

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Centre de TANANARIVE

Section Hydrologie

BUREAU CENTRAL D'ETUDES
POUR LES EQUIPEMENTS D'OUTRE-MER

NOTE COMPLEMENTAIRE SUR LES ETUDES HYDROLOGIQUES
EN VUE DU FRANCHISSEMENT DE LA BETSIBOKA
PAR LA ROUTE TANANARIVE - MAJUNGA

Aperçu Général.-

La BETSIBOKA est constituée dans son cours supérieur de la réunion de deux rivières le JABO et l'AMPARIHIBE qui prennent leur source à une trentaine de Km au Nord de TANANARIVE.

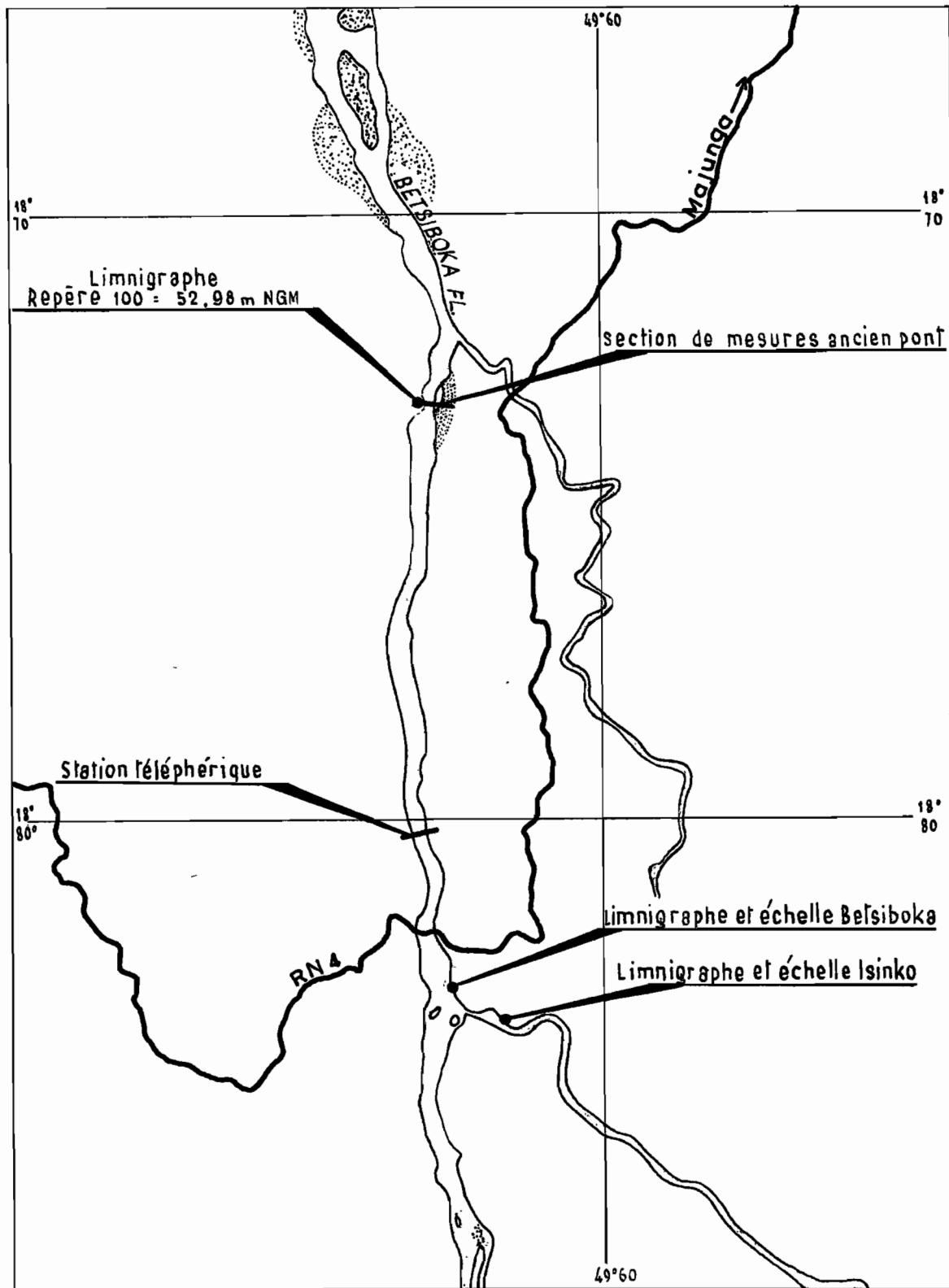
Le bassin de la BETSIBOKA a une forme générale assez allongée et orienté Nord - Nord-Ouest. Il jouxte dans toute sa partie occidentale le bassin de l'IKOPA dont la forme et l'orientation présentent une certaine similitude avec lui. Les deux rivières se rejoignent en aval de MAEVATANANA, la BETSIBOKA imposant son nom à l'ensemble du bassin malgré sa plus petite taille et sa moindre longueur.

La pente générale de la rivière est forte. Sur la plus grande partie de son cours central elle est supérieure à 2 m/Km pour s'accélérer sensiblement sur les 50 Km amont de la station d'AMBODIROKA où elle passe, en moyenne à 7 m/Km. Une pente aussi forte conjuguée à un réseau hydrographique très dense, favorise la formation de crues de courte durée, quelques heures, mais de débit maximal élevé.

La pluviométrie moyenne sur le bassin oscille entre 1100 mm en année sèche et près de 2000 mm en année humide. Les isohyètes interannuelles croissent régulièrement de l'amont du bassin où l'on enregistre moins de 1300 mm, vers l'aval où la pluviométrie atteint près de 1900 mm (ANDRIBA) et même 2000 mm à ANTSTAFABOSITRA.

Le graphique de la page suivante présente le plan d'ensemble des installations et sections de mesures c'est-à-dire :

- Limnigraphe et échelle de la BETSIBOKA en amont des chutes
- Limnigraphe et échelle de l'ISINKO
- Station téléphérique d'AMBODIROKA
- Limnigraphe et section de mesures à l'ancien pont de la
BETSIBOKA



ECHELLE 1/100.000'

La BETSIBOKA à AMBODIROKA.--

Les renseignements complets concernant cette station sont présentés dans la Monographie de l'IKOPA et de la BETSIBOKA (M. ALDEGHERI). Nous en résumons ici l'essentiel.

Les premières études hydrologiques concernant la BETSIBOKA ont débuté avec l'installation et l'exploitation d'une échelle de crue par une mission EDF en 1948 à une dizaine de km en aval des chutes.

Cette station abandonnée assez rapidement en raison de l'instabilité du lit sableux a été reportée en 1951 au pied des chutes pour être à nouveau déplacée, toujours en raison de l'instabilité du lit, à l'amont des chutes en 1957.

Cette instabilité se traduisait par une cote sensiblement constante au cours de la saison sèche, la diminution progressive du débit étant compensée par le remblaiement en sable du lit de la rivière.

La station actuelle ne présente plus ces inconvénients.

Courbe de Tarage.--

Elle figure sur le graphique de la page suivante.

Avant 1957 une quinzaine de mesures ont été réalisées mais avec un matériel léger qui n'a pas permis de dépasser 600 m³/s. Au delà, les vitesses et le charriage de surface n'autorisent pas de jaugeages sans risques certains, qui ont conduit en 1958 à l'installation d'une station téléphérique de grande portée avec saumon de 100 kg.

Depuis 1958 plus de 150 jaugeages ont été effectués. Mais, malgré une présence soutenue sur la station, il n'a pas été possible de mesurer plus de 3000 m³/s alors que certaines crues ont été estimées à 12.000 m³/s.

BETSIBOKA A AMBODIROKA

COURBE D'ETALONNAGE

$Q m^3/s$

4000

3000

2000

1000

0

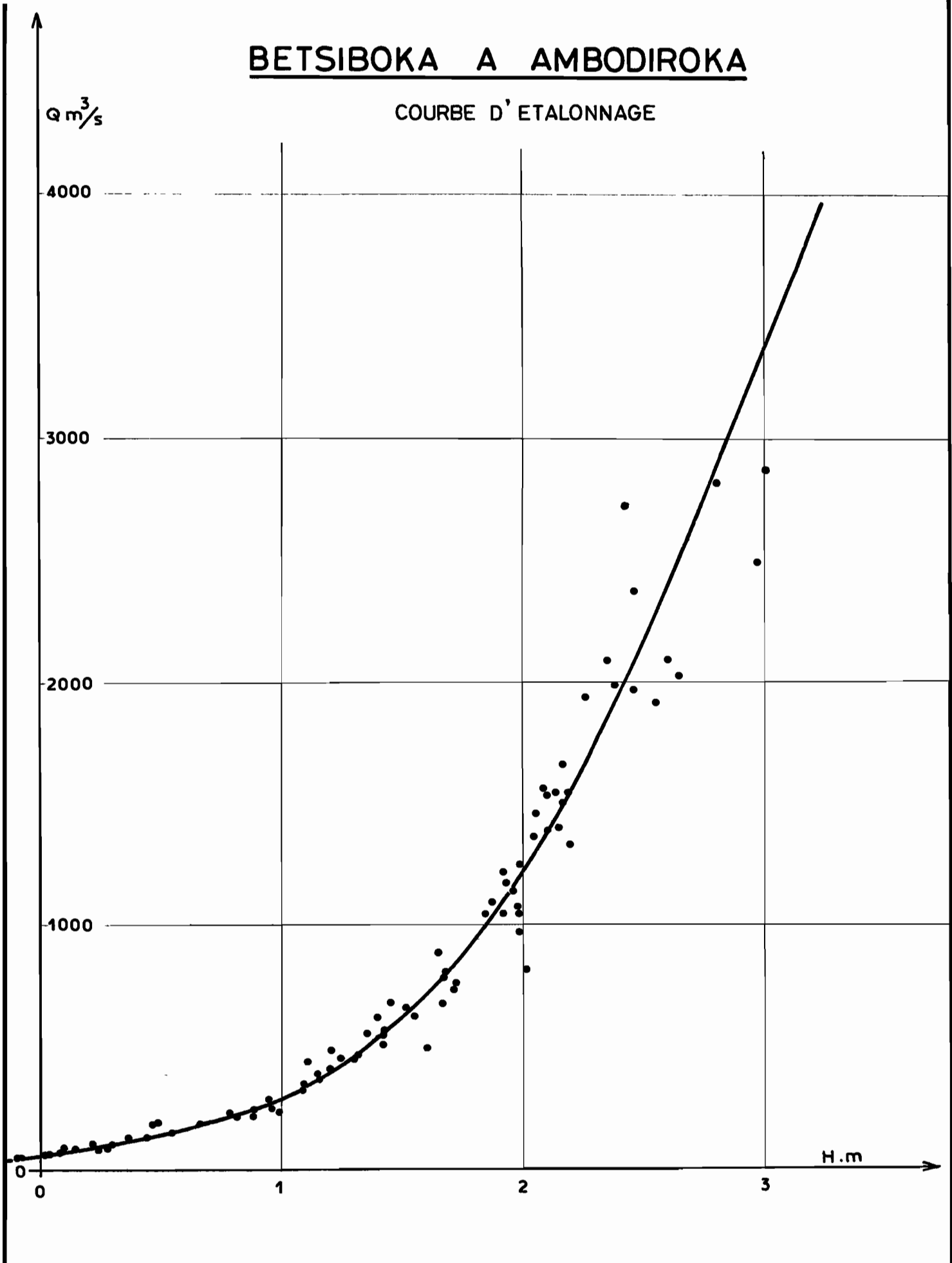
0

1

2

3

H.m



Ceci est dû tout d'abord au régime des crues lui-même. Celles-ci sont de deux sortes selon qu'elles sont provoquées par des orages ou par des dépressions tropicales. Dans le premier cas les précipitations recueillies peuvent être relativement fortes mais elles sont très limitées dans l'espace. Ne couvrant qu'une partie du bassin elles ne provoquent que des crues d'amplitude assez modérée. Seuls les cyclones peuvent, par leur étendue, susciter sur l'ensemble du bassin des pluies importantes (de hauteur quelques fois très supérieure aux pluies d'orage) et groupées en quelques jours, ce qui leur assure une très bonne efficacité.

Si les crues d'orage sont très fréquentes, les crues de cyclone sont rares. C'est ainsi que de 1957 à 1968 on en note deux, 1959 et 1965 estimées à 12.000 m³/s et 10.600 m³/s. En dehors de ces deux crues, aucune autre au cours de cette période n'a dépassé 4.000 m³/s. Les chiffres ci-dessus soulignent bien la différence de débit entre les 2 sortes de crues.

En dehors de cette rareté qui est une première difficulté, il faut également souligner la brièveté de ces crues. Le graphique de la page suivante présente les variations de débits de celle du 15 au 16 Janvier 1965. Après quelques paliers préliminaires à 1.600 m³/s puis 2.300 m³/s, la montée de la crue est ensuite très franche pour atteindre 10.600 m³/s à 20 heures soit 4 heures après le dernier palier. Le maximum est bref, la décrue s'amorce aussitôt et à 7 heures du matin on retrouve le débit de base de la veille.

Une telle crue a une période de retour d'environ 20 ans (cf. étude statistique des crues) ce qui explique les limites du tarage actuel de la station dont les hautes eaux ne peuvent être mesurées que quelques heures tous les 10 ou 20 ans, à condition, en outre, qu'elles ne se produisent pas la nuit ce qui était le cas de la crue du 15-16 Janvier.

Il convient de noter également une certaine dispersion des jaugeages les plus élevés qui ne peut guère s'expliquer que par la longueur des mesures au téléphérique qui, avec les variations rapides du plan d'eau en hautes eaux, s'accompagne de différences de cotes parfois importantes au cours des jaugeages.

BETSIBOKA A AMBODIROKA

CRUE DU 15-16 JANVIER 1965

m^3/s

10.000

9000

8000

7000

6000

5000

4000

3000

2000

6

12

18

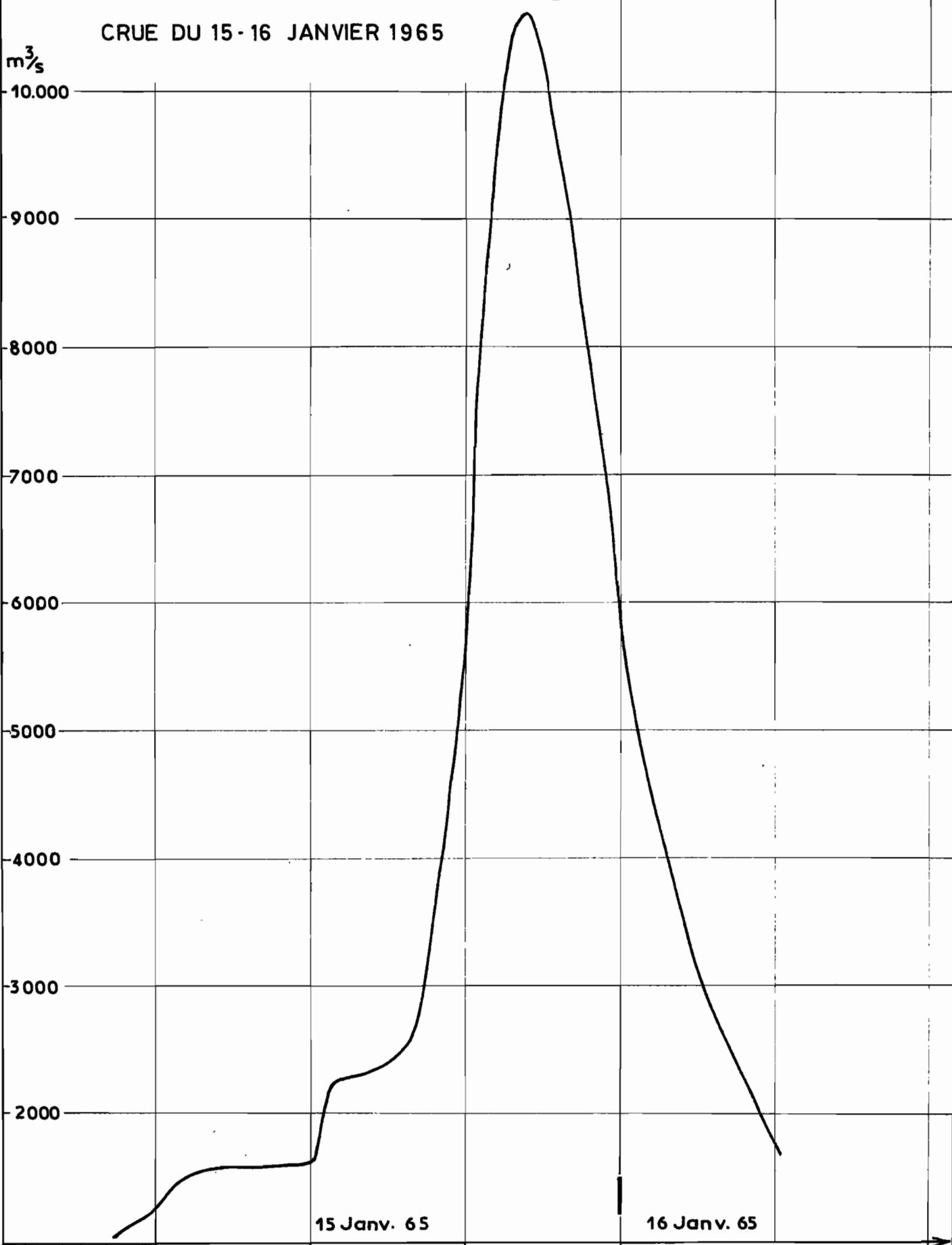
0

6

12

15 Janv. 65

16 Janv. 65



L'extrapolation vers les hautes eaux est donc relativement peu précise. Conduite par la méthode de STEVENS elle donne pour la crue de 1959 un débit de 12.000 m³/s. Une extrapolation linéaire, qui peut être considérée comme une limite inférieure des débits élevés donnerait pour 1959 une valeur de 10.000 m³/s et une extrapolation logarithmique 16.000 à 18.000 m³/s. La valeur fournie par la méthode de STEVENS est donc très raisonnable.

Régime Hydrologique.-

Le régime de la BETSIBOKA se caractérise par une saison des pluies bien marquée de Décembre à Avril inclus qui représente en 5 mois 70 % à 80 % du volume écoulé annuel. A partir de début Mai, la décrue s'amorce et se poursuit pratiquement sans perturbations jusqu'en Novembre qui voit apparaître les premières crues importantes.

Le tableau ci-dessous présente les modules mensuels et annuels de 1957 à 1967.

BETSIBOKA à AMBODIROKA

	57-58	58-59	59-60	60-61	61-62	62-63	63-64	64-65	65-66	66-67
Nov.	120	145	294	72	78	259	207	128	130	57
Déc.	341	442	292	386	694	467	401	517	404	136
Janv	666	1160	564	643	539	471	358	979	305	566
Fév.	676	561	506	211	(640)	629	720	996	416	358
Mars	763	1400	465	429	620	404	536	632	349	950
Avril	228	610	203	318	313	263	220	305	162	415
Mai	156	272	147	133	178	161	147	163	108	139
Juin	143	195	126	102	155	161	137	133	91	119
Juil	124	170	102	93	133	121	129	123	79	103
Août	107	142	85	77	112	101	113	119	72	83
Sept	100	114	70	63	89	79	88	87	59	73
Oct.	90	94	59	53	72	79	80	68	48	67
Module	291	442	242	215	(300)	264	261	354	185	255

Le temps de réponse du bassin est assez court compte tenu de sa taille et la saison des pluies est représentée par une suite de pointes de crues de durées limitées. Le graphique du paragraphe précédent donne un exemple de telle crue.

Etude statistique des crues.-

Elle est présentée dans le rapport de M. CHOURET. Ajoutons simplement que la crue de 1945-1946 a été adjointe à la série complète des maximums de crue de 1949 à 1968 sans modification de fréquence parce qu'elle se trouvait très proche de la période d'observation.

Ignorer cette crue aurait conduit à sous-estimer gravement les crues exceptionnelles de la BETSIBOKA. Il y avait donc deux possibilités : soit l'inclure directement dans la série observée ce qui permet de déterminer par le calcul la position de la droite de distribution donc de déterminer toujours par le calcul les crues exceptionnelles, soit de placer cette crue avec sa fréquence réelle (d'ailleurs très proche de l'autre) et de tracer la droite de distribution au mieux en fonction des fortes crues.

Dans le premier cas l'erreur commise est négligeable, surtout devant la dispersion générale de la distribution. Dans le second cas le point se placerait à $F = 0,042$ au lieu de $0,048$. Il est évident (Graphique N°1 du rapport de M. CHOURET) que la différence est à peine perceptible et que la droite, même tracée à l'estime, se positionnerait de la même façon avec, peut-être, une tendance à être légèrement remontée, donc de donner des débits un peu plus forts.

Signalons enfin la crue du 4 Mars 1927 qui a été nivelée à 63,50 m NGM, ancien système, au droit de l'ancien pont (Profil en travers de la BETSIBOKA à partir de l'ancien pont). D'après ce même document, les basses eaux nivelées en Septembre se situeraient vers 58,55 m NGM soit une amplitude minimale de $63,50 - 58,55 = 4,95$ m entre l'étiage et le maximum en 1927.

Cette amplitude est à comparer, à celle de la crue de 1959 qui, au même emplacement, n'a pas dépassé 4,30 m, cette valeur étant déterminée par différence entre le maximum atteint soit 100,00 au repère pont et les plus basses eaux connues 95,70 m correspondant à $H = -0,30$ à l'échelle ORSTOM. Il s'agit donc pour 1959 d'une valeur maximale alors que l'amplitude évaluée pour la crue de 1927 est minimale, les cotes du plan d'eau étant vraisemblablement plus basses en Octobre ou Novembre qu'en Septembre date de leur nivellement.

La crue de 1927 est donc certainement plus forte que celle de 1959. Elle reste cependant difficile à évaluer car depuis 1927 le lit de la BETSIBOKA s'est sensiblement remblayé. Dans les conditions actuelles une amplitude de 4,95 m à l'ancien pont à partir des plus basses eaux correspondrait à une cote de 6,10 m - 6,20 m à l'échelle ORSTOM soit environ 14.000 m³/s. Il est évidemment impossible de garantir ou de préciser ce chiffre et c'est pour cela qu'il n'a pas été pris en compte pour l'étude statistique des crues. Notons tout de même que cette crue serait une fréquence de $1/44 = 0,023$, et que $L(14.000 - 2.200) = L(11.800) = 9,37$ ce qui placerait ce point exactement sur la droite de distribution présentée sur le graphique N° 1.

Il est à noter également que la répartition des maximums de crue annuels est fortement dissymétrique. Aucune loi ne peut représenter valablement la distribution de la totalité des crues qui doivent être étudiées séparément : crues faibles et crues fortes.

Dans le second cas, celui qui intéresse cette étude, la détermination graphique de q_0 conduit à une valeur (2.200 m³/s) qui élimine la crue 1956-1957 qui devient négative. Ceci n'est pas grave puisque le but est de rechercher la meilleure loi pour les valeurs fortes. Par contre, il devient évident que cette loi ne pourra représenter la distribution des faibles crues.

.. / ...

Pour une crue centennale de 20.000 m³/s le débit spécifique de crue serait de 20.000 : 12.000 = 1,7 m³/s par Km². Il n'existe pas de bassin permettant une comparaison directe de ce chiffre, le bassin de l'IKOPA, voisin, réagissant de façon toute différente. Notons que sur le MANGOKY la valeur comparative serait 0,8 m³/s/Km² mais il s'agit d'un bassin beaucoup plus grand (4 fois) et moins bien arrosé.

Corrélation entre Echelle ORSTOM et repère Pont.-

Il est indiscutable que pour l'amplitude pour laquelle elle est établie soit 0 à 3,0 m à l'échelle ORSTOM, cette corrélation est linéaire. Les tests de linéarité ne peuvent s'appliquer sans prêter à discussion que si le nombre de points disponibles est particulièrement élevé ce qui n'est pas le cas mais il faut remarquer que le coefficient de corrélation est de 0,95 ce qui est excellent avec 33 points.

On constate néanmoins que le coefficient de pente de 0,56 trouvé pour la droite indique que pour cette bande 0-3 m à l'échelle ORSTOM les cotes augmentent deux fois plus vite à l'échelle ORSTOM qu'à l'emplacement de l'ancien pont.

L'explication qui pourrait en être donnée est la suivante. Le déversoir formé par les chutes situées en amont du pont actuel ne déverse en basses et moyennes eaux que par passages étroits et ce n'est qu'en très hautes eaux que l'ensemble du seuil est submergé ce qui réduit le gradient de variation des hauteurs enregistrées à l'amont. Par ailleurs, le lit de la BETSIBOKA est très large au droit et en aval de l'ancien pont puisqu'il est de l'ordre de 400 à 500 mètres contre 250 seulement au droit de l'échelle ORSTOM. Ces deux facteurs concourent pour qu'en basses et moyennes eaux les niveaux d'eau à l'amont des chutes augmentent plus rapidement qu'à l'aval jusqu'au moment où les déversements au-dessus du seuil rocheux ont leur pleine efficacité en limitant les hauteurs d'eau par augmentation rapide des débits, à ce moment la croissance des hauteurs en fonction des débits est comparable aux deux échelles.

L'extrapolation de la corrélation s'appuie sur le maximum atteint en 1959 à l'ancien pont. Si l'existence de ce repère ne pose pas de difficulté puisqu'il s'agit d'un arbre toujours en place et situé sur le sommet d'une pile de l'ancien pont, la cote de la crue de 1959 qu'on peut en déduire ne peut être qu'une cote minimale. En effet si cette cote a été obligatoirement atteinte puisque l'arbre s'y trouve, elle peut toutefois avoir été largement dépassée et l'arbre ne se serait déposé qu'à la décrue.

Il subsiste donc une incertitude sur la cote réelle de 1959 d'autant plus gênante que l'extrapolation s'appuie fondamentalement sur ce point. L'extrapolation est figurée en pointillé sur le graphique N° 4 ce qui exprime bien le caractère aléatoire de l'opération. Cependant l'adoption d'une cote plus élevée pour la crue de 1959 augmenterait de façon considérable la cote de la crue centennale et introduirait dans la corrélation une forte cassure difficilement acceptable.

Vitesses.-

Les vitesses maximales mesurées au droit de l'ancien pont sont représentées sur le graphique N° 5 (cf. Rapport).

L'extrapolation a été menée linéairement ce qui constitue, ainsi qu'il l'a été souligné, une hypothèse pessimiste puisque les vitesses ont tendance à s'amortir pour les très hautes eaux. Il n'est malheureusement pas possible de donner même de façon très approximative un ordre de grandeur de cet amortissement qui peut-être aussi bien assez fort qu'inexistant. En l'absence de toute autre possibilité d'évaluation et par souci de sécurité il serait prudent de retenir les valeurs fournies par l'extrapolation linéaire.

D'autre part sur ce graphique N° 5, les vitesses ont été rapportées à l'échelle ORSTOM pour laquelle la hauteur de la crue centennale est connue avec une assez bonne précision alors que de les mettre en rapport avec les hauteurs à l'ancien pont introduisait une imprécision supplémentaire due à l'approximation de la hauteur de la crue centennale à cet emplacement.

Le rapport entre la vitesse moyenne sur la verticale de mesure et la vitesse mesurée en surface devrait se situer pour ce genre d'écoulement (section ancien pont) vers 0,90. A la station téléphérique d'AMBO-DIROKA ce rapport est de l'ordre de 0,85 - 0,86. Il monte à 1,0 mais dans un cas particulier : vitesses faibles mesurées assez près du bord.

- o o o -