

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER

Centre de TANANARIVE
Section Hydrologie

ETUDE
DES CRUES EXCEPTIONNELLES
DU BAS-MANGOKY

B. BILLON
1969

28
316

9904

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER

Centre de TANANARIVE

ETUDE DES CRUES EXCEPTIONNELLES
DU BAS-MANGOKY



B. BILLON

28
BIL

18 AOUT 1970

9904

Etude des crues exceptionnelles du Bas-MANGOKY.-

SOMMAIRE.-

| | <u>Pages</u> |
|--|--------------|
| 1 - Observations disponibles | 1 |
| 2 - Corrélations BANIAN-VONDROVE et BANIAN-BEVOAY | 2 |
| 3 - Courbe d'étalonnage | 8 |
| 4 - Etude des crues | 11 |
| 4.1 - Débits | 11 |
| 4.2 - Hauteurs | 19 |
| 5 - Conclusion | 27 |

Après la forte crue de 1969 sur le MANGOKY, il était intéressant de reprendre l'ensemble de l'étude des crues, d'autant plus que nous avons à présent plusieurs années supplémentaires d'observations, ce qui n'est pas négligeable lorsqu'on ne dispose, comme c'est le cas du BAS-MANGOKY, que d'un petit nombre d'années d'observations.

1/ - OBSERVATIONS DISPONIBLES.-

Trois stations principales ont été implantées sur le cours inférieur du MANGOKY : BANIAN, VONDROVE, BEVOAY.

Les hauteurs maximales (exprimées en centimètres) connues à ces stations sont les suivantes :

T A B L E A U N° 1

| <u>ANNEE</u> | <u>BANIAN</u> | <u>VONDROVE</u> | <u>BEVOAY</u> |
|--------------|---------------|-----------------|---------------|
| 1968 - 1969 | 770 | 550 | 590 |
| 1967 - 1968 | | 401 | 362 |
| 1966 - 1967 | | 438 | 410 |
| 1965 - 1966 | | 368 | 319 |
| 1964 - 1965 | 524 | 408 | 406 |
| 1963 - 1964 | 576 | 420 | 385 |
| 1962 - 1963 | 576 | 430 | 380 |
| 1961 - 1962 | 524 | 406 | 393 |
| 1960 - 1961 | 568 | 435 | |
| 1959 - 1960 | 500 | 410 | |
| 1958 - 1959 | 588 | 435 | |
| 1957 - 1958 | 490 | 386 | |
| 1956 - 1957 | 530 | 379 | |
| 1955 - 1956 | 628 | 465 | |
| 1954 - 1955 | 534 | 426 | |
| 1953 - 1954 | | 521 | |
| 1952 - 1953 | | 500 | |
| 1951 - 1952 | | 420 | |
| 1950 - 1951 | | 420 | |

.../...

La station de VONDROVE est la seule des 3 à posséder la série complète des maximums de crue annuels. C'est donc elle qui devrait servir de référence, les autres stations s'en déduisant par corrélation. Cependant elle présente deux inconvénients : son étalonnage n'est pas assuré et n'est connu que par corrélation (à part quelques débits de basses eaux) avec la station du BANIAN. Et enfin les relevés sont effectués 3 fois par jour, ce qui ne permet pas toujours de saisir le maximum annuel avec précision.

Nous choisirons donc de préférence la station du BANIAN comme station de référence. Plus de 600 mesures de débit y ont été effectuées et un limnigraphe a enregistré, de façon continue, les crues de 1955 à 1965. La crue de 1969 a pu être repérée peu de temps après son passage et avec précision par les traces laissées sur les murs de certains bâtiments de la station, confirmées par d'autres traces nivelées aussi bien en rive droite qu'en rive gauche.

La série des observations sur le BANIAN sera complétée d'une part par la corrélation VONDROVE-BANIAN pour la période 1950-1954, d'autre part par cette même corrélation et celle de BANIAN-BEVOAY pour la période 1965-1967.

2/ - CORRELATIONS BANIAN-VONDROVE et BANIAN-BEVOAY.-

La première est représentée sur le graphique N° 1.

Pour l'établir, nous avons utilisé les relevés communs aux deux stations pour la période 1954-1965 ainsi que le maximum de 1969 à VONDROVE, qui a pu être repéré avec une très bonne précision en même temps que celui du BANIAN.

Echelle BANIAN
m.

CORRELATION BANIAN-VONDROVE

D'après les maximums de crue de 1955 à 1965

Crue 1969

G 1

Crue 1954

Crue 1956

7.00

6.00

5.00

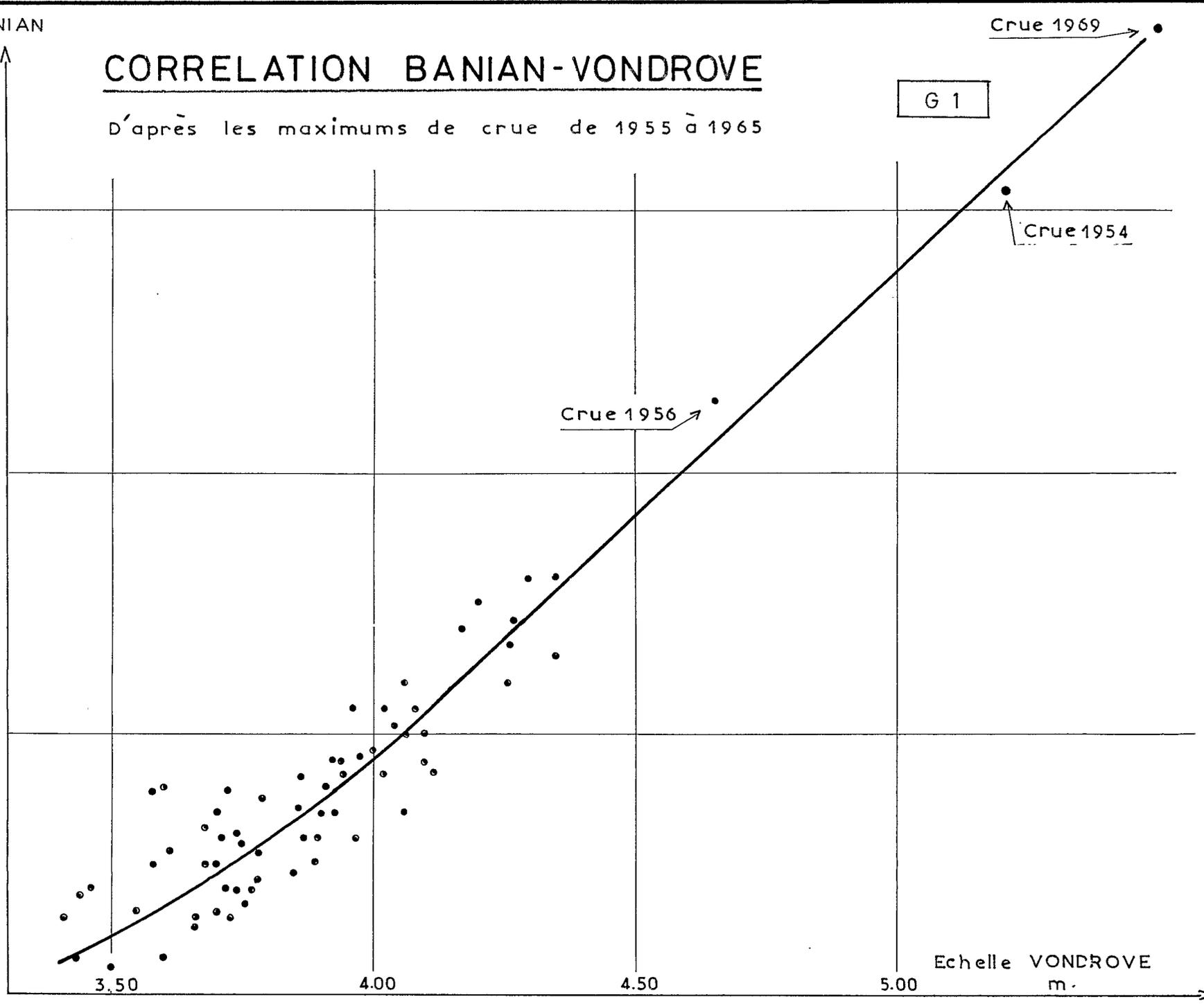
3.50

4.00

4.50

5.00

Echelle VONDROVE
m.



La distance entre les deux stations étant de 8 km et les vitesses de propagation des maximums comprises entre 3,5 et 9,5 km/h (Observations et mesures hydrologiques sur le MANGOKY - Résultats de la campagne 1963-1964 - M. ALDEGHERI), le temps moyen de propagation a été choisi égal à 1 heure. Une précision plus grande n'est pas nécessaire, car il y a peu de chances pour que le lecteur ait fait les lectures exactement à l'heure prévue et la vitesse de propagation de la crue présente parfois beaucoup d'écart par rapport à la moyenne.

Le graphique a donc été établi avec tous les maximums de crue supérieurs à 4 m au BANIAN et ayant eu lieu entre 5 heures et 17 heures. Compte tenu du temps de propagation de la crue, les maximums ayant eu lieu la nuit n'ont pu être utilisés puisqu'il n'existait aucune cote correspondante à VONDROVE.

En dehors de 2 crues de 1958, l'ensemble de la corrélation est bon. Celle-ci n'étant pas linéaire, ne se prête pas à des calculs simples. Notons que les écarts à la courbe se distribuent expérimentalement de la façon suivante :

| |
|--|
| 50 % (écart médian) inférieurs ou égaux à 0,07 m |
| 80 % inférieurs ou égaux à 0,20 m |

La bonne tenue de cette corrélation nous amène à réctifier le maximum admis pour la crue 1954 au BANIAN. Celui-ci n'a pas été directement observé puisqu'à cette époque, il n'y avait pas de lectures régulières, mais les délaissés de crue ont été repérés après la crue et nivelés par rapport au repère GR coté 76,06 m. Les plus hautes eaux ont été trouvées à + 1,51 m par rapport à ce repère, soit 77,57 m en cotes absolues et $77,57 - 71,49 = 6,08$ m par rapport à l'échelle actuelle RD.

Ce point placé sur la corrélation présente une dispersion très grande et tout à fait anormale. Celle-ci est d'autant moins acceptable que les autres points de 1954 sont situés très correctement autour de la courbe et que pendant 10 ans, aucun point ne présente, et de loin, un tel écart à la courbe.

Pour notre part, nous pensons qu'il s'agit d'une erreur de 1 m dans le nivellement des délaissés de crue qui se trouvaient en fait à la cote 7,08 m, cote que nous adopterons.

La seconde corrélation BANIAN-BEVOAY est représentée sur le graphique N° 2. Comme pour la corrélation précédente, les points représentent les maximums de crue de la période 1961-1965. La distance entre les 2 stations étant de 41 km, le décalage horaire adopté est de 6 heures.

La dispersion des points est assez faible entre 2 et 4 m au BANIAN, pour être un peu plus forte au-dessus de 4 m. Le maximum de l'année 1962-1963 n'a pas été représenté. En effet, l'hydrogramme au BANIAN présente une forme inhabituelle, très pointue, avec un maximum à 18 heures, ce qui ne laisse aucune chance d'un enregistrement correct à BEVOAY. Effectivement, la cote lue le lendemain à 6 h à BEVOAY est trop basse et ne correspond qu'à la décrue, largement amorcée, au BANIAN.

Le maximum de l'année 1963-1964 est également aberrant, mais la propagation de la crue a été, dans ce cas, exceptionnellement rapide (cf rapport MANGOKY 1963-1964) et le maximum était passé depuis plus de 4 heures au moment de la première lecture à BEVOAY.

L'extrapolation de la courbe s'appuie sur les maximums de 1969 relevés aux deux stations et ceux de 1956. Pour cette dernière crue, aucune mesure directe n'a été faite à BEVOAY, mais à TANANDAVA. Selon les documents, le maximum aurait atteint, soit 28,18 m, soit 28,42 m,

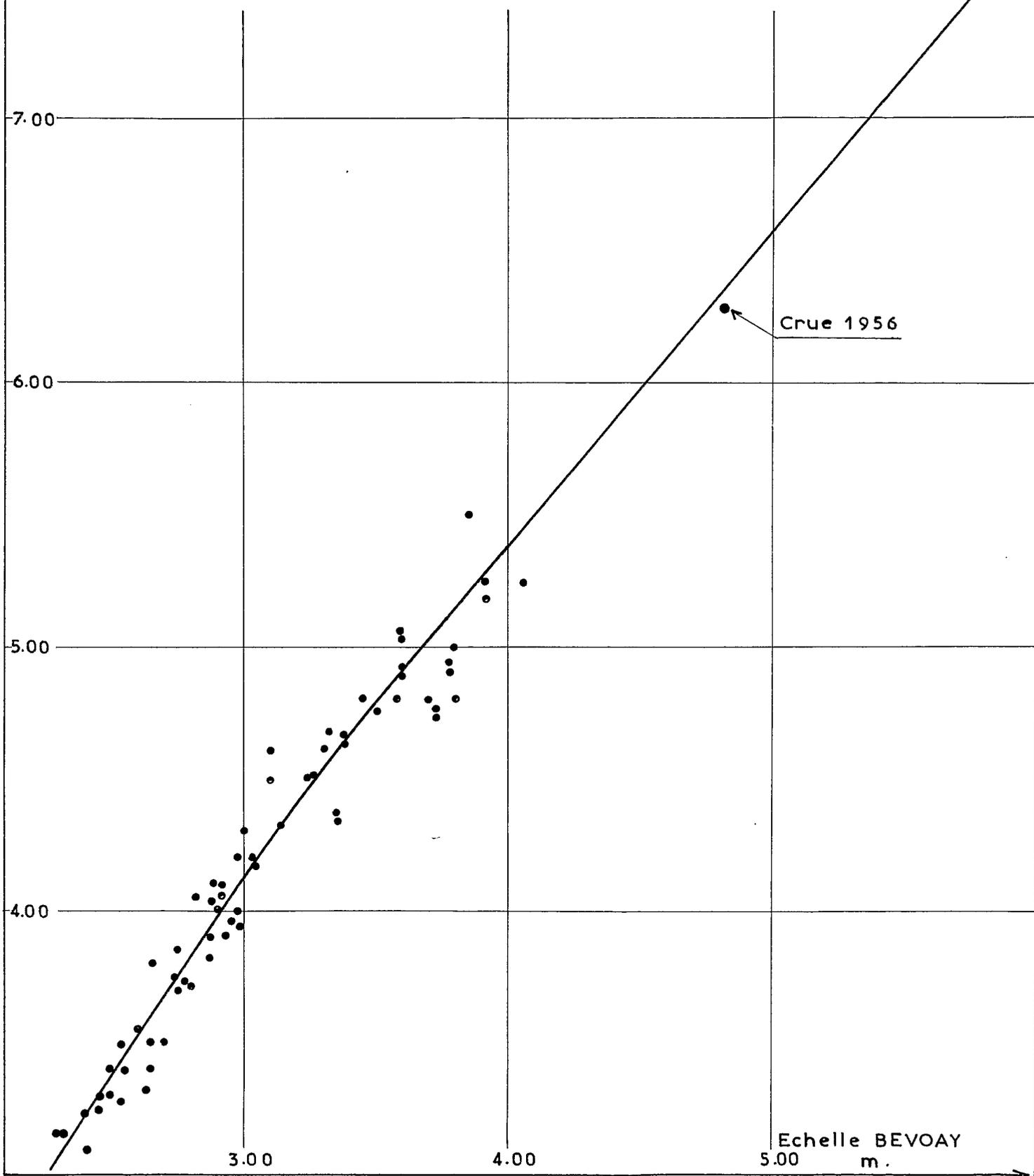
CORRELATION BANIAN - BEVOAY

G 2

Echelle BANIAN
m.

Crue 1969

Crue 1956



Echelle BEVOAY
m.

sans que l'on puisse trancher. Nous adopterons la moyenne 28,30 m, l'erreur possible 0,12 m étant de peu d'importance puisque le point 1956 n'est qu'un point intermédiaire sur la corrélation. Le maximum de 1969 étant de 29,38 m (Rapport Février 1969 de M. COCHELIN), l'écart entre les 2 crues est donc de $29,38 - 28,30 = 1,08$ m.

A VONDROVE, l'écart entre les 2 crues est de $5,50 - 4,65 = 0,85$ m, c'est-à-dire inférieur à celui observé à TANANDAVA, ce qui est à priori un peu surprenant, car il était assez logique de penser que la crue s'amortirait en amplitude au fur et à mesure que l'on s'engage vers l'aval. Il faut noter cependant que quelle que soit la valeur adoptée pour 1956 à TANANDAVA 28,42 ou 28,30 ou 28,18, on obtient des écarts avec la crue de 1969 : 0,96 ou 1,08 ou 1,20 supérieur à celui de VONDROVE. Il n'y a donc pas d'objection fondamentale à conserver le chiffre moyen de 28,30 m.

D'après ces 2 corrélations, on obtient finalement au BANIAN :

| A N N E E | 67.68 | 66.67 | 65.66 | 53.54 | 52.53 | 51.52 | 50.51 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Corr. BAN-VONDROVE | 492 | 560 | 445 | 716 | 676 | 528 | 528 |
| Coor. BAN-BEVOAY | 490 | 548 | 438 | | | | |
| Cotes adoptées | 491 | 554 | 442 | 708 | 676 | 528 | 528 |

Il est intéressant de constater que les deux corrélations donnent pour le BANIAN et pour la période 1965-1967 des chiffres extrêmement voisins, ce qui présente une assurance supplémentaire pour la période 1950-1954 déterminée à partir de la seule corrélation avec VONDROVE,

La liste complète des hauteurs est présentée dans le tableau N° 2.

3/ - COURBE D'ETALONNAGE.-

Le graphique N° 4 représente la courbe de tarage du MANGOKY au BANIAN. Tous les jaugeages exécutés à des cotes supérieures à 2,00 m à l'échelle y sont pointés à l'exception des jaugeages aux flotteurs autres que ceux réalisés le 9 Janvier 1956, des jaugeages exécutés sur la moitié de la section et des jaugeages au cours desquels la variation de cote a dépassé 0,40 m. Ne sont pas représentés également deux jaugeages de cote moyenne manifestement aberrants. Pour clarifier le graphique, les 85 mesures de débit ont été représentées par leur cote moyenne.

Les jaugeages exécutés aux flotteurs le 9 Janvier 1956 ont également été repris. En effet, ils ont été dépouillés à une époque où les variations de la section mouillée étaient mal connues et les valeurs adoptées s'écartent par trop des valeurs admissibles.

Le graphique N° 3 représente les variations de la section mouillée en fonction de la hauteur à l'échelle pour les 50 jaugeages supérieurs à 3 m.

La dispersion est due essentiellement aux modifications du lit.

La relation n'étant pas linéaire ne se prête pas à des calculs simples. Les écarts à la courbe se distribuent expérimentalement de la façon suivante :

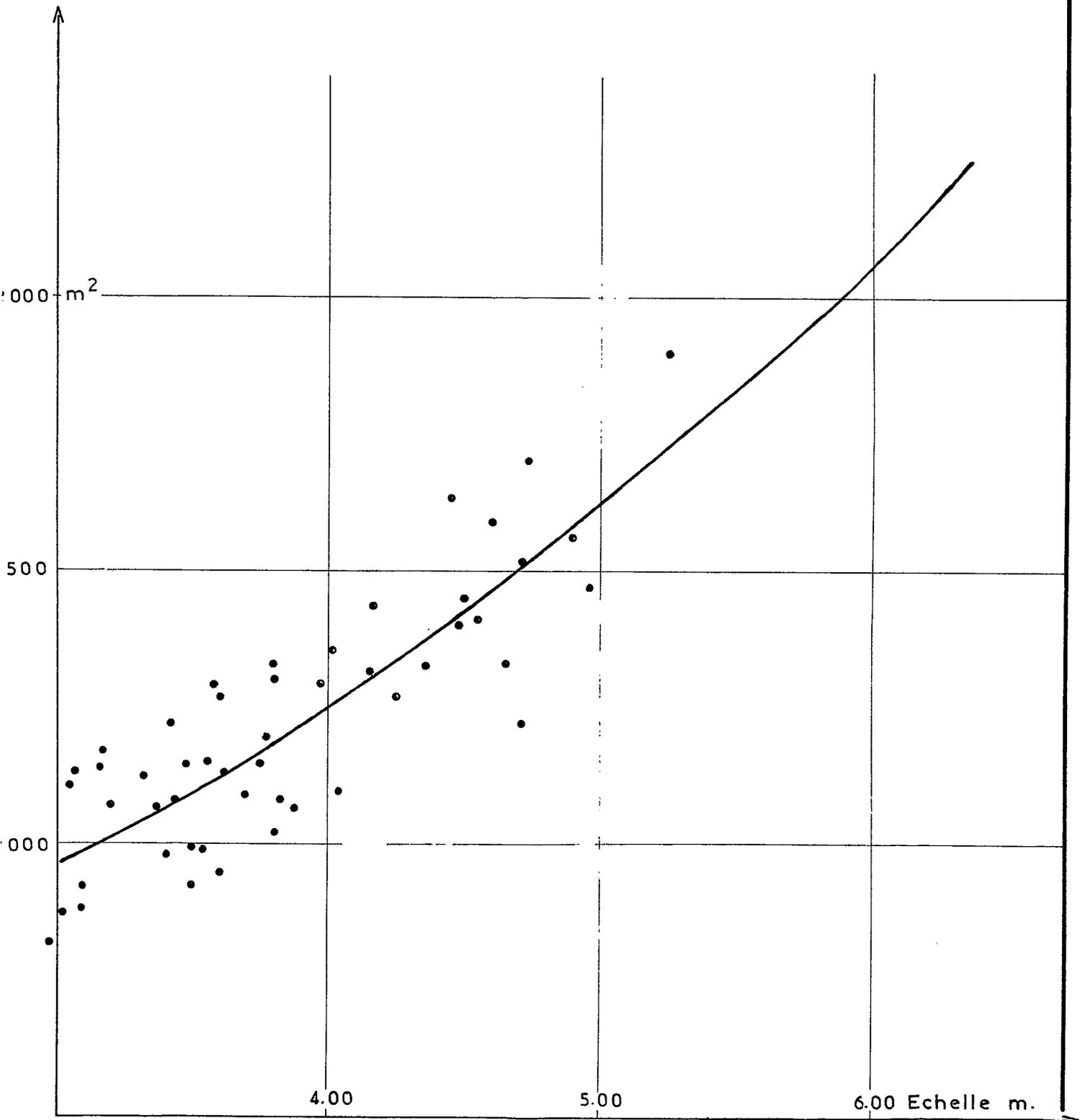
50 % (écart médian) inférieurs à 100 m²
95 % inférieurs à 180 m²

L'intervalle de confiance à 95 % pourrait, approximativement, être représenté par 2 courbes parallèles à la courbe moyenne et situées à ± 180 m² de cette courbe moyenne. L'écart de 180 m² correspond à 11 % pour la cote 5,00 m.

MANGOKY au BANIAN

G 3

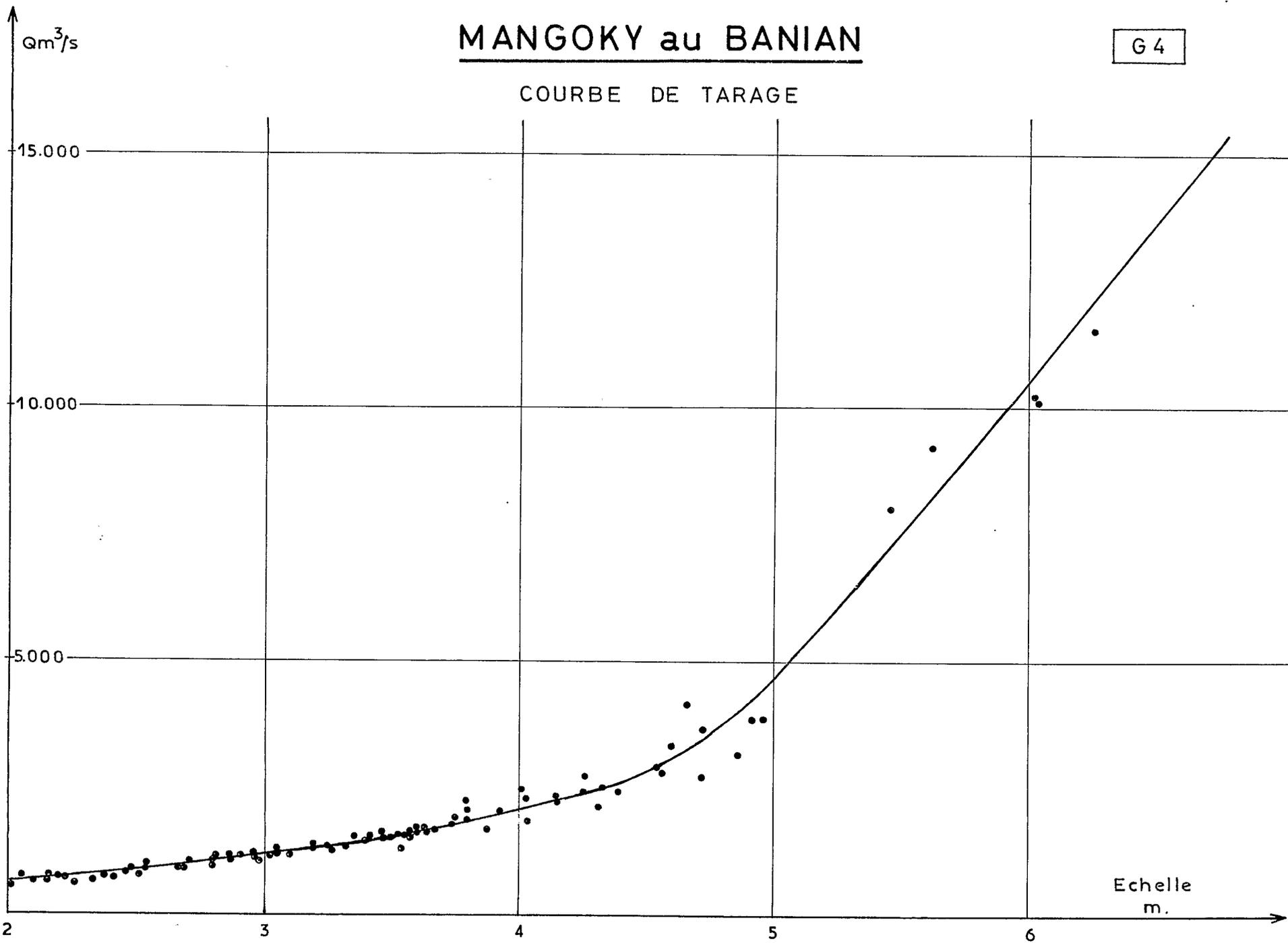
VARIATION DE LA SECTION MOUILLEE
EN FONCTION DE LA HAUTEUR A L'ECHELLE



MANGOKY au BANIAN

G 4

COURBE DE TARAGE



Pour 5,45 m à l'échelle, la section mouillée est donc de 1810 m², alors que la valeur adoptée en 1956 était de 2250 m², ce qui explique à posteriori pourquoi les mesures du 9 Janvier 1956 se raccordaient mal aux autres jaugeages.

En définitive, les jaugeages exécutés le 9 Janvier 1956 ont pour résultats :

| N° jaugeages | 33 A | 33 B | 33 C | 33 D | 33 E |
|-------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|
| Côte cm | 604 | 545 | 562 | 602 | 626 |
| Débit m ³ /s | 10.100 | 8.000 | 9.200 | 10.200 | 11.500 |

4/ - ETUDE DES CRUES. -

4.1 - Débits

Les maximums de crue du MANGOKY au BANIAN pour la période 1950-1968, déduits de ce qui précède, soit 19 ans, sont consignés dans le tableau N° 2.

T A B L E A U N° 2

| A N N E E | H m cm | Q m m ³ /s | Rang | Fréquence (n - 0,5)/N |
|-------------|--------|-----------------------|------|--------------------------|
| 1950 - 1951 | (528) | 6.200 | 12 | 0,605 |
| 1951 - 1952 | (528) | 6.200 | 13 | 0,658 |
| 1952 - 1953 | (676) | 15.200 | 3 | 0,132 |
| 1953 - 1954 | 708 | 17.400 | 2 | 0,079 |
| 1954 - 1955 | 534 | 6.500 | 10 | 0,553 |
| 1955 - 1956 | 628 | 12.300 | 4 | 0,184 |
| 1956 - 1957 | 530 | 6.300 | 11 | 0,553 |
| 1957 - 1958 | 490 | 4.100 | 18 | 0,921 |
| 1958 - 1959 | 588 | 9.800 | 5 | 0,237 |
| 1959 - 1960 | 500 | 4.600 | 16 | 0,816 |
| 1960 - 1961 | 568 | 8.600 | 8 | 0,395 |
| 1961 - 1962 | 524 | 6.000 | 14 | 0,711 |
| 1962 - 1963 | 576 | 9.100 | 6 | 0,290 |
| 1963 - 1964 | 576 | 9.100 | 7 | 0,342 |
| 1964 - 1965 | 524 | 6.000 | 15 | 0,763 |
| 1965 - 1966 | 442 | 2.700 | 19 | 0,974 |
| 1966 - 1967 | 554 | 7.700 | 9 | 0,447 |
| 1967 - 1968 | 491 | 4.200 | 17 | 0,868 |
| 1968 - 1969 | 770 | 22.000 | 1 | 0,026 |

L'ensemble des points mis en place sur graphique gaussique normal met en évidence une forte dissymétrie de la loi de distribution. Le phénomène est général à Madagascar où coexistent deux types de crues : celles dues aux orages et celles provoquées par les cyclones. Les orages ne couvrent, avec des hauteurs de précipitations intéressantes, qu'une partie du bassin et de ce fait ne provoquent, surtout sur un bassin de cette taille, que des crues d'amplitude relativement modérée. Seules les cyclones peuvent, par leur étendue, susciter sur l'ensemble du bassin des pluies importantes et groupées en quelques jours, ce qui leur assurent une très bonne efficacité.

En adoptant une loi de GALTON avec un Q_0 égal à 1.800 m³/s, l'alignement des points devient satisfaisant. Pour les calculs, il est alors possible de se ramener à une loi de GAUSS par le changement de variable $Z = L (Q - 1.800)$ - Graphique N° 5.

La borne inférieure Q_0 ayant été choisie égale à 1.800 m³/s par approximation graphique, la distribution est caractérisée par le calcul de deux paramètres : moyenne et écart-type. Le tableau N°3 présente le détail des calculs.

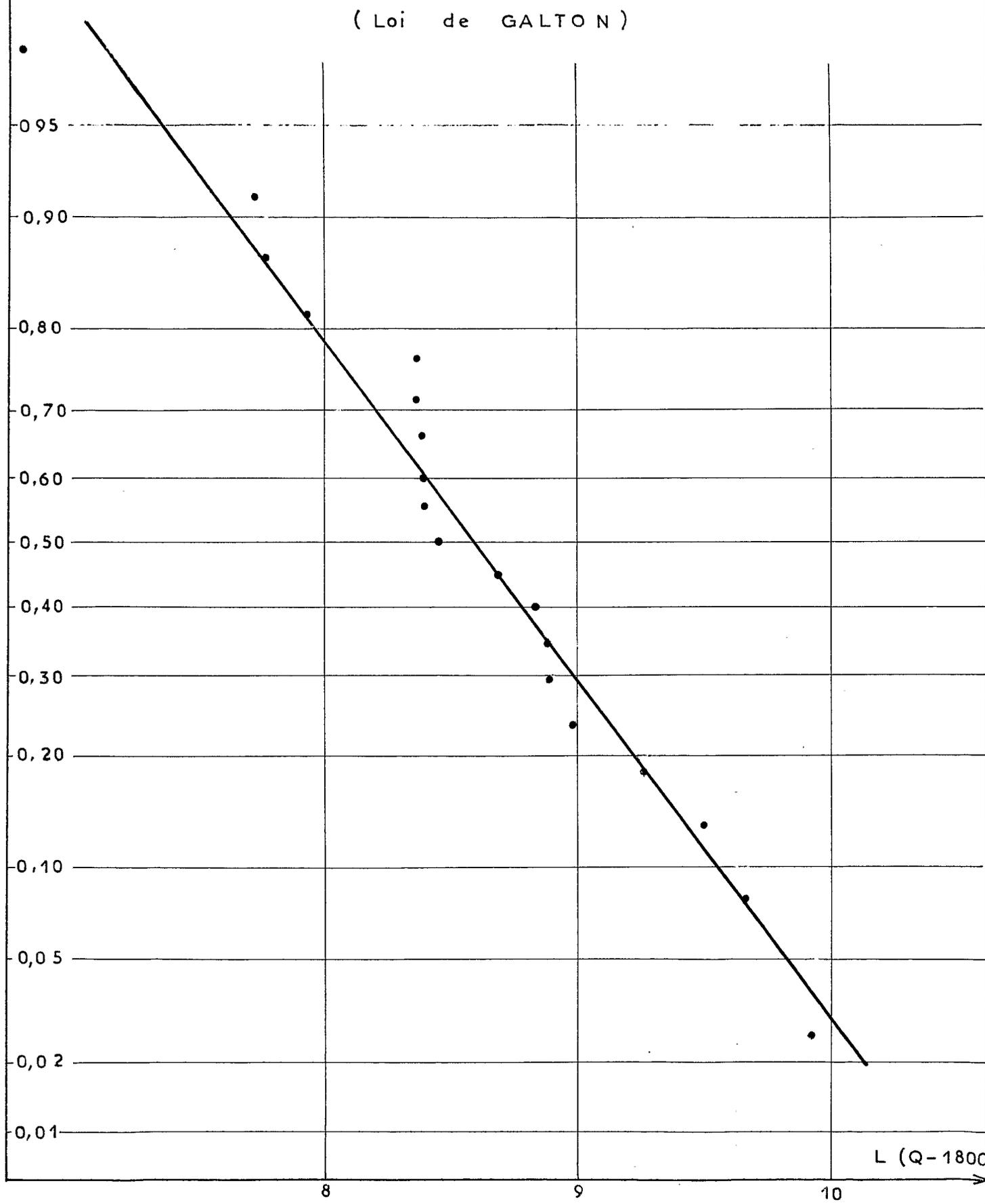
T A B L E A U N° 3

| Rang | Q m ³ /s | Q - 1800 | Z=L(Q-1800) | Zi - Z̄ | (Zi - Z̄) ² |
|------|---------------------|----------|-------------|---------|------------------------|
| 1 | 22.000 | 20.200 | 9,92 | 1,33 | 1,7689 |
| 2 | 17.400 | 15.600 | 9,66 | 1,07 | 1,1449 |
| 3 | 15.200 | 13.400 | 9,50 | 0,91 | 0,8281 |
| 4 | 12.300 | 10.500 | 9,26 | 0,67 | 0,4489 |
| 5 | 9.800 | 8.000 | 8,98 | 0,39 | 0,1521 |
| 6 | 9.100 | 7.300 | 8,89 | 0,30 | 0,0900 |
| 7 | 9.100 | 7.300 | 8,89 | 0,30 | 0,0900 |
| 8 | 8.600 | 6.800 | 8,83 | 0,24 | 0,0576 |
| 9 | 7.700 | 5.900 | 8,69 | 0,10 | 0,0100 |
| 10 | 6.500 | 4.700 | 8,45 | 0,14 | 0,0196 |
| 11 | 6.300 | 4.500 | 8,40 | 0,19 | 0,0361 |
| 12 | 6.200 | 4.400 | 8,39 | 0,20 | 0,0400 |
| 13 | 6.200 | 4.400 | 8,39 | 0,20 | 0,0400 |
| 14 | 6.000 | 4.200 | 8,37 | 0,22 | 0,0484 |
| 15 | 6.000 | 4.200 | 8,37 | 0,22 | 0,0484 |
| 16 | 4.600 | 2.800 | 7,94 | 0,65 | 0,4225 |
| 17 | 4.200 | 2.400 | 7,78 | 0,81 | 0,6561 |
| 18 | 4.100 | 2.300 | 7,74 | 0,85 | 0,7225 |
| 19 | 2.700 | 900 | 6,80 | 1,79 | 3,2041 |

MANGOKY au BANIAN

G 5

DISTRIBUTION DES MAXIMUMS DES CRUES
(Loi de GALTON)



L (Q-1800)

La moyenne est $\bar{Z} = \frac{\sum Z_i}{N} = 8,59$

L'écart-type $S^2 = \frac{\sum (Z_i - \bar{Z})^2}{N - 1} = 0,5460$

$S = 0,739$

La variable réduite est $U = \frac{Z - \bar{Z}}{S}$ La table des valeurs de l'intégrale de GAUSS donne les valeurs de U pour une fréquence donnée.

Crue médiane $F = 0,5$ d'où $U = 0$

On en tire $L(Q - 1800) = \bar{Z} = 8,59$, soit $Q = 7.200 \text{ m}^3/\text{s}$

Crue décennale $F = 0,1$ d'où $U = 1,282$

On en tire $L(Q - 1800) = 1,282 \times 0,739 + 8,59 = 9,54$, soit $Q = 15.600 \text{ m}^3/\text{s}$

Crue centennale $F = 0,01$ $U = 2,326$

d'où $L(Q - 1800) = 2,326 \times 0,739 + 8,59 = 10,31$

ce qui donne un débit voisin de $Q = 32.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Le nombre d'années d'observations est trop petit pour que l'on puisse, en dehors de la médiane qui présente peu d'intérêt pour cette étude, calculer des intervalles de confiance ayant quelque signification.

AUTRES LOIS DE DISTRIBUTION.-

L'examen du graphique de distribution des maximums de crue montre que les lois à rechercher doivent avoir pour caractéristique une décroissance lente de densité de probabilité. Les lois du type PEARSON III ou GUMBEL ne peuvent convenir car elles présentent une décroissance trop rapide entraînant des probabilités trop petites pour les forts débits.

En dehors de la loi de GALTON, utilisée ci-dessus, la seule loi simple susceptible de s'appliquer à cet échantillon est celle de FRECHET qui présente par ailleurs l'avantage de pouvoir être présentée sous une forme graphique.

La moyenne M et l'écart-type S sont donnés par les formules suivantes :

$$M = \frac{\sum Lq}{N}$$

$$S^2 = \frac{\sum (Lq - M)^2}{N - 1} \quad N \text{ étant le nombre d'années d'observations.}$$

et permettent de calculer les paramètres a, coefficient de variabilité, et la dominante m :

$$a = \frac{3,14}{S \sqrt{6}}$$

$$m = M - \frac{0,577}{a}$$

Le détail des calculs est présenté dans le tableau N° 4.

T A B L E A U N° 4

| Rang | Période de retour T N : (n - 0,5) | Q m3/s | Lq | Lqi - M | (Lqi - M) ² |
|------|--------------------------------------|--------|-------|---------|------------------------|
| 1 | 38,03 | 22.000 | 10,00 | 1,07 | 1,1449 |
| 2 | 12,67 | 17.400 | 9,77 | 0,84 | 0,7056 |
| 3 | 7,50 | 15.200 | 9,64 | 0,71 | 0,5041 |
| 4 | 5,43 | 12.300 | 9,42 | 0,49 | 0,2401 |
| 5 | 4,22 | 9.800 | 9,20 | 0,27 | 0,0729 |
| 6 | 3,41 | 9.100 | 9,12 | 0,19 | 0,0361 |
| 7 | 2,92 | 9.100 | 9,12 | 0,19 | 0,0361 |
| 8 | 2,53 | 8.600 | 9,06 | 0,13 | 0,0169 |
| 9 | 2,24 | 7.700 | 8,95 | 0,02 | 0,0004 |
| 10 | 2,00 | 6.500 | 8,78 | 0,15 | 0,0225 |
| 11 | 1,81 | 6.300 | 8,75 | 0,18 | 0,0324 |
| 12 | 1,65 | 6.200 | 8,74 | 0,19 | 0,0361 |
| 13 | 1,52 | 6.200 | 8,74 | 0,19 | 0,0361 |
| 14 | 1,41 | 6.000 | 8,70 | 0,23 | 0,0529 |
| 15 | 1,31 | 6.000 | 8,70 | 0,23 | 0,0529 |
| 16 | 1,23 | 4.600 | 8,44 | 0,49 | 0,2401 |
| 17 | 1,15 | 4.200 | 8,35 | 0,58 | 0,3364 |
| 18 | 1,09 | 4.100 | 8,33 | 0,62 | 0,3844 |
| 19 | 1,03 | 2.700 | 7,91 | 1,02 | 1,0404 |

On en tire

$$\begin{aligned} M &= 8,93 \\ S &= 0,527 \\ a &= 2,43 \\ m &= 8,69 \end{aligned}$$

Le positionnement de la droite (graphique N° 6) s'obtient par le calcul de deux points.

Pour T, période de retour, égale à 1,58, la variable réduite $Z = a (Lq - m) = 0$ d'où l'on tire : $Lq = m = 8,69$, soit $Q = 5.900 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour une période de retour $T = 2,32$, la variable réduite est égale à la constante d'EULER $E = 0,577$. Cependant ce dernier point est trop proche du précédent pour fixer la droite avec précision, aussi utilise-t-on des périodes de retour assez grandes pour lesquelles l'expression de la loi des valeurs extrêmes se simplifie et devient :

$$Lq = m \left(1 + \frac{LT}{a m} \right)$$

Pour $T = 100$ l'expression devient :

$$Lq = 8,69 \left(1 + \frac{4,61}{21,2} \right) = 10,59, \text{ ce qui donne pour la crue}$$

centennale une valeur très voisine de :

$$\underline{Q_{100} = 40.000 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Cette valeur est sensiblement plus élevée que celle obtenue par la loi de GALTON ($32.000 \text{ m}^3/\text{s}$). Cette différence peut s'expliquer en partie par le comportement asymptotique des deux lois.

D'après la loi de GALTON, Q tend vers $e \sqrt{L T}$

et d'après la loi de FRECHET Q tend vers $T^{1/k}$

Le rapport $\frac{Q_{\text{FRECHET}}}{Q_{\text{GALTON}}}$ tend vers $\frac{T^{1/k}}{e \sqrt{L T}}$ or $\frac{L T^{1/k}}{\sqrt{L T}} = \frac{L T}{k \sqrt{L T}}$

expression qui tend vers l'infini en même temps que T.

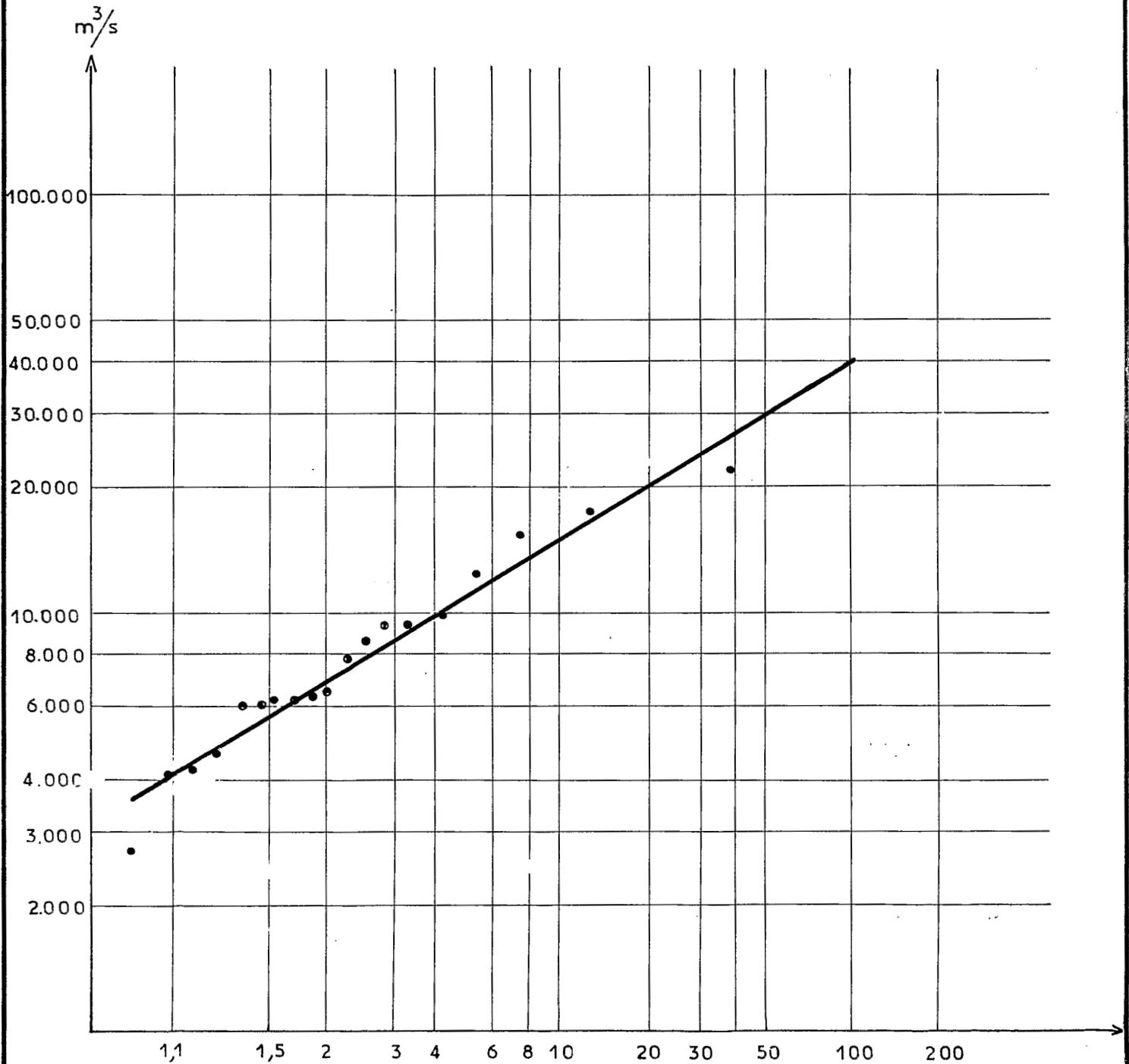
.../...

MANGOKY au BANIAN

G 6

DISTRIBUTION DES MAXIMUMS DE CRUE

(Loi de FRECHET)



Il se pose donc un problème de choix de la loi de distribution. Théoriquement celui-ci devrait se résoudre par le calcul de tests (PEARSON ou autres) appliqués à chacune des lois et qui permettraient de choisir celle qui représente le mieux la distribution de l'échantillon. Mais celui-ci présente une taille beaucoup trop réduite pour que les tests soient applicables.

L'examen des graphiques de distribution (N°5 et 6) ne permet pas de choisir nettement l'une des lois plutôt que l'autre.

Dans un souci de sécurité devant l'ampleur que peuvent prendre les cyclones et les crues qui les accompagnent, c'est la seconde loi, celle de FRECHET, qui sera retenue comme représentant la distribution des maximums de crue du MANGOKY au BANIAN.

Les crues caractéristiques auront pour valeur :

| | | | |
|-----------------|---|--------|-------------------|
| Crue médiane | : | 6.900 | m ³ /s |
| Crue décennale | : | 15.000 | m ³ /s |
| Crue centennale | : | 40.000 | m ³ /s |

La crue de 1969 avec un débit maximal de 22.000 m³/s a donc une période de retour de 25 ans par la loi de FRECHET et 28 ans par la loi de GALTON.

En Mars 1969, une enquête effectuée sur plusieurs villages répartis le long du MANGOKY a fourni des résultats concordants : les riverains, dont les villages sont installés depuis très longtemps, sont unanimes à confirmer une crue au moins aussi importante qui se serait produite il y a environ 50 ans.

.../...

A BEVOAY, l'étalonnage de la station est beaucoup moins poussé qu'au BANIAN. Le graphique 7 représente la courbe de tarage en coordonnées semi-logarithmiques établie d'après le barème de la campagne 1963-1964 du MANGOKY. L'extrapolation conduite linéairement amène pour la cote 5,90 m, maximum de 1969, à un débit de 22.000 m³/s.

La similitude de ce débit avec celui observé au BANIAN ne doit pas faire illusion : aucune des courbes ne peut prétendre à une précision rigoureuse et l'extrapolation est particulièrement importante à BEVOAY. Notons simplement que les ordres de grandeur sont les mêmes et qu'apparemment il ne devrait pas y avoir d'amortissement très sensible de la crue entre les deux stations.

A défaut de renseignements plus précis, nous admettrons pour l'instant que les crues caractéristiques sont identiques sur les deux stations de BEVOAY et du BANIAN et, bien sûr, sur la station intermédiaire de VONDROVE.

4 - 2. HAUTEURS.-

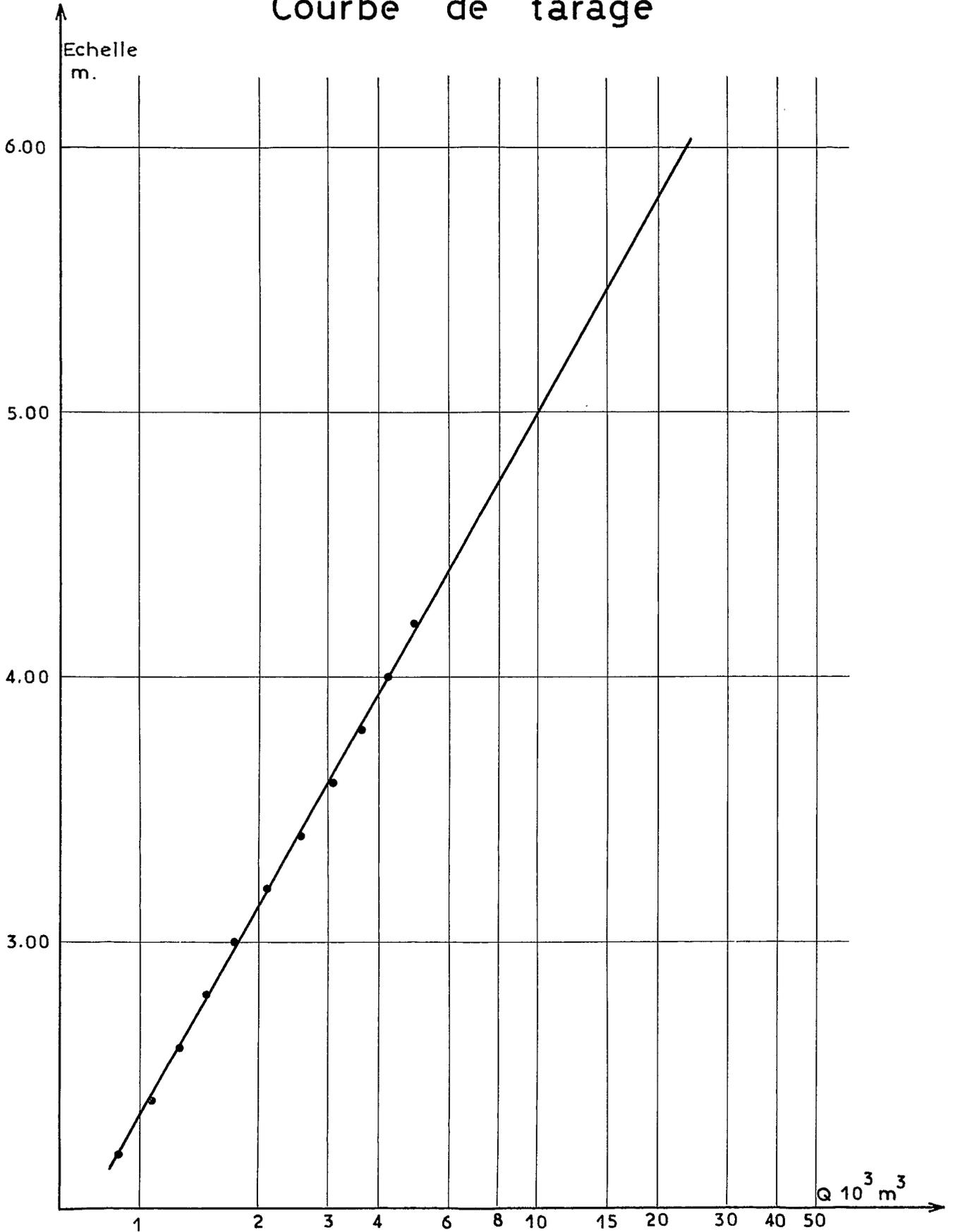
Les hauteurs atteintes par les crues exceptionnelles peuvent être approchées de deux façons. Soit en prenant sur la courbe de tarage la hauteur correspondant au débit déterminé en fonction de la fréquence choisie, soit en effectuant une étude statistique particulière des hauteurs maximales.

Dans le cas du BAS-MANGOKY, la première méthode n'est pas applicable. En effet, la courbe de tarage n'est connue que jusqu'au quart du débit centennal, elle présente une cassure à un niveau relativement élevé et l'extrapolation ne peut s'effectuer qu'à partir de points peu nombreux et peu précis. La cote de la crue centennale ne pourrait guère, de cette façon, être connue qu'avec une précision de l'ordre de ± 1 m à 1,5 mètre. Les méthodes de calcul, type STEVENS seraient certainement

MANGOKY à BEVOAY

G 7

Courbe de tarage



meilleures, mais l'imprécision de certains paramètres (pente et surtout section mouillée) dans le cas du MANGOKY, limite leur emploi.

L'étude des hauteurs sera donc effectuée comme pour les débits par application successive des lois de GALTON et FRECHET.

T A B L E A U N° 5

| Rang | H max cm | H m =470 cm | Fréquence | Z = L(H - 470) | Zi - Z̄ | (Zi - Z̄)² |
|------|-------------|----------------|-----------|-------------------|---------|------------|
| 1 | 770 | 300 | 0,028 | 5,70 | 1,34 | 1,7956 |
| 2 | 708 | 238 | 0,083 | 5,47 | 1,11 | 1,2321 |
| 3 | 676 | 206 | 0,139 | 5,33 | 0,97 | 0,9409 |
| 4 | 628 | 158 | 0,194 | 5,07 | 0,71 | 0,5041 |
| 5 | 588 | 118 | 0,250 | 4,77 | 0,41 | 0,1681 |
| 6 | 576 | 106 | 0,306 | 4,66 | 0,30 | 0,0900 |
| 7 | 576 | 106 | 0,361 | 4,66 | 0,30 | 0,0900 |
| 8 | 568 | 098 | 0,417 | 4,58 | 0,22 | 0,0484 |
| 9 | 554 | 084 | 0,472 | 4,43 | 0,07 | 0,0049 |
| 10 | 534 | 064 | 0,528 | 4,16 | 0,20 | 0,0400 |
| 11 | 530 | 060 | 0,583 | 4,09 | 0,27 | 0,0729 |
| 12 | 528 | 058 | 0,639 | 4,07 | 0,29 | 0,0841 |
| 13 | 528 | 058 | 0,694 | 4,07 | 0,29 | 0,0841 |
| 14 | 524 | 054 | 0,750 | 3,98 | 0,38 | 0,1444 |
| 15 | 524 | 054 | 0,806 | 3,98 | 0,38 | 0,1444 |
| 16 | 500 | 030 | 0,861 | 3,40 | 0,96 | 0,9216 |
| 17 | 491 | 021 | 0,917 | 3,05 | 1,31 | 1,7161 |
| 18 | 490 | 020 | 0,972 | 3,00 | 1,36 | 1,8496 |
| 19 | 442 | - | | | | |

Une étude graphique permet de déterminer Ho qui est égal à 470 cm. Cette valeur élevée présente le petit inconvénient d'éliminer la crue N° 19 qui devient négative. Ceci n'est pas très grave puisque ce sont les fortes crues qui nous intéressent. Notons également que ce phénomène n'est pas exceptionnel pour les lois de distribution à coordonnées semi-linéaires (GAUSS, GUMBEL) et qu'il faut dans ce cas rechercher une autre loi pour les crues faibles. La transformation $Z = L(H - 470)$ permet de passer à une loi de GAUSS.

Le tableau N° 5 présente le détail des calculs.

$$\text{La moyenne est } \bar{Z} = \frac{\sum Z_i}{N} = \frac{78,47}{18} = 4,36$$

$$\text{L'écart-type } S^2 = \frac{\sum (Z_i - \bar{Z})^2}{N - 1} = \frac{9,931}{17} = 0,5842$$

$$\text{soit } S = 0,764$$

De la même façon que pour les débits, on tire les résultats suivants :

Crue médiane :

$$L (H - 470) = 4,36, \text{ soit (en arrondissant) } H = 550 \text{ cm}$$

Crue décennale :

$$L (H - 470) = 5,34, \text{ soit } H = 680 \text{ cm}$$

Crue centennale :

$$L (H - 470) = 6,14, \text{ soit } H = 935 \text{ cm}$$

GRAPHIQUE N° 8

Notons que l'étude des débits par la loi de GALTON avait donné pour les 2 premières crues ci-dessus 7.200 et 15.600 m³/s correspondant respectivement à des hauteurs de 545 et 682 cm, valeurs très voisines de celles trouvées ci-dessus.

Les hauteurs ne suivent pas directement une loi de FRECHET, la dispersion étant relativement forte surtout pour les cotes élevées. Une petite étude graphique montre que cette loi s'adapte beaucoup mieux à la distribution de la nouvelle variable $h = H - 370$ exprimée en centimètres
GRAPHIQUE N° 9.

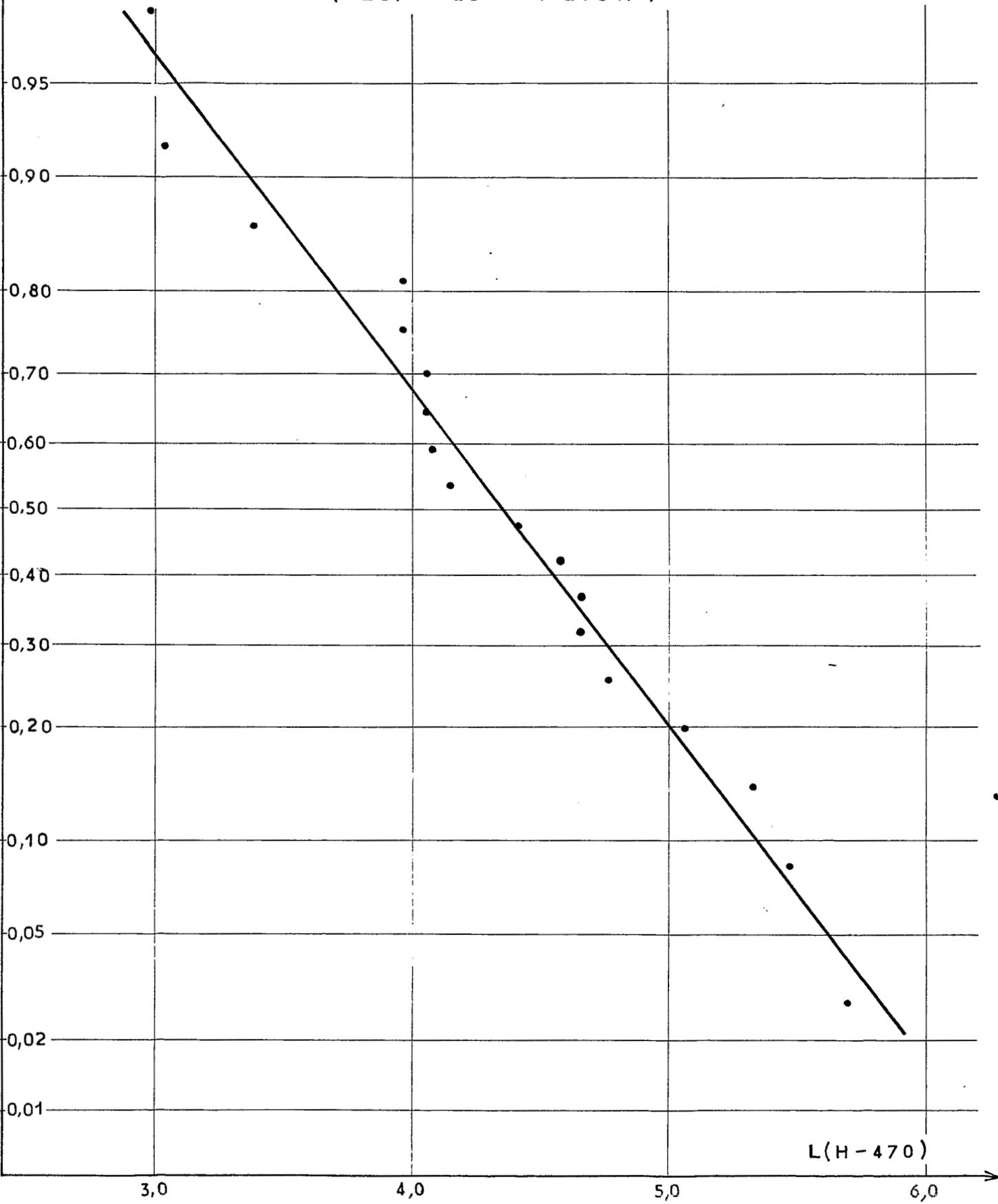
.../...

MANGOKY au BANIAN

G.8

DISTRIBUTION DES HAUTEURS MAXIMALES

(Loi de GALTON)

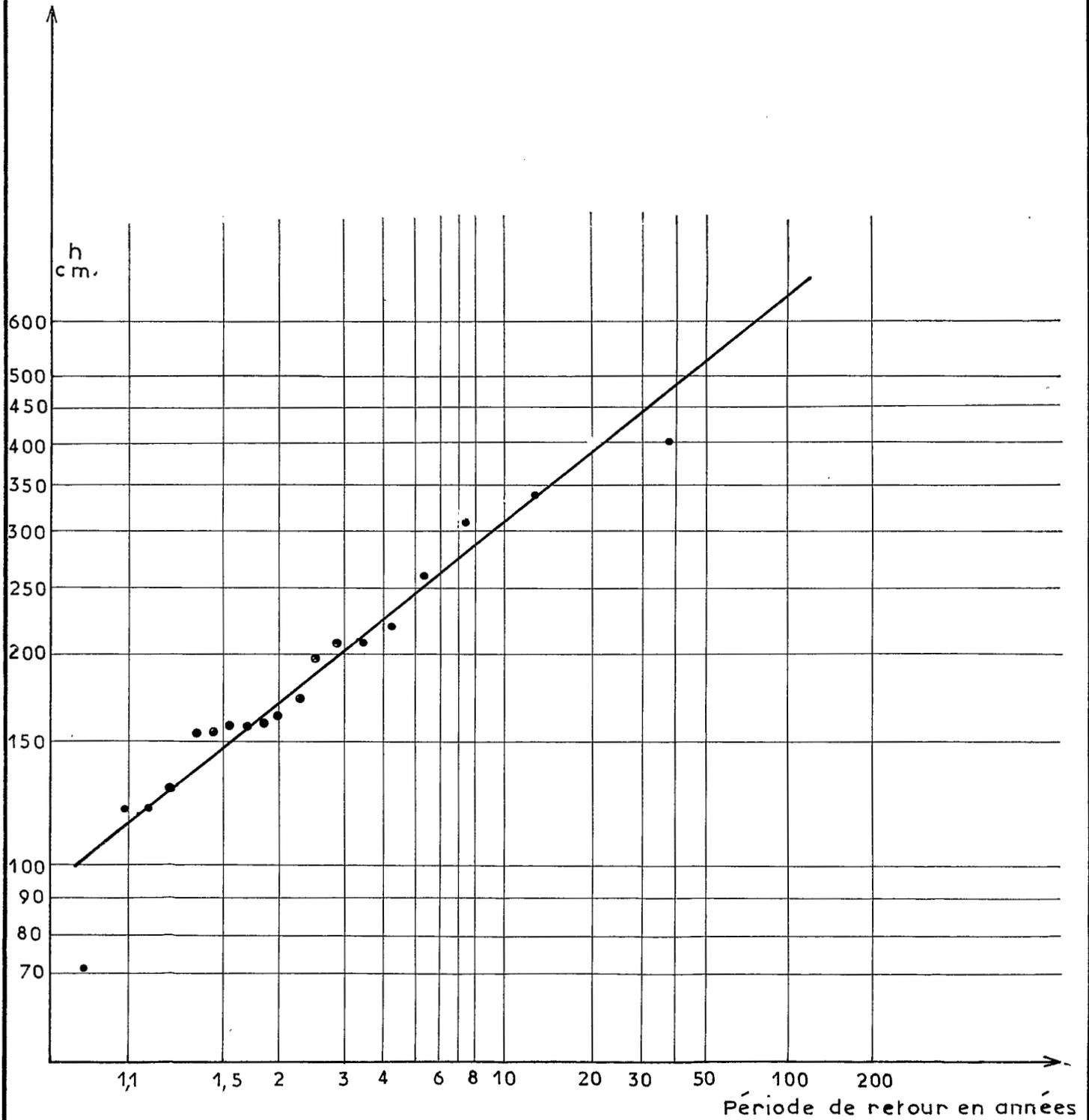


MANGOKY au BANIAN

DISTRIBUTION DES HAUTEURS MAXIMALES

$$h = H - 370$$

(Loi de FRECHET)



Le tableau N° 6 présente le détail des calculs

T A B L E A U N° 6

| Rang | Période de retour T | H max cm | h = H - 370 | L h | Lhi - M | (Lhi - M) ² |
|------|---------------------|----------|-------------|------|---------|------------------------|
| 1 | 38,03 | 770 | 400 | 6,00 | 0,80 | 0,6400 |
| 2 | 12,67 | 708 | 338 | 5,82 | 0,62 | 0,3844 |
| 3 | 7,50 | 676 | 306 | 5,72 | 0,52 | 0,2704 |
| 4 | 5,43 | 628 | 258 | 5,55 | 0,35 | 0,1225 |
| 5 | 4,22 | 588 | 218 | 5,39 | 0,19 | 0,0361 |
| 6 | 3,45 | 576 | 206 | 5,33 | 0,13 | 0,0169 |
| 7 | 2,92 | 576 | 206 | 5,33 | 0,13 | 0,0169 |
| 8 | 2,53 | 568 | 198 | 5,29 | 0,09 | 0,0081 |
| 9 | 2,24 | 554 | 184 | 5,22 | 0,02 | 0,0004 |
| 10 | 2,00 | 534 | 164 | 5,10 | 0,10 | 0,0100 |
| 11 | 1,81 | 530 | 160 | 5,08 | 0,12 | 0,0144 |
| 12 | 1,65 | 528 | 158 | 5,06 | 0,14 | 0,0196 |
| 13 | 1,52 | 528 | 158 | 5,06 | 0,14 | 0,0196 |
| 14 | 1,41 | 524 | 154 | 5,04 | 0,16 | 0,0256 |
| 15 | 1,31 | 524 | 154 | 5,04 | 0,16 | 0,0256 |
| 16 | 1,23 | 500 | 130 | 4,87 | 0,33 | 0,1089 |
| 17 | 1,15 | 491 | 121 | 4,80 | 0,40 | 0,1600 |
| 18 | 1,09 | 490 | 120 | 4,79 | 0,41 | 0,1681 |
| 19 | 1,03 | 442 | 072 | 4,28 | 0,92 | 0,8464 |

On en tire : M = 5,20

S = 0,40

a = 3,20

m = 5,02

et de la même façon que pour les débits, on positionne la droite par le calcul de 2 points :

T = 1,58 Lh = m = 5,02 soit h = 152

T = 100 Lh = 5,02 x 1,287 = 6,46, soit h = 640

.../...

Les valeurs caractéristiques sont alors les suivantes :

| | |
|------------------------|-------------|
| <u>Crue médiane</u> | H = 540 cm |
| <u>Crue décennale</u> | H = 680 cm |
| <u>Crue centennale</u> | H = 1010 cm |

Les deux lois de GALTON et FRECHET donnent donc des résultats très voisins pour les crues médiane et décennale, mais sensiblement divergents lorsque la période de retour augmente.

Comme pour les débits, le trop petit nombre d'observations ne permet pas de tester la meilleure loi et, par mesure de sécurité, il sera prudent d'adopter les valeurs données par la loi de FRECHET pour la crue centennale.

La hauteur de la crue centennale sur les stations aval est obtenue par l'extrapolation des corrélations établies précédemment. Pour BEVOAY par exemple, il ne servirait à rien de faire une étude statistique particulière des hauteurs maximales puisque la plupart de ces dernières seraient déjà déduites de la corrélation BANIAN-BEVOAY. Pour VONDROVE, il en serait de même puisque les hauteurs devraient être corrigées par la corrélation BANIAN-VONDROVE étant donné que VONDROVE ne dispose que de 3 lectures seulement par jour.

STATION DE VONDROVE.-

Hauteur maximale de la crue centennale :

H = 6,40 m (Loi de GALTON)

H = 6,80 m (Loi de FRECHET)

STATION DE BEVOAY.-

Hauteur maximale de la crue centennale :

H = 7,30 m (Loi de GALTON)

H = 8,00 m (Loi de FRECHET)

5. - C O N C L U S I O N. -

Les crues exceptionnelles du BAS MANGOKY peuvent se distribuer selon deux lois, GALTON et FRECHET, sans qu'il soit possible actuellement, de choisir nettement l'une par rapport à l'autre.

Les crues situées près de la valeur centrale sont assez voisines, quelle que soit la loi, mais pour les périodes de retour élevées la loi de FRECHET propose des chiffres sensiblement plus forts que la loi de GALTON.

Le choix entre ces deux lois ne pourra sans doute pas être possible avant de disposer d'un échantillon d'une taille au moins double de l'échantillon actuel. Aussi, sera-t-il prudent, compte tenu du peu d'informations dont nous disposons sur les crues de cyclones, de ~~retonir~~, pour les crues exceptionnelles, les chiffres les plus élevés, donnés par la loi de FRECHET.