

RESERVOIR de TSIAZOMPANIRY

Evacuation des crues vers le bassin du MANGORO

Note Hydrologique

Détermination de la Crue Exceptionnelle
de la VARAHINA-Sud et de la MANANDRIANA
à TSIAZOMPANIRY

Electricité de France
IGECO

Office de la Recherche
Scientifique et Technique
Outre-Mer
Section Hydrologie

Les dégâts considérables dus aux inondations provoquées par les cyclones de Mars 1959 ont mis, une fois encore, l'accent sur la nécessité et l'urgence de rechercher les solutions optimales pour protéger les habitations des faubourgs de TANANARIVE et les cultures de la plaine de l'IKOPA de telles catastrophes dans le futur.

A côté des endiguements des périmètres à protéger, la solution de l'emmagasinement des flots de crue dans la partie amont du bassin de l'IKOPA est évidemment à envisager. L'existence de la retenue de TSIAZOMPANIRY sur la VARAHINA-SUD et la MANANDRIANA, à 1 km environ en amont de leur confluent (1) offre une séduisante possibilité d'action rapide. Le problème consiste à emmagasiner le plus grand volume possible d'eaux de crue dans la retenue, puis d'en assurer l'évacuation par priorité vers le bassin voisin du MANGORO par un évacuateur de crues à créer. Seules les pointes de débit que cet évacuateur ne pourrait pas absorber seraient déversées vers la vallée de l'IKOPA.

L'établissement d'un programme d'utilisation de la retenue de TSIAZOMPANIRY, compte tenu de son rôle d'amortisseur de crue, et le calcul des évacuateurs de crue exigent de porter à la connaissance de l'ingénieur projeteur les données hydrologiques relatives à la crue exceptionnelle : forme de l'hydrogramme et débit maximal.

Disposant seulement, pour l'étude des hydrogrammes de crues, d'une dizaine d'années d'observations hydrologiques sur la VARAHINA-SUD (2), il est impossible d'essayer de déterminer la crue exceptionnelle par les méthodes statistiques traditionnelles. Cependant, l'observation des fortes crues de Janvier 1954 et Mars 1959 permet de se faire une idée de l'allure de l'hydrogramme-type de la VARAHINA-SUD. A partir de cet hydrogramme, on peut déterminer un hydrogramme de crue exceptionnelle connaissant un hyétogramme "enveloppe" de fréquence rare. L'établissement d'un tel hyétogramme "enveloppe" nécessite l'étude de tous les épisodes pluvieux les plus marquants observés aux stations pluviométriques caractéristiques de la région. C'est le procédé que nous avons adopté.

- (1) - Dans la suite du texte, on désignera par VARAHINA-SUD l'ensemble des deux rivières, le bassin de la VARAHINA-SUD étant 5 fois plus important que celui de la MANANDRIANA.
- (2) - On ne peut pas à cet effet utiliser les données reconstituées de 1939 à 1944, ni les relevés ultérieurs à la construction du barrage (après 1955).

I - ETABLISSEMENT d'un HYETOGRAMME "ENVELOPPE" -

La bassin versant de la VARAHINA-SUD à TSIAZOMPANIRY occupe une superficie de 335 km² à une altitude variant de 1 500 à 2 000 mètres environ sur les hauts-plateaux malgaches à l'Est du massif de l'ANKARATRA. Il s'inscrit entre les parallèles 19° 15' et 19° 35' Sud et les méridiens 47° 45' et 48° Est.

Sur les hauts-plateaux, au Nord, à l'Est et au Sud du massif de l'ANKARATRA, le régime pluviométrique est assez homogène. Les précipitations importantes se produisent **généralement** de Décembre à Mars et surviennent bien souvent en séries successives. Ces épisodes pluvieux couvrent des durées de 5 à 15 et même parfois 20 jours sans interruption. Les hauteurs d'eau recueillies sont relativement abondantes lorsque ces épisodes pluvieux ont un caractère cyclonique. On observe, dans ces conditions, des précipitations sur une très grande superficie et si l'on prend des postes pluviométriques, distants de 20 à 50 km par exemple, on constate une bonne corrélation entre les hauteurs d'eau recueillies par mois ou pour la totalité d'un épisode pluvieux long et intense. Cependant cette corrélation est beaucoup plus lâche si l'on examine les précipitations journalières : les dates d'apparition des phases intenses d'un épisode ne sont généralement pas les mêmes aux divers postes pluviométriques de la région intéressée par cet épisode.

On pourra donc, sans méconnaître l'existence d'une certaine liaison, considérer, à l'échelle des précipitations journalières, des postes pluviométriques distants pour le moins de 20 km comme indépendants.

Ceci nous permet d'appliquer la méthode des stations-années. Il n'existe, en effet, ni dans le bassin de la VARAHINA-SUD ni dans la région, de poste pluviométrique assez ancien pour que sa seule analyse permette l'établissement d'un hyétogramme-enveloppe de fréquence rare.

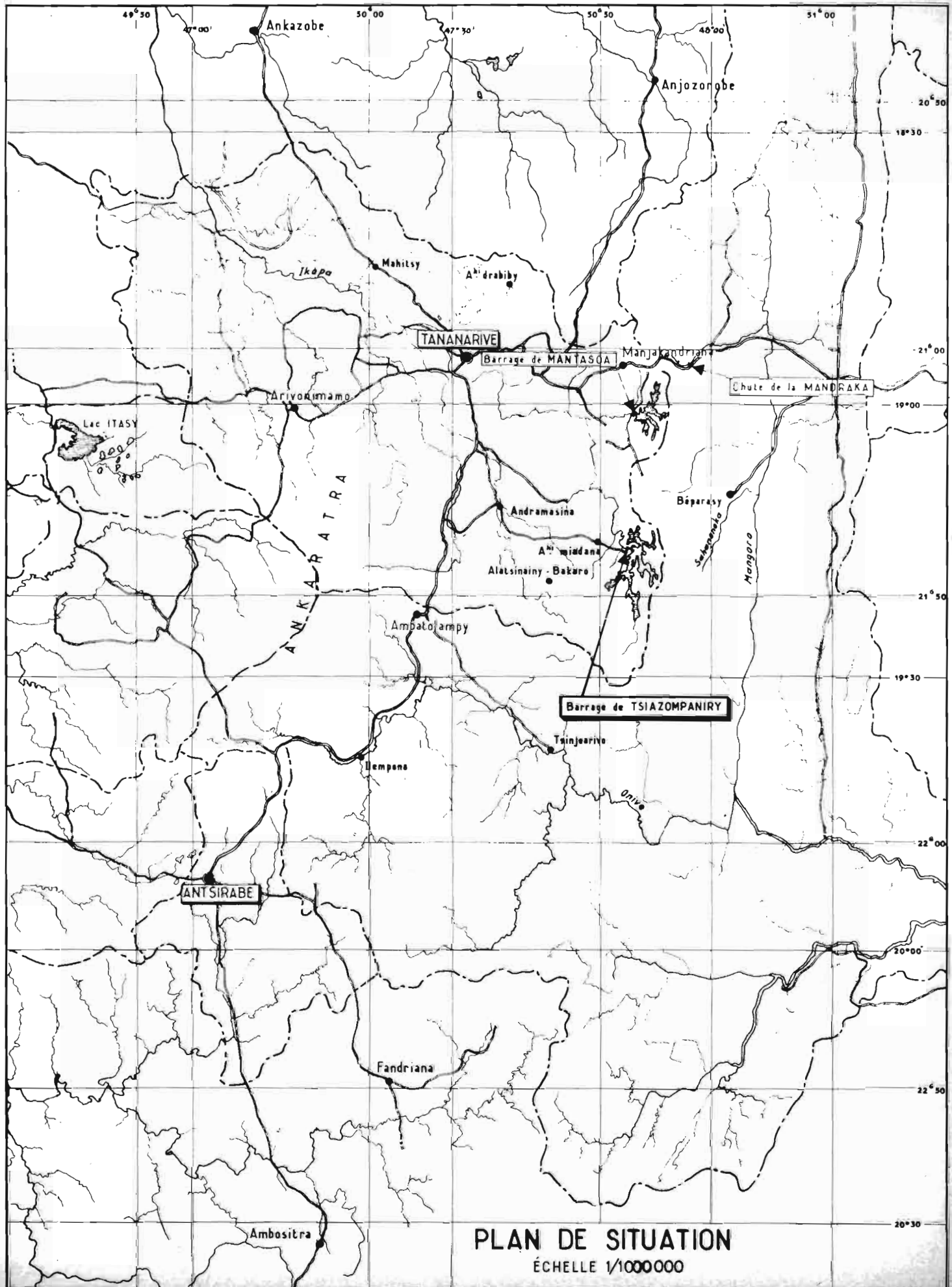
La plus ancienne station, celle de l'Observatoire de TANANARIVE, ne nous offre, en effet, que 62 années complètes de relevés journaliers des précipitations.

Nous avons donc choisi autour du bassin de TSIAZOMPANIRY, comme cadre de notre étude pluviométrique, un rectangle de 250 km de long sur 105 de large limité par les coordonnées suivantes (voir plan de situation MAD 171.206 ci-joint) :

18° 20' et 20° 30' Sud
47° et 48° Est

A l'intérieur de cette surface d'environ 26 000 km², nous avons retenu 16 postes pluviométriques, distants d'environ 20 km au moins les uns des autres et situés à plus de 1 200 mètres (et même 1 400 mètres pour la majorité). En voici la liste dressée en s'éloignant du bassin de TSIAZOMPANIRY et pour des altitudes décroissantes ; nous avons fait figurer sur cette liste la période des relevés journaliers obtenus auprès du Service Météorologique et le nombre d'années complètes d'observation :

Stations	Période de relevés journaliers	Nombre d'années complètes
AMBOHIMIADANA	1935-1963	29
ALATSINAINY-BAKARO	1935-1963	29
TSINJOARIVO	1922-1963 (sauf 28)	41
AMBATOLAMPY	1935-1963	29
AMBOHIDRABIEY	1934-1963	30
ILEMPONA	1950-1963 (sauf 60-62)	12
ANTSIRABE-Ecole	1903-1905, 1912-1914 1921-1925 et 1929-1963	46
ANDRAMASINA	1934-1963	30
MANJAKANDRIANA	1942-1963	22
TANANARIVE-Observatoire	1891-1915, 1924-1963 (sauf 60-61)	62
ARIVONIMAMO	1938-1963	26
FANDRIANA	1953-1963 (sauf 56)	10
AMBOSITRA	1902-1905, 1921-1924 1927 à 1963 (sauf 33 et 49)	43
MAHITSY	1934-1963	30
ANJOZOROBE	1936-1963	28
ANKAZOBE	1932-1963 (sauf 59)	31
	Total	498



PLAN DE SITUATION
ÉCHELLE 1/1000000

MAD.171.206

Pour chacune de ces stations, nous avons procédé à l'inventaire des épisodes pluvieux les plus intenses. Au début et à la fin de ces épisodes, nous n'avons pas tenu compte des petites pluies inférieures à 10 mm négligeables pour notre étude. Certains de ces épisodes n'avaient pas un centre intense unique, mais deux journées très arrosées distantes de plusieurs jours ; nous avons considéré que cet épisode devait être scindé en deux phases distinctes si les maximums journaliers étaient séparés par plus de deux journées consécutives ayant reçu moins de 20 mm. Dans ce dernier cas, en effet, il est patent, connaissant la durée du ruissellement unitaire à TSI AZOMPANIRY, que la crue résultante aurait eu deux pointes distinctes et donc que débit maximal et volume ruisselé ne pourraient prétendre à un caractère exceptionnel.

Cet inventaire, mené aux 16 stations dans l'ordre de la liste précédente, nous a conduit à retenir, au fur et à mesure, les épisodes pluvieux dont le hyétogramme avait, pour une journée quelconque, une intensité supérieure à toutes celles observées jusqu'alors pour la même journée. Les comparaisons des épisodes pluvieux entre eux ont été effectuées en superposant les journées de précipitations maximales ; dans l'hypothèse d'un épisode à deux pointes, on s'est efforcé de le mettre dans la position la plus dangereuse en le centrant au mieux sur les hyétogrammes à pointe unique.

Ce travail accompli, il nous restait 9 épisodes pluvieux très intenses qui, à un titre ou à un autre, concourent à l'établissement du hyétogramme-enveloppe ; ils figurent sur le tableau N° 1. On remarquera que tous ces épisodes se sont produits à des dates différentes, ce qui renforce l'hypothèse d'indépendance entre stations.

L'échantillon traité nous fournit seulement 500 stations-années. Nous avons estimé que le hyétogramme-enveloppe que l'on pourrait en déduire n'aurait peut-être pas une fréquence assez rare. Aussi, pour atteindre avec sécurité le phénomène exceptionnel (disons la fréquence millénaire si l'on veut à tout prix parler ce langage), avons-nous décidé de majorer de 10 % les maximums journaliers de l'épisode pluvieux obtenu et d'arrondir les résultats aux 5 mm supérieurs afin d'avoir le hyétogramme-enveloppe désiré. Une représentation graphique en est donnée sur le dessin N° 1.

TABLEAU N° 1

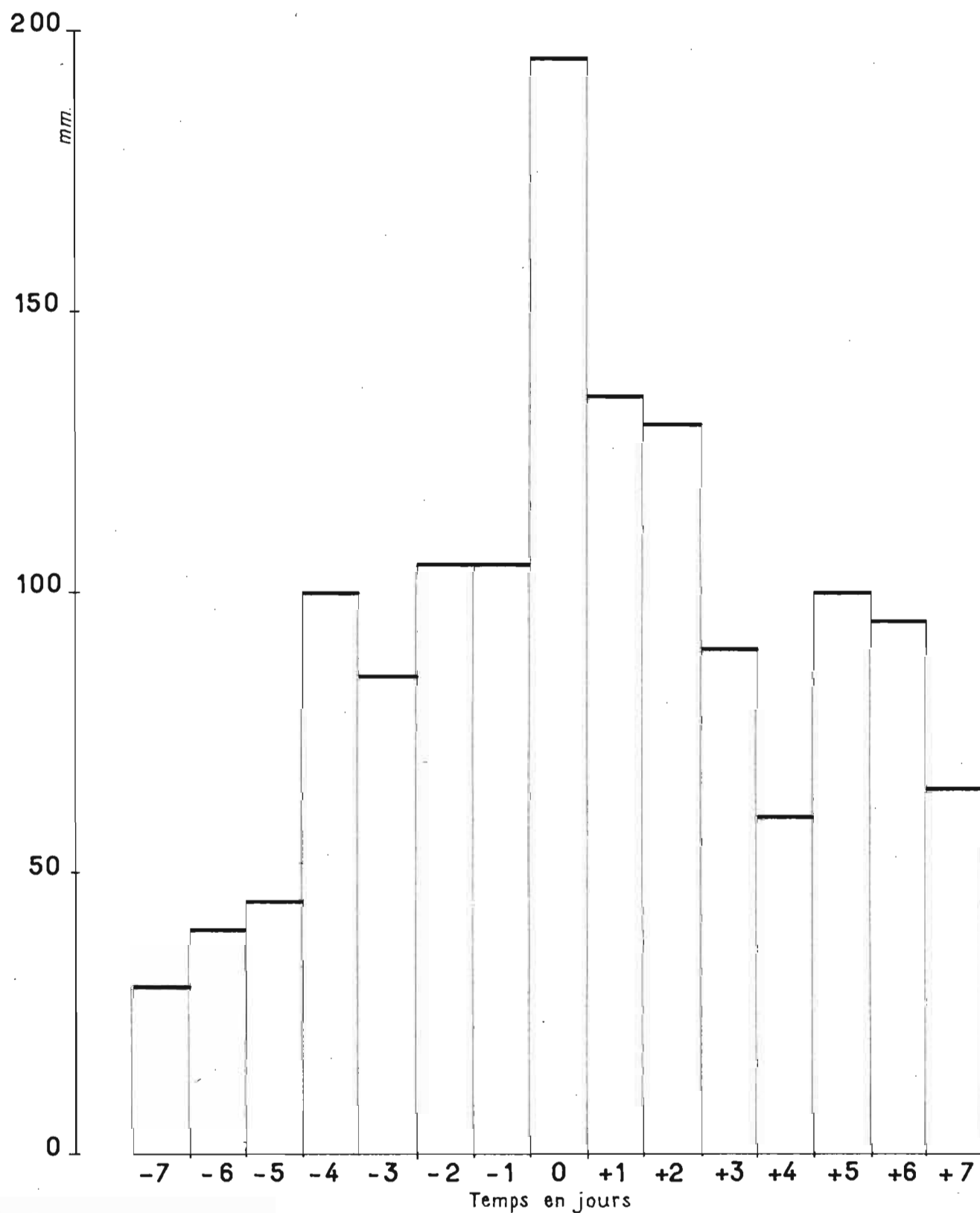
EPISODES PLUVIEUX INTENSES dans la REGION de TANANARIVE

(en mm)

Stations	Date	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	Jour J	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
AMBOHIMIADANA	21-31/ 1/48	:	:	:	89,1:17,9	63,8	60,0	14,9	44,9	26,1	24,8	35,6	89,3	:	:	:
AMBOHIMIADANA	28-31/12/51	:	:	:	:	:	7,5	170,5	103,5	115,0	:	:	:	:	:	:
TSINJOARIVO	11-18/12/58	:	:	:	:	5,0	37,9	150,6	92,0	110,0	38,0	52,0	17,2	:	:	:
TSINJOARIVO	1-12/ 1/59	:	25,3	35,6	19,5	97,8	90,0	126,5	20,5	20,3	32,4	32,4	68,7	25,0	:	:
AMBATOLAMPY	5-19/ 1/48	27,2	34,0	39,4	22,8	76,6	42,3	24,7	144,8	32,5	36,3	22,6	41,7	33,3	83,7	55,9
MANJAKANDRIANA	9-17/12/54	:	:	:	1,5	7,5	16,2	174,8	29,7	34,2	57,1	9,4	:	:	:	:
MANJAKANDRIANA	23-29/ 3/59	:	:	:	3,9	5,1	98,2	160,0	94,5	40,0	5,9	:	:	:	:	:
AMBOSITRA	25-31/ 1/56	:	:	:	13,6	25,4	41,8	12,4	171,1	122,4	10,4	0,5	:	:	:	:
ANJOZOROBE	23/2-4/3/59	:	:	:	73,6	45,4	25,2	15,2	53,5	20,2	22,5	78,6	27,2	22,4	:	:
Maximums journaliers		27,2	34,0	39,4	89,1	76,6	97,8	98,2	174,8	122,4	115,0	78,6	52,0	89,3	83,7	55,9
Episode enveloppe		30,0	40,0	45,0	100,0	85,0	110,0	110,0	195,0	135,0	130,0	90,0	60,0	100,0	95,0	65,0

CRUE EXCEPTIONNELLE DE LA VARAHINA SUD

Hyétogramme-enveloppe de fréquence rare



II - DETERMINATION de la CRUE EXCEPTIONNELLE -

Les cyclones de Janvier 1954 et Mars 1959 ont provoqué de très fortes crues sur la VARAHINA-SUD ; à partir de leurs observations, on a pu se faire une idée de l'allure de l'hydrogramme-type de cette rivière à TSIAZOMPANIRY. Les débits estimés toutes les 6 heures, pour un volume ruisselé de 10 millions de m³, figurent dans le tableau N° 2.

La crue exceptionnelle a été calculée en utilisant cet hydrogramme-type et le hyétogramme-enveloppe. Deux hypothèses simplificatrices préalables ont été faites ; elles vont dans le sens de la sécurité et confirment le caractère exceptionnel du phénomène :

- a) Les précipitations journalières ponctuelles du hyétogramme-enveloppe, ont été appliquées sans coefficient d'abattement au bassin de 335 km² de la VARAHINA-SUD, ce que justifie l'extension spatiale des cyclones.
- b) Chaque précipitation journalière est unitaire.

Dans son étude des crues de la VARAHINA-SUD, M. ALDEGHERI estime le coefficient de ruissellement global entre 75 et 80 % pour des épisodes pluvieux de l'importance des cyclones de 1954 et 1959. Nous avons admis pour la crue exceptionnelle un coefficient de ruissellement global de 85 %. Pour chacune des 15 journées du hyétogramme-enveloppe, le coefficient de ruissellement a été choisi en fonction de la hauteur de précipitations et du degré de saturation, il varie entre 40 et 95 %.

Le tableau N° 3 rassemble le calcul des lames d'eau et des volumes ruisselés.

En partant des volumes ruisselés ainsi déterminés, les hydrogrammes unitaires, pour chacune des 15 précipitations journalières, ont été calculés proportionnellement à l'hydrogramme-type établi pour 10 millions de m³.

TABLEAU N° 2

VARAHINA-SUD à TSIAZOMPANIRY (335 km²)

Hydrogramme-type rapporté à un volume ruisselé
de 10 millions de m³

Temps en jours	Débits (m ³ /s)
- 2	0
- 1	3
- 3/4	10
- 1/2	28
- 1/4	65
0	80
+ 1/4	73
+ 1/2	55
+ 3/4	38
+ 1	29
+ 1 1/4	22
+ 1 1/2	17
+ 1 3/4	12,5
+ 2	9
+ 2 1/2	4,5
+ 3	2,2
+ 3 3/4	0

TABLEAU N° 3

LAMES d'EAU et VOLUMES RUISSELES

Dates	Pluie (mm)	K _r %	Lame ruisselée (mm)	V _r en 10 ³ m ³
-7	30	40	12	4,20
-6	40	45	18	6,03
-5	45	50	22,5	7,54
-4	100	65	65	21,78
-3	85	70	59,5	19,93
-2	110	80	88	29,48
-1	110	85	93,5	31,32
0	195	95	185,2	62,04
+1	135	95	128,3	42,98
+2	130	95	123,5	41,37
+3	90	95	85,5	28,64
+4	60	90	54	18,10
+5	100	95	95	31,82
+6	95	95	90,3	30,25
+7	65	90	58,5	19,60
	1 390	85	1 178,8	394,90

En supposant une succession régulière entre chaque couple de précipitations de 24 heures, la composition des hydrogrammes unitaires conduit à un débit maximal moyen de 6 heures égal à 630 m³/s.

Le résultat est nettement supérieur aux observations de 1954 et 1959 puisque les débits maximaux dus à ces deux cyclones furent respectivement :

360 m³/s ou 1 070 l/s.km² en Janvier 1954
330 m³/s ou 980 l/s.km² en Mars 1959

Nous estimons cependant qu'à volume égal, on peut obtenir un débit maximal supérieur. En effet, à partir du hyétogramme-enveloppe choisi, on voit que le maximum de la crue exceptionnelle provient essentiellement des 5 précipitations supérieures à 110 mm groupées autour du maximum. On peut admettre que certaines de ces précipitations surviennent moins de 24 heures après celles qui les précèdent ; différents schémas sont possibles dont les plus dangereux, tout en restant vraisemblables, répondent aux hypothèses ci-après :

- Variante A : la précipitation maximale de l'épisode pluvieux survient 12 heures après celle qui la précède et 18 heures avant celle qui la suit.
- Variante B : la précipitation maximale survient 18 heures après la pluie qui la précède et 12 heures avant celle qui la suit.

Les écarts entre toutes les autres précipitations restant égaux à 24 heures, la composition des hyétogrammes unitaires conduit à des débits maximaux plus sévères :

- Variante A : 772 m³/s (moyenne de 6 heures) soit 2 300 l/s.km²
- Variante B : 862 m³/s (moyenne de 6 heures) soit 2 570 l/s.km²

Ces débits maximaux moyens de 6 heures sont certainement très voisins des débits de pointe instantanés ; ils sont relativement plus élevés que les débits maximaux moyens de 24 heures correspondants qui valent, en effet, respectivement 739 et 770 m³/s.

Il faut considérer la crue exceptionnelle ainsi déterminée suivant l'une de ces variantes comme étant un phénomène de fréquence très rare.

On trouvera le détail des diverses formes de l'hydrogramme de la crue exceptionnelle dans le tableau N° 4. Les variantes A et B ont été représentées sur le dessin N° 2. Le projeteur y puisera tous les éléments nécessaires à la résolution de ses problèmes de Génie Civil quant à l'amortissement de la crue exceptionnelle et à son évacuation vers le MANGORO.

TABLEAU N° 4

HYDROGRAMMES de la CRUE EXCEPTIONNELLE

		Débits en m ³ /s		
Ecart de :	Crue :	Variante A :	Variante B :	
temps :	exceptionnelle :			
en jours :	type :			
0	0	0	0	
1	1,2	1,2	1,2	
2	34	34	34	
3	62	62	62	
4	88	88	88	
5	196	196	196	
6	233	233	233	
7	309	316	312	
7 3/4	358	413	355	
8	377	540	400	
8 1/4	374	726	497	
8 1/2	410	<u>772</u>	678	
8 3/4	574	740	783	
9	<u>630</u>	719	<u>862</u>	
9 1/4	588	683	758	
9 1/2	498	600	659	
10	534	545	576	
11	484	414	424	
12	373	290	294	
13	276	318	318	
14	329	337	337	
15	330	270	270	
16	243	124	124	
17	91	36	36	
18	24	6,5	6,5	
19	4	0	0	
20	0			

CRUE EXCEPTIONNELLE DE LA VARAHINA SUD
A TSIAZOMPANIRY

Hydrogramme

