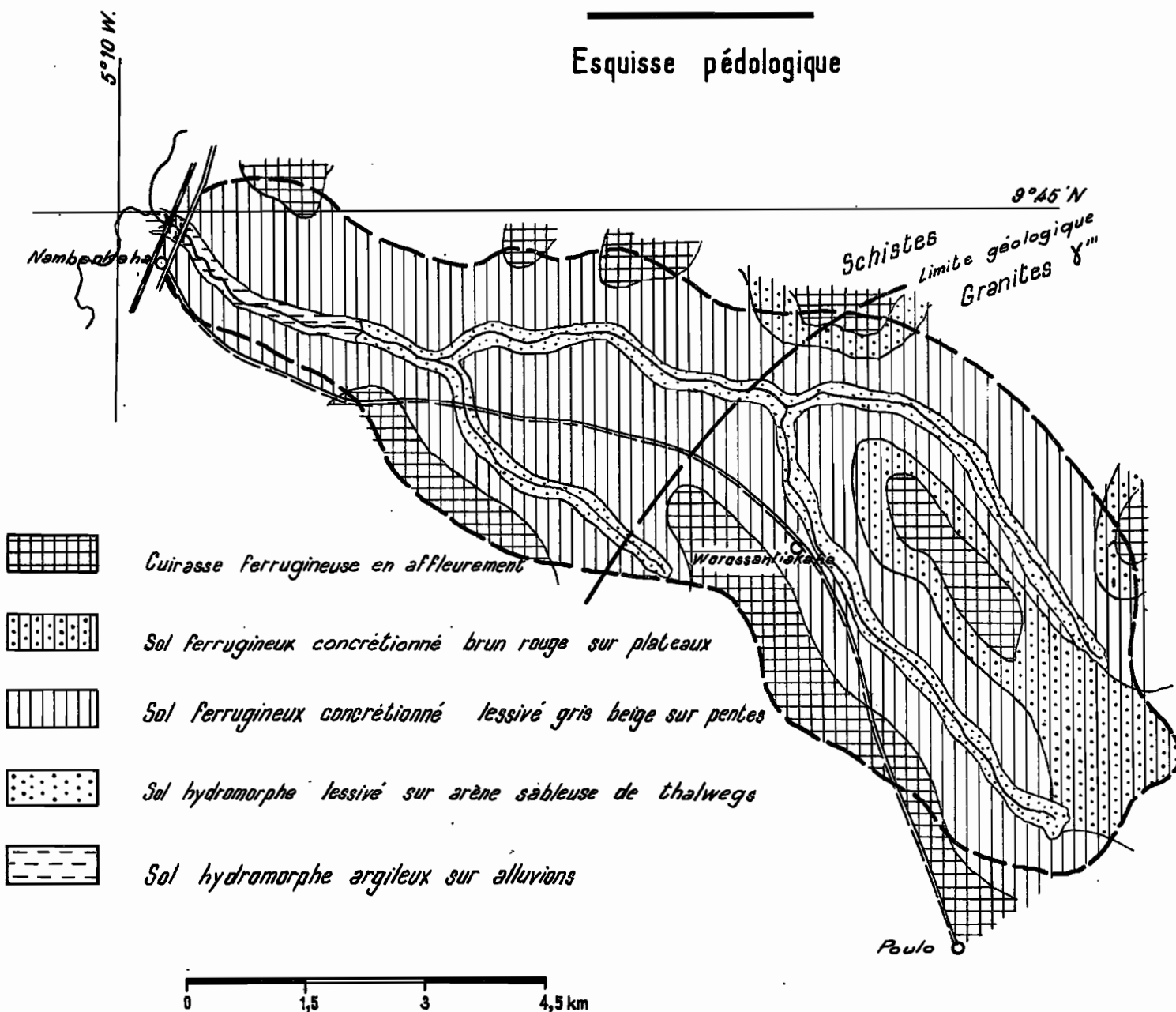
DES: J.-P. Haeflisch

VISA:

A1

Bassin versant du FLAKOHO

Esquisse pédologique



ELECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGÈRE

2 - Les sols ferrugineux tropicaux sur plateaux et pentes

Ils constituent l'essentiel de la pédologie du bassin. Le stade général d'évolution est très avancé au point de vue concrétionnement et cuirassement, aussi bien sur les granites que sur les schistes. Les zones cuirassées semblent cependant plus développées et plus compactes en région schisteuse, alors que les sols de la région granitique ont fréquemment une profondeur acceptable pour la culture et un concrétionnement moins dense.

a) Sol ferrugineux avec concrétionnement profond sur plateau

Profil A.2 (N.E. du village de POULO) sur granites

- 0 - 5 cm : brun foncé, sablo-argileux, humifère
- 5 - 30 cm : brun jaune, argilo sableux
- 30 - 40 cm : petites concrétions rouilles
- 40 - 90 cm : argilo-sableux, avec taches rougeâtres
- 90 - 160 cm : sablo-argileux, taches grises et rougeâtres, concrétionnement dense.

b) Sol ferrugineux à concrétionnement superficiel sur plateau

Profil A.5

Il est situé dans une ancienne zone de culture à végétation très dégradée. Il est fortement concrétionné dès la surface (59 % d'éléments grossiers) et cuirassé à 60 cm.

- 0 - 10 cm : brun noirâtre, sablo-argileux, graviers quartzeux et concrétions ferrugineuses denses, quelques éléments morcelés de cuirasse
- 10 - 60 cm : brun rouge argileux, concrétionnement moins dense
- à 60 cm : cuirasse compacte.

Les deux profils décrits précédemment ont une teinte brun rougeâtre caractéristique de la zone granitique à une altitude de 300 m environ.

Sur les pentes, les types de sols sont plus lessivés, de teinte grise et gris beige, présentant des termes de transition de plus en plus sableux et moins concrétionnés, avec les sols sur colluvions de thalwegs où l'hydromorphie est plus accentuée en profondeur.

c) Sol ferrugineux concrétionné sur pentes

Le profil B.2, situé au N. du village de WOROSSANTIAKAHA, présente les caractères suivants :

- 0 - 25 cm : sableux gris beige
- 25 - 40 cm : sablo-argileux, ocre beige
- 40 - 55 cm : sablo-argileux compact, beige rougeâtre, concrétions ferrugineuses
- 55 - 75 cm : argilo-sableux grossier, taches rougeâtres bien individualisées
- 75 - 120 cm : argilo-sableux, humide.

Les zones de culture anciennes ou actuelles montrent des profils plus évolués, avec un concrétionnement dense à 10 cm environ.

Profil B.4

- 0 - 30 cm : sableux et concrétions dispersées
- 30 - 40 cm : concrétionnement dense
- 40 cm : cuirasse ferrugineuse.

Les affleurements de roche saine granitique sont fréquents dans ces zones de sols gris, gris beige (coupe B.). Au contact de ces affleurements rocheux, nous trouvons des arènes sableuses feldspathiques sur lesquelles se sont formés des sols beiges ferrugineux dont l'hydromorphie de profondeur peut être assez accusée au contact de la zone d'altération du granite.

Profil B.3 (N.E. de WOROSSANTIAKAHA)

- 0 - 20 cm : gris brun foncé, sablo-humifère
- 20 - 35 cm : gris beige, sablo-argileux
- 35 - 50 cm : gris beige taches rouilles, argilo-sableux
- à 50 cm : zone d'altération du granite humide.

Caractères analytiques physiques des sols de plateaux et de pente

Les sols brun rouge plus ou moins concrétionnés de la zone amont du bassin ont une texture superficielle sableuse à sablo-argileuse.

- 6 à 21 % d'argile
- 6 à 8 % de limon
- 29 à 34 % de sable fin
- 33 à 56 % de sable grossier

A 50 cm la teneur en argile varie de 35 à 44 %. La perméabilité est assez variable, (1,5 à 8,1 cm/heure) et en général assez faible malgré le fort pourcentage de sable grossier. Le sol le plus perméable (8,1 cm/h) a une forte teneur en graviers quartzeux et concrétions ferrugineuses (59 %) et une fraction argileuse mieux saturée en bases.

Les sols ferrugineux beiges des pentes (zones moyenne et inférieure du bassin) ont une texture superficielle plus sableuse (5 à 10 % d'argile, 4 à 5 % de limon).

Les valeurs de la perméabilité sont comparables à celle des sols précédents. Les sols les plus sableux (A. 3 et B.2) ont les perméabilités les plus médiocres par suite de l'instabilité de l'état structural de l'argile.

En surface, la porosité est la plus faible dans les sols les plus sableux :

- 35 à 40 % dans les profils B.2, A.3 et B.2 ayant 5 à 10 % d'argile
- 49 à 50 % dans les profils A.2 et A.5 ayant 15 à 20 % d'argile.

Elle augmente en profondeur (47 à 66 %) avec la teneur en argile.

3 - Les sols hydromorphes des thalwegs et de la plaine alluviale

Sols des thalwegs

Ils sont localisés à la naissance des thalwegs, dans les bas de pente et le long des marigots non permanents sur une bordure étroite. Ils se sont formés sur des arènes sableuses grossières qui possèdent en profondeur une nappe phréatique entretenant des conditions hydromorphes et un engorgement prolongé pendant de nombreux mois. Le lessivage superficiel est très marqué (argile, fer et bases). Le concrétionnement ferrugineux est peu dense. Les fractions grossières sont surtout quartzeuses.

Profil A.4 (N.E. de POULO, amont du bassin)

- : naissance de thalweg
- 0 - 10 cm : sableux, gris brun foncé
- 10 - 30 cm : sablo-argileux, beige
- 30 - 80 cm : sablo-argileux, tacheté rouille diffus
- vers 90 cm : taches ocre rouille bien individualisées et quelques concrétions ferrugineuses
- à 120 cm : sableux, gris clair, taches jaunâtres diffuses
- à 140 cm : sableux très humide.

La perméabilité de ces sols est médiocre (11,2 mm/h) en surface et très mauvaise en profondeur (4,9 mm/h) malgré une texture très sableuse : 50 % de sables grossiers, 30 % de sable fin, 10 % d'argile. La porosité est la plus faible dans les horizons sableux (38 % en surface).

Nous avons un type de sol comparable au profil B.2 des sols beiges mais dont l'évolution hydromorphique plus marquée a donné un état structural plus instable.

Le Profil B.5 est un type colluvial de bordure de marigot nettement différent au point de vue granulométrique, car la fraction sableuse est constituée en majorité de sable fin. La perméabilité est meilleure (2,8 cm/h en surface), ainsi que la porosité (46 %).

Sols sur alluvions

Leur extension est limitée à la zone alluviale située à l'aval de la vallée près de NAMBONKAHA, sur une largeur de 50 à 150 m environ.

Ils subissent une inondation annuelle de plusieurs mois provoquant un engorgement complet du sol et l'accumulation de la matière organique superficielle (3 %).

Leur texture est très argileuse (56 % en surface, 44 % à 100 cm), riche en limon (24 à 32 %), pauvre en sable grossier. Le concrétionnement ferrugineux est à peu près inexistant.

La perméabilité est mauvaise en surface (0,89 cm/h) et pratiquement nulle en profondeur (0,19 cm/h). Par contre, la porosité est élevée (70 à 66 %) ; ces sols présentent les chiffres les plus élevés d'eau utilisables (7,6 à 11,2 %).

SOLS FERRUGINEUX DE PLATEAUX (Sols "brun rouge")

Profils	A.2			A.3				A.5	
Profondeur cm	0/10	50	100/120	0/10	40/50	100/120	200/220	/20	50/60
Refus > 2 mm %	2,6	4,8	6,4	8,9	29,3	0,4	4,7	59,0	43,1
Argile %	21,0	35,7	29,7	6,5		35,2	36,7	15,5	44,7
Limon %	7,0	6,5	12,5	6,2		13,2	17,2	8,5	7,7
Sable fin %	29,9	22,3	26,8	29,6		22,8	23,4	34,9	18,2
Sable grossier %	40,2	31,0	29,2	56,9		24,2	18,0	33,3	23,4
Matière organique%	0,6			0,5				1,8	
Porosité	50	51	57	38,5		59,5	66	49	50
Perméabilité cm/h	2,55	6,9	11,6	1,52		2,9	2,25	8,1	4,1
pF.3	13,8	20,5	21,7	10,6		23,1	24,7	11,5	18,7
pF. 4,2	10,5	16,1	17,1	5,7		16,7	16,7	8,8	17,9
Indice d'instabilité	1,18	0,73	0,28	1,65		1,86	3,0	1,75	1,72
Stabilité structurale	60	72,3	84	53		58,5	58	68	62

SOLS FERRUGINEUX DE PENTES (Sols "gris beige")

	B.2			B.3	
Profondeur	0/10	50/60	100/120	0/20	50/60
Refus	3,2	24,6	2,4	7,3	2,8
Argile	5,2	22,7	26,0	10,7	34,0
Limon	5,7	6,0	7,0	4,2	5,7
Sable fin	32,0	23,6	19,0	31,9	22,1
Sable grossier	55,1	45,3	46,3	51,6	35,8
Matière organique	0,7			1,0	
Porosité	35,5	47	47	40	52,5
Perméabilité cm/h	2,70	1,50	2,15	6,6	2,9
pF 3	8,6	16,4	16,5	11,8	20,9
pF 4,2	6,0	9,6	10,2	6,7	12,9
Indice d'instabilité	2,33	1,0	3	0,72	2,32
Stabilité structurale	55,5	56	52	72	56,5

	Sols sur colluvions de thalwegs, avec hydromorphie de profondeur			Sols hydromorphes sur alluvions			
	A.4			B.5		C.1	
Profondeur	0/10	100/120	150	0/10	100	0/10	100
Refus 2 mm	19,5	3,9	9,4	0	0	0	1,8
Argile	11,0	15,0	10,0	7,5	20,0	56,5	40,2
Limon	7,7	11,5	5,5	4,7	7,0	24,2	32,2
Sable fin	29,6	30,1	31,2	52,5	44,5	8,9	18,8
Sable grossier	50,7	43,0	52,9	33,3	27,7	1,4	3,0
Matière organi- que	0,5			0,9		3,1	
Porosité	3,8	44,5	32	46	52	70,5	66
Perméabilité cm/h	1,12	1,44	0,49	2,8	1,46	0,89	0,19
pF.3	11,8	16,8	8,7	11,8	14,3	31	29
pF.4,2	7,1	8	4,7	5	8,7	23,4	17,8
Indice d'ins- tabilité	1,46	6,2	2,52	1	3,45	2,35	6,8
Stabilité structurale	46	43	39,5	62	47	69	61

CONCLUSION -

Le bassin du FLAKOHO est moins perméable que les bassins de l'IFOU et du NION, avec une moyenne de 32,8 mm/h, ce qui représente des sols moyennement perméables. Les zones cuirassées sur lesquelles aucune mesure n'a été faite au laboratoire étant très étendues dans ce bassin, ce chiffre constitue certainement un maximum. La perméabilité s'abaisse en profondeur, exception faite de certains horizons gravillonnaires où l'argile, en pourcentage élevé, présente une bonne stabilité structurale, ce qui augmente la perméabilité (70 à 110 mm/h). Les autres profils ont un abaissement caractérisé de cette propriété physique, surtout les horizons à évolution hydromorphique.

B - EQUIPEMENT des BASSINS -

En 1958, le pluviographe de NAMBONKAHA fut placé à la station centrale et les 2 pluviomètres de la plaine alluviale remontés sur le bassin réduit (voir carte du bassin).

En 1959, disposant d'un matériel rendu disponible sur un bassin voisin on installa un autre pluviographe sur le haut du petit bassin, et 6 nouveaux pluviomètres, ce qui portait l'effectif total à 16 appareils dont 3 en aval du bassin central. On atteignait une bonne densité de un pluviomètre pour 2,5 km².

1 - A la station de NAMBONKAHA : (A = 50 km²)

Une passerelle de jaugeages en tubes Mills et platelage était installée à l'entrée du dalot qui permettait la traversée de la route de HAUTE-VOLTA.

Les relevés étaient continus, fournis par un limnigraphe Ott type X, de 24 heures de rotation, et contrôlés par la lecture d'une échelle limnimétrique de deux mètres, installée en amont de la route.

2 - A WOROSSANTIAKAHA : (A = 14 km²)

L'installation était semblable : passerelle, limnigraphe et échelle.

3 - A la station Centrale : (A = 31,5 km²)

En 1958, elle fut dotée du limnigraphe de NAMBONKAHA et d'une échelle de contrôle, haute de 2 mètres. Une passerelle de jaugeages était érigée au dessus du lit mineur ; la zone des débordements possibles fut débroussée et balisée par un câble gradué de part et d'autre de la passerelle.

L'organisation des observations était la suivante :

Des aides africains résidaient à chacune des stations ; ils assuraient le contrôle du ramassage des pluviomètres (effectué par des employés, munis de bicyclettes, qui empruntaient les sentiers débroussés et créés à cet effet), le changement des feuilles d'enregistreurs (pluviographe et limnigraphe) et les lectures météorologiques, pour l'assistant de NAMBONKAHA.

L'hydrologue, depuis NAMBONKAHA puis WOROSSANTIKAHA se rendait à l'une ou l'autre des stations de jaugeages, en véhicule, (la piste traversant le bassin est pratiquement d'un emploi permanent).

C - CLIMATOLOGIE -

La région de FERKESSEDOUGOU est soumise à un climat de régime tropical de transition, caractérisé essentiellement par :

- une hauteur de précipitation annuelle d'environ 1 300 mm, répartie sur 7 mois, d'Avril à Octobre ; l'influence de la petite saison sèche se manifeste légèrement par une égale pluviométrie des mois de Mai et Juin,
- des variations peu importantes de la température moyenne,
- une humidité assez forte pendant 9 à 10 mois.

La station météorologique de FERKESSEDOUGOU, la station agricole située à 5 km du Centre ville et nos propres observations à NAMBONKAHA nous fournissent un aperçu des valeurs numériques du climat local.

1 - Température

Les températures moyennes maximales et minimales (Tx et Tn) varient peu en cours d'année.

Le maximum moyen mensuel est au plus haut en Mars-Avril avec 37 ° environ ; il descend régulièrement, dès l'arrivée des pluies, pour atteindre au plus bas 30 ° en Août.

Le minimum moyen mensuel est aussi au plus haut en Mars-Avril, avec 22° environ. Il descend légèrement jusqu'à 20 ° en Août. L'influence du vent froid de N.E. est assez nette car les minimums de Décembre et Janvier sont prononcés 15 ° à 16° suivant les années.

On observera que l'écart Tx - Tn passe par un minimum de 10° au centre de l'hivernage (Août) pour atteindre 20° au plus haut, en Janvier.

2 - Humidité

L'humidité relative à 6 heures du matin est forte toute l'année : elle oscille de 70 à 95 %, avec un minimum accusé en Janvier-Février et un maximum en Août-Septembre.

A 12 heures, l'humidité varie entre 25 et 75 % et reste du même ordre à 18 heures. On note également un minimum en Janvier-Février et un maximum en Août-Septembre.

3 - Evaporation

La station météorologique installée à NAMBONKAHA possède un bac d'évaporation type Colorado enterré sur lequel des mesures continues ont été poursuivies d'Août 1957 à Octobre 1959. Nous en donnons les résultats sous forme de moyennes mensuelles en millimètres par jour :

: 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, le 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 quelque 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 1.800 mm environ, susceptible de varier de 10% de part et d'autre de cette valeur, lors d'années exceptionnelles. Ce résultat est supérieur de 50% au chiffre avancé pour les bassins de TOUNODI et de BOUAKE.

D - ETUDE DU REGIME PLUVIOMETRIQUE -

1 - La pluviométrie annuelle :

Nous avons déjà vu que la pluviométrie annuelle était de l'ordre de 1.300 mm dont plus de 90% tombent durant les 7 mois d'avril à Octobre ; la saison des pluies peut d'ailleurs être décalée d'un mois dans l'un ou l'autre sens. Les mois d'août et Septembre sont les plus pluvieux. Certaines années, Juin reçoit moins d'eau que Mai, signe d'une légère sécheresse qui s'accroît avec les latitudes décroissantes.

Le poste météorologique de FERKESSEDOUGOU est en fonctionnement depuis 1926 ; nous possédons les valeurs moyennes calculées sur une période de 31 ans :

Période 1927/1958												
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
H mm	6	20	48	83	146	150	185	301	235	118	35	10
N	0,5	1,5	3,8	6,5	10,2	11,4	13,7	17,8	18,8	12,7	4,1	1
Année moyenne (H mm 1.337 N(jours) 102)												

L'essai d'ajustement par une loi de Gauss de cette série de 31 années a été concluant. On obtient les caractéristiques suivantes :

$$\text{moyenne } \bar{H} = 1.337 \text{ mm}$$

$$\text{écart-type} = 252 \text{ mm}$$

$$\text{année décennale humide} = 1.660 \text{ mm}$$

$$\text{" " sèche} = 1.015 \text{ mm}$$

L'intervalle de variation est encore notable :

$$\frac{1972 \text{ (maximum de 1954)}}{927 \text{ (minimum de 1958)}} = 2,13$$

Le poste météorologique de FERKESSEDOUGOU est assez représentatif du régime pluviométrique de la région, dans laquelle les variations à l'échelle annuelle sont de peu d'ampleur.

On dispose, pour analyser cette question, d'un document intéressant représenté par les archives pluviométriques de la station de FERKESSEDOUNGOU-Agriculture, mise en service en 1927, et observée elle aussi pendant 31 ans sans interruption. La distance entre les deux postes est de 3 km.

La comparaison des pluviométries annuelles montre :

- que 10 années (donc 1 fois sur 3) les hauteurs relevées sont identiques
- que 8 années, l'Agriculture a enregistré une pluviométrie légèrement supérieure à celle de la météo ; excédent faible, de l'ordre de quelques %, qui atteint 7,5% pour 1947
- que les 13 autres années, les hauteurs d'eau relevées à la station météo dépassaient celles de l'Agriculture ; dépassement qui peut être notable, puisqu'il est souvent supérieur à 10% (16% en 1958).

On mettra à part 1950, où l'écart de 37% semble bizarre.

Dans l'ensemble, il pleut davantage à la météo qu'à la station de l'Agriculture, où la moyenne sur 31 ans n'est que de 1.302 mm (écart de 2,5%). Cet écart n'est pas significatif et il ne faut pas en chercher la cause ailleurs que dans des phénomènes secondaires dus par exemple à l'exposition de l'un ou l'autre des appareils.

Nous allons regarder maintenant, comparativement à ces séries, l'importance des pluies reçues en 1957, 1958 et 1959 par le bassin du FLAKOHO.

Pluviométrie en 1957

Voici le tableau comparatif des relevés mensuels :

1957	Station Météorologique	Station agricole	NAMBONKAHA	WOROSSAN- TIAKAHA (n° 5)
Août	450	488	425	380
Septembre	254	326	263	278
Octobre	159	128	151	158
Novembre	16	31	-	-
Décembre	1	0	-	-
Août-Oct.	863	842	839	816
Année	1.765	1.833		

A la station météorologique, l'année 1957 présente un fort excédent sur la moyenne des 30 années antérieures (132% de P = 1.337 mm), avec 125 jours de pluie contre 102, en moyenne.

C'est, après 1946 (1.972 mm) et 1933 (1.838 mm), l'année la plus pluvieuse : 3ème rang sur 30 ans, soit fréquence de 1/10°.

A la station de l'Agriculture, mieux arrosée, l'année 1957 vient en 2ème position. Si l'on se réfère aux ajustements de Gauss, on trouve des fréquences duodécennales et cinquantenaires, respectivement pour la météo et l'agriculture, ce qui est peut-être excessif.

Durant les 3 mois d'observations, Août à Octobre, les hauteurs d'eau relevées sur le bassin sont légèrement inférieures ou égales à celles de la station météo. On peut donc sans crainte affirmer que la pluviométrie de 1957 était de fréquence décennale sur le FLAKOHO, peut-être même plus rare. Pour les mêmes 3 mois la pluie moyenne, respectivement sur les bassins amont et aval, admet 91 et 87,5% de coefficient de réduction vis-à-vis des relevés ponctuels.

En supposant un total ponctuel sur le bassin du FLAKOHO, placé dans la bande 1765-1833 mm, subissant un coefficient de réduction de 90% pour passer à la hauteur sur l'ensemble du bassin. On conclut à une pluie moyenne de 1.600 à 1.650 mm sur notre bassin.

En 1957, ce sont les mois d'Avril, Mai et Août qui sont les plus excédentaires. Il est regrettable que nos observations n'aient commencé qu'au mois d'août ; l'importance des ruissellements d'Avril, Mai et Juillet est intéressante à connaître. En 1958, les observations commencèrent courant Mai ; nous espérons ainsi combler les lacunes de l'an passé.

Malheureusement, l'année 1958 fut très sèche et les ruissellements furent très réduits. Le tableau ci-dessous traduit ce déficit :

1958	St. Météo	St. Agriculture	WOROSSANTIKAHA (n° 5)
Mai	122	82	60 (1)
Juin	107	95	86
Juillet	38	29	82
Août	85	65	61
Septembre	221	233	157
Octobre	76	69	104
Novembre	78	56	63 (2)
Mai-Nov ^{bre}	727	629	613
Année	927	800	

(1) à partir du 18 Mai

(2) jusqu'au 16 Novembre

Ce sont les deux plus faibles années, observées en 30 ans, aux deux stations. La fréquence au dépassement, d'après la loi de Gauss, conduit à une éventualité semblable de 1 année sur 30.

Pendant nos 6 mois d'observations, le total pluviométrique à WOROSSANTIKAHA reste assez voisin de celui de la station agricole. On observe sur la moyenne du grand bassin, un coefficient de réduction de 90%, par rapport aux relevés ponctuels de ce pluviomètre, comme en 1957. En admettant les mêmes hypothèses, on est conduit à placer entre 750 et 830 mm la pluie totale de 1958 sur le bassin du FLA-KOHO, à laquelle une fréquence de 1/30^e est aussi applicable.

En 1959, la pluviométrie est à nouveau largement excédentaire.

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

Mois	FERKE - Météo	NAMBONKAKHA	WOROSSANTIAKAHA: (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'Ayriil 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.

2 - Les plus fortes pluies en 24 heures :

Nous avons pu disposer de la série complète des observations journalières effectuées à la station météo de FERKESSEDOUGOU depuis 1927 ; les chiffres ont subi une analyse critique serrée permettant l'élimination ou la correction des relevés douteux. Les documents relatifs à 1958 et 1959 nous sont parvenus trop tard pour être intégrés dans cette étude qui ne porte que sur les 30 ans de 1927 à 1957 (l'année 1931 est incomplète).

Le tableau suivant donne le début de la liste des précipitations journalières classées par ordre décroissant :

187 mm	117,2
153,6	105,6
<u>134,7</u>	104,5
126,7	104,3
122,1	102,6
<u>119,5</u>	102,3 etc...

Les valeurs occupant les 3ème et 6ème rangs sont celles de 1959 que nous avons placées intentionnellement pour montrer l'importance de cette année. Il est vraisemblable que sur une série de 30 ans, son rôle ne serait pas si grand car il serait un peu minimisé par les faibles pluies de 1958, année non étudiée aussi.

Le classement de toutes les précipitations observées durant la période trentenaire précitée, c'est-à-dire sur 10.950 jours, est résumé dans le tableau suivant donnant le nombre de valeurs par classes de la série :

FERKESSEDOUGOU

Hauteurs classées des précipitations journalières
1927 - 1957 (sauf 1931) : 30 ans

	0 < H < 10	10 < H < 20	20 < H < 30	30 < H < 40	40 < H < 50	50 < H < 60	60 < H < 70	70 < H < 80	80 < H < 90	90 < H < 100	100 < H < 125	H > 125
N ^b jours pluie	1817	615	295	163	94	55	19	10	10	6	7	3
N ^b jours pluie	3097	1277	662	367	204	110	55	36	26	16	10	3
Fréquences	1	0,413	0,214	0,118	0,066	0,0355	0,0178	0,0116	0,0084	0,0052	0,0032	0,00097

L'analyse statistique conduit à des résultats intéressants. On considère que les pluies inférieures à 10 mm ne sont pas parfaitement connues, car leur nombre dépend bien souvent du sérieux et de la célérité de l'observateur. De plus, l'imprécision est grande en-dessous de 1 mm entre "pluie" et "pas de pluie", alternative toujours délicate à trancher pour un simple observateur météo. On divise toutes les fréquences par la fréquence de la pluie de 10 mm ; les fréquences ainsi obtenues se répartissent suivant une loi de Gauss, les pluies étant prises sous forme logarithmique.

L'ajustement ainsi réalisé sur 30 ans permet de donner avec précision les valeurs à retenir pour les précipitations journalières de fréquences annuelle : 75 mm et décennale : 130 mm qui seront utilisées pour le calcul des crues correspondantes.

E - 1 - AVERSES OBSERVEES -

Au cours des trois campagnes 1957, 1958 et 1959, les périodes d'observations continues ont été les suivantes :

- 26 Juillet au 31 Octobre 1957
- 18 Mai au 17 Novembre 1958
- 5 Août au 31 Octobre 1959

Les pluies relevées durant ces périodes se répartissent, comme suit, selon leur importance :

Période	Total	0-10 mm	10-20 mm	20-50 mm	50-100 mm	+de 100 mm
1957	53	31	10	8	4	-
1958	62	36	19	7	-	-
1959	41	23	6	7	4	1

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

En 1958, année sèche, on n'a observé que de faibles pluies, le maximum ponctuel enregistré fut de 42 mm.

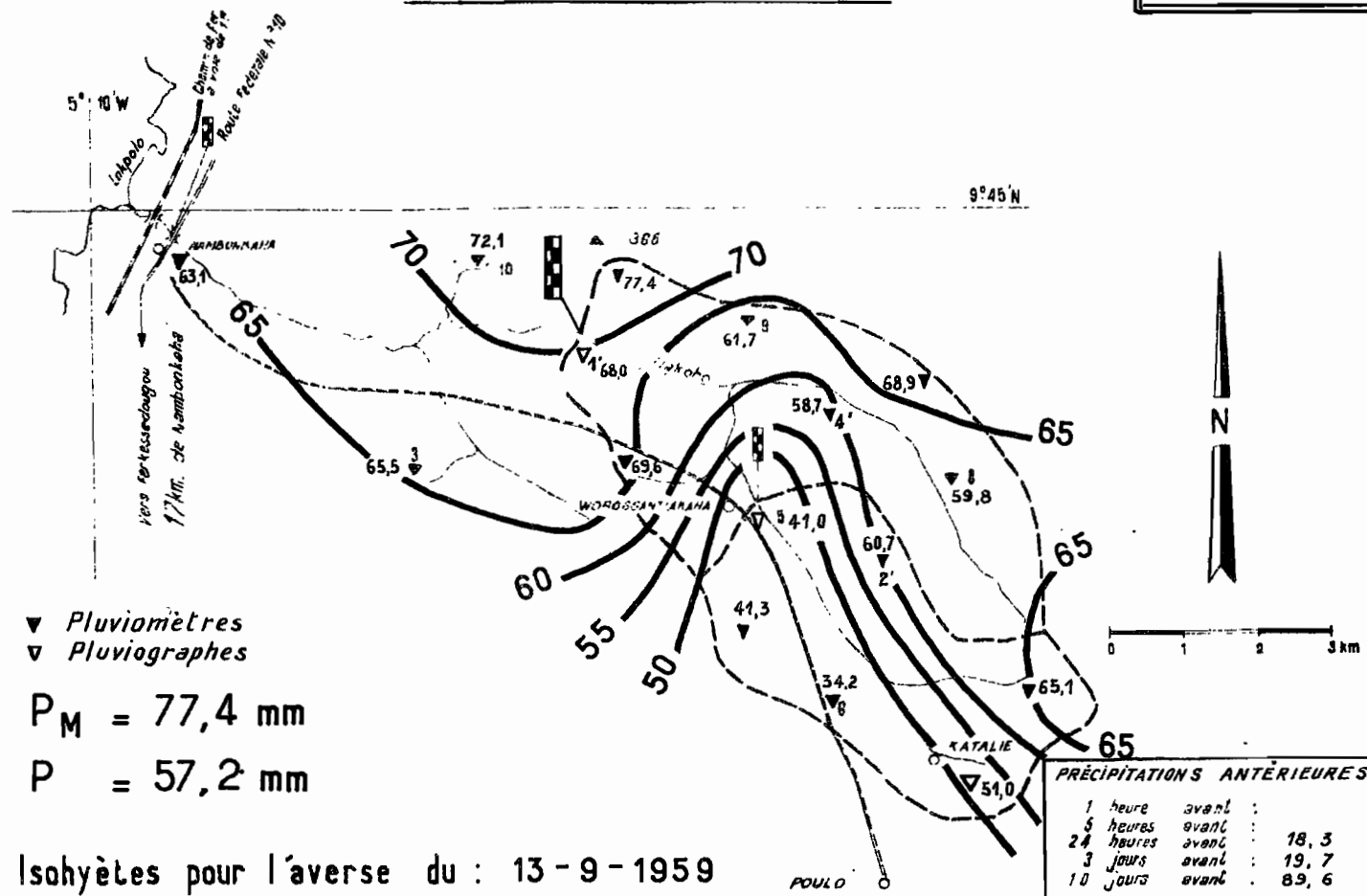
En 1957 et 1959, bien que les pluies aient été abondantes, il n'y a qu'une averse exceptionnelle, celle du 8 Août 1959, survenue le lendemain de l'arrivée de l'agent technique sur son bassin, alors que la moitié du réseau pluviométrique n'était pas encore installée.

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

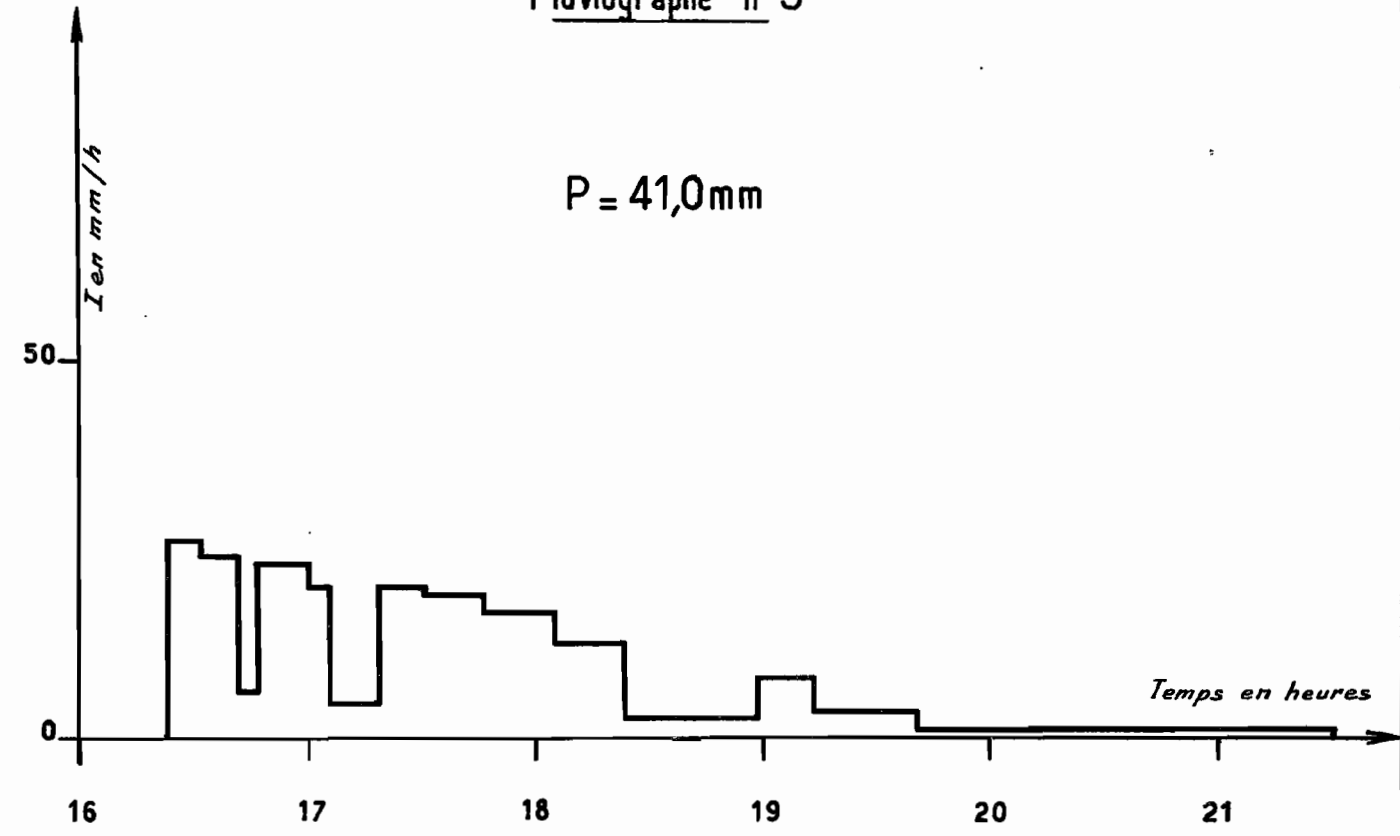
- a) la plus grosse averse dure de 23 h à 2h le lendemain, avec 3 pointes d'intensité de 75 mm/h, elle atteint 77,6 mm et 87,7 mm avec sa traine qui se prolonge jusqu'à 7 h 1/2
- b) après 1/2 heure d'accalmie, survient une 2ème averse qui durera 4 heures à faibles intensités et dont le total sera de 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

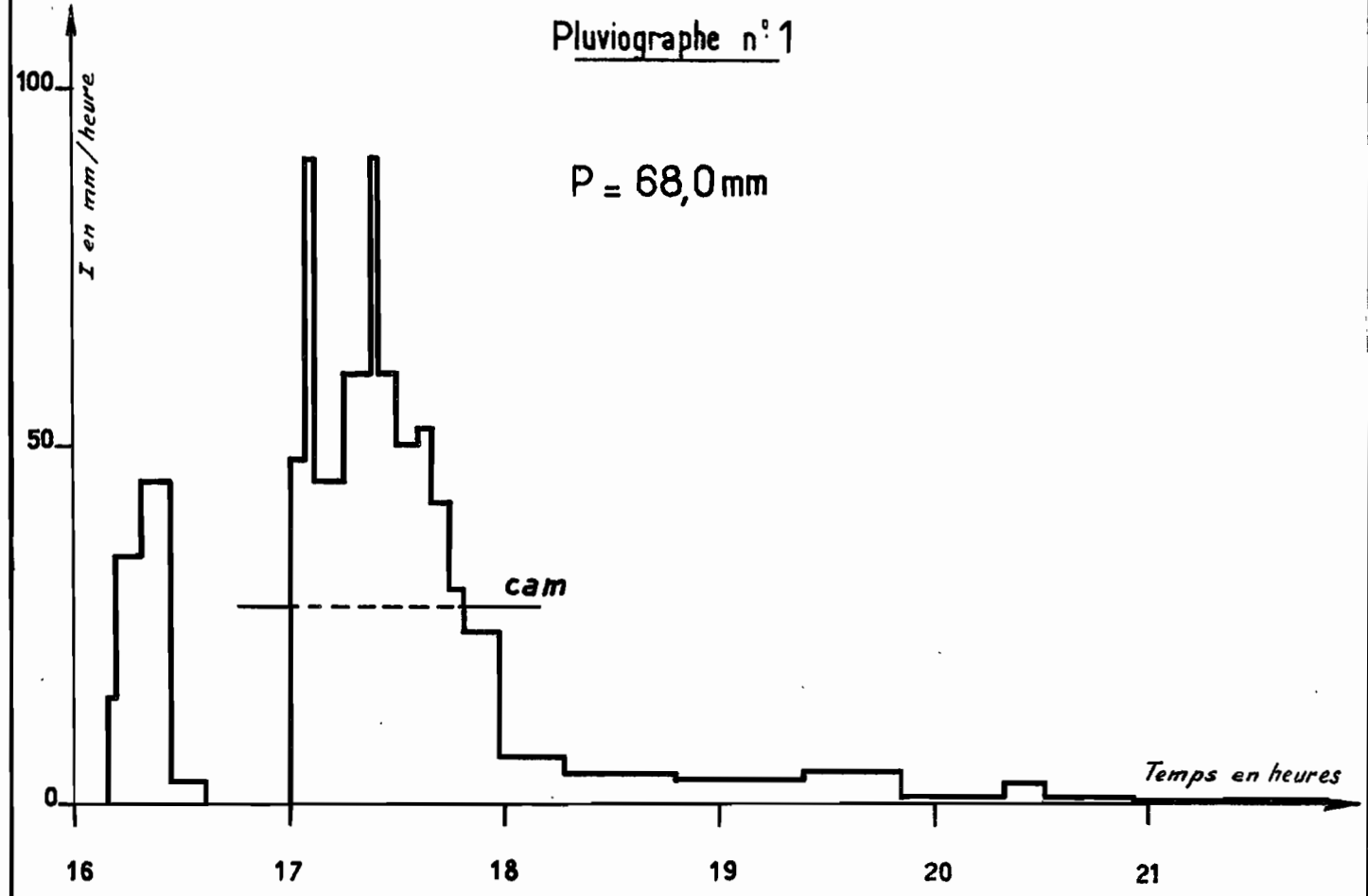
AVERSE N° 26



Pluviographe n° 5

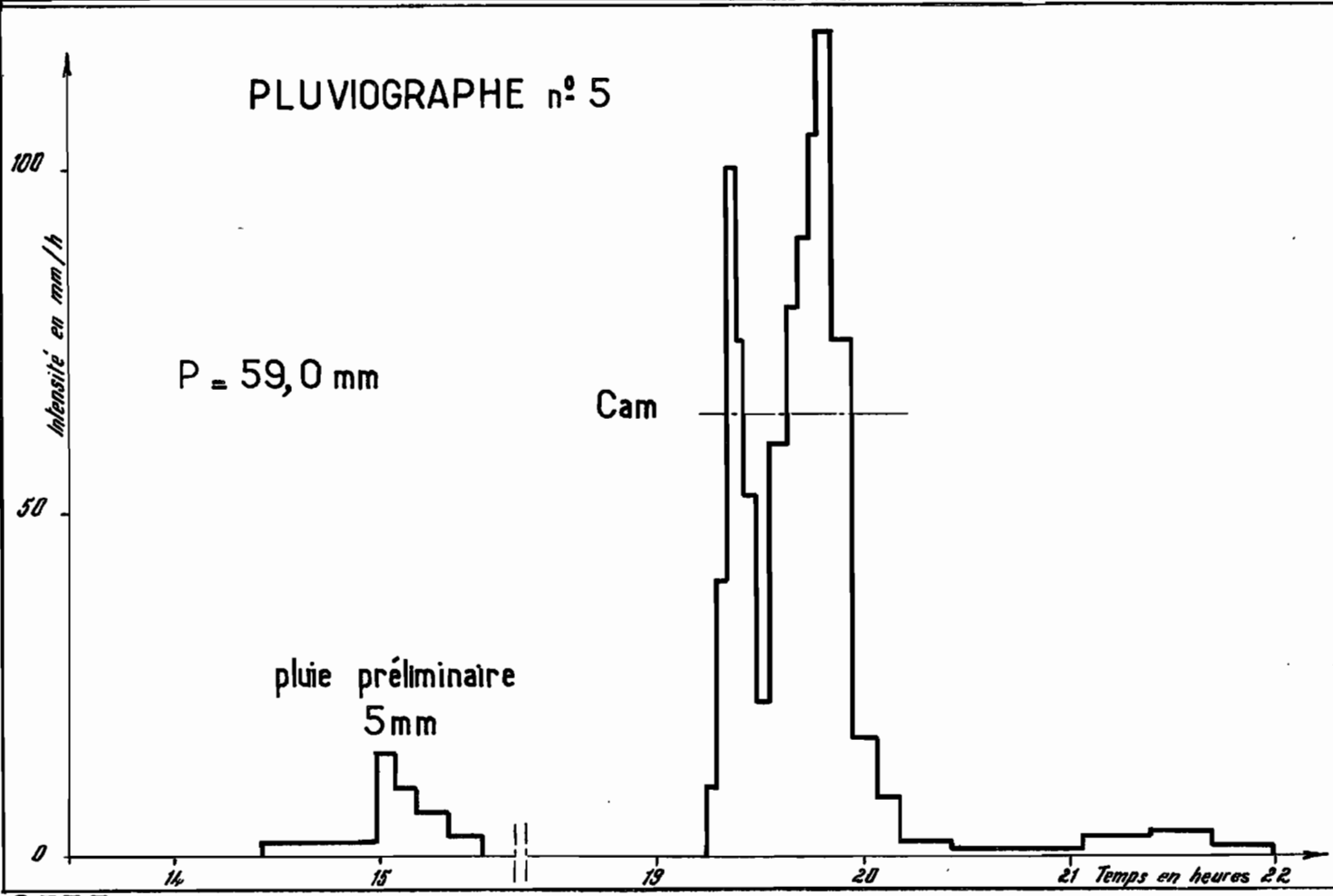
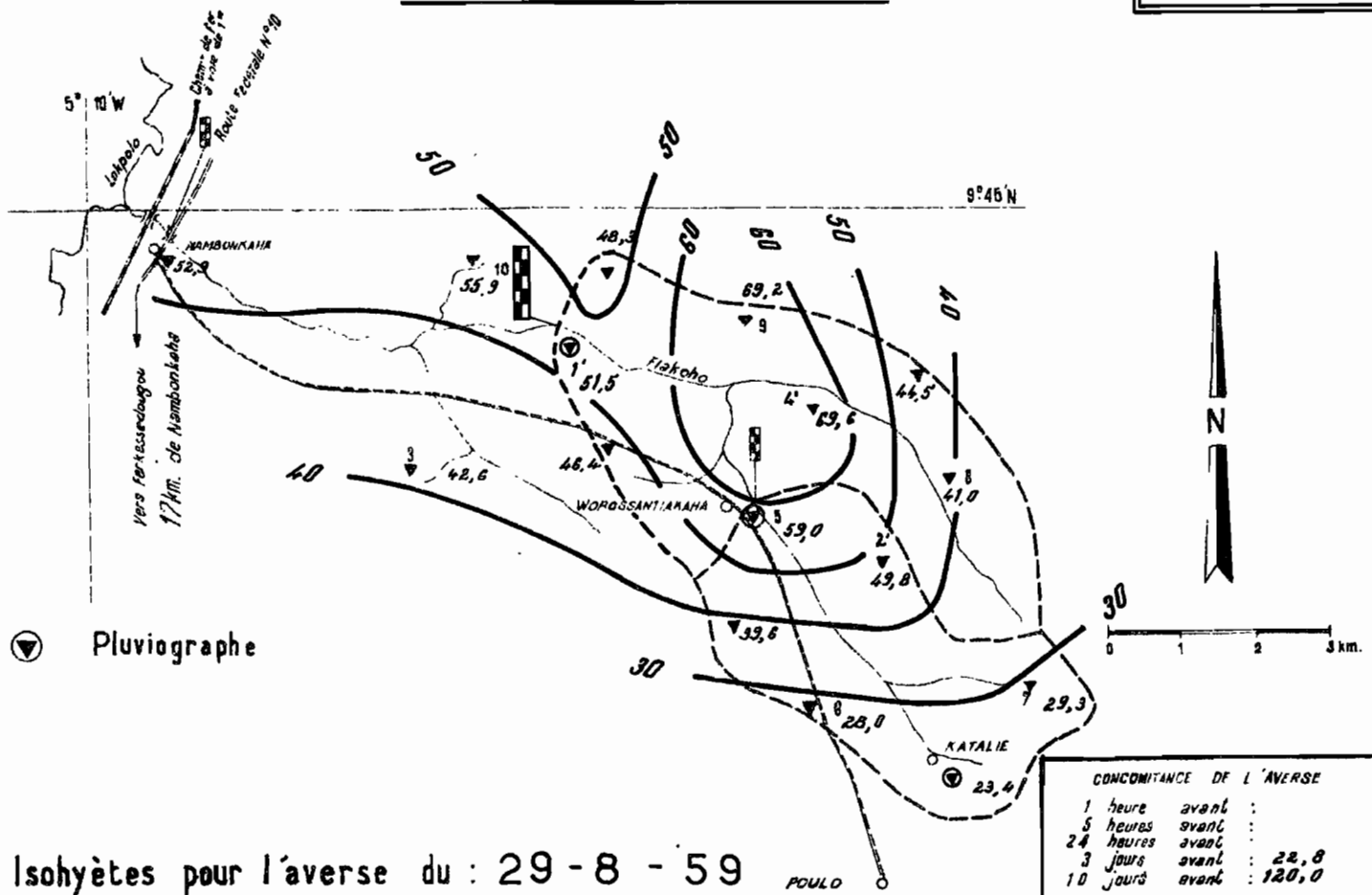


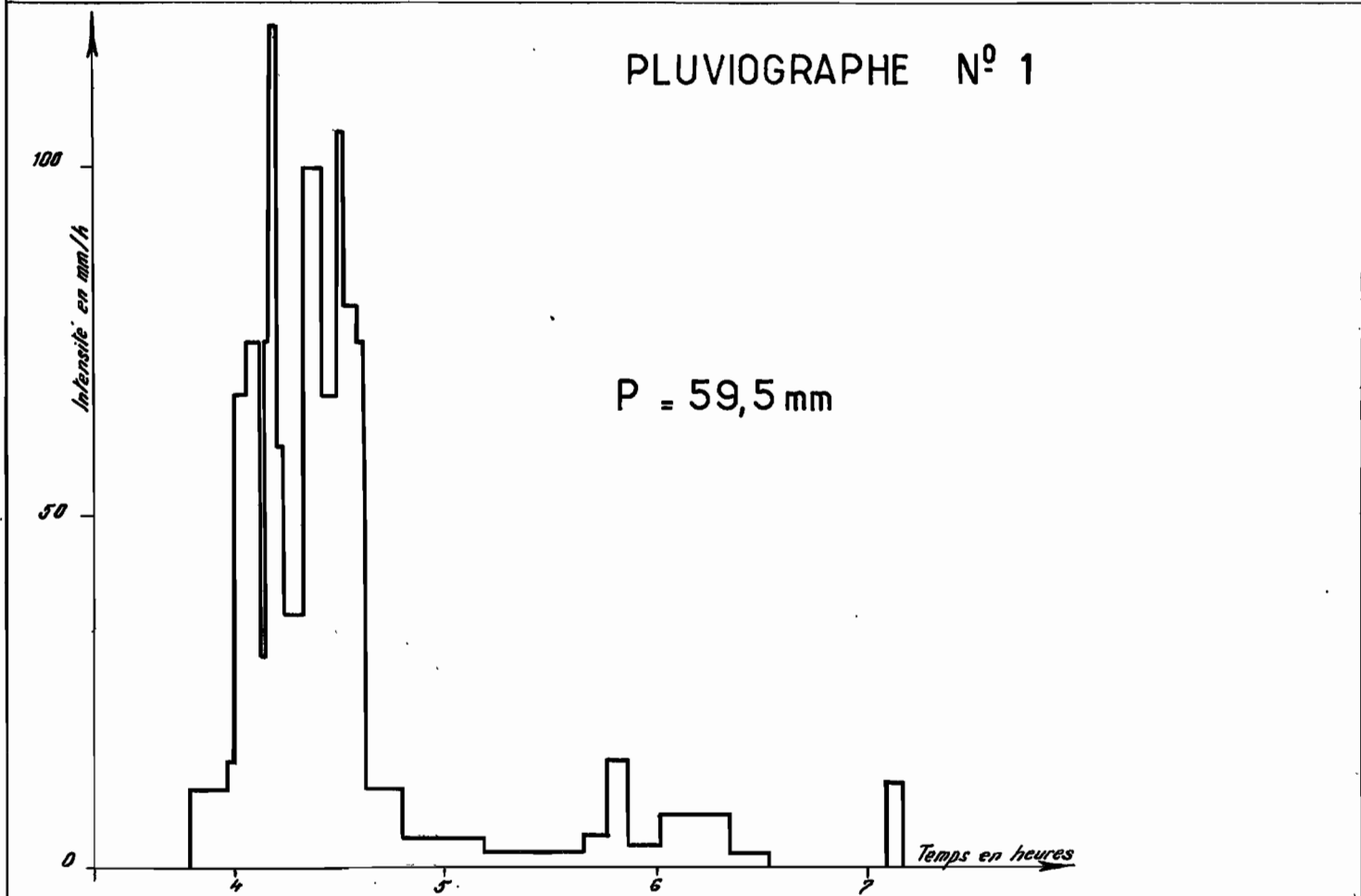
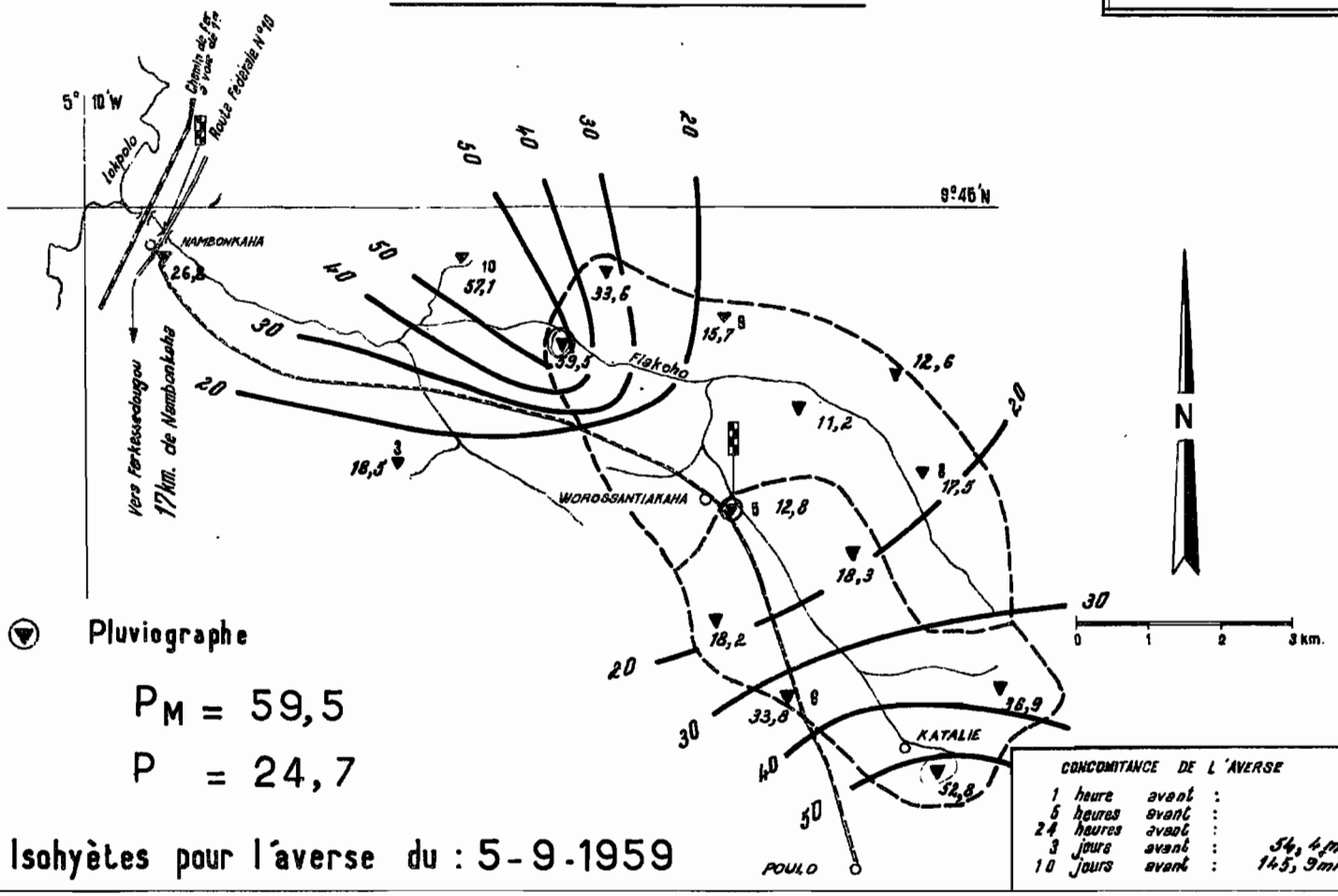
Pluviographe n° 1



Bassin versant du FLAKOHO

AVERSE N°14





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.

Trois autres précipitations peuvent prétendre à la fréquence annuelle :

- a) celle du 14-8-57 : $P_M = 76,5$ mm à WOROSSANTIAKAHA admettant 84% de coefficient de réduction, d'où $P = 64,5$ mm sur le bassin réduit ($A = 31$ km²).

Il s'agit d'une averse courte et intense :

40 mm en 25' soit 96 mm/h

70 mm en 1 h soit 70 mm/h

traîne de 6 mm en 5 h environ.

- b) celle du 28-8-59 : $P_M = 77,9$ 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.
- c) celle du 13-9-59 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 :

Date	N° averse	Intensité	Durée
11-8-57	4	180	5'
-	-	144	15'
14-8-57	5	96	25'
-	-	70	1 h.
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.

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 WOROSSANTIAKAHA, 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.

2 - 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 2 bassins.

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 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.

DIV 9561

ED:

LE:

DES:

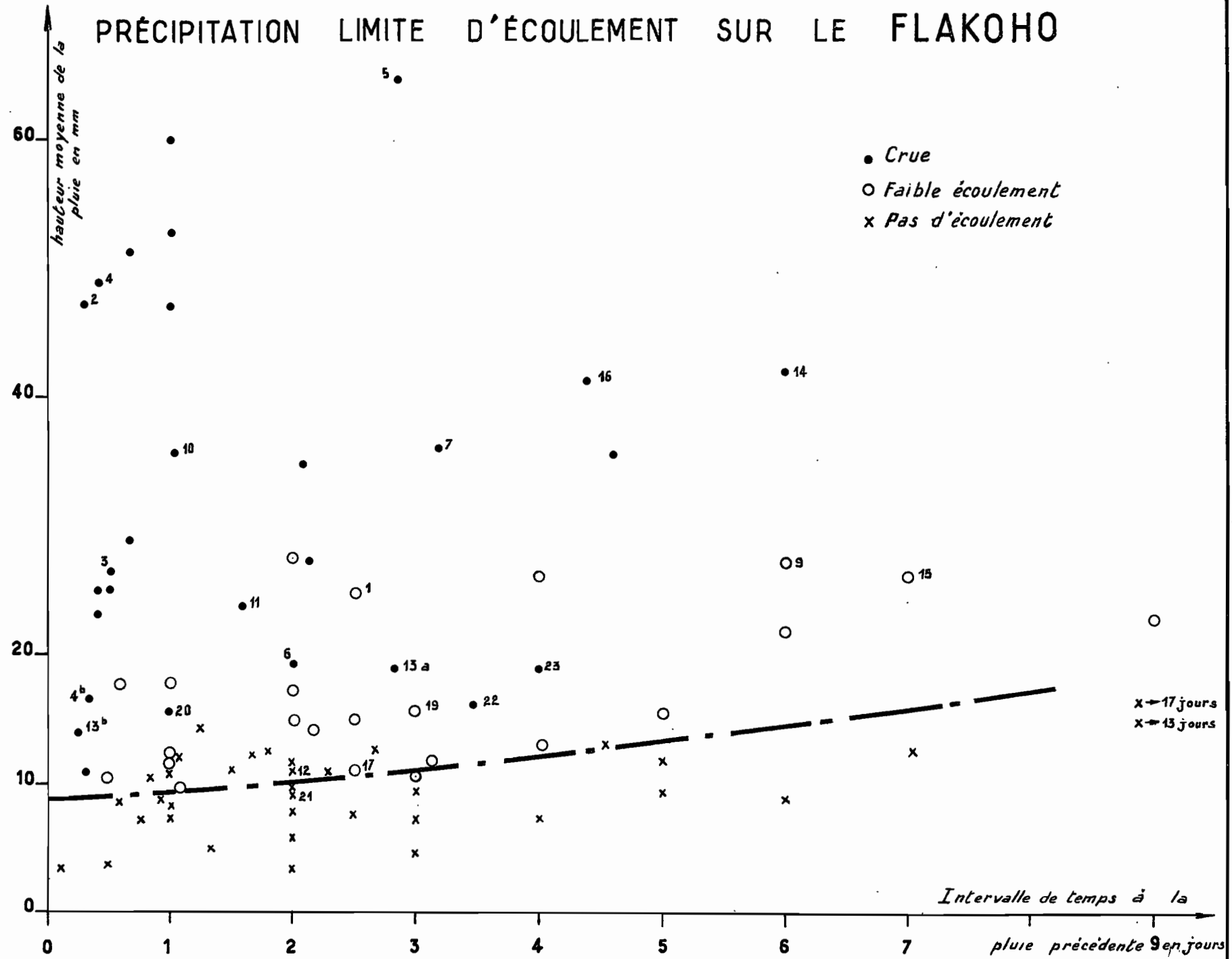
VISA:

TUBE N°:

AO

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

PRÉCIPITATION LIMITE D'ÉCOULEMENT SUR LE FLAKOHO



DIV 9562

ED:

LE:

DES:

VISA:

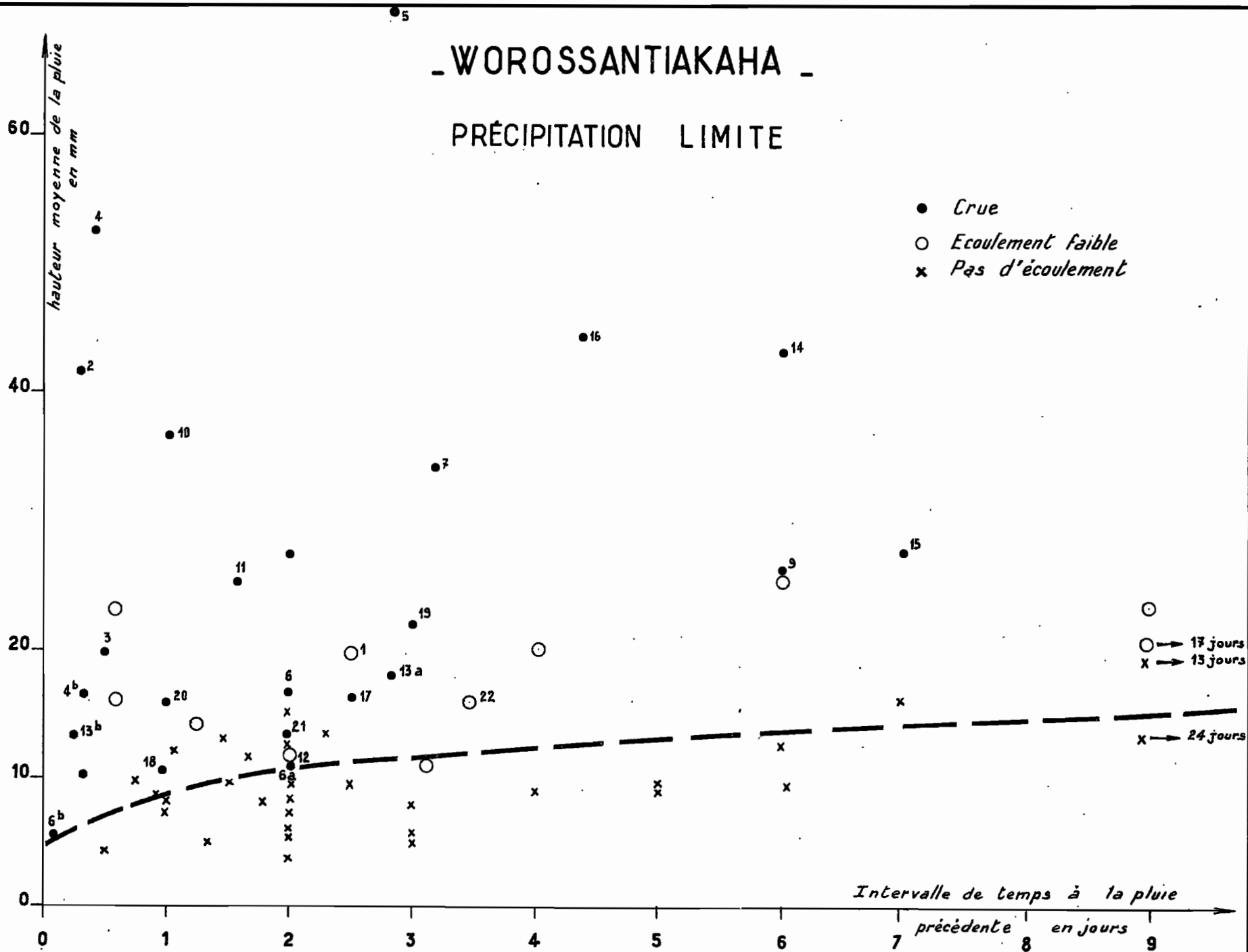
TUBE N°:

AO

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

- WOROSSANTIAKAHA -

PRÉCIPITATION LIMITE



F - 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.

La période de hautes eaux atteint son paroxysme en Août, Septembre et Octobre. On observe parfois un fléchissement en Juillet ou en Août, comme dans les régions équatoriales.

Les basses eaux commencent en Décembre ; l'étiage s'observe en Février et Mars. L'écoulement reste permanent dans cette région de la COTE D'IVOIRE. Quelques petites crues peuvent se produire en Janvier et Février.

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 WOROSSANTIKAHA (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 WOROSSANTIKAHA, 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.

A 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 limnigrammes 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 molles 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 :

- $9,8 \text{ m}^3/\text{s}$ le 14-8-57 après l'averse annuelle citée au paragraphe précédent
- $10 \text{ m}^3/\text{s}$ le 29-8-59 et $11 \text{ m}^3/\text{s}$ le 13-9-59 après des averses centrées sur l'aval du bassin, de fréquence sensiblement annuelle aussi.

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 WOROSSANTIAKAHA, 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 1958, aucune crue n'a dépassé $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ sur le FLAKOHO et $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station amont.

En se reportant au paragraphe précédent, on remarquera que sur 155 averses observées, 66 dépassaient 10 mm, dont 31 étaient au-dessus de 20 mm. Ce sont grossièrement les seules pluies susceptibles de franchir les conditions limites propres au bassin. On a, en effet, enregistré une cinquantaine de crues aux deux stations, dont seulement 37 à WOROSSANTIAKAHA et 28 sur le FLAKOHO pouvaient être considérées comme dues au ruissellement.

L'écart entre les deux stations vient surtout du fait que les petits ruissellements observés à la station amont sont absorbés par le lit à faible pente du FLAKOHO et après un long parcours n'arrivent à la station centrale que sous l'aspect d'un gonflement hypodermique de l'écoulement de base.

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 de NAMBONKAHA était entièrement étalonnée, en 1957, jusqu'à la cote maximale observée, égale à 1 m,62, par :

7 jaugeages complets entre 0,40 et 1,10 m
4 " continus " 1,20 et 1,60 m

Les résultats étaient bons et la dispersion des points négligables.

La station centrale du FLAKOHO a été étalonnée en 1958 et 1959 par 13 jaugeages complets s'échelonnant de 0m,65 à 1m,34. La précision est bonne, même en hautes eaux, malgré l'importance des débordements hors du lit mineur, au-dessus de 1m,25 à l'échelle. L'extrapolation des débits n'a pas présenté de difficultés, la cote observée la plus élevée étant de 1m,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 m et 0m,90
- une série de mesures continues jusqu'à 1m,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.

G - ETUDE ANALYTIQUE DES CRUES A LA STATION DE WOROSSANTIKAHA

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 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 hydrogramme 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 présente 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 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 des 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'écoulement 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 qu'il s'infiltrer 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 maximal, il reste toujours compris dans une étroite bande allant de $0,3$ à $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$, 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 1/2 après l'averse, avec un débit maximal de $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$, 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 : $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ 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.

A = 14 km²

TABLEAU DES CARACTERISTIQUES DE CRUES
à WOROSSANTIAKAHA

No	Date	ta en h&j	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 j	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	1 j	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 j	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 j ⁺	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	8-59	1 1/2 j ⁺	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 j ⁺	60	79	47,3	-	-	80	6,8	1	-	11,7	1,8	40	70	0,15	0,96	60
14	29-8	1 1/2 j ⁺	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 j ⁺	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 j ⁺	52,8	55	29,3	-	-	105	4,86	1,2	-	19,6	4,8	78	-	0,23	0,69	59
26	13-9	1 j	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
1 j après une pluie entre 10 et 20 mm
1 j après une pluie > 20 mm

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

* ruissellement retardé

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 ruissellement. 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	" entre 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 $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 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.

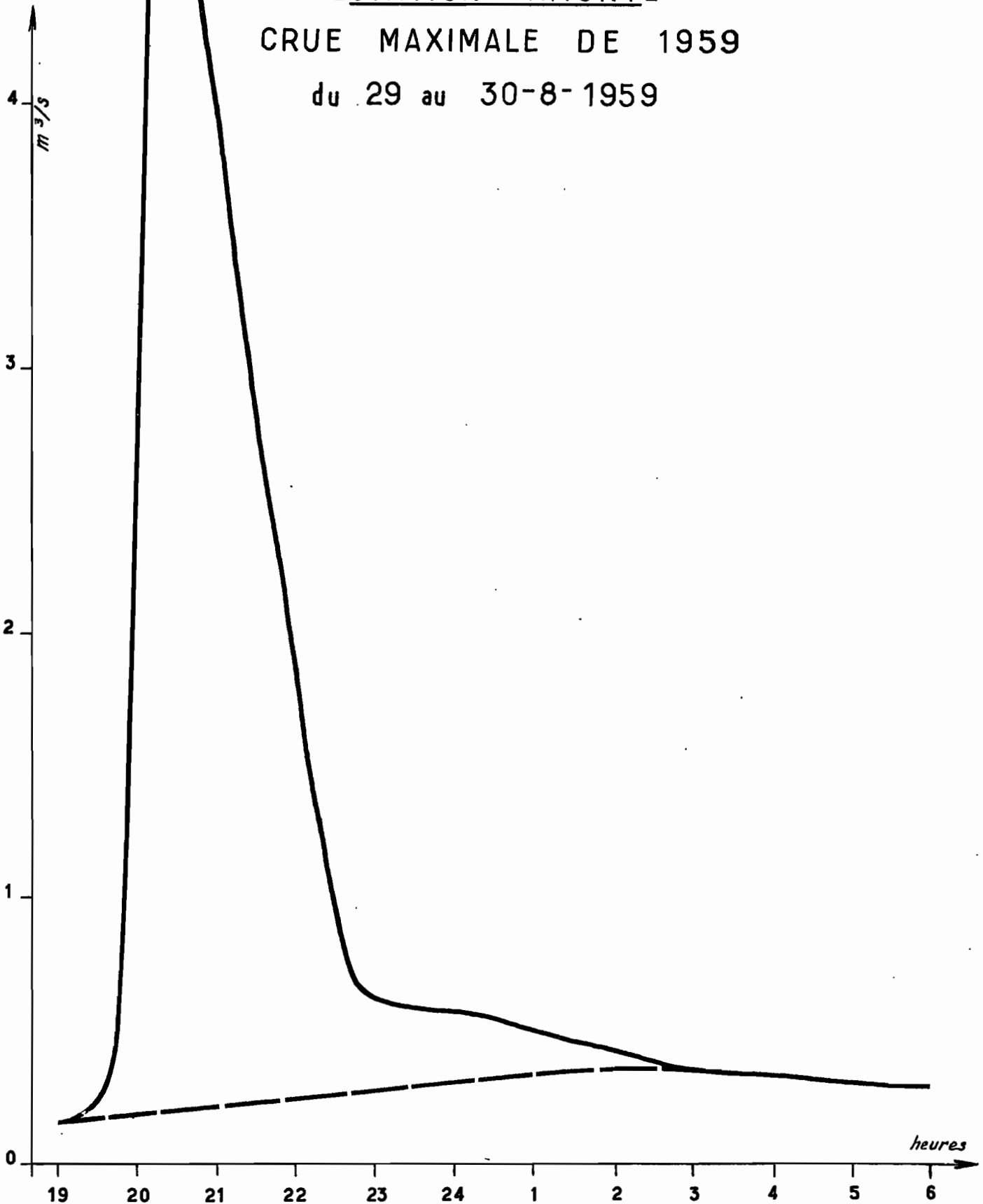
Ces 2 crues sont encore de petites crues. Seule celle du 29/8/59, la n° 14, sort de l'ordinaire. L'averse n'est pas très forte : $P_M = 55 \text{ mm}$ et $P = 32,3 \text{ mm}$, mais elle survient 1 jour $1/2^M$ après une bonne pluie ; elle est précédée d'une ondée préliminaire, enfin elle tombe avec 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.

L'écoulement hypodermique étant important et sa séparation du ruissellement retardée difficile parfois, nous avons calculé le volume global d'écoulement de chaque crue, abstraction faite de l'écoulement de base. Les coefficients d'écoulement correspondants sont supérieurs aux

-STATION AMONT-
CRUE MAXIMALE DE 1959
du 29 au 30-8-1959



DIV. 9566

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

ED.

IF.

DES.

VISA.

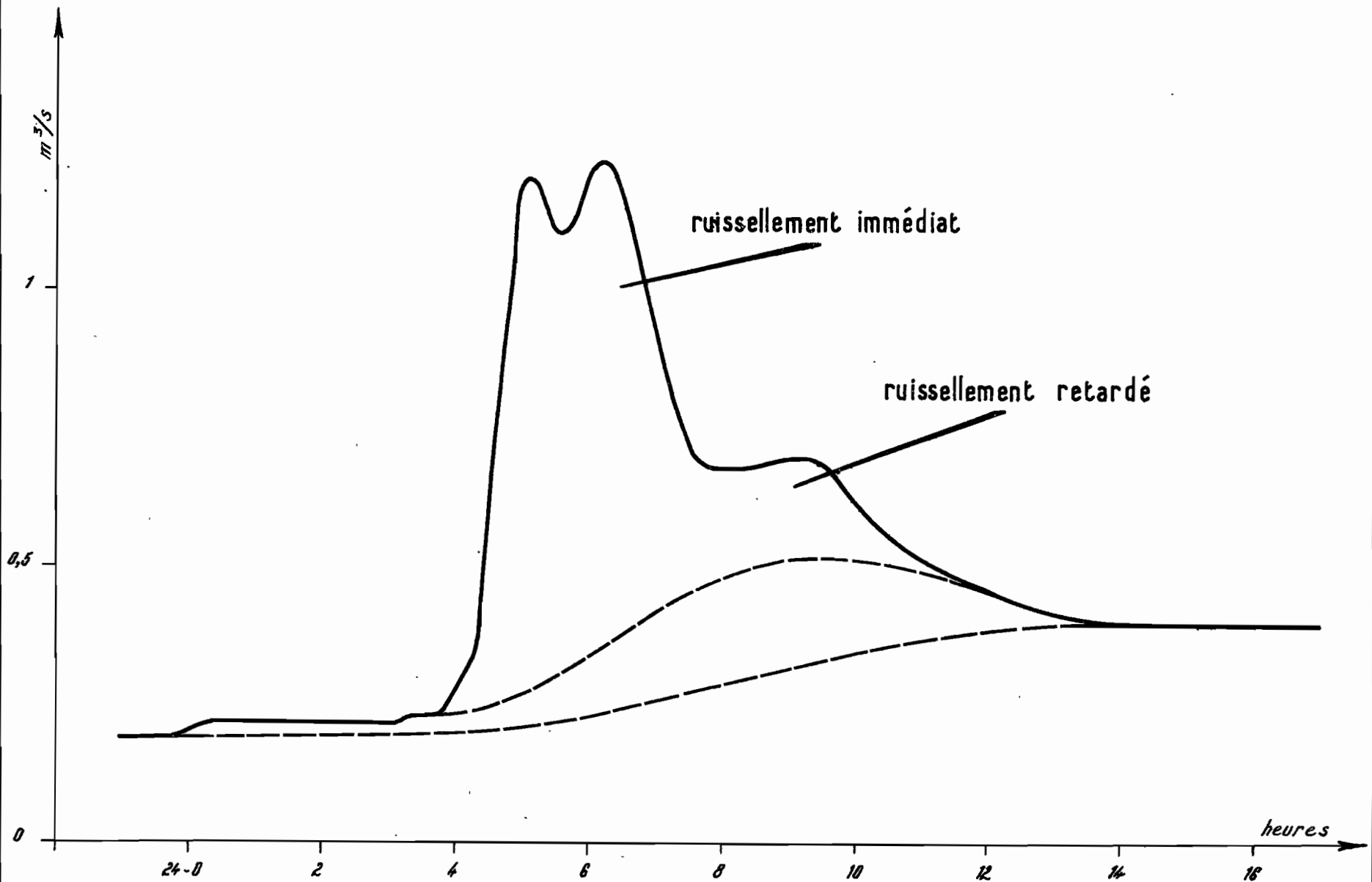
TUBE N°.

AO

DIV 9557

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

ED: ELECTRICITE DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER
LE: DES: VISA: TUBE N°: AO



K_r ; ils varient entre 0,6 et 9,5%.

La majeure partie vaut 3 et 4%. La crue n° 14 atteint 7,5% ; elle est dépassée par la n° 1 B qui doit son 9,5% à ses conditions de saturation exceptionnelles.

Les capacités apparentes moyennes d'absorption, calculées pour les principales crues, sont très homogènes. Elles restent groupées entre 45 et 70 mm/h, quelles que soient l'averse et les conditions de saturation, ce qui confirme bien l'importance de l'infiltration sur ce bassin.

4 - L'hydrogramme-type -

Il est certain que seule la crue n° 14 peut valablement représenter une forte crue sur le bassin versant. Tous les autres hydrogrammes de crues sont déformés par leur onde tardive. Le débit maximal du ruissellement immédiat, s'il est ramené à son volume propre, ne correspond qu'à une partie du bassin (les thalwegs et les pentes), s'il est ramené à tout le volume ruisselé, il est bien plus faible que celui de la crue n° 14 (pour un même volume unité, évidemment).

L'hydrogramme de ruissellement de la crue n° 14 a été ramené à un volume de 10.000 m³, pour la commodité des calculs futurs. Nous donnons ci-dessous la distribution des débits de part et d'autre du maximum, à des moments bien déterminés.

```

=====
: Intervalles : -30' : -15' : 0 : +15' : +30' : +¾ h : + 1h : +1h½ : +2 h :
: de temps   :      :      :   :      :      :      :      :      :      :
: -----   :      :      :   :      :      :      :      :      :      :
: Débit en   : 0,5  : 1   : 1,75 : 1,7  : 1,45 : 1,25 : 1   : 0,65 : 0,3  :
: m³/s      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
: -----   :      :      :   :      :      :      :      :      :      :
=====

```

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.

H - 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 WOROSSANTIAKAHA, 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 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.

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 5 h 20' et 10 h 30'.

A = 31 km²

TABLEAU DES CARACTERISTIQUES
DU FLAKOHO à la STATION CENTRALE

no	Date	ta jours	P _M mm	K _%	P mm	P _u mm	t _u min	V _r 10 ³ m ³	K _r %	K _r _u %	t _p heures	t _m heures	Q _o m ³ /s	Q _M m ³ /s	cam mm/h	I _{max} mm/h
4	12-8-57	½	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	-	10h½	1h40'	0,1	2,4	-	75
8-8-59	-	-	140	89	123,8	-	-	120	3,1	-	-	-	-	-	58	-
1R	-	½ ⁺	-	-	21,8	20	55	52,8	7,8	8,5	8h½	1h20'	1,6	2,9	-	90
6	17-8	½	33,7	70	23,6	16	35	9,8	1,3	2	8h½	-	0,2	1,2	66	75
8	19-8	½	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	1 ½ ⁺	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 jour après une pluie entre 10 et 20 mm
I jour après une pluie > 20 mm

(+) Pluie préliminaire

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 WOROSSAN-TIAKAHA comme nous le présentions 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% :

- 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 K_{ru} de ruissellement par rapport à la pluie utile sont un peu plus forts : 21,5% au maximum pour la crue n° 26.

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

Les capacités apparentes d'absorption sont assez homogènes. Nous mettons à part la crue n° 4 ($C_{am} = 134 \text{ mm/h}$) 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 déclencher 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.

DIV 9568

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

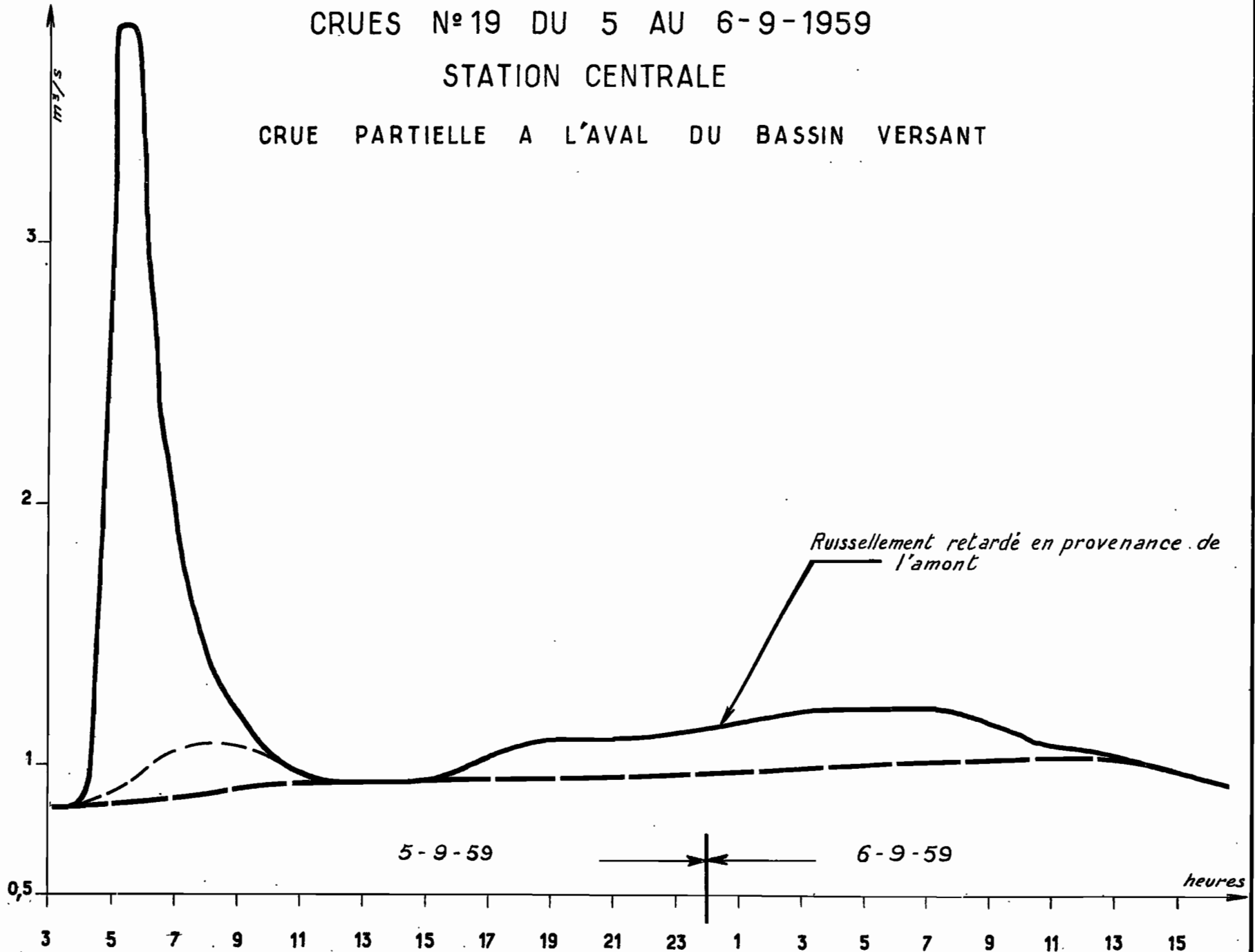
AO

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

CRUES N°19 DU 5 AU 6-9-1959

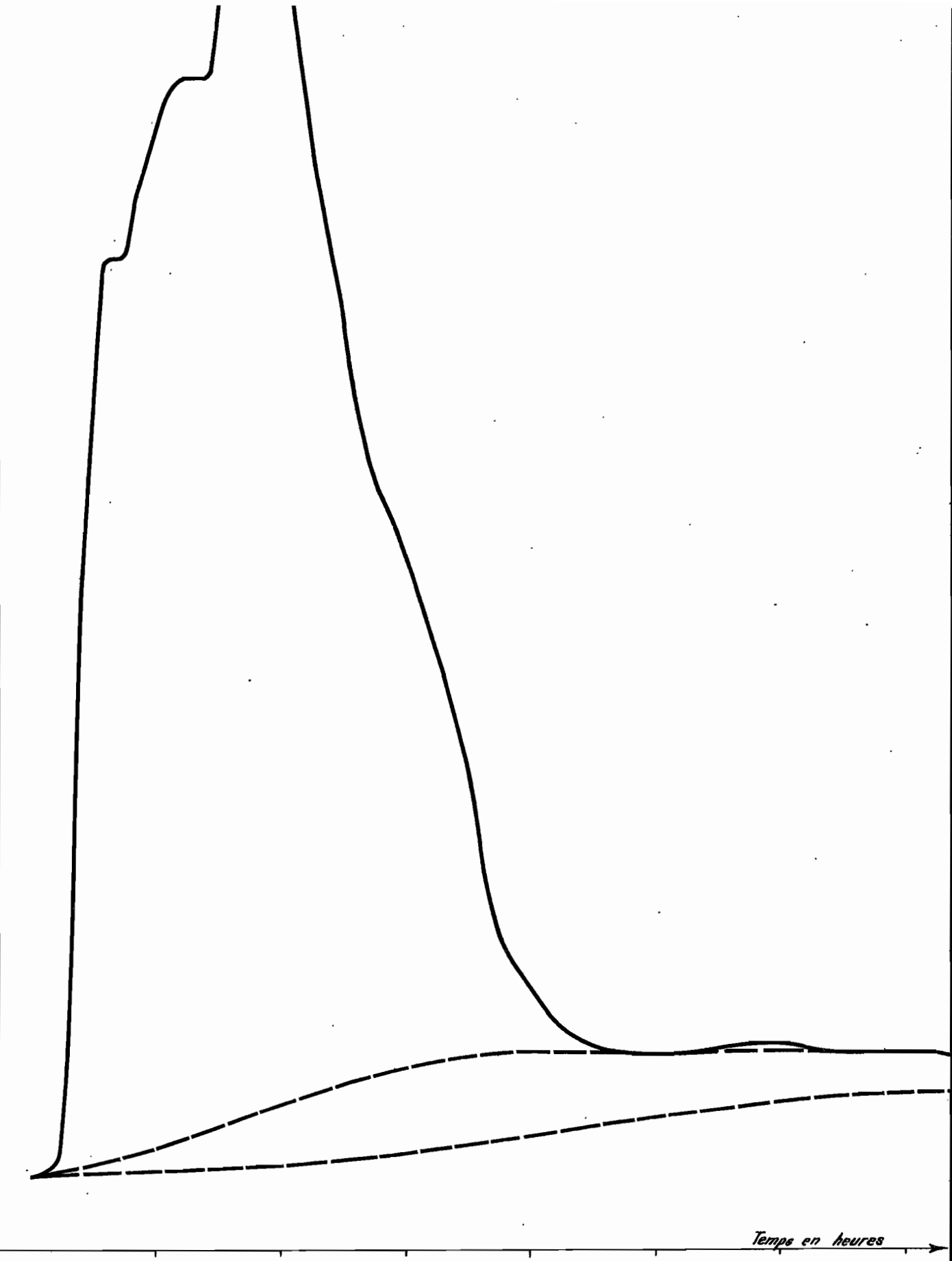
STATION CENTRALE

CRUE PARTIELLE A L'AVAL DU BASSIN VERSANT



Débits en m³/s

8
6
4
2
0



Temps en heures

20 24:0 4 8 12 16 20
13/9/1959 14/9/1959

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 :

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.

DIV 9564

ED:

LE:

DES:

VISA:

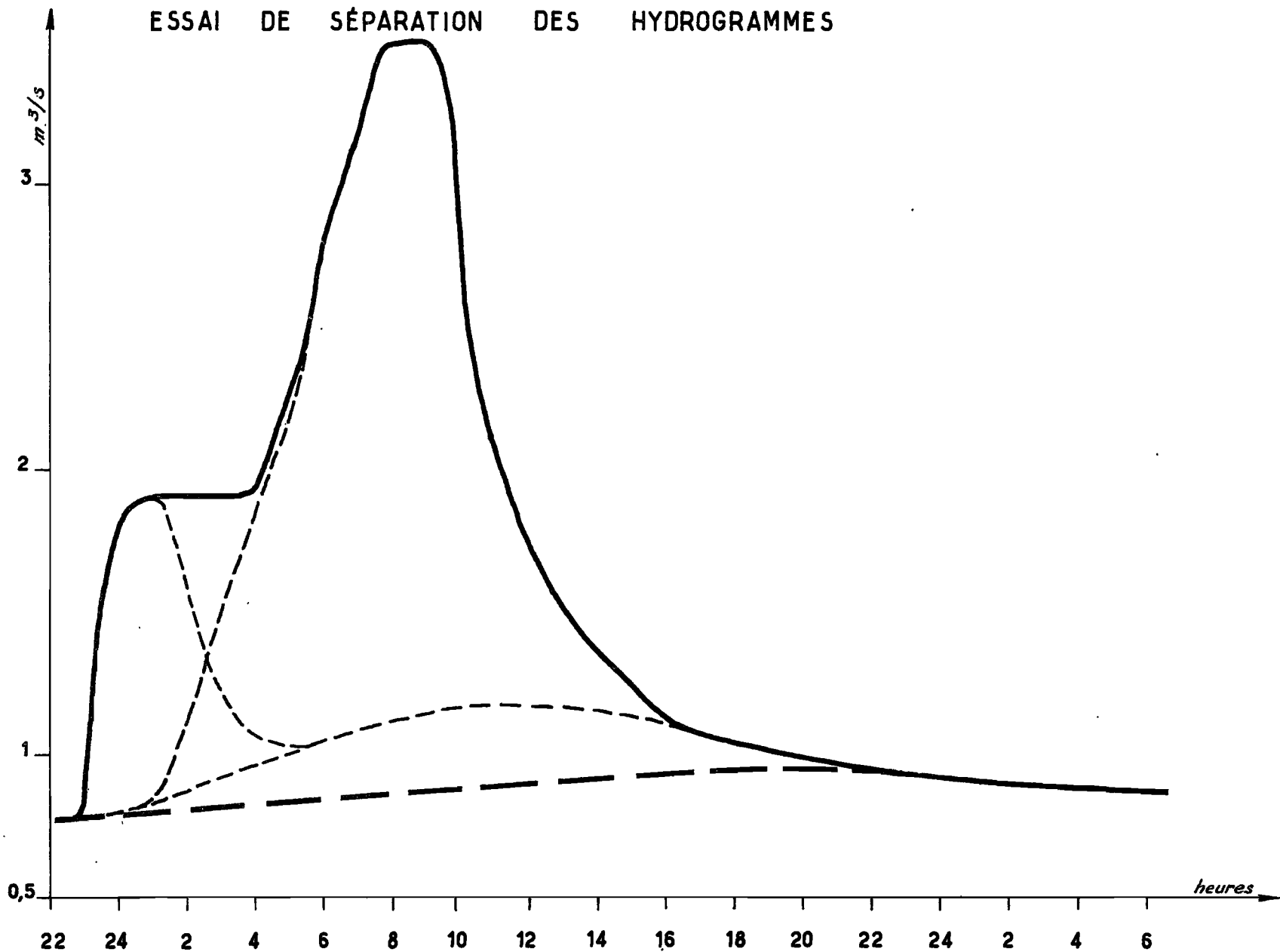
TUBE N°:

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



I - ESTIMATION DES CRUES ANNUELLES ET DECENNALES -

1 - Station amont -

Nous allons tout d'abord entreprendre la détermination de ces crues pour la station de WOROSSANTIAKAHA.

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 premières 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% de K_r comme pour la crue n° 14, mais seulement 3% par exemple.

Le calcul est alors le suivant :

$$P_M = 75 \text{ mm admettant un coefficient de réduction } K = 85\%$$

$$\text{d'où } P = 63,5 \text{ mm}$$

$$V_r = 0,635 \times 0,03 \times 14 \cdot 10^6 = 26.700 \text{ m}^3, \text{ volume ruisselé identique à celui de la crue n° 14, ce qui nous amène à un débit maximal identique de } \underline{5 \text{ m}^3/\text{s}} \text{ ou } \underline{350 \text{ l/s.km}^2}$$

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, en admettrait 10% de coefficient de ruissellement. 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.

2 - 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 mm avec K = 90% d'où P = 117 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 m³/s environ d'écoulement de base, s'élève à 35 m³/s (et 42 m³/s si $K_r = 30\%$). La bande de variation des débits spécifiques ainsi obtenue va de 1.100 à 1.400 l/s.km². Cette estimation, comme pour WOROSSANTIAKAHA constitue une limite supérieure des possibilités de ruissellement de l'averse décennale.

J - 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 WOROSSANTIAKAHA 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 WOROSSANTIAKAHA, 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.

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 ₃ 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-Dec.	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

- 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 VII

OBSERVATIONS EFFECTUEES SUR LE BASSIN DE LA BINAWA A TOUMODI

A - DESCRIPTION SOMMAIRE -

A 3 km de TOUMODI, en direction d'AGBAGNANSSOU, la route traverse la BINAWA, immédiatement à l'aval d'une zone marécageuse correspondant au confluent de deux marigots : le KONKENOU et le KOTENDE. C'est là que se trouve la station de jaugeage.

Le bassin versant de la BINAWA à cet endroit présente une forme allongée dans la direction sud-ouest-nord-est. Long de 8 km, large de 3 km, il s'étend sur une superficie de 20 km² environ et s'inscrit entre les parallèles 6°31' et 6°35' de latitude nord et les méridiens 5°01' et 5°04' de longitude ouest.

Son coefficient de Gravelius est :

$$K = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} = 1,21$$

Relief

Situé immédiatement à l'est des Monts ALEBOUMAS (420 m), le bassin versant s'étend sur un plateau en pente douce à l'altitude moyenne de 150 m où les dénivellations avec le fond des vallées sont assez faibles (20 à 40 m). Le point culminant est à TOUMODI, à 164 m.

L'équidistance de 50 m des courbes de niveaux, sur la carte au 1/200.000° ne permet pas de préciser

l'hypsométrie du bassin versant car la dénivellation entre le point culminant et le point le plus bas du bassin, ne doit pas dépasser une cinquantaine de mètres.

Notons cependant que l'agglomération de TOUMODI qui domine le bassin, ne se trouve qu'à 2,5 km de l'exutoire et que par conséquent la pente du terrain est importante sur cette partie du bassin.

L'hydrographie est très ramifiée, en un réseau de petits thalwegs où se forment des marigots temporaires. La longueur du marigot principal mesure une dizaine de km. Compte tenu d'une dénivellation de 40 mètres environ, entre la source et l'exutoire, on peut estimer que la pente moyenne du lit est inférieure à 4 m par km.

Les nappes phréatiques sont localisées dans les horizons de décomposition des roches du substratum, ou au contact de certains niveaux argileux dans les formations colluvionnaires.

Végétation

Le bassin de la BINAWA à TOUMODI est situé à la limite "savane-forêt" à la base du "V baoulé", pointe extrême de la savane arborée dense séparant les blocs forestiers est et ouest de la Côte d'Ivoire.

Une savane arbustive claire, très dégradée par les excès culturels autour de l'agglomération urbaine de TOUMODI et les feux de la brousse, recouvre l'ensemble du bassin versant.

De minces galeries forestières (Vitex, Raphia, Phoenix) sont localisées dans le fond des thalwegs.

Le tapis graminéen est discontinu, constitué de touffes d'herbes entre lesquelles peut s'établir un ruissellement de l'eau.

Le substratum géologique d'âge précambrien est représenté sur la carte du Service des Mines au 1/500.000° par des grano-diorites.

Les sols ont été étudiés par N. LENEUF et B. DABIN, dont on trouvera ci-après le rapport pédologique.

B - LES SOLS DU BASSIN VERSANT -

Evolution

Les phénomènes d'évolution pédologique sont étroitement liés à la topographie.

Sur le plateau, l'examen de profils dans les puits profonds de 7 à 8 m montre une altération profonde de type ferrallitique du substratum granitique, une accumulation ferrugineuse importante dans les horizons superficiels (1 à 2 m) et une induration très forte des hydroxydes soit sous forme de concrétions, soit sous forme de cuirasses ferrugineuses alvéolaires.

Des remaniements superficiels, d'origine alluviale, peuvent avoir eu lieu dans les horizons de surface de ces sols ; la cuirasse ferrugineuse peut être considérée comme une ancienne cuirasse de nappe (lits de quartz roulés du profil n° 7).

Sur pente, l'évolution pédologique se caractérise par :

- la dégradation de l'horizon de surface par les eaux de ruissellement qui entraînent les fractions colloïdales humiques et argileuses du sol.

- le lessivage oblique interne du sol entraînant l'argile et des hydroxydes de fer.

- l'accumulation des hydroxydes et leur concrétionnement à une profondeur variable suivant les conditions topographiques.

Sur les bas de pentes et dans les fonds de thalwegs, nous retrouvons :

- des accumulations sableuses colluvionnaires plus ou moins profondes, donnant des sols très lessivés.

- une hydromorphie de nappe peu profonde (80 à 100 cm) semi permanente résultant d'un engorgement du sol sur des horizons peu perméables, plus argileux ou au contact d'horizons de décomposition des roches.

- une hydromorphie superficielle provoquée par un engorgement temporaire du sol en période pluvieuse et favorisant l'accumulation de la matière organique dans les bas-fonds.

Classification et description des sols

Plateaux

Sols ferrallitiques concrétionnés ou cuirassés

a) Cuirasse profonde

Profil To. 2

- 0-20 cm : sablo-argileux, brun, humifère, compact
- 20-40 cm : sablo-argileux, brun ocre, taches grises
- 40-120cm : argilo-sableux, concrétionné, très compact, riche en graviers de quartz
- 120cm : cuirasse ferrugineuse.

b) Cuirasse superficielle

Profil T.7

- 0-15 cm : sableux gris foncé, humifère
- 15-80 cm : cuirasse ferrugineuse alvéolaire, bien indurée, quartz abondant sous forme de cailloutis et de sables grossiers
- 80-100cm : lits de cailloutis quartzeux plus ou moins roulés, liant argilo-sableux, brun rouge foncé
- 100-150cm : argileux, tacheté brun rouge, jaunâtre, gris clair presque blanc
- 150-250cm : argileux tacheté rosé, jaunâtre et gris clair

Profil T.1 : dans un puits de la zone urbaine de TOUMODI

- 0-2 m : cuirasse ferrugineuse alvéolaire, plus ou moins disloquée

- 2-3 m : argilo-sableux, tacheté brun rouge et gris clair
 - 3-5 m - sablo-argileux tacheté rosé
 - 5-7 m - argilo-sableux rosé et blanc
- Nappe phréatique à 6 m environ

Ces sols sont caractérisés par un horizon à texture sablo-argileuse en surface (13 à 15% d'argile), riche en sable grossier (48 à 62%), mais dont la structure est peu stable et la perméabilité mauvaise ($K = 0,27$ à $0,35$ cm/h).

Pente

Sols sableux lessivés avec concrétionnement ferrugineux

Profil N° 4

- 0 - 10 cm : sableux légèrement humifère, gris
- 10 - 80 cm : sableux, gris beige, graviers ferrugineux
- à 80 cm : sableux, niveau dense de concrétions ferrugineuses

Sols sableux lessivés sans concrétions ferrugineuses

Ils se sont formés sur des arènes sableuses grossières profondes, accumulées dans les bas de pente par colluvionnement ancien et actuel.

Profil N° 6

- 0 - 10 cm : sableux, gris foncé
- 10 - 50 cm : sableux, gris clair
- 50 - 120 cm : sableux, gris beige avec taches rouilles

Ces sols peuvent être très perméables comme le profil n° 6 ($K = 6,2$ cm/h), avec une excellente stabilité structurale (76) ou à perméabilité médiocre comme le profil n° 4 ($K = 0,93$ cm/h) avec un indice de structure moins élevé (59).

Thalwegs et bas-fonds

Sols sur colluvions profondes avec nappes

Profil N° 3

- 0 - 20 cm : gris foncé, sablo-humifère
- 20 - 35 cm : gris clair, sableux
- 35 -120 cm : gris beige, tacheté rouille très diffus
sableux de plus en plus grossier, humide
- à 120 cm : nappe phréatique

Sols sur arènes de décomposition des granites

Profil N° 5

- 0 - 20 cm : sablo-limoneux humifère, gris foncé
- 20 - 40 cm : sablo-argileux, gris beige humide
- 40 - 75 cm : sablo-argileux grossier, gris foncé
- à 75 cm : niveau de graviers quartzeux
- à 80 cm : argilo-sableux gris et jaunâtre, avec
feldspaths altérés blanchis
- 100 -120 cm : argilo-sableux tacheté jaunâtre, ver
dâtre et gris, graviers de quartz
- 120 -170 cm : zone d'altération grise et verdâtre
avec sables grossiers feldspathiques
et quartzeux
- 170 -205 cm : zone verdâtre très micacée, traînées
ocres rouilles
- à 205 cm : granite altéré compact

Malgré sa texture sableuse, le profil N° 3 présente une perméabilité, restreinte en surface ($k = 0,9$ cm/h). Elle est encore plus faible pour le profil N° 5, plus riche en limon ($K = 0,66$ cm/h). En profondeur, ce dernier profil est caractérisé par une imperméabilité totale vers Im, avec une importante fraction argileuse.

L'ensemble du bassin est donc constitué de sols ferrallitiques sur plateaux, à perméabilité médiocre ($0,2$ à $0,3$ cm/h), de sols lessivés, sableux sur pen-

te à structure instable, à perméabilité faible (0,5 à 0,9 cm/n) et de quelques zones très sableuses, non concrétionnées à bonne perméabilité.

La porosité est de l'ordre de 40 à 45% dans les sols de plateaux et de pentes.

En profondeur, les valeurs de P sont plus faibles :

31-34% sur sols sableux de pentes

30-40% sur sols sableux de thalwegs

30% dans les horizons concrétionnés.

Par contre les horizons profonds de sols ferrallitiques (argiles tachetés du profil n° 7) et les horizons hydromorphes d'altération du granite (profil n° 5) ont une porosité élevée : 60 - 64%.

En résumé, nous pouvons envisager de grandes possibilités de ruissellement en fonction de l'intensité des chutes de pluies sur les plateaux.

Par contre, les arènes sableuses profondes et les argiles d'altération ferrallitiques sont susceptibles d'assurer d'importantes réserves d'eaux.

SOLS FERRALLITIQUES CONCRETIONNES
sur plateaux

Profils	To.2			To.7			To.1		
Profondeur	0/20	60/80	0/10	110	200	250	300	500	700
Refus > 2 mm	0	55,7	0	4,1	0	0	45,2	1,5	2,2
Argile	15,0	31,0	13,2	42,0	40,7	37,0	30,2	12,5	24,0
Limon	7,2	7,0	4,7	6,7	18,7	17,2	25,7	29,5	24,7
Sable fin	10,2	15,9	31,6	8,2	14,9	14,9	13,5	18,3	14,5
Sable grossier	62,5	40,1	48,0	40,2	22,8	28,4	27,1	36,6	33,8
Matières organiques	2,1	0,9	1,7						
Porosité	43,5	32	45	55	64,5	63			
Perméabilité cm/h	0,27	4,95	0,35	4,1	1,08	1,15			
p ^F 3	15,4	11,3	15,5	21	26	24,7			
p ^F 4,2	10,3	8,0	6,9	14,8	16	17,5			
Indice d'instabilité	0,51	1,4	0,65	1,86	4,9	9,1			
Stabilité structurale	47	64,8	47,3	61	42,4	38,6			

craie ferrugineuse

SOLS HYDROMORPHES DE THALWEGS

Profils	sur arène granitique				sur colluvions sableuses	
	To.5				To.3	
Profondeur	0/15	75	100/20	170/200	0/20	100/20
Refus > 2 m/m	1,1	0,4	0	2,8	1,6	3,1
Argile	6,7	6,0	36,7	11,5	5,0	1,2
Limon	12,7	1,0	10,0	10,0	7,5	3,2
Sable fin	31,1	83,5	14,8	21,9	32,7	12,2
Sable grossier	48,7	8,4	30,3	53,1	52,1	82,9
Matière organique	1,1	0,1			1,0	0,2
Porosité	43	40	61	48	44	30,5
Perméabilité cm/h	0,55	2,6	0	0	0,95	3,5
p ^F . 3	13,6	5,2	47,6	19,5	9,25	4,5
p ^F . 4,2	6,3	2,0	15,8	17,0	6,25	0,83
Indice d'instabilité	1,2	0,49	8,6	2,15	0,68	0,51
Stabilité structurale	46,8	46,6	0	7	55,5	69,2

SOLS SABLEUX LESSIVES SUR PENTES
AVEC OU SANS CONCRETIONNEMENT FERRUGINEUX

Profils	N° 4		N° 6	
Profondeur	0/20	90/120	0/20	60
Refus > 2 m/m	0,6	17,3	0,1	0
Argile	3,2	3,0	3,2	1,2
Limon	4,7	5,2	3,5	1,7
Sable fin	38,4	24,1	33,5	24,3
Sable grossier	52,4	66,4	58,3	72,7
Matière organique	0,7	0,4	1,0	
Porosité	40,5	31	43	34
Perméabilité cm/h	0,93	2,4	6,2	7,8
p ^F . 3	6,1	6,2	6,4	1,44
p ^F . 4,2	2,7	0,9	5,25	1,44
Indice d'instabilité	0,38	0,43	0,35	1
Stabilité structurale	59,5	65,5	76,8	71,06

C - CLIMATOLOGIE -

Le bassin versant de la BINAWA est soumis à un climat équatorial caractérisé par deux saisons sèches et deux saisons des pluies bien distinctes.

La première saison sèche dure 3 mois, de Décembre à Février, la seconde, sensiblement moins sévère et plus courte, s'étend sur les mois de Juillet et Août.

La première saison des pluies commence en Mars et se prolonge jusqu'en Juin ; la seconde est plus courte (Septembre, Octobre, Novembre) et moins importante.

Malgré la latitude assez basse et en raison de sa situation dans le trou de pluviométrie de la Côte d'Ivoire, le bassin de la BINAWA ne reçoit guère que 1.200 mm d'eau en moyenne par an.

Les valeurs caractéristiques du climat sont fournies par la station climatologique de DIMBOKRO qui se situe à 40 km à l'est, dans une zone identique de savane à proximité de la forêt.

1°) Température

Le bassin de la BINAWA à TOUMODI étant situé à 160 km de la mer, est soumis à l'influence de la mousson.

La température, sous le climat équatorial, se caractérise par de faibles variations autour d'une moyenne qui augmente avec la latitude, tandis que le degré hygrométrique diminue.

La température moyenne interannuelle à DIMBOKRO est de 27°7. L'amplitude des variations saisonnières de la température moyenne autour de cette valeur est très faible : 1°2 à 1°3.

On peut aussi observer que les variations saisonnières des températures maximales sont beaucoup plus accusées que celles des températures minimales :

	<u>Mois le plus chaud</u>	<u>Mois le plus froid</u>	<u>Ecart</u>
	Février	Août	
Temp. maximale	35° 5	29° 8	5° 7
Temp. minimale	23° 3	21° 4	1° 9

L'écart $T_x - T_n$ varie également en cours d'année. L'influence continentale est assez marquée à DIMBOKRO et l'écart reste supérieur à $8^{\circ}2$ en Juillet ($T_x = 29^{\circ}8$ et $T_n = 21^{\circ}6$) pour atteindre $12^{\circ}4$ en Février ($T_x = 35^{\circ}5$ et $T_n = 23^{\circ}1$). Entre ces valeurs extrêmes, l'écart journalier suit les mêmes variations que la température maximale.

Pendant la période 1940-1949, on a enregistré en Janvier 1947 un minimum absolu de la température maximale de $13^{\circ}5$ et en Février 1943 un maximum absolu de la température maximale de $38^{\circ}9$.

2°) Humidité

L'humidité varie en raison inverse de la température.

Les annales météorologiques permettent seulement de connaître l'ordre de grandeur des valeurs moyennes de l'humidité maximale et minimale journalière.

- 1°) l'humidité maximale dépasse 90% en moyenne tous les mois de l'année. Elle atteint couramment 100% presque chaque mois pendant quelques jours.
- 2°) l'humidité minimale varie dans une courte gamme, de la grande saison sèche à Août : de 40 à 70%.

L'humidité moyenne annuelle a été calculée sur une très courte période (1951-1954) et s'élève à 76%, cette moyenne est calculée à partir des humidités relatives instantanées relevées à heures fixes : 6, 12 et 18 heures.

On trouvera ci-après le tableau (en %) des moyennes mensuelles de l'humidité relative instantanée aux différentes heures de la journée, pour la période d'observations :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
U_6	92,4	91,1	91,8	93	94	94,1	93,4	92,7	92,4	93,3	93,4	93,4
U_{12}	63,8	60,6	62,8	64,4	67,7	73,7	73,8	71,8	72	70,1	66,7	65,8
U_{18}	57	53,7	59,8	64,4	70,4	75,6	74,8	72,4	71,1	72	67,8	64,8

On remarquera :

a) que l'humidité relative instantanée varie à l'inverse de la température, de son maximum nocturne à son minimum du début de l'après-midi,

b) que le U_6 varie très peu d'un mois à l'autre et que sa moyenne annuelle (92,9%) est très proche de la moyenne annuelle de l'humidité maximale, tout en lui étant inférieure,

c) que le U_{12} , de son côté, est voisin de l'humidité minimale et que sa moyenne annuelle de 67,8% donne un ordre de grandeur de la moyenne annuelle de l'humidité minimale. Le U_{12} suit étroitement le régime pluviométrique : minimum en Février avec 60,6%, puis croissance régulière pendant la saison des pluies jusqu'au maximum 73,8% en Juillet. L'écart maximal est donc de 13,2%.

3°) Evaporation

Nous ne possédons aucune mesure d'évaporation sur le bassin de TOUMODI.

D'après les résultats de mesures effectuées sur d'autres bassins de COTE D'IVOIRE, celui de BOUAKE entre autres, on peut estimer raisonnablement que l'évaporation moyenne annuelle sur une grande nappe d'eau libre ne doit pas être trop éloignée de 1.200 mm.

4°) Pluviométrie

Nous avons vu que le climat du bassin de TOUMODI, du type équatorial, est caractérisé par deux saisons des pluies séparées par deux saisons sèches.

L'avancement vers le nord du front intertropical entraîne à partir du mois de Mars l'apparition des premières pluies. Coïncidant avec la position la plus septentrionale du front intertropical, les mois de Juillet et d'Août sont soumis à un régime d'alizée à caractère anticyclonique, de telle sorte que les pluies diminuent beaucoup. Enfin, le repli du front intertropical vers le sud amène la seconde saison des pluies en Septembre-Octobre.

Nous possédons à DIMBOKRO les relevés pluviométriques portant sur 37 ans, de 1922 à 1958. L'étude statistique des pluies annuelles, portant sur cet échantillon de 37 ans, permet de conclure que les variations interannuelles des hauteurs d'eau suivent d'une façon assez satisfaisante une loi de Gauss.

Ainsi, le régime pluviométrique de la station est entièrement caractérisé par la hauteur moyenne des précipitations annuelles

$$\bar{P} = 1.205 \text{ mm}$$

$$\text{et par l'écart-type : } \sigma = 249 \text{ mm}$$

Les pluviométries annuelles de fréquences décennales humide et sèche peuvent être déterminées sans gros risque d'erreur. On évalue à 1.522 mm la pluviométrie annuelle de fréquence décennale humide et à 886 mm celle de fréquence décennale sèche.

Les valeurs extrêmes ont été observées :

- en 1938 avec 2.132 mm

- en 1950 avec 582 mm

$$\text{L'intervalle de variation vaut : } \frac{2.132}{582} = 3,67$$

L'année 1957, avec 1.213 mm est donc une année moyenne, tandis que l'année 1958, avec 910 mm, est assez proche de l'année décennale sèche.

Le tableau suivant permettra de comparer les pluviométries mensuelles de ces deux années, avec celles de l'année moyenne.

Année:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1957:	0	98	89	150	107	95	141	165	135	83	96	56	1.213
1958:	39	32	39	157	111	181	4	28	149	92	61	17	910
Année moyenne	19	47	117	152	186	182	86	55	141	135	68	17	1.205

En 1957, les mois de Février, Juillet, Août et Décembre sont largement excédentaires, tandis que les mois de Janvier, Mai, Juin et Octobre sont déficitaires par rapport à la moyenne : les saisons sont en avance d'un mois, mais le bilan annuel reste moyen.

En 1958, les mois de Mars, Mai, Juillet et Août sont particulièrement déficitaires et la seconde saison sèche, Juillet et Août, est très sévère ; aussi le bilan annuel est-il faible.

Nous possédons de 1922 à 1957 la liste des pluies journalières supérieures ou égales à 40 mm. Nous les avons groupées par classes, de 10 en 10 mm jusqu'à 100 mm.

	De 40 à 50	De 50 à 60	De 60 à 70	De 70 à 80	De 80 à 90	De 90 à 100	+ 100
Nbre jours de pluie	64	40	23	15	9	1	7

L'averse la plus importante a eu lieu le 14 Octobre 1954, avec 135 mm.

La répartition statistique des 159 valeurs de cet échantillon ne suit pas une loi de Gauss. Cependant, les points semblent s'aligner de façon beaucoup plus satisfaisante sur un graphique ayant pour ordonnée la variable réduite de Gauss et pour abscisse le logarithme népérien de la hauteur d'eau. La pluie journalière de

fréquence décennale atteindrait, d'après ce graphique, 120 mm. En fait, cette valeur se classe cinquième dans la liste chronologique des pluies. Aussi, nous croyons raisonnable de fixer à 125 mm la pluie journalière de fréquence décennale.

Quant à la pluie de fréquence annuelle, on l'estime sans difficulté à 68 mm.

Il semble qu'on puisse appliquer au bassin de la BINAWA, avec une assez bonne précision, les résultats obtenus à la station de DIMBOKRO.

Le tableau suivant permet de comparer les hauteurs d'eau mensuelles tombées en 1957 et 1958 à DIMBOKRO et sur le bassin versant de la BINAWA.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1957	DIMBOKRO	0	98	89	150	107	95	141	165	135	83	96	56
	B.V.	-	-	-	-	-	90	143,8	-	96,2	75	-	-
1958	DIMBOKRO	39	32	39	157	111	181	4	28	149	92	61	17
	B.V.	-	-	-	-	-	148	1,5	27,5	92,3	86	-	-

D - EQUIPEMENT DU BASSIN -

Il comportait en 1957 :

- 5 pluviomètres
- 1 pluviographe enregistreur P E I à 2 km de TOUMODI en direction de BOUAKE
- 1 limnigraphe au pont de la route d'AGBAGNANSSOU, contrôlé par une échelle limnimétrique.

En Août 1957, le pluviomètre P₁ a été remplacé par un pluviographe P E II, à l'extrémité amont du bassin versant.

Au cours des mois de Juin et Juillet 1957, 22 jaugeages ont été effectués entre les cotes 0,075 m et 0,360 m, qui permettent de tracer avec une bonne précision la courbe d'étalonnage de la BINAWA à TOUMODI.

E - AVERSES OBSERVEES -

Au cours de l'année 1957, on a observé 45 averse, réparties de la façon suivante :

	Jun	Juillet	Septembre	Octobre
Nombre de jours	8	13	12	12
Pluie moyenne mm	90	143,8	96,2	75,0

Au mois de Juin, la frontière sud-est du bassin fut la plus arrosée.

Au mois de Juillet ce fut le centre. En Septembre, la pluie se répartit très bien sur le bassin, sauf sur le nord qui reçut moitié moins d'eau qu'ailleurs. En Octobre, la frontière nord-ouest du bassin fut la plus favorisée.

Les écarts observés entre les hauteurs d'eau mensuelles relevées aux divers pluviomètres sont assez importants. L'écart à la moyenne mensuelle atteint 28% en Juin, 17% en Juillet, 47% en Septembre et 20% en Octobre.

Nous avons observé 4 averse notable, de plus de 25 mm de hauteur moyenne sur le bassin :

Le 17 Juin : 43,3 mm ; c'est l'averse la plus importante de l'année

Le 12 Juillet : 33,5 mm ; on observe au pluviographe P E I le maximum ponctuel de l'année : 66 mm correspondant à peu près à la fréquence annuelle

Le 23 Juillet : 28,7 mm

Le 26 Septembre : 41,1 mm

Au cours de l'année 1958, on a observé 52 averse réparties de la façon suivante :

	Maï	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.
Nombre de jours	2	17	6	4	11	12
Pluie moyenne en mm	96,1	57,3	1,5	27,5	92,3	86

Au mois de Juin, la pluie croît légèrement du nord-est au sud-ouest et l'écart à la moyenne mensuelle ne dépasse pas 12%. Le mois de Juillet ne reçoit pour ainsi dire pas de pluie.

Aux mois d'Août et Septembre, les précipitations sont maximales dans le nord et décroissent vers le centre. Les écarts à la moyenne atteignent 34% et 55%.

Au mois d'Octobre, le centre est encore défavorisé alors que le sud est bien arrosé, mais l'écart à la moyenne est redescendu à 17%.

Sur les 52 averses observées, 2 seulement dépassent 25 mm de hauteur moyenne sur le bassin et 4 dépassent 20 mm.

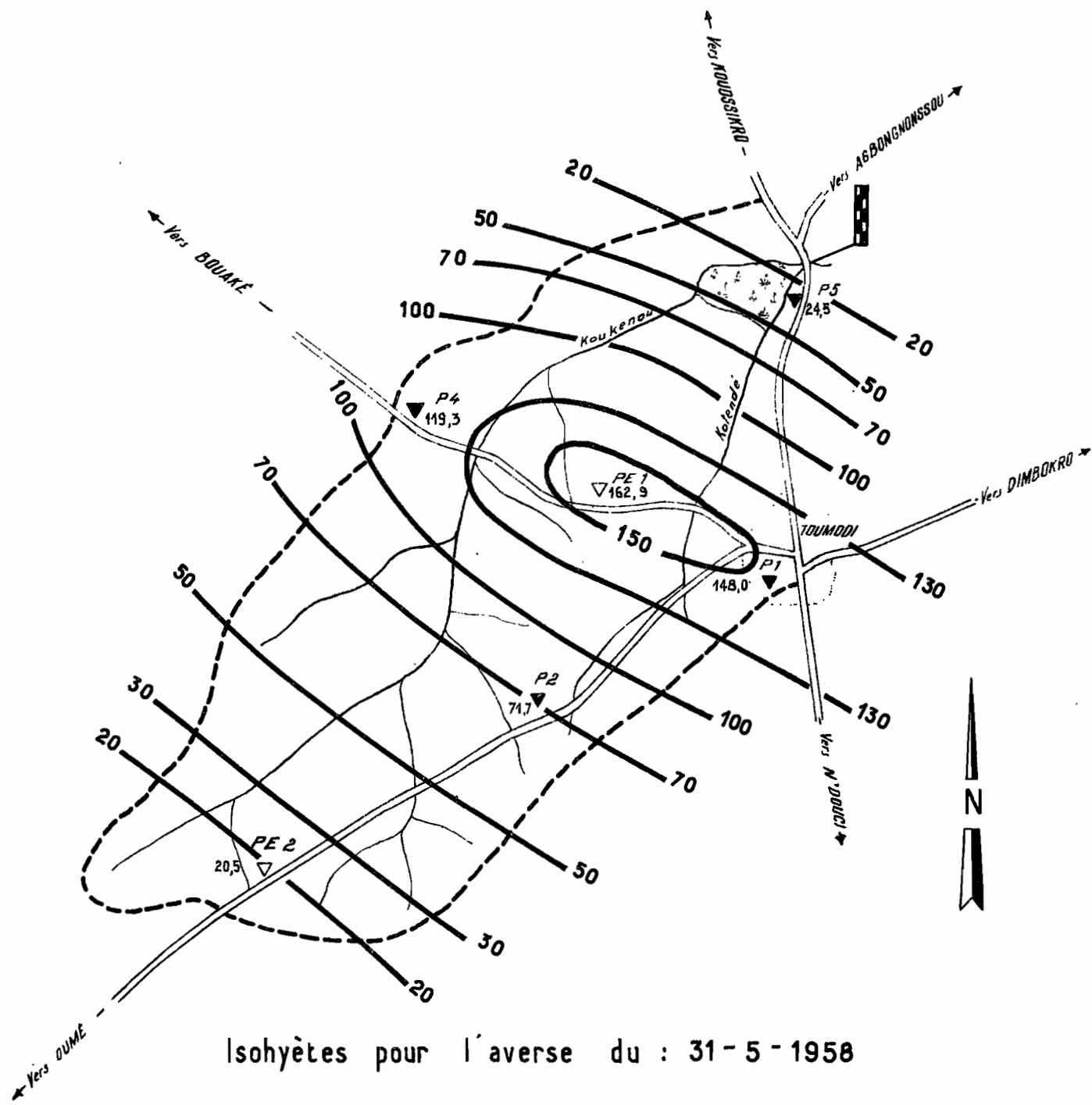
La plus importante, celle du 31 Mai 1958, est de fréquence rare avec 91,1 mm de hauteur moyenne et 162,9 mm de hauteur ponctuelle maximale. Si l'on se rapporte aux résultats trouvés pour la station de DIMBOKRO, on peut penser que cette averse a une fréquence certainement inférieure à la fréquence décennale et sans doute assez proche de la fréquence cinquantenaire.

La pluie, maximale au centre du bassin et dans la direction sud-est - nord-ouest, est fortement abattue de part et d'autre de cette direction.

L'averse n'ayant pas duré plus de 2 heures, la pluie a été très violente et l'intensité a atteint localement 180 mm/h pendant 3 minutes. La crue qui suivit fut importante et entraîna la rupture de la digue.

Nous donnerons plus loin, dans l'évaluation des crues exceptionnelles, une estimation du débit de pointe de cette crue, aucune mesure n'ayant pu être faite.

BASSIN VERSANT DE LA BINAWA A TOUMODI



Isohyètes pour l'averse du : 31-5-1958

$P_M = 162,9 \text{ mm}$

$P = 91,1 \text{ mm}$

ÉCHELLE 1/50.000

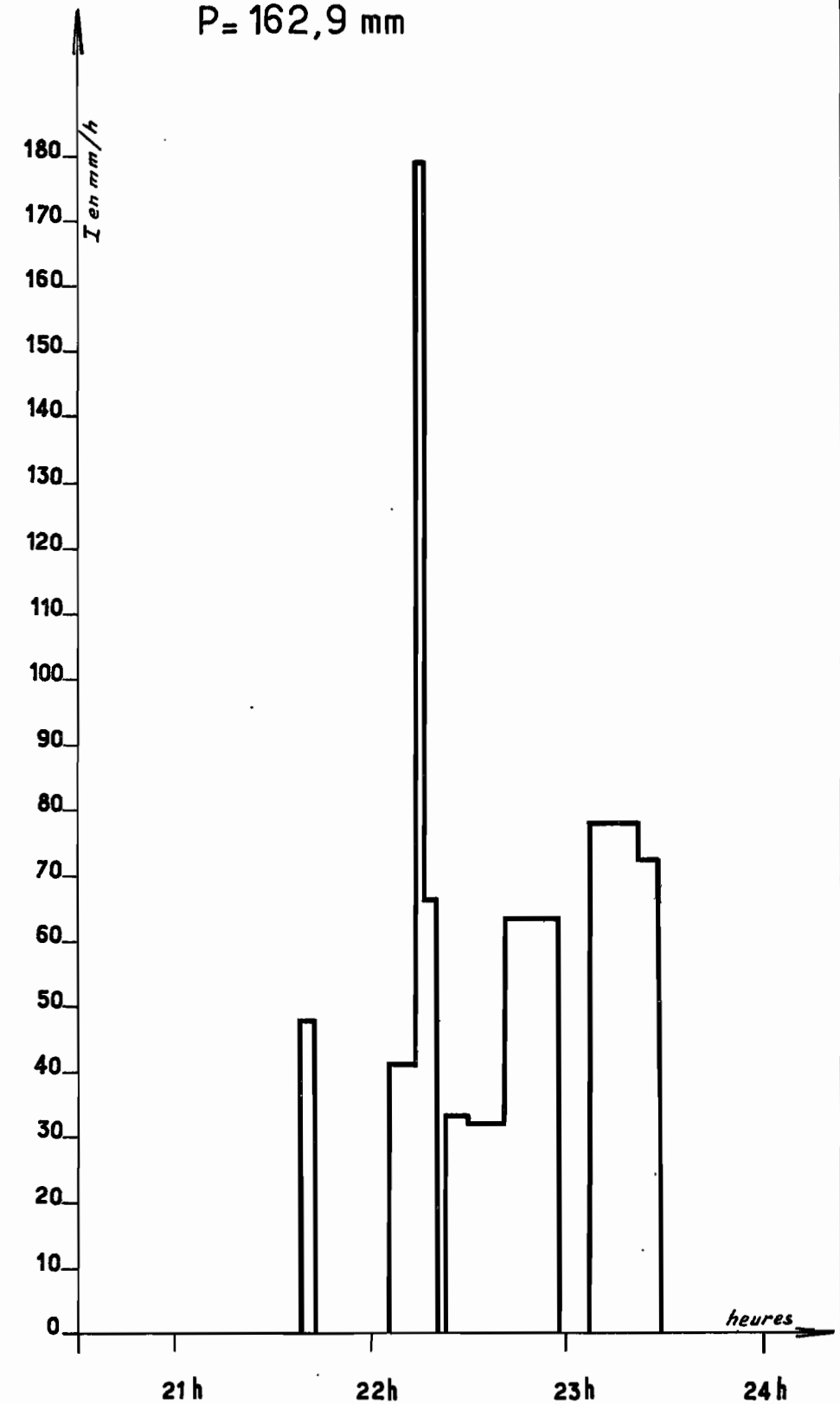
CONCOMITANCE DE L'AVERSE
 24 heures avant = 6,0 mm
 3 Jours avant = 6,0 mm
 10 Jours avant = 6,0 mm

DIV_9550

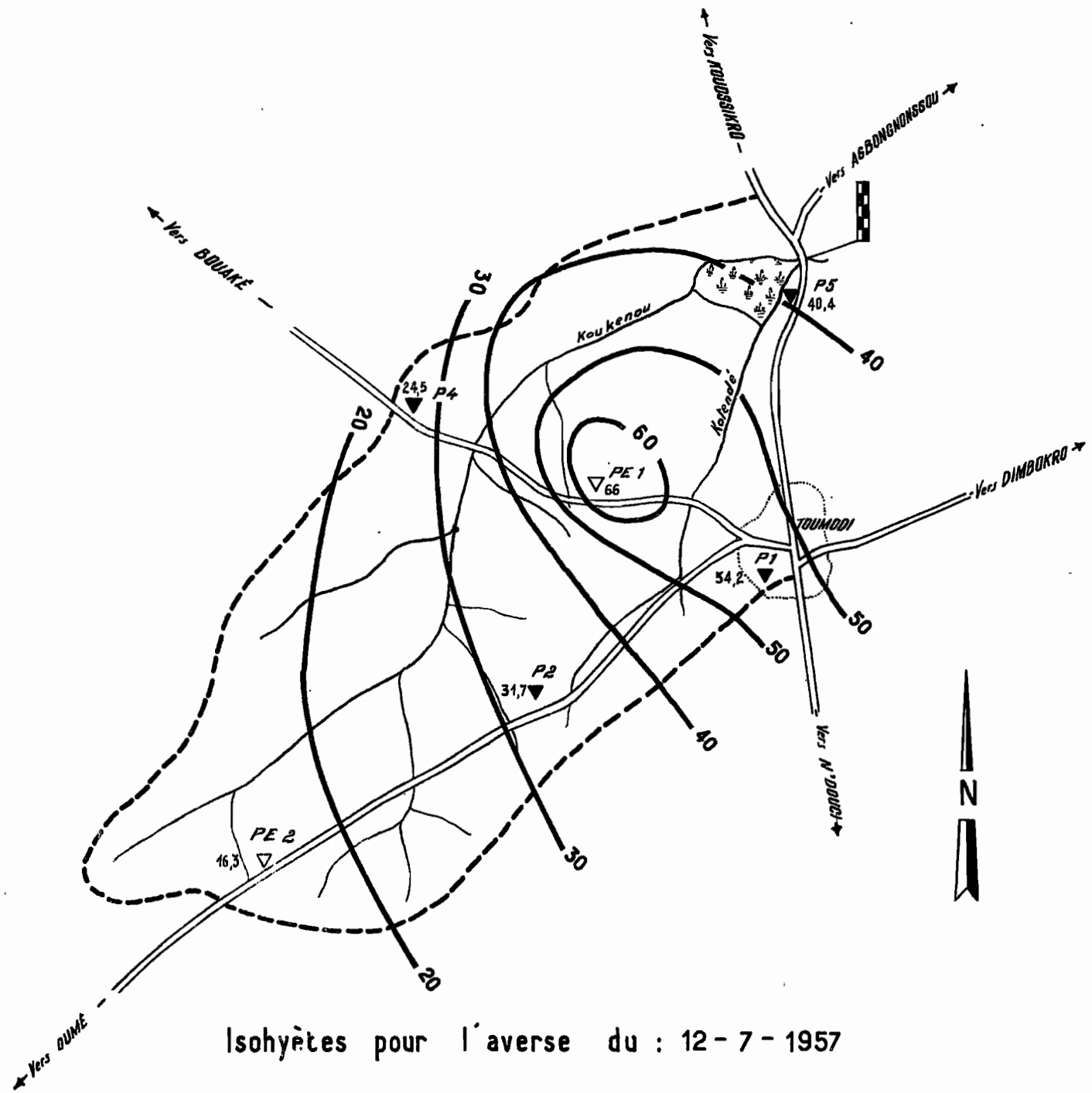
HYÉTOGRAMME ORIGINAL AVERSE N° 1

PLUVIOGRAPHE n° 1

$P = 162,9 \text{ mm}$



BASSIN VERSANT DE LA BINAWA A TOUMODI



$P_M = 66,0 \text{ mm}$
 $P = 38,8 \text{ mm}$

ÉCHELLE 1 / 50.000

CONCOMITANCE DE L'AVERSE
 24 heures avant = 0 mm
 3 Jours avant = 10 mm
 10 Jours avant = 37,5 mm

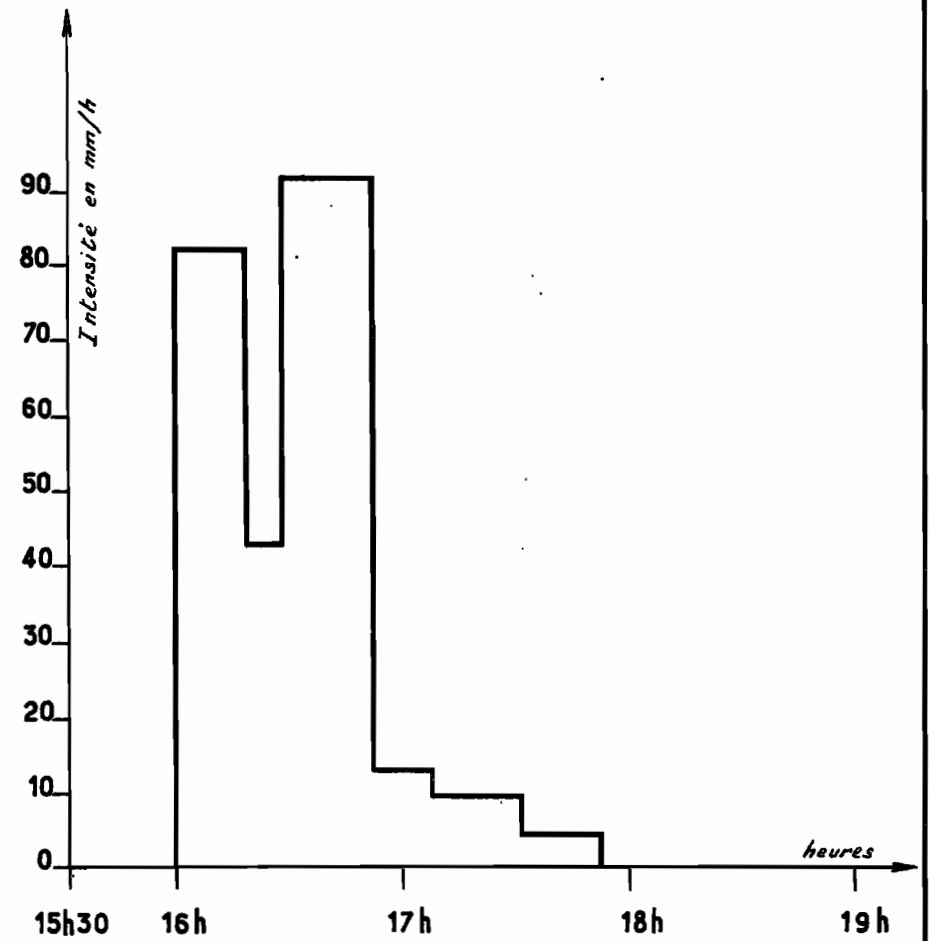
DIV_9552

HYÉTOGRAMME ORIGINAL

AVERSE N° 6

PLUVIOGRAPHE n° 1

$P = 66,0 \text{ mm}$



La seconde averse est celle du 25 Septembre, avec 61,2 mm de hauteur moyenne et 106,4 mm de maximum ponctuel. La pluie était centrée à l'extrémité septentrionale du bassin. Fortement abattue vers le sud (jusqu'à TOUMODI à 3 km au sud, il n'est tombé que 33 mm) elle est beaucoup mieux répartie sur le reste du bassin.

L'averse a duré près de 4 heures. L'intensité maximale a atteint 140 mm/h pendant quelques minutes.

F - CRUES OBSERVEES -

Après la violente averse du 31 Mai 1958, la crue qui suivit, la première de l'année, a emporté la digue et détruit la station de jaugeage. Nous ne possédons par conséquent aucun enregistrement des crues de l'année 1958.

D'autre part, les faibles averses de 1957 n'ont donné lieu qu'à un petit nombre de crues. Des 6 crues observées cette année, la plus importante est celle du 12 Juillet dont le débit de pointe s'élève à 1,93 m³/s.

L'étalement des hydrogrammes de crue est caractéristique du bassin versant.

En effet, le temps de base d'une crue est compris entre 2 et 3 jours. Le temps de montée est généralement supérieur à 24 heures et le débit de pointe est faible.

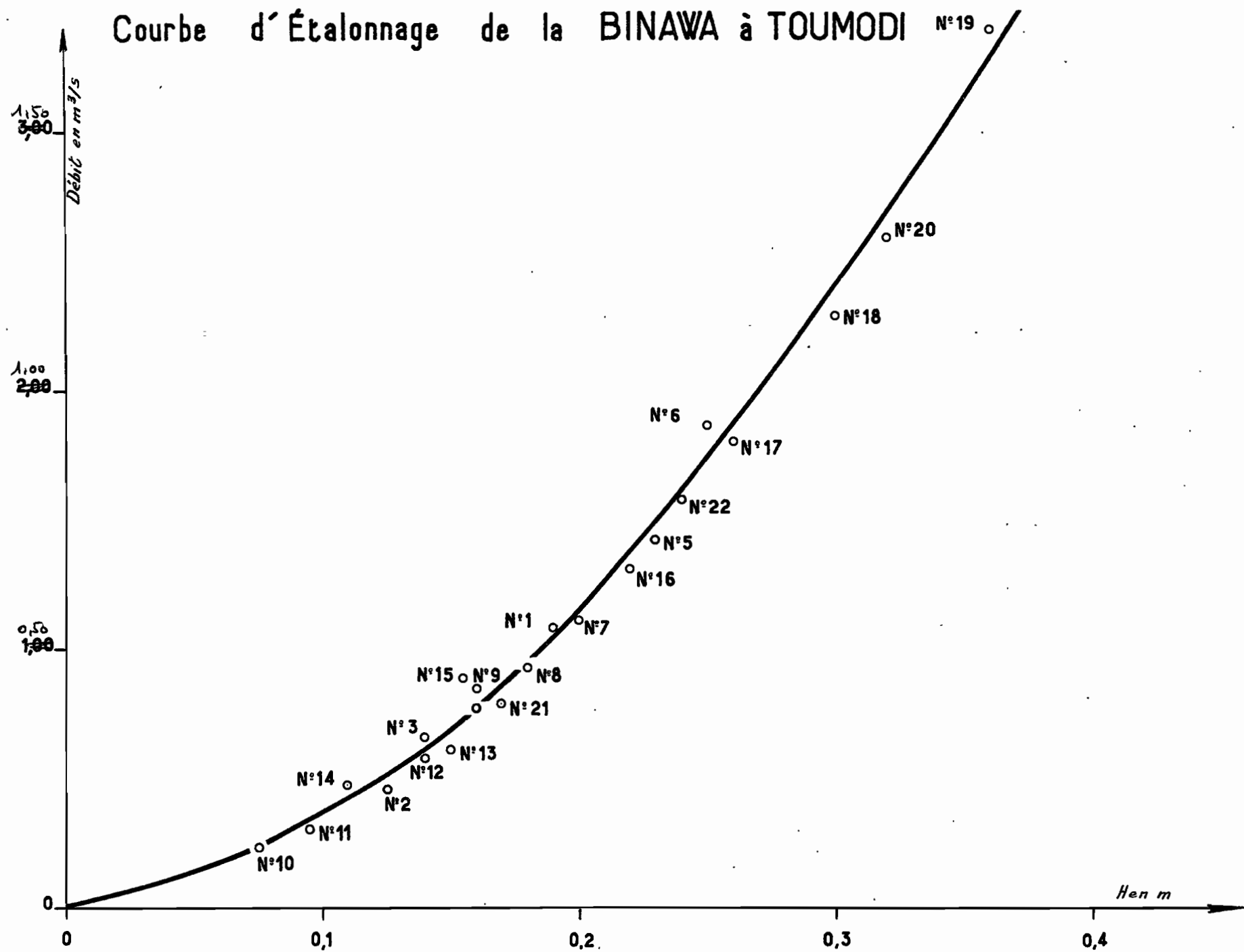
Il est probable que ce phénomène, inhabituel sur un petit bassin versant (20 km²), soit dû à la présence d'un champ d'inondation en amont immédiat de l'exutoire, qui joue le rôle de volant et retarde l'écoulement.

Les documents qui nous ont été remis ne concernent que 6 crues de 1957. Aucune crue de 1958 ne nous a été communiquée. Il paraît qu'aucun écoulement n'a été observé, indépendamment, bien entendu, de la crue du 31 Mai, mal connue.

Le matériel de travail ainsi constitué est des plus rudimentaire. Nous ne savons pas si réellement aucune autre crue en 1957 et 1958 n'a eu lieu. Notre étude ne peut donc être que très approximative.

Courbe d'Étalonnage de la BINAWA à TOUMODI

DIV 9558
 ED: ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER
 LE:
 DES:
 VISA:
 TUBE N°:
 AO



G - ETUDE ANALYTIQUE des AVERSES et des CRUES -

1°) Allure des crues

a) Crue du 17 Juin 1957 :

L'averse qui l'a provoquée ($P = 43,3$ mm) débute par une pointe d'intensité à 18 h, suivie d'une traine de 4 h après 1 h.30 d'interruption. Elle est centrée au Sud du bassin. La crue commence avec l'averse qui ruisselle aussitôt à l'aval du bassin. Huit heures après arrive l'onde de crue. Le débit de pointe, de $0,920$ m³/s est atteint au bout de 31 h.30, le temps de réponse du bassin est de 31 heures. Avec un débit de base assez faible, le coefficient de ruissellement atteint 4,9 %.

L'averse étant unitaire, nous retiendrons l'hydrogramme de la crue pour établir le diagramme de distribution.

b) Crue du 12 Juillet 1957 :

C'est la plus importante de l'année avec un débit de pointe de $1,920$ m³/s. L'averse violente et courte qui l'a provoquée est unitaire. Elle n'a pas duré 2 heures. Centrée aux environs de l'agglomération de TOUMODI, elle est bien plus faible vers le Sud-Ouest ; la pluie a ruisselé sur les pentes les plus fortes du bassin, entre TOUMODI et l'exutoire. Le temps de montée est de 29 heures et le temps de réponse de 28 heures. Le coefficient de ruissellement a atteint 12,4 % : Notons d'ores et déjà que le débit maximal de ruissellement, pour un volume de ruissellement ramené à 100 000 m³ atteint ici $1,74$ m³/s.

c) Crue du 23 Juillet 1957 :

L'averse de 28,7 mm qui a donné lieu à cette crue est particulièrement bien répartie et abondante sur le Sud et l'Ouest du bassin. C'est une averse unitaire prolongée par une traine de 3 heures environ.

L'hydrogramme de la crue présente une forme régulière avec un débit de pointe de $0,83$ m³/s (42 l/s.km²).

On trouvera plus loin le tableau donnant les caractéristiques des 6 crues observées.

2°) Choix d'un hydrogramme-type

Les crues des 17 Juin, 12 et 23 Juillet 1957, dues à des averses unitaires sur le bassin, peuvent être utilisées pour déterminer un hydrogramme-type des crues de la BINAWA à TOUNODI.

Dans le tableau suivant, nous avons relevé à intervalles de temps réguliers, de part et d'autre de la pointe de crue, les débits de ruissellement correspondant à un volume ruisselé ramené à 100 000 m³.

	-16h:	-12h:	-8h:	-4h:	0 h :	4h :	8 h :	12 h:	16 h:	20h:	24 h:
17 Juin	0,260	0,450	0,710	0,970	1,100	0,990	0,800	0,570	0,330	0,120	0,070
12 Juil.	0,037	0,097	0,330	1,050	1,740	1,260	0,950	0,640	0,290	0,190	0,097
23 Juil.	0,330	0,650	0,970	1,070	1,20	0,950	0,700	0,520	0,310	0,150	

En fait, seule la crue du 12 Juillet représente un fort ruissellement, mais l'averse étant de très faible durée, nous majorerons très légèrement le temps de montée et nous aboutirons ainsi au diagramme de ruissellement suivant :

	-16h:	-12h:	-8h :	-4 h:	0h :	4 h :	8 h :	12 h:	16 h:	20 h :	24 h :
Q m ³ /s:	0,1	0,2	0,5	1,00	1,70	1,25	0,900	0,600	0,300	0,150	0,100

qui représente, en fonction du temps, les variations du débit de ruissellement pour un volume ruisselé de 100 000 m³.

3°) Coefficient de ruissellement et précipitation-
limite.

L'examen du tableau d'analyse des crues met en évidence des coefficients de ruissellement variant de 1,85 à 12,4 %. On constate également que l'importance relative de l'averse joue peu sur le K_r . Nous ne disposons pas de données suffisantes pour rechercher les relations qui unissent le K_r aux différents facteurs significatifs de l'état de saturation du sol. D'ailleurs, les hydrogrammes ont une forme si molle qu'il est très difficile de séparer le ruissellement, sauf pour la crue du 12 Juillet. Pour les autres crues, on peut dire que V_r , donc K_r , est déterminé à 30 ou 50 % près. Nous retiendrons seulement que le coefficient de ruissellement peut atteindre des valeurs de l'ordre de 20 %, notamment à la fin de la grande saison des pluies, lorsque le sol a été saturé par une longue série de précipitations abondantes.

Le graphique de la hauteur limite de ruissellement, en fonction de l'intervalle de temps à la pluie précédente, fait apparaître une précipitation limite de 10 mm environ, au-dessous de laquelle aucune averse ne ruisselle, quel que soit le degré de saturation du sol.

En fait, cette limite est un ordre de grandeur valable pour des averses espacées de plus de 2 jours : l'état de la surface du sol qui reçoit la pluie se retrouve à peu près identique après ce laps de temps. Mais, pour des averses se suivant à moins de 1 ou 2 jours, il est difficile de donner une limite précise. C'est ainsi que l'averse de 11,7 mm du 21 Juin 1957 a nettement ruisselé (7,7 %), alors que celle du 26 Octobre 1957, de 19,5 mm, a un coefficient de ruissellement très faible (1,85 %), bien que les conditions de saturation du sol soient a priori similaires. Mais, un examen plus approfondi montre que si au lieu de se référer à la pluie antérieure on considère les 8 ou 10 jours précédents, la première averse a été nettement favorisée.

4°) Bilan d'écoulement

Les observations qui nous ont été communiquées ne concernent que les 4 mois de Juin, Juillet, Septembre et Octobre 1957. Nous en donnons les caractéristiques en ce qui concerne les volumes et coefficients d'écoulement mensuels dans le tableau ci-après :

Mois	P _{mm}	V _e 10 ³ m ³	Le mm	K _o %
Janvier-Mai	(490)	(600)		
Juin	90	520		
Juillet	144	780	39	27
Août	150	(950)		
Septembre	96	600	30	31,3
Octobre	75	430	21,5	28,6
Nov-Décembre	(130)	(400)		
Juil.-Oct.	465	2 760	138	29,7
Année 1957	(1 075)	(4 280)	214	(20)

L'extrapolation au volume d'écoulement annuel est des plus délicate. Nous sommes dans le domaine de la pure hypothèse.

Les données entre parenthèses dans le tableau précédent résultent :

- pour la pluviométrie, des observations de DIBOKRO
- pour l'écoulement, d'une estimation supposée raisonnable.

On est conduit à admettre un coefficient d'écoulement annuel voisin de 20 % pour 1957 qui est une année moyenne.

Ce coefficient peut certainement subir de très grosses variations. On sait en effet, qu'en 1958, l'écou-

TABLEAU des VALEURS CARACTERISTIQUES
des CRUES de la BINAWA à TOUMODI

Date	ta j	PM mm	K	P mm	tu	Vr 10 ³ m ³	Kr %	Qo m ³ /s	QM m ³ /s	tm h	tp h	Observations
17-6-57	2	64,3	67	43,3	1h30	42	4,9	0,135	0,920	31½	31	Unitaire
21-6-57	1	22,1	53	11,7	0h20	18	7,7	0,240	0,540	20	20	Ruissellement local
12-7-57	7	66,0	59	38,8	1h	82	12,4	0,150	1,920	28	28	Unitaire
23-7-57	3	35,3	81	28,7	0h40	33	5,7	0,190	0,83	29	28	Unitaire
26-9-57	4	54,5	75	41,1	0h50	41	3,5	0,190	0,720	20		Averse double
27-9-57		28,0	59	16,5	0h20							
26-10-57	2	29,5	66	19,5	1h	17,5	1,85	0,100	0,330	13	13	Complexe

lement a été pratiquement négligeable. Les renseignements que nous possédons sont insuffisants pour avancer d'autres chiffres sur cette question.

5°) Estimation des crues de fréquences rares

a) Crue du 1er Juin 1958 :

Nous avons vu que la pluie avait été très fortement abattue vers le Nord et vers le Sud, de sorte que malgré un maximum ponctuel de fréquence rare (plus de 160 mm), la pluie ne dépassait pas 91,1 mm de hauteur moyenne sur le bassin. C'est pourquoi nous n'accorderons pas la fréquence décennale à la crue du 1er Juin.

La comparaison des isohyètes de cette averse avec celle du 12 Juillet 1957, nous incite à prendre la même valeur du débit de ruissellement unitaire : $1,74 \text{ m}^3/\text{s}$, extrait de l'hydrogramme-type.

Avec 20 % de coefficient de ruissellement, on arrive à un débit maximal de pointe égal à $6,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

En attribuant $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ au débit de base, le débit de pointe de la crue atteint $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ou 335 l/s.km^2 .

b) Estimation de la crue décennale :

Nous posons les hypothèses de base suivantes :

L'averse donnant lieu à la crue décennale est unitaire. Elle présente un maximum ponctuel de 130 mm. Bien répartie sur le bassin, elle a un coefficient de réduction de 85 %. On estime que le coefficient de ruissellement du bassin peut atteindre 30 % et que le degré de saturation du sol est représenté par un débit de base $Q_c = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dans ces conditions, le calcul du débit de pointe de la crue décennale conduit au chiffre de $12 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 600 l/s.km^2 .

Ce débit est faible et n'est pas représentatif de la région. En effet, la faible perméabilité des terrains et la savane très dégradée qui les recouvre ferait atteindre au coefficient de ruissellement une valeur telle qu'il serait logique de placer la crue de fréquence décennale aux alentours de $1\ 000 \text{ l/s.km}^2$.

L'anomalie que l'on constate a semble-t-il essentiellement pour cause la présence d'une zone marécageuse en amont de la station de contrôle. Comme nous l'avons vu lors de l'étude des crues, ces marécages favorisent un étalement considérable des hydrogrammes dont les pointes sont fortement réduites. Des jaugeages de crues sur le KONKENOU ou le KOTENDE apporterait une vérification intéressante de l'importance des débits de pointe et permettraient d'apprécier l'influence modératrice qu'a, sur les crues, cette zone de débordement de la rivière.

CHAPITRE VIII

ESSAI DE SYNTHÈSE DES RESULTATS OBTENUS EN ZONE DE SAVANE

A la fin du tome I, dans l'essai de synthèse des résultats obtenus en zone forestière (Chapitre IV), nous avons été conduits à certains développements nécessaires pour présenter les quatre facteurs déterminants du régime hydrologique, leurs qualités propres et les lignes générales de leur influence sur les caractéristiques des petits cours d'eau étudiés.

Ces points restent acquis, bien entendu, et nous allons, d'emblée, examiner les variations de ces facteurs dans la zone de savane en COTE d'IVOIRE et replacer les bassins versants étudiés dans leur contexte géographique.

A - LE REGIME PLUVIOMETRIQUE -

Au nord du 9° parallèle environ le régime pluviométrique est du type tropical, au sud il est du type équatorial. Réparties sur 8 mois, de Mars à Octobre, les pluies atteignent un total annuel moyen égal ou inférieur à 1.200 mm (BOUAKE et DIBOKRO caractérisent cette région). La hauteur de précipitation annuelle pour une fréquence rare est sensiblement plus faible que celles que nous avons trouvée en zone forestière. L'état de saturation préalable des terrains n'est pas favorisé par l'étalement de la saison des pluies, qu'aggrave la période sèche de Juillet-Août.

Si l'on reprend les qualificatifs employés au Tome I, cette variante pluviométrique est "faible". Il en sera de même de la région nord-est du pays, celle de BOUNA, qui bien que soumise à une pluviométrie de type tropical reçoit moins de 1.100 mm de précipitations par an, tombant entre Avril et Octobre pour la plus grande part.

La limite occidentale de cette région à faible pluviométrie passe sensiblement par MANKONO, KATIOLA et un point situé à 100 km à l'est de FERKESSEDOUGOU.

A l'ouest de cette limite, la pluviométrie sera moyenne à la fois dans les régions équatoriales de TOUBA et SEGUELA et dans celles de type tropical qui s'étendent de BOUNDIALI à FERKESSEDOUGOU. La hauteur de précipitation annuelle y est de l'ordre de 1.300 à 1.350 mm.

Le qualificatif fort est réservé pour la région nord-ouest du pays, celle d'ODIENNE où la pluviométrie dépasse 1.500 mm.

Les bassins de TOUMODI et BOUAKE sont dans la zone faible, celui du FLAKOHO dans la zone moyenne.

B - LA VEGETATION -

La limite septentrionale de la savane arborée dense dite guinéenne correspond sensiblement, elle aussi, au 9° parallèle. Bien que le couvert y soit certainement supérieur à celui de la savane soudanienne qui occupe le reste du pays, les caractères différentiels sont encore à rechercher dans la plus ou moins grande action de l'homme.

Presqu'entièrement cultivé, le bassin de TOUMODI est doté d'une végétation faible, malgré sa proximité de la zone forestière.

Les bassins de BOUAKE et du FLAKOHO, pour leur part, manquent d'homogénéité dans leur couverture végétale.

Sur le premier on rencontre un secteur urbain dénudé à l'amont, un secteur peu cultivé au centre et une savane classée à l'extrémité aval.

Un périmètre de protection identique se retrouve sur les parties aval du bassin du FLAKOHO, alors que les parties amont subissent une mise en cultures assez importante.

On appliquera à ces 2 bassins le qualificatif de végétation moyenne, en se souvenant de l'hétérogénéité importante qu'il masque.

Etant donné l'étendue des destructions pour la mise en cultures, on ne peut trouver de zones à forte végétation que dans les périmètres classés ou les régions inhabitées.

C - LE FACTEUR DE PENTE -

Le relief général est celui d'un plateau sur lequel de faibles ondulations, dues aux cuirasses anciennes mises à nue par l'érosion, viennent rompre la monotonie. Quelques mouvements plus accentués du relief sont discernables dans les régions de BOUNA et ODIENNE. Les trois bassins étudiés ont des pentes faibles puisque leurs facteurs de pente sont du même ordre de grandeur que celui de l'IFOU. Nous les avons calculés, avec l'approximation que nous permettait les cartes au 1/200.000^e et les photographies aériennes (sauf pour celui de TOUMODI). Le tableau suivant rassemble les éléments de ce calcul où figurent :

- A la surface en km²
- H_M l'altitude maximale du bassin en mètres
- H_O " minimale " "
- D la dénivelée entre H_M et H_O "
- H l'altitude moyenne du bassin "
- prise par rapport à H_O

Bassin	Station	Sur- face	H _M	H _O	D	H	F _p
FLAKOHO	Centrale	31	370	315	55	40	0,062
d°	WOROSSANTIAKAHA	14	370	347	23	16	0,028
KAN	KOKONDEKRO	24,5	366	275	91	60	0,22
BINAWA	TOUMODI	20	164	121	43	27	0,058

D - LA PERMEABILITE DES SOLS -

Que ce soit sur substratum schisteux ou granitique, les sols de la zone de savane se rattachent presque tous au groupe des sols ferrallitiques. Sur les plateaux et les pentes, les phénomènes de cuirassement et de concrétionnement sont plus ou moins marqués. Les conditions qui ont présidé à la genèse de ces sols, l'importance du lessivage actuel font que pour un même type de sol on observe des perméabilités très différentes.

Les 3 bassins versants étudiés sont tous sur substratum granitique. Celui du FLAKOHO est à la limite des schistes qui affleurent dans la partie aval du bassin. Mis à part les sols sur alluvions des bas de pente et de thalwegs qui, par suite de l'hydromorphie, sont très peu perméables (moins de 20 mm/h en général), les sols des trois bassins sont :

- peu perméables à TOUMODI
- modérément perméables sur le FLAKOHO
- très perméables à BOUAKE.

Sur les deux premiers bassins, le cuirassement est important ; l'importance de l'érosion et le décapage des horizons superficiels expliquent la faible perméabilité de celui de TOUMODI. Nous donnons ci-dessous les valeurs moyennes et extrêmes de la perméabilité sur ces bassins versants, mesurée sur échantillon en laboratoire par les pédologues de l'ORSTOM

Bassin	Perméabilité en mm/h		
	minimale	moyenne	maximale
TOUMODI	2	15	60
FLAKOHO	2	33	110

Les perméabilités minimales correspondent aux sols hydromorphes de thalwegs ; les maximales ont été obtenues sur les sols de plateaux.

Il s'agit bien entendu des perméabilités des horizons superficiels .

La perméabilité des horizons inférieurs, qui conditionne la capacité de rétention et l'abondance annuelle du cours d'eau, est, en général, plus élevée dans les sols de plateaux et souvent nulle dans les sols de thalwegs.

Les perméabilités moyennes sont bien inférieures à celles des bassins forestiers qui valaient 100 à 200 mm/h. L'analyse pédologique du bassin de BOUAKE n'a pas été faite. Cependant, les renseignements que nous possédons sur ces terrains où abondent les arènes granitiques, nous permettent d'estimer la perméabilité moyenne comme nettement supérieure à celles des deux autres bassins. Il ne serait pas invraisemblable qu'elle s'approche de 100 mm/h.

E - LES CONDITIONS GENERALES DE L'ECOULEMENT EN SAVANE -

Comme dans la zone forestière, nos trois bassins ne peuvent prétendre représenter toutes les nuances possibles des 4 facteurs déterminants du régime. Les régions à forte pluviométries et à fortes pentes ont été négligées. Seule la gamme des perméabilités semble avoir été explorée complètement. Les bassins du FLAKOHO surtout et de BOUAKE sont à priori assez bien placés pour caractériser leurs régions au point de vue hydrologique. Il n'en est malheureusement pas de même pour le bassin de TOUMODI où les conditions (végétation et perméabilité faibles) propices au ruissellement sont contracarrées par un accident du réseau hydrographique de la BINAWA. La présence d'une mare, vaste zone d'épandage, juste amont de la station de contrôle, entraîne un écrêtement et un allongement excessif des crues qui en sortent complètement déformées. Seul le coefficient de ruissellement est à peu près sauvegardé.

Avant d'examiner en particulier chaque caractéristique du régime hydrologique, il serait bon d'insister sur le caractère particulier de l'écoulement en zone de savane, par rapport aux régions forestières.

Le fait essentiel est qu'à une allure homogène des crues sur les petits cours d'eau forestiers, s'oppose une configuration hétérogène de l'hydrogramme des crues

en savane. Nous nous sommes longuement penchés dans les chapitres précédents sur la genèse des crues du KAN et du FLAKOHO, les conclusions à en tirer sont les suivantes :

- a) sur les sols hydromorphes de thalwegs et les sols de pentes, le ruissellement est immédiat ; comme ces sols sont peu éloignés de l'exutoire, le temps de parcours des eaux est réduit
- b) sur les sols de plateaux, le ruissellement est long à se manifester car la pente est très faible, la perméabilité élevée. Le temps de parcours étant long, ce ruissellement arrive en retard sur le précédent à l'exutoire.

Ce ruissellement retardé ne doit pas être confondu avec l'écoulement hypodermique, notable certes, mais dont la distinction reste possible à partir de l'analyse de la pente de la courbe de tarissement.

Ce ruissellement retardé existe évidemment en forêt ; mais il faut admettre que la forte perméabilité générale des sols, d'une part, et l'importance de la végétation, d'autre part, jouent un rôle modérateur suffisant pour que le freinage affecte aussi le ruissellement immédiat qui se confond avec le ruissellement retardé en une courbe de crue homogène.

Un tel hydrogramme n'est pas impossible en savane ; il ne peut se voir que lors d'une très forte crue due à une averse suffisamment longue pour que la durée du ruissellement et sa vitesse permettent à l'onde de ruissellement retardé d'arriver plus vite à la station et avant que le ruissellement immédiat n'ait commencé à décroître.

Cette homogénéisation des fortes crues a été observée partiellement sur le FLAKOHO et aussi sur la LHOTO, petit cours d'eau dahoméen de régime et de caractéristiques physiques voisins de ceux du KAN. On notera que la présence de la mare sur le cours inférieur de la BINAWA permet l'homogénéisation de toutes les crues du bassin de TOUMODI.

Il est évident que l'analyse des crues en savane est beaucoup plus délicate qu'en forêt. L'hétérogénéité des hydrogrammes rend difficile la définition de l'hydrogramme-type du bassin et de ses caractéristiques de temps.

F - LES COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT -

Le seuil d'apparition du ruissellement est assez bien représenté par la précipitation limite qui varie avec la perméabilité et la végétation. Après 24 heures sans pluie, on trouve comme précipitation limite :

9 mm sur les 2 bassins du FLAKOHO

11 mm sur celui de BOUAKE

Cet écart de 2 mm, dû aux perméabilités différentes, se poursuit pour des intervalles de temps supérieurs.

La précipitation limite est difficile à déterminer à TOUMODI ; on ne peut en connaître qu'une valeur supérieure car les plus faibles crues sont entièrement absorbées par la zone marécageuse ; des 10 mm ainsi obtenus, il faudrait certainement descendre vers 6 mm pour avoir une valeur plus exacte.

Ce seuil franchi, le coefficient de ruissellement croît évidemment avec la hauteur de la précipitation pour des conditions de saturation comparables. Mais ce sont essentiellement ces dernières qui fixent la valeur du coefficient K_r . Nous avons vu que la variation du K_r en fonction du débit initial Q_0 était assez bonne à BOUAKE, tandis que sur le FLAKOHO, l'intervalle de temps t_a à la pluie antérieure représentait mieux ces conditions de saturation ; la pluie préliminaire, quelques heures avant une averse, pouvait faire passer le coefficient de ruissellement du simple au double, toutes choses restant égales par ailleurs.

La raison de l'extrême sensibilité du coefficient K_r à l'état de saturation préalable, nous ne pouvons comparer que des valeurs établies pour des états comparables, par exemple ceux qui président aux averses annuelles et décennales. Bien que ces coefficients soient souvent le fruit d'une estimation, de tels phénomènes n'ayant pas toujours pu être observés, l'ordre de grandeur relatif est conservé.

Bassin	Coefficient de ruissellement K_R en %	
	Averse annuelle	Averse décennale
TOUMODI	15	30
FLAKOHO	15	25 à 30
WOROSSANTIAKAHA	3 à 6	7 à 10
KAN	6	10

Si l'on compare les chiffres de ces tableaux, on vérifiera que le coefficient K_R varie :

- dans le même sens que le facteur de pente
- en raison inverse de la perméabilité, ce 2ème facteur étant prépondérant.

La faiblesse des facteurs perméabilité et végétation explique les forts coefficients du bassin de TOUMODI, malgré le faible débit de crue résultant des marécages.

Les coefficients du FLAKOHO à WOROSSANTIAKAHA sont nettement inférieurs

- dans le rapport de 1 à 3 environ, à ceux du même cours d'eau à la station centrale pour deux raisons :
- essentiellement parce que le pourcentage de sols sur plateaux, les plus perméables, est plus élevé sur le bassin amont,
- aussi parce que le facteur de pente (0,028) est à peine la moitié de celui du grand bassin (0,062).

La même comparaison entre WOROSSANTIAKAHA et le KAN; dont les coefficients K_R sont égaux, ou légèrement supérieurs, montre que la plus forte perméabilité des sols du 2ème bassin est compensée par sa pente beaucoup plus notable, son indice de pente (0,22) étant environ 8 fois plus grand.

Le trop petit nombre de bassins étudiés et la difficulté de fixer les valeurs des coefficients K_R pour des conditions de saturation semblables ne permettent pas

de préciser l'allure des variations de ces coefficients. Pour des conditions correspondant aux crues décennales, et pour des pentes très voisines, le coefficient K_r semble varier en raison inverse du logarithme de la perméabilité moyenne du bassin. Il serait aventureux de vouloir préciser davantage cette relation, alors que nous avons encore des doutes sur sa véracité.

G - LES TEMPS CARACTERISTIQUES DE L'HYDROGRAMME -

Nous n'envisagerons, comme pour les bassins forestiers, que les limites inférieures des temps de montée, de réponse et de ruissellement, c'est-à-dire celles qui correspondent à l'hydrogramme type de ruissellement.

On devine aisément que l'analyse de ces temps ne pourra pas être aussi rigoureuse que dans le tome forestier, la détermination de l'hydrogramme-type ayant été très délicate tant à BOUAKE que sur le FLAKOHO, où il apparaît, à la station centrale, formé par la juxtaposition de 2 hydrogrammes simples d'origines différentes.

La traversée de la mare terminale enlève toute signification aux temps de l'hydrogramme de la BINAWA, beaucoup trop longs.

Nous avons rassemblé toutes ces valeurs limites, en heures :

Bassin	Temps de réponse	Temps de ruissellement
FLAKOHO	5 à 8	17
WOROSSANTIKAHA	4 à 6	
KAN	4 à 5	24
BINAWA	28 à 31	48 à 72

Mise à part la BINAWA, ces temps sont du même ordre de grandeur. Il faut dire aussi que l'éventail des facteurs de pente de ces bassins de savane est beaucoup plus étroit que celui des bassins de zone forestière. Il

est donc inutile de rechercher une relation entre ces temps caractéristiques et les facteurs de pente. Tout ce que l'on peut dire c'est qu'à pentes égales les bassins de savane répondent beaucoup plus vite que ceux de la forêt.

Les temps de réponse sont inférieurs de moitié à ceux de l'IFOU dont la perméabilité moyenne n'est guère plus élevée ; l'écart est énormément amplifié si l'on envisage la comparaison avec les bassins très perméables de la région de NAN. L'écart considérable pour des bassins à faibles pentes, tend à se réduire quand ces dernières augmentent.

Alors que l'accroissement de la perméabilité allongait notablement les temps caractéristiques des cours d'eau forestiers, il ne semble pas qu'il y ait une influence visible en savane où la vitesse de réponse semble peu modifiée par ce facteur.

Les mêmes écarts, pour les mêmes motifs, peuvent être évoqués si l'on regarde les temps de ruissellement. Cependant, la végétation qui, à pentes et perméabilités voisines, était responsable des écarts entre les temps de réponse, a une influence moins nette sur les temps de ruissellement. On trouve, en effet, des valeurs du même ordre pour l'IFOU et les bassins de savane.

H-LES DEBITS MAXIMAUX de CRUE -

Le tableau suivant réunit les éléments comparables de ces débits maximaux, à savoir les débits spécifiques des crues de fréquences annuelle et décennale.

Bassin	Crue annuelle QM en l/s.km ²	Crue décennale QM en l/s.km ²
FLAKOHO	320 à 360	1 100 à 1 400
WOROSSANTIAKAHA	350	1 700 à 1 800
KAN	230 à 250	650 à 700
BINAWA	320 à 350	600

Les mêmes difficultés que pour les temps caractéristiques ressurgissent. Les valeurs obtenues pour la BINAWA sont beaucoup trop faibles pour ce type de bassin versant.

Quant aux autres bassins, la variation des débits maximaux, en fonction du facteur de pente, n'est pas très nette parce que celui-ci varie peu. En outre, le bassin du KAN étant beaucoup plus perméable que celui du FLAKOHO, il ne peut lui être comparé.

Pour les deux stations du FLAKOHO, l'influence de la surface drainée est assez visible sur la crue décennale.

Si nous nous reportons aux résultats obtenus sur les bassins forestiers, nous voyons qu'à pentes et perméabilités égales, les débits de crue sont plus élevés en savane. Cette influence modératrice de la forêt en zone forestière se fait de moins en moins sentir au fur et à mesure que la perméabilité diminue. Mais nous devons préciser qu'en fait la savane de la COTE d'IVOIRE est une savane boisée comportant beaucoup d'arbres et n'a rien à voir avec la pseudo-steppe, par exemple.

Dans une telle optique, les débits maximaux d'un cours d'eau comme la BINAWA, non handicapés par une mare terminale, devraient être au moins égaux à 600 et 1200 l/s.km² pour les fréquences annuelle et décennale.

I - LES COEFFICIENTS d'ÉCOULEMENT

Comme pour les bassins forestiers, nos observations continues n'ont porté que sur la période d'hivernage, de telle sorte que les étiages sont peu ou pas connus et que l'estimation des coefficients d'écoulement annuels est très délicate.

L'importance des débits d'étiage est conditionnée par la capacité hydrique des sols dont on peut avoir une idée connaissant l'importance des horizons inférieurs des sols, leurs perméabilités et porosités.

L'épaisseur notable d'arènes granitiques à BOUAKE est très favorable à l'accumulation de réserves en eau ; le KAN draine en effet une nappe riche et ne doit vraisemblablement pas se tarir. Un débit d'étiage spécifique de l'ordre du litre par seconde a été observé début 1959, après une année très sèche ; nous ne pensons pas qu'il puisse descendre beaucoup en-dessous de 0,5 l/s.km².

De même à WOROSSANTIAKAHA, l'épaisseur de la cuirasse sur le plateau permet d'augurer de la perennité du débit ; voisin de 1 l/s.km² en année moyenne, il est susceptible de diminuer beaucoup plus que celui du KAN, l'importance de la nappe ne devant pas être aussi grande.

A la station centrale, le FLAKOHO, lors d'étiages sévères, a perdu une partie de son débit par infiltration et évaporation dans le lit ; nous avons observé qu'il s'annulait à NAMIBONKAHA, c'est-à-dire après les marécages situés en amont de la route qui absorbent tout le débit d'étiage et l'évaporent.

Un phénomène comparable s'observe à TOUMODI, où il est possible que l'écoulement cesse tous les ans pour le même motif.

Au débit de drainage des nappes vient s'ajouter celui de ruissellement ; la part de ce dernier croît avec l'imperméabilité des sols. Ce sont finalement les bassins les moins perméables qui présentent les meilleurs coefficients d'écoulement parce que la fraction d'eau de pluie qui échappe au ruissellement n'est pas entièrement gagnée par la nappe. L'infiltration profonde n'en affecte qu'une minime partie, l'évapotranspiration consomme le reste ; dans cette région tropicale de transition, l'évapotranspiration effective est très importante. Les déficits d'écoulement des grands cours d'eau y présentent les valeurs maximales observées en Afrique : 1 200 à 1 300 mm.

L'examen des résultats obtenus sur nos bassins expérimentaux confirme ces dires.

Sur le bassin de TOUMODI, où règne une faible pluviométrie, la capacité hydrique des sols est moyenne ; avec des coefficients de ruissellement de 15 % pour la crue annuelle, on arrive à un écoulement de 20 % pour l'année 1957, proche de l'année moyenne.

Il est bon d'ajouter qu'en année sèche l'écoulement sur ce bassin est réduit à peu de chose (1 crue signalée en 1958 seulement).

Sur le FLAKOHO, tous les facteurs influants (pluviométrie, ruissellement et capacité hydrique) ont une intensité moyenne. Trois années d'observations permettent une meilleure estimation des coefficients d'écoulement.

En 1958, année très sèche (fréquence 1/30° environ), nous touchons la valeur minimale du coefficient d'écoulement, à savoir 7% à WOROSSANTIAKAHA et 5% à la station centrale. L'écoulement est presque entièrement dû au drainage des réserves et l'évapotranspiration dans le lit entre les 2 stations, déjà évoquée pour les étiages, explique la différence des coefficients d'écoulement.

Le contraire se présentera en année humide (1959 par exemple) et les coefficients d'écoulement seront de l'ordre de 18 et 20% respectivement aux stations amont et aval, par suite de pourcentage plus élevé de sols hydro-morphes et de pentes dans le bassin inférieur.

En année moyenne, un écoulement de l'ordre de 12% est assez concevable. C'est à un chiffre voisin que l'on arrive en faisant le bilan d'écoulement du KAN en 1959 (année moyenne) : 11,6%. Mais ici les raisons en sont différentes : le débit de nappe est prépondérant car pluviométrie et ruissellement sont faibles. Les variations interannuelles de ce débit sont mal connues ; on a estimé les extrêmes à 5 et 15% environ.

CONCLUSION

Sans vouloir reprendre les conclusions déjà formulées à la fin du tome I qui mettaient l'utilisateur en garde contre l'emploi inconsidéré des résultats obtenus sur nos bassins expérimentaux, nous aimerions insister sur les nombreuses lacunes que comporte ce rapport général.

L'étude des six groupes de bassins versants, moitié en zone forestière, moitié en savane, ne permet absolument pas d'aborder toutes les conditions possibles d'écoulement en fonction des valeurs que prennent les facteurs déterminants du régime hydrologique sur le territoire de la COTE d'IVOIRE.

Et cela, d'autant plus, que certains bassins n'ont été choisis que pour fournir une réponse précise à un problème technique, sans tenir compte de leur représentativité à l'échelon régional.

Nous éprouvons de grandes difficultés à analyser les caractéristiques hydrologiques des petits bassins versants, non seulement à cause de leur complexité, mais surtout parce que l'échantillon de crues observées est insuffisant pour permettre une étude précise et complète.

La poursuite d'observations continues pendant une longue période d'années sur des bassins judicieusement choisis permettrait seule de retirer le maximum de profit des recherches hydrologiques appliquées.

Cependant, aussi incomplet soit-il, ce rapport présente un large éventail de bassins versants et fait connaître à l'ingénieur les ordres de grandeur des caractéristiques hydrologiques, et leurs variations, en fonction des facteurs physiques déterminants du régime.

Il doit permettre d'éviter des erreurs grossières dans l'estimation des données de base sur lesquelles reposent les projets d'ouvrages ou d'aménagements; son rôle n'est donc pas négligeable.