

J. DANLOUX

FRANCHISSEMENT DE LA SOFIA
PAR LA RN 6

Estimation de quelques caractéristiques hydrologiques

D 8
DAN

13487

République Française

Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer

Section Hydrologie

République Malgache

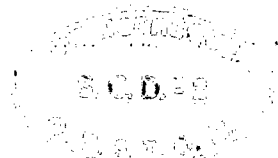
Direction de la Recherche
Scientifique et Technique

Service Hydrologique

FRANCHISSEMENT DE LA SOFIA
PAR LA RN 6

Estimation de quelques caractéristiques hydrologiques

J. DANLOUX
Septembre 1975



17 FEVRIER 1976

13487

INTRODUCTION

Le fleuve SOFIA au niveau de la RN 6 draine l'un des quatre principaux bassins versants de MADAGASCAR (MANGOKY, TSIRIBIHINA, BEFISIBOKA, SOFIA).

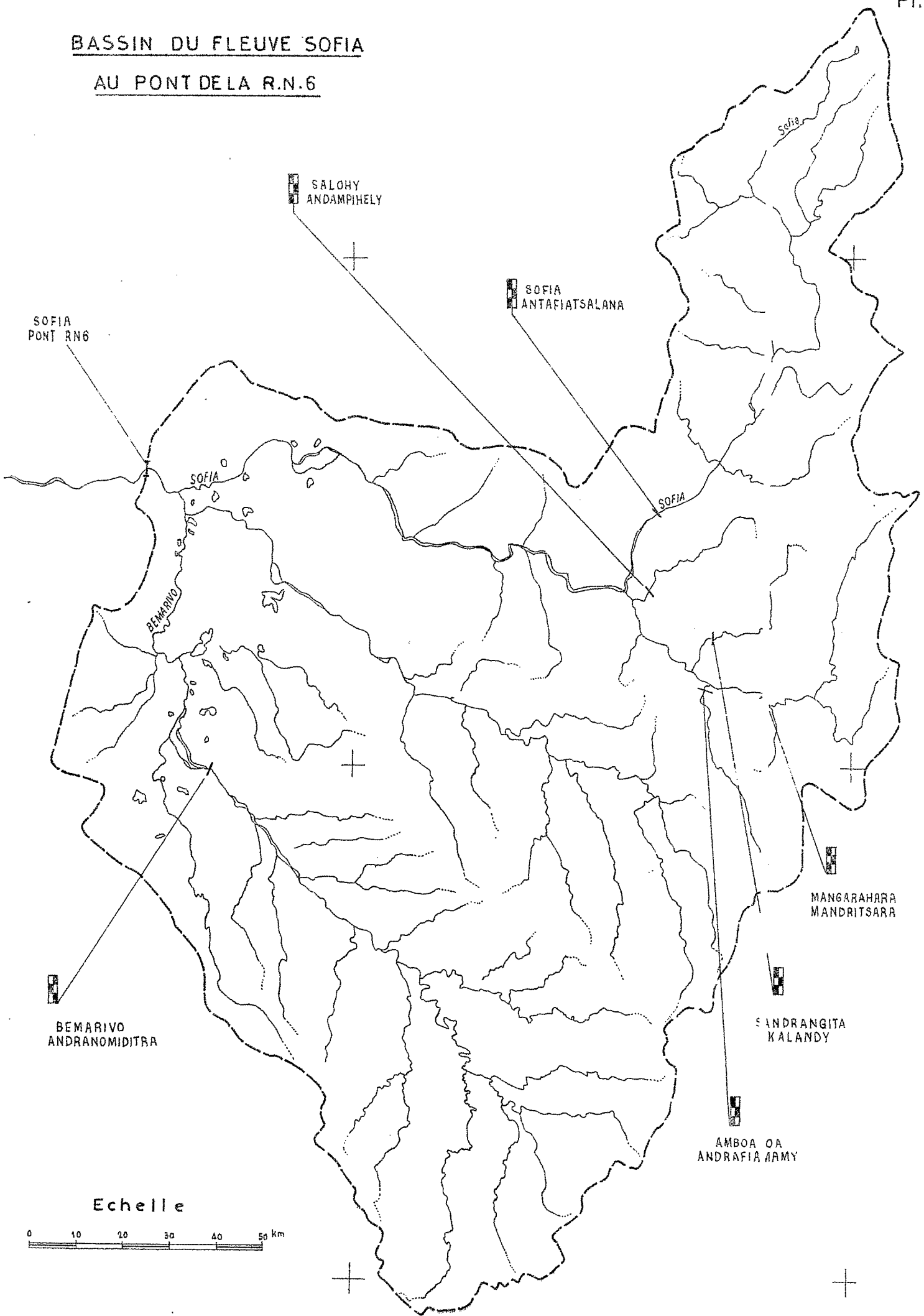
Outre l'intérêt évident que peut présenter sur le plan de la recherche fondamentale l'étude d'un tel fleuve, il paraissait souhaitable de préciser certaines données fournies par le BCEOM et le Service Central Technique du Ministère de l'Équipement pour l'étude du franchissement *

C'est pourquoi le Service Hydrologique de l'ORSTOM, dans le cadre des accords de recherches DRST - ORSTOM, et à la suite du passage du cyclone INES, a procédé à une "campagne" de mesures dont les résultats sont présentés dans cette courte note.

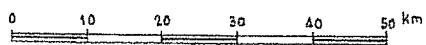
* Rappelons que le débit maximal de la crue de 1959, établi à partir de mesures effectuées en 1970, était estimé à 12 ou à ... 29.000 m³/s.(1)

BASSIN DU FLEUVE SOFIA

AU PONT DE LA R.N.6



Echelle



I/ - TECHNIQUES DE MESURES ET RESULTATS DES JAUGEAGES

Les jaugeages ont été effectués à partir du pont, avec moulinet monté avec saumon de 50 Kg.

Il n'a pas été possible de procéder à des mesures par intégration, bien que les profondeurs le permettent, à cause du nombre important de corps flottants.

La largeur de la section de mesures (400 m), les variations du plan d'eau et les méthodes utilisées n'ont pas permis la réalisation d'un grand nombre de verticales.

En l'absence d'échelle limnimétrique, des repères ont été mis en place tant pour les mesures du plan d'eau que pour celles de pente, et leur rattachement au système de nivellement du pont effectué.

RESULTATS DES JAUGEAGES

Date	Heure	Cote H. NGM	Débit Q m ³ /s	Pente m/Km	Vitesse maximale mesurée m/s	Vitesse moyenne U m/s
13/3/1975	10 h 40	7,315	1.135	1,19	1,77	1,14
13/3/1975	11 h 40	7,355				
13/3/1975	14 h 25	7,355	1.275	-	1,77	1,28
13/3/1975	16 h 00	7,410				
14/3/1975	13 h 00	10,265	2.710	-	2,61	1,36
14/3/1975	14 h 45	10,305				
14/3/1975	14 h 50	10,305	2.960	-	2,70	1,48
14/3/1975	16 h 00	10,325				
15/3/1975	7 h 30	10,685	3.210	0,52	2,78	1,51
15/3/1975	8 h 50	10,735				

Directement en aval du pont, et vers la cote + 10 m NGM, il se produit un débordement sur le bourrelet de berge rive droite. Des observations effectuées lors des jaugeages, on peut déduire qu'aucun écoulement n'existe au niveau de cette zone inondable en dessous de la cote 10,75 NGM.

II/ - ETALONNAGE ET ESTIMATION DU DEBIT MAXIMAL DE 1959

Les renseignements (Plus hautes-eaux, pentes, profils en travers) dont nous disposons sont suffisants pour extrapoler les résultats de mesures.

- Les plus hautes-eaux

Le maximum de 1959, parfaitement connu à AMBINANITTELO et à AMBALAFOMBY, villages situés de part et d'autre du franchissement, a été estimé par le BCEOM à 20,75 NGM au niveau de l'ouvrage.

- Les mesures de pente

Les cotes maximales connues pour 1959 et relevées à AMBINANITTELO (+ 22,04) et à AMBALAFOMBY (+ 19,85), villages distants de 6,5 Km, permettent le calcul de la pente moyenne dans ce bief, soit 0,34 m/Km.

On dispose donc de trois points pour établir la courbe de variation de la pente en fonction de la hauteur à l'échelle :

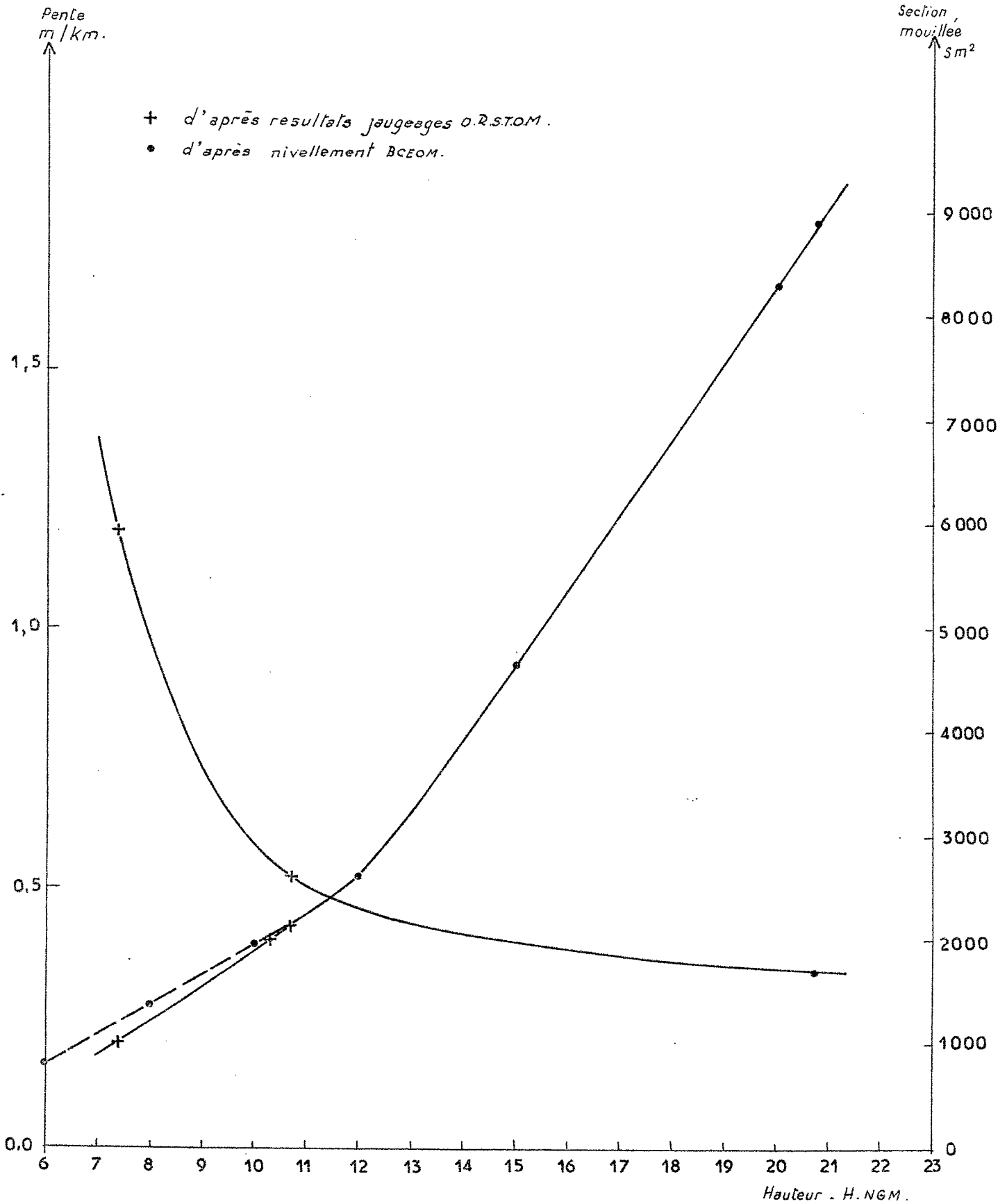
+ 7,34 NGM	1,19 m/Km
+ 10,70 NGM	0,52 m/Km
+ 20,75 NGM	0,34 m/Km

Ces résultats sont reportés sur la planche n° 2

Il est possible que cette diminution de la pente en hautes-eaux (entre 7 et 21 m NGM) soit due à l'existence d'une section retrécie en aval d'AMBALAFOMBY (Gorges de MAHAMANINA).

SOFIA AU PONT DE LA RN 6

Section mouillée et pente



- Les sections mouillées

Le profil en travers établi par le BCEOM (2) en saison sèche (Juillet 1971) au droit de l'ouvrage diffère peu de ceux obtenus par les jaugeages. Tout au plus constate t-on quelques remblaiements en rive droite et au niveau de la 4e pile, vestiges des travaux lors de l'édification du pont (1972-74).

Les zones d'affouillement sont très limitées et les possibilités réduites du fait que le fond du lit se trouve entre + 4 et 1 m NGM. C'est pourquoi les valeurs adoptées (Pl. n° 2) au delà de la cote + 11,0 m NGM sont celles données par le profil BCEOM.

Cote - H. NGM	Sections mouillées - S m ²	
	Dans le lit mineur	Dans la zone de débordement
12,00	2.616	-
15,00	3.712	952
20,00	5.624	2.688
20,75	5.960	2.948

- Détermination du coefficient de Strickler

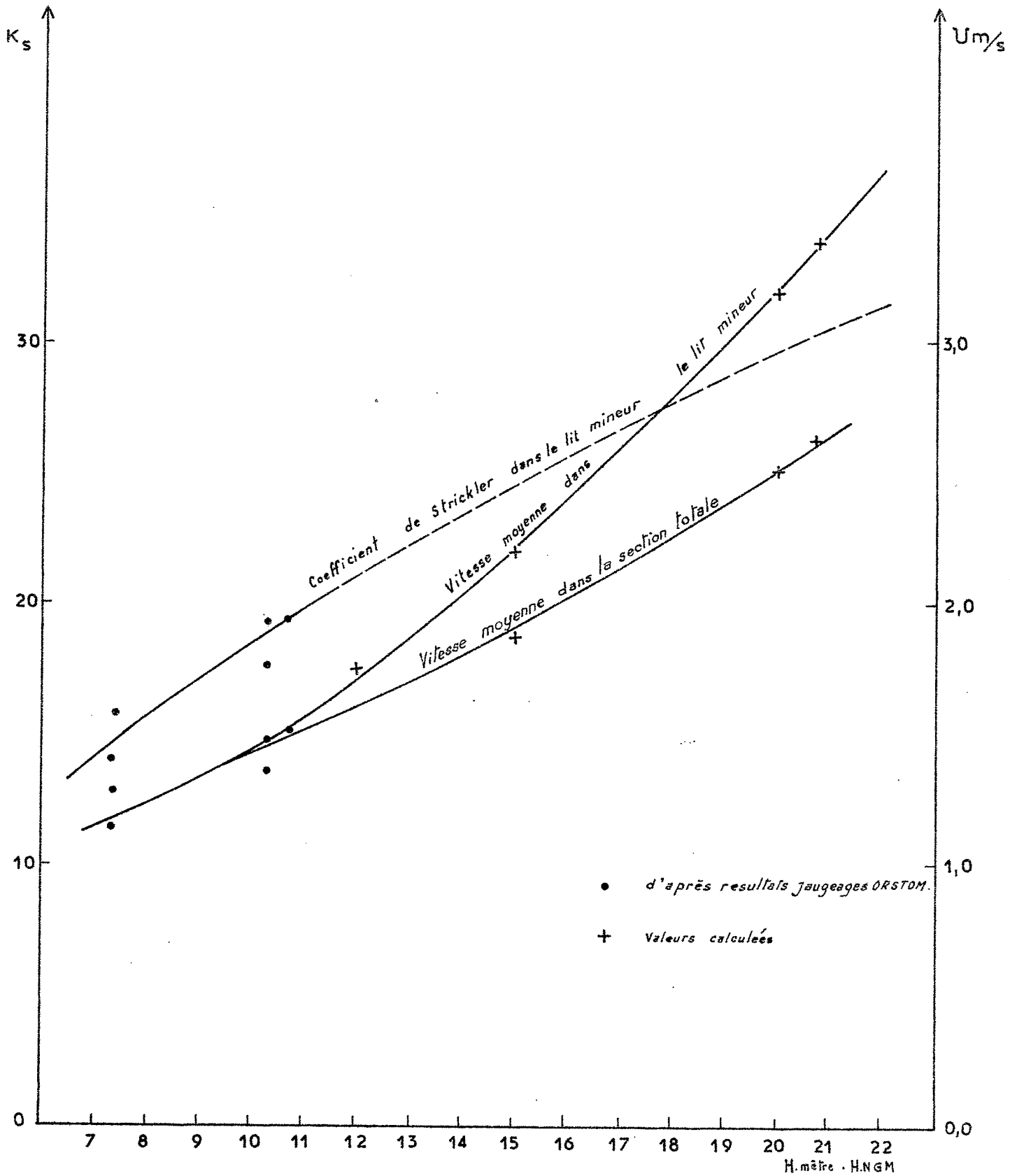
$$K_s = \frac{U}{R^{2/3} i^{1/2}}$$

L'application de la formule de Manning - Strickler aux résultats des jaugeages donne des valeurs de Ks assez faibles.

Jaugeage n°	Vitesse moyenne	Rayon hydraulique R / Profondeur moyenne - H m -	Pente %	Ks
1	1,14	3,60	1,20	14,0
2	1,28	3,60	1,19	15,8
3	1,36	5,90	0,56	17,6
4	1,48	5,90	0,55	19,3
5	1,51	6,30	0,52	19,4

SOFIA au Pont de la RN6

Coefficient de Strickler K_s
et Vitesse moyenne U



En effet, bien que les profondeurs soient relativement importantes, la section paraît encore très encombrée. C'est pourquoi nous avons estimé que le coefficient de Strickler continue de croître dans le lit mineur (Pl. n° 3).

Cote - H. NGM	Ks estimé
12,00	21,0
15,00	24,5
20,00	29,7
20,75	30,4

En l'absence de mesures dans la zone de débordement rive droite, une valeur moyenne a été adoptée pour cette zone ($K_s = 15$).

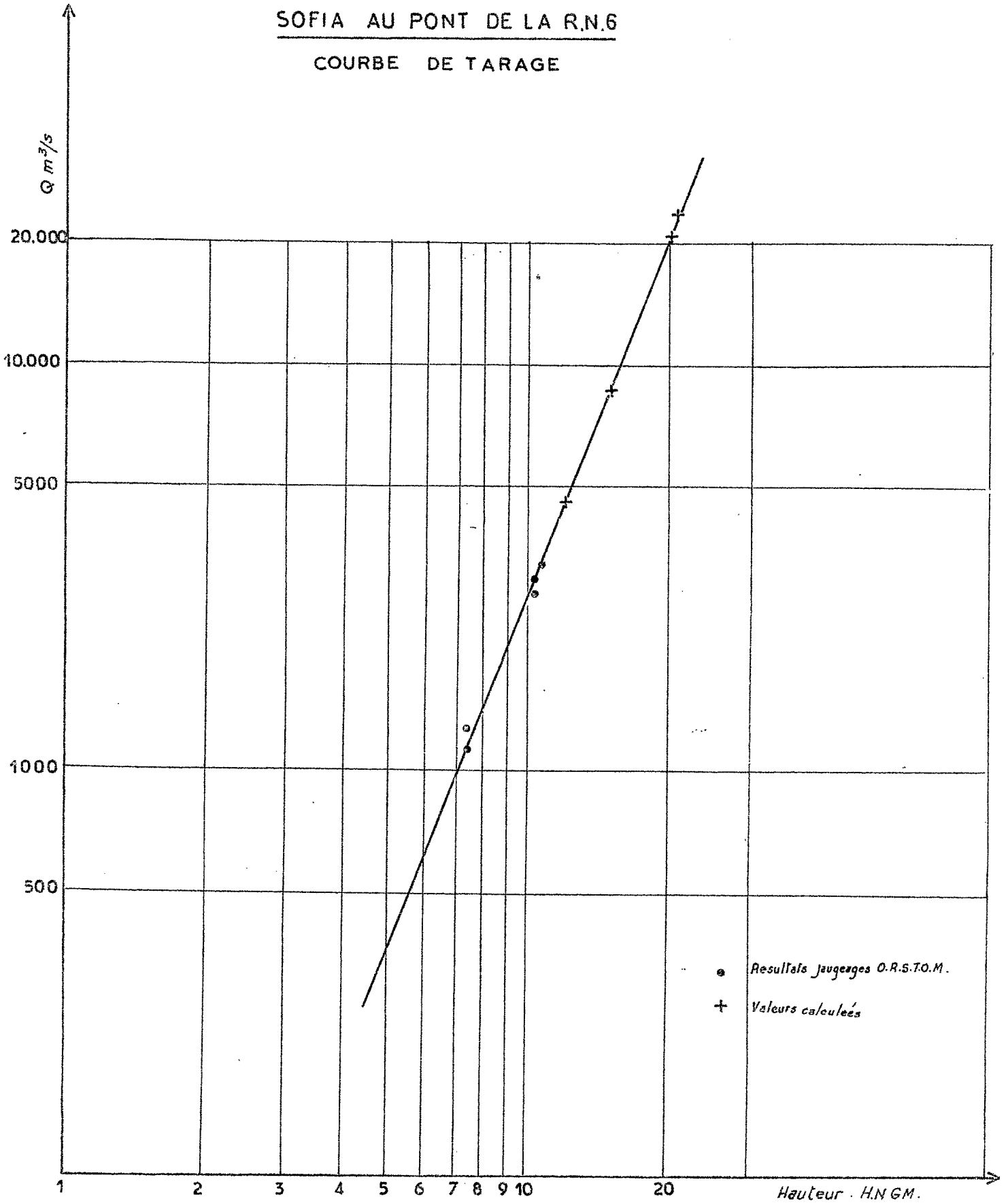
- Courbe d'étalonnage

Le tableau ci-dessous présente les résultats (Débits, vitesses) déduit des mesures et estimations précédentes.

Cote Hm NGM	Lit mineur			Zone débordement R.D.			Débit global Q m ³ /s	Vitesse moyenne U m/s
	Rayon hydraulique	Débit Q m ³ /s	Vitesse moyenne U m/s	Rayon hydraulique	Débit Q m ³ /s	Vitesse moyenne U m/s		
	R - m			R - m				
12,00	7,7	4.585	1,75	-	0	(0,00)	4.600	-
15,00	9,7	8.150	2,20	2,9	570	0,60	8.700	1,87
20,00	14,2	18.020	3,20	7,5	2.840	1,06	20.850	2,51
20,75	14,9	20.190	3,39	8,0	3.260	1,10	23.500	2,63

Il est assez remarquable de constater (voir Pl. n° 4) que les estimations des débits correspondent parfaitement à l'extrapolation log - log qui aurait pu être établie à partir des seuls résultats de jaugeage.

SOFIA AU PONT DE LA R.N.6
COURBE DE TARAGE



III/ - CRUE DE PROJET

En l'absence de données limnimétriques et pluviométriques, il est difficile d'attribuer à la crue de 1959 une certaine fréquence.

Toutefois de l'enquête sur le terrain et des observations aux stations suivies par le Service Hydrologique sur les différents affluents, il ressort :

- que la crue de Mars 1959 est la plus importante observée durant la période 1958 - 1975.

- qu'une crue ayant sensiblement la même importance est "connue" :
 - sur la BEMARIVO, dans le secteur MAMPIKONY - PORT-BERGE, où cet événement se serait produit il y a une cinquantaine d'années.
 - sur la MANGARAHARA, où la localité de MANDRITSARA a été inondée à 2 reprises depuis le début du siècle.

- que des "crues extraordinaires" ont eu lieu sur la Haute SOFIA à la suite du cyclone tropical d'ANTALAHA - MAROANTSETRA - MAEVATANANA du 16 au 21 Mars 1901. (3)

Quant aux crues récentes :

- PHE 1972 - 1973 (sur renseignements) : $H = 13,50$ NGM, ce qui nous donne $Q = 6.700$ m³/s, pour une crue qui serait la seconde en importance depuis 1958 sur la BEMARIVO et la MANGARAHARA.

- PHE 1974 - 1975 (cyclone INES - 15/03/1975) : $H \neq 10,75$ NGM
 $Q = 3.250$ m³/s.

- PHE 1968 - 1969 : $H = 8,68$ NGM au niveau de la section de mesures du BCEOM le 16/01/1970, ce qui nous donnerait un débit de 2.480 m³/s pour $H \neq 9,65$ NGM.

Si l'on compare les valeurs de ces maximums à ceux observés sur certains bassins affluents (à des stations dont l'étalonnage de hautes-eaux peut être considéré comme acquis), il est intéressant de constater que

les rapports entre coefficients géographiques K sont assez voisins et pourraient être utilisés en vue de l'extension de l'échantillon des crues.

Coefficient géographique K de quelques crues (4)

selon l'équation $\frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{1 - \frac{K}{10}}$ avec $S_0 = 10^8 \text{ Km}^2$
 $Q_0 = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$

MAXIMUMS ANNUELS DE CRUE		1958 - 59	1972 - 73	1974 - 75
SOFIA au Pont de la RN 6 (S = 23.500 Km ²)	Q ₁	23.500 m ³ /s	6.700 m ³ /s	3.250 m ³ /s
	K ₁	5,57	4,09	3,24
BEMARIVO à ANDRANOMIDITRA (S = 6.515 Km ²)	Q ₂	15.400 m ³ /s	6.100 m ³ /s	2.800 m ³ /s
	K ₂	5,67	4,71	3,90
MANGARAHARA à MANDRITSARA (S = 1.320 Km ²)	Q ₂	1.945 m ³ /s	1.480 m ³ /s	420 m ³ /s
	K ₂	4,44	4,20	3,08
Rapport K ₂ /K ₁		1,02	1,15	1,20
Rapport K ₃ /K ₁		0,80	1,03	0,95

Malheureusement, les trop courtes périodes de mesures (1968 - 75) et la qualité de certains relevés sur la BEMARIVO ne permettent pas cette extension. Seul, le maximum de 1970 - 71 (cyclone FELICIE), évalué à 2.730 m³/s sur la BEMARIVO, pourrait être estimé à 3.250 m³/s sur la SOFIA au pont de la RN 6.

De même, l'évaluation indirecte des crues par utilisation des données pluviométriques (Maximum de pluviométrie journalière et indice des précipitations antérieures) est des plus difficiles car là encore les observations sont insuffisantes. En effet, seul le poste de MANDRITSARA présente une série quasi-complète de relevés de 1902 à 1975.

Toutefois, en s'appuyant sur quelques valeurs de maximums pluviométriques relevés à MANDRITSARA (5) et de débits maximums connus sur la SOFIA,

Année	H (24 h)	H (9 jours ant.)	Débit maximum
1972-73	106 mm	61 mm	6.700 m ³ /s
1970-71	40 mm	145 mm	(3.250 m ³ /s)
1958-59	303 mm	378 mm	23.500 m ³ /s

nous pouvons tenter une "estimation très grossière" des débits de crue à partir des principaux épisodes cycloniques connus dans cette région de 1902 à 1975 (voir graphique log - log, Pl. n° 5-1).

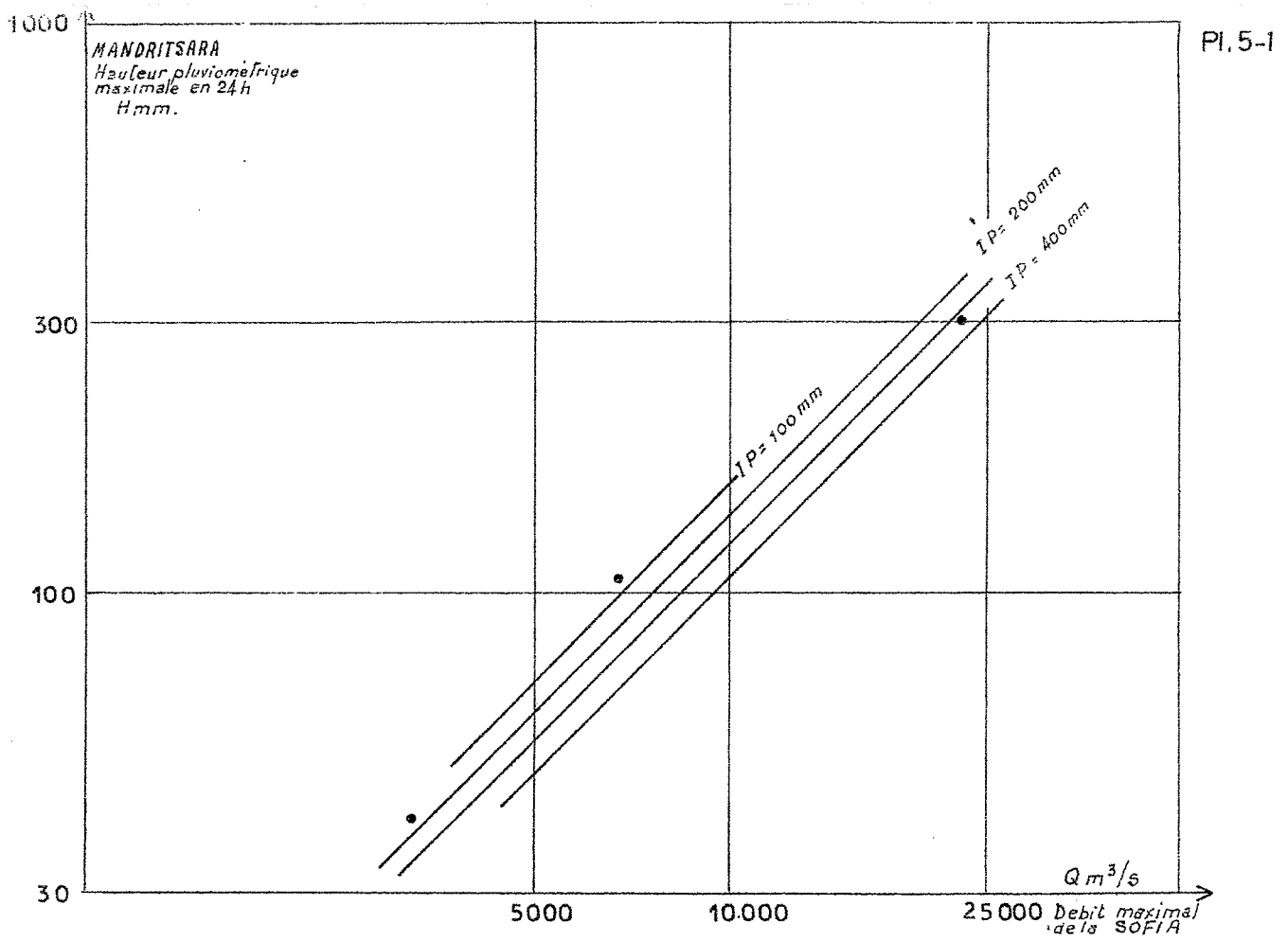
D'autre part, la crue de 1901 paraissant correspondre à l'inondation de MANDRITSARA, il est possible d'attribuer à celle-ci un débit maximal du même ordre que celui de 1959.

A partir du graphique 5-1 on peut tenter de reconstituer les crues de la période 1901 - 1975 en se basant sur les hauteurs de précipitations observées pendant les cyclones. Ces débits maximaux ainsi obtenus doivent être considérés comme de simples ordres de grandeur

Année	Précipitations		Débit maximal (Q m ³ /s)	Episode cyclonique
	Maximum pluviométrique en 24h (H mm)	des 9 jours précédant le maximum (H mm)		
1900-01	-	-	$\sqrt{23.500}$	Mars 1901 Cyclone tropical d'ANTALAHA - MAROANTSETRA - MAEVATANANA
1904-05	100	63	(6.500)	Avril 1905
1913-14	247	240	(17.500)	Janvier 1914
1924-25	134	221	(10.200)	Février 1925 Cyclone tropical de la zone dépressionnaire des Iles Agaléga - Tromelin
1936-37	125	348	(10.700)	Janvier 1937 Cyclone tropical de Madagascar Mascareignes
1940-41	125	230	(9.700)	Janvier 1941 Cyclone tropical de l'Océan Indien
1944-45	106	139	(7.400)	Février 1945 Cyclone tropical de Foulpointe
1955-56	174	15	(10.000)	Janvier 1956 Cyclone tropical de Tromelin Ste Marie - Europa
1958-59	303	378	23.500	Mars 1959 1 - Cyclone tropical du Cap Est - Manakara 2 - Cyclone tropical de Tromelin - Manakara Sud
1972-73	106	61	6.700	Janvier 1973 Cyclone tropical Emmanuelle

Le report graphique de ces débits, considérés comme les plus importants connus en 75 ans, suivant une loi de Frechet donnerait (voir Pl. n° 5-2) en crue centennale 26 à 27.000 m³/s (K = 5,7), ordre de grandeur à rapprocher des 30.000 m³/s (K = 5,8) chiffre fourni par les Travaux Publics. (6)

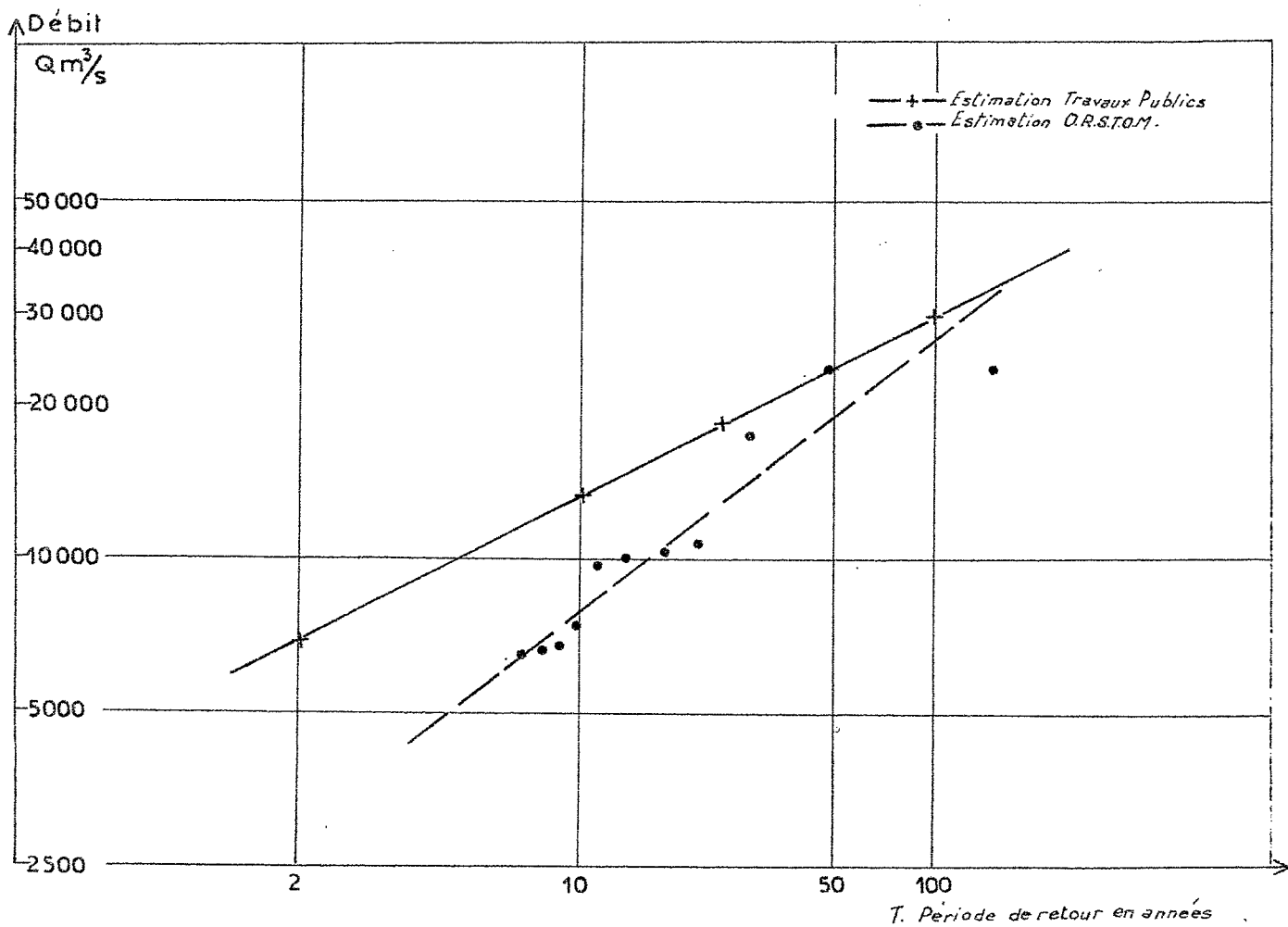
En l'absence de données plus complètes, le choix d'une crue de projet de 30.000 m³/s paraît donc raisonnable. Par contre, l'estimation initiale du débit de crue décennale (13.500 m³/s) paraît un peu forte, et devrait être de l'ordre de 8.000 m³/s.



La SOFIA au Pont de la RN6

PI.5-2

Estimation des débits de crue



IV/ - ETUDE DES VITESSES

Les vitesses d'une manière générale sont plus importantes que celles prévues (le chiffre de 4 m/s avait été donné comme vitesse maximale superficielle), tant pour les plus hautes-eaux cycloniques prévues (H = 20,75 NGM) que pour la crue du projet (Q = 30.000 m³/s).

En effet, si le rapport vitesse moyenne - vitesse maximale mesurée en très hautes-eaux est identique à celui déduit des mesures (0,54), nous aurons dans le lit mineur :

- Pour les plus hautes-eaux cycloniques, soit à 20,75 NGM et pour 23.500 m³/s :

$$U \neq 3,40 \text{ m/s} \quad V.\text{max.} \neq 6,30 \text{ m/s}$$

- Pour la crue de projet : 30.000 m³/s soit la cote 22,75 NGM (et non 21,75 NGM cote retenue dans le projet des Travaux Publics) :

$$U \neq 3,80 \text{ m/s} \quad V.\text{max.} \neq 7,00 \text{ m/s}$$

DOCUMENTS CONSULTÉS

- (1) - Franchissement de la SOFIA par la RN 6 - Etude des caractéristiques hydrologiques et définition des options préliminaires (Février 1970)
Rapport multigr. BCEOM, 12 p, 5 pl.h.t.
- (2) - Aménagement de la RN 6 entre PORT-BERGE et ANTISOHIHY
Franchissement de la SOFIA - Profil en long de l'ouvrage
(Juillet 1971) - BCEOM, 1 pl.
- (3) - Ch. POISSON, Documentation statistique sur les cyclones malgaches
(Mai 1936).
Publ. Service Météorologique de Madagascar n° 5, 24 p.
- (4) - Essai de classification des crues maximales observées dans le monde
J. FRANCOU, J. RODIER - in Cahiers d'Hydrologie ORSTOM, vol IV,
n° 3, pp. 19 - 46, 8 fig. (1967).
- (5) - Relevés pluviométriques partiels du poste de MANDRITSARA
(Archives Service Météorologique)
- (6) - Estimation des crues de la SOFIA au pont de la SOFIA
in. L. DURET. Estimation des débits de crues à Madagascar (Juin 1973)
Service Central Technique, Ministère des Travaux Publics.