

Girard Georges

Cambodge : notes diverses

Paris : ORSTOM, 1967, 22 + 36 p.

ÉTUDE DES PRECIPITATIONS

Généralités.

- Chapitre I : Présentation et homogénéisation des données.
- Chapitre II : Généralités sur le régime des pluies.
2-1 : les hauteurs annuelles moyennes.
2-2 : les hauteurs mensuelles.
2-3 : analyse statistique des hauteurs annuelles.
- Chapitre III : Les intensités.
3-1 : les précipitations horaires.
3-2 : les précipitations de durée diverses.
- Chapitre IV : Les précipitations journalières.
4-1 : les nombres de jours de pluie.
4-2 : les précipitations journalières de fréquence expérimentale.
4-3 : analyse statistique des précipitations journalières.
4-4 : étude statistique des précipitations de durée 2, 3, 5 et 10 jours.
- Chapitre V : Séquences pluvieuses et maximisation.

Etude des précipitation.

GENERALITES.

Les publications climatologiques anciennes sont fort peu nombreuses et datent de plus de trente ans. Depuis ce temps, de nombreuses données d'observations collectionnées ont permis à Monsieur KHIOU BOUN THONN de publier en Janvier 1965, "le climat du Cambodge" en collaboration avec Monsieur SURAUD Expert de l'Organisation Météorologique Mondiale.

Ces publications mettent à la disposition des Services Techniques du Cambodge et à de nombreux organismes les renseignements climatologiques disponibles sous forme succinctes de moyennes, de maxima, de minima des différents facteurs climatologiques avec une étude statistique sur les vents.

Pour l'hydrométéorologue désireux de connaître avec précision la hauteur annuelle (et parfois la hauteur mensuelle) des pluies et les coefficients de variation de ces pluies en vue d'établir le bilan hydrologique d'un cours d'eau, ces publications sont une source de renseignements utiles. Mais, quand il s'agit du calcul des crues exceptionnelles, de diverses recurrences, ou de la prévision de celles-ci l'hydrométéorologue doit consulter toute la documentation sur les intensités pluviométriques, sur les chutes de pluies journalières ou de durée plus importante afin d'en extraire le hyétogramme (enveloppe régionale) de la séquence pluvieuse.

Le maximum des données susceptibles d'être fournies, aux agronomes (durée et position dans le temps de la saison des pluies ou risque de sécheresse pendant la période pluvieuse) ou à d'autres services (répartition aux diverses heures de la journée des chutes de pluies etc...), n'a pas été tiré de la documentation existante.

CHAPITRE 1

Présentation et homogénéisation des données.

Il existe dans les archives du Service Météorologique une abondante documentation comprenant des observations anciennes formant des séries plus ou moins complètes et des observations actuelles portant sur quelques années seulement.

Les précipitations mensuelles du poste de PHNOM-PENH, le plus ancien du CAMBODGE, ouvert en 1899, sont connues régulièrement de cette date à nos jours. Seuls quelques déplacements peu importants de cette station sont à signaler.

A toutes les autres stations, on constate des périodes d'inobservations plus ou moins longues. A certaines, la période d'interruption peut atteindre 20 ans (généralement de 1943 à 1963). A d'autres il y a eu interruption définitive des observations.

Il en résulte une certaine hétérogénéité dans les séries des données, hétérogénéité d'autant plus marquée qu'un certain nombre de données mensuelles font défaut dans les archives transcrites sur des registres récapitulatifs mois par mois et stations par stations des précipitations mensuelles et dans les annales du Service Météorologique de SAIGON.

On compte ainsi :

en 1910	: 4 stations en service.
1920	: 38 stations en service.
1930 - 1935	: 83 stations en service.
1940 - 1945	: 81 stations en service.
1950 - 1955	: 30 stations avec données.
1961	: 95 stations en service.
1965	: 160 stations en service.
1966	: 144 stations en service.

Les données des précipitations journalières présentées sur des fiches récapitulatives, année par année, sont encore plus épar- ses et plus hétérogènes que celles des précipitations mensuelles.

Cette documentation avait été complétée à la suite d'une mis- sion de 6 mois effectuée par S.A. PHATSOWATH-SATHARANGSI à l'ancien service Météorologique de l'Indochine Française. Il serait possible et souhaitable d'accroître sensiblement la masse des données journa- lières et mensuelles en recherchant celles-ci soit dans les archives du Service Météorologique à Paris (particulièrement pour les années avant 1928 - voir recommandations) soit à la bibliothèque Nationale de Phnom-Penh, soit dans certains organismes administratifs (travaux Publics, etc...).

Actuellement pour la station de BOKOR située à 1.050 m d'al- titude, les précipitations mensuelles sont connues pour 16 années et celles journalières pour 6 années alors que la période d'observation réelle est d'au moins 31 ans.

Quelques données supplémentaires ont été obtenues à PARIS pour faciliter l'étude pluviométrique dans la zone des Cardamomes (BOKOR - Val d'Emeraude - BATTAMBANG - KAMPOT).

Néanmoins, bien qu'incomplète et hétérogène, cette documenta- tion pluviométrique de valeur inégale reste suffisante pour en extraire quantité de données élaborées, directement utilisables par les Services Techniques.

Le contrôle d'homogénéité des relevés de pluies à tous ces postes en raison des lacunes abondantes et des interruptions, ne peut être systématiquement entrepris à l'aide de la méthode de dou- ble masse afin de déceler les incidents singuliers (défectuosité de l'appareil, remplacement d'appareillage, changement de site).

Cependant, un premier contrôle par la méthode des précipitations annuelles cumulées, ou courbe de masse, permet d'une manière moins rigoureuse de déceler les incidents et les invraisemblances entre les données. En second lieu, un contrôle plus efficace pourrait être entrepris après un rassemblement de toutes les données journalières et mensuelles.

Les postes pluviométriques pour lesquels les relevés semblent avoir été faits avec soin sur toute la période observée en offrant un solide aspect d'homogénéité sont portées dans la liste suivante avec la mention homogénéité normale:

HOMOGENEISATION DES DONNEES

Stations	Homogénéité	Anomalies		Très fortes anomalies		Années douteuses	Changement de site ou d'exploitation
		6% écart	30%	écart	30%		
Phnom-Penh	Normale					1916-1917	
Kampot	Normale						
Chalang	0			1932-1941			
Peam Chikang	0			1925-1934			
Prek Kak	0			1927-1930			
Kompong Thom	Normale						
Chamcar Andong	0			1930-1940			
Krakor	Normale						
Voeune Sai	Normale						
Chup	0			1928-1950			
Kompong Tralach	0			1936-1939			
Chamcar Loeu	Normale						
Chhlong	0			1933-1941			
Mimot	Normale					1927-1928	
Suong	Normale						
Pailin	0			1935-1938		1932-1940	

Stations	Homo- généité	Anomalies 6. < écart < 30%	Très fortes anomalies écart < 30%	Années douteuses
Kantroy	0		1932-1945	
Kompong-Trach	Normale			
Paray	Normale			
Battambang	Normale			
Kompong-Cham	Normale			
Cheko	Normale			
Sre Ambel		1937-1944		1929
Stung Treng		1954-1966		
Pokor	Normale			
Cheam Ksan	Normale			
Sieareap		1953-1966		1951-1952
Prek Chlong	0		1931-1937	
Takeo	0		1921-1927	
Pursat		1932-1938		
Thmar Peach	0		1935-1940	
Prek Totung	Normale			
Suong	Normale			
Chalang	0			
Kratie	Normale			
Petit Takeo	0		1958-1962	
Kompong Speu	Normale			1918
Kompong Chhnant	Normale			1931

Les hétérogénéité décelées proviennent souvent d'une erreur d'appareillage (non conformité de l'éprouvette de mesure avec la surface réceptrice du pluviomètre) d'un changement de site ou d'un changement de méthode de mesure (du pluviomètre au pluviographe) ou d'une déféctuosité de l'appareillage (fuite croissante du seau du pluviomètre. Quelques rapports donnant l'historique des postes auraient été d'une grande utilité pour effectuer les corrections nécessaires en toute connaissance de cause.

En se limitant volontairement aux études des postes visiblement homogènes et en éliminant les stations à corriger ultérieurement on ne diminue que faiblement la quantité des données élaborées car seuls les postes de la région de CHUI et quelques autres en dehors ont été rejetés (TAKED - PURSAT).

La confrontation entre les données annuelles à diverses stations permettrait de déceler les années ou séries d'années douteuses mais il est nécessaire de posséder la totalité des informations. Par exemple, à FAILIN les années 1936-1937-1938 doivent être écartées ainsi que de nombreuses autres années à d'autres stations.

Les données pluviographiques datant de 10 à 15 ans sont fort nombreuses. 9 pluviographes fonctionnaient en 1960 et 32 sont en service actuellement.

Le contrôle de ces données fournies par comparaison avec celles du pluviomètre totalisateur indique des écarts annuels de 5 à 20% provenant d'un mauvais fonctionnement des enregistreurs. Cette marge d'erreur peut être réduite par correction des enregistrements lors des fortes chutes de pluies à l'aide des relevés aux totalisateurs.

Les dénouillements des diagrammes récents présentent certaines erreurs et doivent être corrigés avant d'être utilisés pour une étude quelle qu'elle soit.

.....

CHAPITRE II

Généralités sur le régime des pluies.

2-1 : les hauteurs annuelles moyennes.

Le régime des pluies est commandé par le régime des moussons et par l'orographie dans l'ensemble du pays. Il s'apparente à un régime tropical de transition. La saison des pluies débute en Avril-Mai, elle présente en Juillet-Août un maximum des précipitations et diminue en Novembre (côte Ouest des Cardamomes, Versant des chaînes annamitiques ou Nord du Cambodge). Dans la partie centrale de la plaine Cambodgienne on enregistre par contre, en Juillet-Août, un ralentissement des précipitations du en partie seulement à la présence des chaînes montagneuse donnent un régime équatorial de transition.

L'influence de la mousson du Sud-Ouest est prépondérante dans les régions cotières (versant Ouest des Cardamomes), l'influence de la mousson du Nord-Est devient prépondérante sur le versant opposé en Octobre-Novembre.

L'hétérogénéité spatiale des précipitations s'accroît par suite de l'influence du relief. L'étude des variations de la hauteur annuelle des pluies dans l'espace a été réalisée au moment du contrôle des données par suite de l'intérêt que présentait l'établissement d'une carte, même sommaire, des précipitations annuelles évaluées pour des périodes plus ou moins longues à des postes homogènes.

La zone côtière et le massif des Cardamomes bien exposés aux vents chargés d'humidité reçoivent des chutes d'eau de 3 à 5.000mm. exceptionnellement fortes par rapport à celles des autres zones. Les zones sous le vent, où l'effet de foehn se fait sentir, reçoivent les pluies de 1.200 à 1.300 mm au minimum.

La hauteur annuelle de pluie varie assez faiblement dans le

temps. Pour des périodes différentes on note des coefficients de variation peu élevés de 0,14 (valeurs extrêmes 0,10 et 0,18). La variabilité interannuelle étant inversement proportionnelle à la hauteur annuelle ($c_v = \frac{\sigma}{\bar{P}}$) varie inversement à l'altitude. C'est ce que l'on observe pour BOKOR (0,11).

La carte de variation de ces coefficients montre que ceux-ci sont au maximum dans la zone centrale et diminuent vers le Nord - Nord-Est. Pour préciser les variations des précipitations annuelles aux stations observées sur 10 à 20 ans, les coefficients K_p et K_f , rapports des précipitations annuelles de fréquence décennales humides et sèches en année moyenne, ont été évalués.

On constate une certaine homogénéité d'ensemble des valeurs K_p et K_f permettant d'assurer que certaines données à précipitations anormalement faibles sont absolument erronées (PAILIN : 351 mm en 1936 - 545 en 1940 - KANG : 529 mm en 1937, etc...) donc, à rejeter; attitude confirmée par l'analyse des isohyètes annuelles même sommaires de ces années.

Ces coefficients sont compris dans les intervalles suivants $1,16 < K_p < 1,26$; $0,76 < K_f < 0,82$. L'écart entre la précipitation annuelle de fréquence décennale humide et celle décennale sèche rapportée à la précipitation annuelle moyenne varie de 0,34 à 0,46 pour toutes les stations. Les postes situés autour du Grand Lac et la zone de Kompong-Speu ou protégées des vents humides du Sud Ouest par les chaînes montagneuses présentent les valeurs maximum pour ces écarts.

Ces quelques valeurs donnent, avec une approximation suffisante, les valeurs des précipitations annuelles de fréquence décennale lorsque la moyenne pluviométrique est appréciée à l'aide de quelques années seulement. Les cartes donnant la répartition des précipitations annuelles de fréquence décennale humide et sèche ont été établies.

.....

2-2 : Les hauteurs mensuelles.

Les hauteurs mensuelles et annuelles caractéristiques pour toutes les stations dont les données homogènes sont connues pour une période continue ou discontinue d'au moins 20 années ont été classées. Les résultats des classements des précipitations mensuelles pour diverses fréquences 10%, 20%, 40%, 60%, 80%, 90% sont consignés dans les tableaux présentant également les valeurs maximum et minimum des précipitations observées ainsi que le nombre d'années de référence utilisées.

Les valeurs des coefficients de variation des précipitations mensuelles déterminées pour ces stations varient de 0,36 à 0,45 pour le mois du maximum de la saison des pluies à toutes les stations exceptées celles de BOKOR 0,30 (altitude) et de Svay-Rieng 0,30 (influence pure de la mousson).

Les observations fournies par les stations hétérogènes doivent être corrigées par des coefficients adéquats avant d'être utilisées afin de présenter correctement les cartes des isohyètes mensuelles. Ce travail doit venir en second lieu après avoir rassemblé toutes les données existantes mais inconnues à ce jour.

2-3 : Analyse statistique des hauteurs annuelles des précipitations.

La dispersion dans le temps des hauteurs annuelles des pluies est modérée. Sur des périodes de plus de 20 ans, le rapport des valeurs extrêmes des hauteurs observées varie de 1,6 à 2,2 pour une vingtaine de stations. Trois stations: POCHENTONG - PAILIN - MAUNG RUSSEY présentent des rapports de valeurs anormalement élevées de 2,5, 4,3, 3,6. Les années 1916 et 1917 à POCHENTONG ressortent comme très exceptionnellement fortes et les années 1936 - 1937 exceptionnellement faibles à PAILIN et MAUNG RUSSEY seraient à considérer

comme douteuses et à rejeter pour toute étude.

Les stations pour lesquelles une recherche d'ajustement de la distribution expérimentale d'un nombre suffisant de données à une loi de distribution connue est possible sont celles de PHNOM-PENH, BATTAMBANG - KAMPOT - PURSAT - STUNG-TRENG.

Des différents essais tentés, on retient que la loi de Gauss est applicable à la distribution des précipitation annuelles de la station de BATTAMBANG et le serait également à celle de PHNOM-PENH (année 1916 et 1917 exclues) mais que la loi de GALTON s'appliquerait beaucoup mieux aux autres stations.

Par la loi de GALTON et la détermination de G et VG on trouve les précipitations de diverses fréquences.

	Minima	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{10}$	G Moyenne géomé- trique	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{1000}$	Max.	Nb. d'an- nées
Phnom-Penh	935	785	895	1075	1348	1690	2030	2320	2310	64
Battambang	919	775	890	1055	1359	1750	2080	2400	2010	43
Kampot	1434	1120	1300	1550	1950	2400	3000	3440	2999	47
Pursat	944	840	954	1130	1425	1738	2060	2340	2080	36
Stung Treng	1481	1210	1352	1527	1783	2083	2360	2590	2281	34
Phnom-Penh Battambang	919	780	890	1075	1352	1700	2060	2350	2310	112

Disposant des données annuelles de PHNOM-PENH et BATTAMBANG pour une période commune de 30 années et sachant que ces deux stations ont des caractéristiques pluviométriques sensiblement communes (précipitation moyenne et coefficient de variation) le coefficient de corrélation dont la valeur a été trouvée égale à : 0,119

$$r = \frac{(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y} = 0,119$$

$$\sigma_x \quad \sigma_y$$

indique qu'une faible corrélation existe entre ces deux stations. Ainsi nous pouvons pouvoir associer ces deux stations en admettant qu'une certaine indépendance existe entre elles et évaluer les valeurs des fréquences rares des précipitations annuelles à partir du mélange de toutes les données obtenues à ces stations.

Il en résulte des valeurs élaborées semblables à celles obtenues séparément.

L'indépendance n'est pas totale, on remarque au vu des données qu'une année forte à l'une de ces stations entraîne à l'autre une année qui si elle n'est pas nécessairement très forte, sera supérieure à la normale.

A une année très faible correspond une année faible en moyenne.

Pour ces stations distantes de près de 250 km à vol d'oiseau, le coefficient de corrélation est très faible. En prenant des stations intermédiaires (PURSAT et KOMPONG-CHHNANG) on doit vérifier que le coefficient de corrélation augmente lorsque la distance diminue sans atteindre 0,7 ou 0,8 pour des stations très rapprochées (moins de 30 km). Cette étude permettrait de montrer que, malgré l'hétérogénéité des valeurs des chutes de pluie annuelles, il est exclu d'enregistrer des précipitations inférieures à la valeur centenaire à une ou même deux stations quand toutes les autres stations indiquent des valeurs normales ou supérieures à la normale.

L'étude des précipitations annuelles ou de toute autre valeur par la méthode des stations années semble être possible puisque la corrélation entre plusieurs stations est faible.

Remarquons que pour les 5 stations étudiées, les valeurs maximales enregistrées sont toutes voisines ou supérieures à la valeur de fréquence 1/100. A Phnom-Penh elle atteint la valeur de fréquence 1/100.

is à part cette valeur reconnue comme exceptionnelle et douteuse quand on l'associe à la valeur de l'année immédiatement voisine, il apparaît que les valeurs de faible fréquence sont sous-estimées par la loi de GALTON comme par la loi de GAUSS.

Une constatation semblable a été faite dans l'étude des précipitations de durée 2, 3, 5, 10 jours lors de l'utilisation de cette même loi comme loi de répartition. L'ajustement graphique de la loi exponentielle serait plus sûre si l'on disposait d'un plus grand nombre d'années. Aussi avons nous utilisé la loi de GUMBEL pour réaliser l'ajustement des valeurs de ces précipitations annuelles. Il en résulte une meilleure vraisemblance des fréquences des fortes valeurs observées et de plus, ces valeurs se rapprochent de celles qu'il est possible d'évaluer grossièrement par la loi exponentielle $f = e^{-\frac{P-P_0}{a}}$ d'une manière graphique.

Bien que les valeurs annuelles des stations de PHNOM-PENH et BATTAMBANG aient une même valeur moyenne et soient liées par un faible coefficient de corrélation, le fait, que les coefficients de variations soient différents, engendre une réduction des valeurs extrêmes par suite de l'association des séries.

On remarque ainsi la difficulté d'application de la méthode des stations années aux zones du Cambodge à module pluviométrique identique.

.....

PRECIPITATION ANNUELLE DE DIVERSES FREQUENCE

LOI DE GUMBEL

	Moyenne \bar{x}	σ	1 \bar{a}	x_0	1 $\frac{1}{10}$	1 $\frac{1}{100}$	1 $\frac{1}{1000}$	Max.	Nb
Kampot	1986	353	276	1827	2492	3007	3732	2999	47
Kompong-Speu	1283	210	164	1188	1558	1943	2318	1859	32
Phnom-Penh	1373	251	193	1260	1695	2150	2590	2310	67
Pursat	1425	230	180	1321	1727	2145	2556	2080	36
Battambang	1386	252	197	1273	1718	2178	2626	2010	43
Bokor ferme	5160	609	471	4889	5944	7050	8135	6259	29
Stung Treng	1817	200	156	1727	2077	2445	2805	2281	34
Baray	1436	248	193	1375	1807	2265	2705	2098	20
Kompong-Cham	1578	231	181	1470	1875	2300	2720	2047	30
Svay Rieng	1804	239	183	1699	2110	2600	2960	2604	34
Battambang+ P.P.	1390 1378	215 253	168 197	1283 1264	1673 1716	2067 2218	2453 2684	2310 2310	112 112

.....

CHAPITRE III
LES INTENSITES DES PRECIPITATIONS

Intensités et durées des précipitations.

Il existe actuellement au Service Météorologique, un pluviomètre enregistreur (type siphon ou à auget basculeur) dans chacune des 9 stations synoptiques et 23 pluviographes à siphon fournis en 1961 par le Comité du Mékong, implantés dans la vallée du Mékong et sur le pourtour du lac Tonlé-Sap.

3-1 : Précipitations horaires.

Les observations aux premières stations portent sur une dizaine d'années et les dépouillement horaires très correctement exécutés pour la période 1961-1966 permettent de faire une étude complète sur les chutes de pluies, heure par heure, en ayant soin au préalable de vérifier que les écarts entre totaux mensuels des précipitations à l'enregistreur et au totalisateur ne dépassent pas 5%. Il en serait de même pour une étude basée sur les données des pluviographes de l'Office pour lesquelles on enregistre des écarts de 10 à 22%. Les causes de ces écarts sont de deux ordres:

- a) mauvais fonctionnement de l'appareil enregistreur (flotteur percé amorçage hésitant)
- b) mauvaise lecture au totalisateur.

La vidange d'eau météorique tombée pendant la durée du siphonnage et non enregistrée ne peut occasionner que des écarts inférieurs à 5%.

En utilisant les données des stations de SIHANOUKVILLE (côte exposée aux vents humides), de POCHENTONG, de STUNG TRENG, on constate que pendant la saison des pluies de Mai à Octobre, les précipitations sont plus fréquentes et plus intenses de 2 à 16 heures (heure locale) à SIHANOUKVILLE, de 13 à 21 heures à POCHENTONG, de 16 à 23 heures à STUNG TRENG. Au début et à la fin de la saison des pluies on note des chutes maximum secondaires de 23 heures à 6 heures du matin à POCHENTONG et de 0 à 6 heures à STUNG TRENG.

3-2 : Précipitations de diverses durées:

Il serait possible, avec un grand nombre d'années de faire l'étude statistique des pluies horaires, mais, comme dans notre cas les averses importantes peu nombreuses (N = 10 années) peuvent être découpées par suite du dépouillement, heure par heure, nous avons préféré réaliser l'étude des chutes d'eau maxima enregistrées journalièrement pour les durées données : 15 mn, 30 mn, 45 mn, 1 h, 1h30, 2h, 3h. Tous les dépouillements furent vérifiés et corrigés systématiquement pour les stations de SIHANOUKVILLE et PHNOM-PENH avant d'en effectuer le classement par tranche de 2,5 en 2,5 mm. Plusieurs lois de distribution de ces chutes d'eau ont été ajustées graphiquement.

La loi de GAUSS tronquée ajustée graphiquement pour les chutes d'eau de durée de 15mn à SIHANOUKVILLE serait :

$$F(x) = 0,714 + 0,286 \frac{1}{\sqrt{n}} \int_{-\infty}^U e^{-\frac{1}{2} v^2} dv \quad \text{avec } U = \frac{\text{Log } x - 1,040}{0,2236}$$

et donne pour les fréquences suivantes les chutes ~~annuelles~~:

Annuelle	: 36,7 mm
1/10	: 54,1
1/100	: 75,0
1/1000	: 99,0

La loi de GIBRAT (dérivée de la loi de GALTON) ajustée graphiquement :

$$R(2) = \frac{1}{\sqrt{n}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2} dz \quad \text{avec } z = 6 (\text{Log } P - 20) - 7,44$$

donne les valeurs ci-après pour les chutes de fréquence ~~annuelles~~:

Annuelle	: 37,5 mm
1/10	: 53,5
1/100	: 70,0
1/1000	: 95,0

.....

La loi exponentielle tracée graphiquement, avec en abscisse le log de la fréquence et en ordonnée la précipitation, est de la forme $e^{-\frac{P-35}{6,95}} = f$. Elle donne pour les fréquences :

annuelle	: 35,8 mm
1/10	: 51,0 mm
1/100	: 67,0 mm
1/1000	: 83,0 mm

Pour les précipitations de durée comprise entre 30 minutes et 45 minutes, la loi exponentielle n'est plus unique. Elle se dédouble en deux lois exponentielles. La durée des observations est trop faible pour que la seconde loi soit précisée. Notons que pour les durées de 2 heures et 3 heures les valeurs trouvées pour les fréquences 1/100 et 1/1000 par cette seconde loi et la loi de GIBRAT^{sc} du même ordre de grandeur.

Les valeurs admises pour les diverses durées calculées à l'aide de la loi de GIBRAT ajustée graphiquement sont pour SIHANOUK-VILLE :

Durée	15'	30'	45'	1"	2"	3"
Fréquence annuelle	37	52	60	70	89	105
" décennale	53	81	95	116	155	190
" centenaire	70	115	138	175	240	300
" millénaire	95	153	190	247	345	448

Pour PHNOM-PENH toutes les années n'ayant pas été vérifiées un ajustement rapide permet d'évaluer les quantités ci-dessous:

Durée	15'	30'	45'	1"	2"	3"
Fréquence annuelle	27	37	42	45	48	53
Fréquence décennale	38	53	62	72	85	95
" centenaire	52	70	85	100	122	137
" millénaire	70	90	110	130	160	190

Pour certaines stations les dépouillements et les contrôles rapides des plus fortes averses observées au cours des années de fonctionnement des pluviographes donnent, comme valeurs annuelles et décennales expérimentales des chutes de pluies, les quantités suivantes:

BATTAMBANG - 6 années.

	15'	30'	45'	1"	2"	3"
Annuelle	25,5	36,5	46,5	56,0	73,0	75,0
Décennale	36	53,0	65,0	76,0	96,0	105,0

STUNG TRENG - 6 années.

	15'	30'	45'	1"	2"	3"
Annuelle	30	46	53	56	65	68
Décennale	35	62	76	85	105	115

KAMPOT - 9 années.

	15'	30'	45'	1"	2"	3"
Annuelle	28	38	43	47	56	64
Décennale	40	60	72	79	100	118

SVAY RIENG - 6 années.

	15'	30'	45'	1"	2"	3"
Annuelle	30	47	62	64	83	84
Décennale	35	58	70	80	110	120

SIEMREAP - 11 années.

	15'	30'	45'	1"	2"	3"
Annuelle	24	34	40	45	56	61
Décennale	30	42	60	70	100	110

Les graphiques des chutes de pluies en fonction de la durée, en coordonnées semi-logarithmique, font ressortir, pour les stations de KAMPOT et principalement SIHANOUKVILLE, l'importance de leur exposition directe aux vents du Sud-Ouest chargés d'humidité dans la valeur de ces chutes d'eau.

On remarque que les précipitations les plus importantes pour les stations continentales sont dues à des orages ou des averses dont la durée ne dépasse que rarement 2 à 3 heures. Les courbes de Précipitation-Durée (fréquence décennale) indiquent que les stations de SVAY RIENG, STUNG TRENG, subissent une influence plus directe de la mousson d'été que celles de POCHENTONG et, à un degré moindre, BATTAMBANG protégées de la mousson par la chaîne des Cardamomes.

A l'aide de ces données et d'après les expositions, les intensités des précipitations peuvent être évaluées facilement en différents points du CAMBODGE. Les dépouillements contrôlés des données recueillies aux 25 autres pluviographes depuis 1961 donneront avec plus de précision la répartition spatiale des intensités de fréquence annuelle et décennale pour diverses durées et faciliteront la recherche des intensités de plus faibles fréquences.

.....

CHAPITRE IV

Les Précipitations journalières

L'exploitation des données originales existantes au Service Météorologique est facilitée par la présentation de celles-ci sur fiches cartonnées (précipitations journalières année par année) pour chaque station. La recherche de toutes les observations effectuées doublerait la quantité de ces données actuellement disponibles.

3-1 : Les nombres de jours de pluie:

Si l'étude du nombre moyen de jours de pluie par an était envisagée, la prudence demanderait que, par souci d'exactitude, ce nombre soit évalué soit d'après les enregistrements des pluviographes enregistreurs, soit d'après les données des stations testées. En effet, pour plus de 35% des stations actuelles, le nombre de jours de pluie $\geq 0,1$ mm observés reste inférieur à celui effectivement observable de plus de 30. Une partie importante des faibles précipitations, comprises entre 0,1 mm et 5,0 mm, ne sont pas notées par certains observateurs. Souvent la précipitation non mesurée, stockée dans le seau, a été cumulée avec une seconde précipitation lorsque cette dernière a été remarquée par l'observateur, survenant parfois quelques jours plus tard.

Ces erreurs particulièrement importantes pour l'étude du nombre de jours de pluie n'engendrent qu'un léger écart dans l'évaluation de la précipitation mensuelle, écart dû à l'évaporation de l'eau stockée dans le seau. Elles n'apportent qu'une faible influence sur les données des fortes précipitations dans le sens de la sécurité (majoration de quelques %).

Toutefois les comparaisons, entre les données des précipitations classées des postes ordinaires et celles des pluviomètres enregistreurs, faciliteront le choix des stations ordinaires à retenir pour une étude sûre.

Cependant les classements des séries de longue durée à une station laisseront apparaître les années à distribution non homogène, ce qui est le cas de KAMPOT, TAKEO, PURSAT.

Pour les deux stations de PHNOM-PENH et de STUNG TRENG, la variabilité inter-annuelle du nombre de jours de pluie par an et de celui des pluies comprises dans les intervalles 0-5 et 5-10 mm étudiée expérimentalement, donne les limites des valeurs les plus fréquentes de l'ensemble des postes de CAMBODGE. Des valeurs légèrement plus faibles peuvent être observées dans les zones particulièrement protégées (zone de KOMPONG SPEU - MAUNG RUSSEY - KRALANH) et beaucoup plus fortes dans la chaîne des Cardamomes et la région Ouest Maritime. Dans ces dernières régions le nombre de jours des précipitations de fréquence de 0,1 serait de l'ordre de :

pour	$0,1 \leq P < 5$ mm	85
	$5,0 \leq P < 10$ mm	37
	$0,1 \leq P$	205

PHNOM-PENH

Fréquence	Nb de jours $0,1 \leq P < 5$ mm	Nb de jours $5 \leq P < 10$ mm	Nb de jours $0,1 \leq P$ mm
0,1	83	31	147
0,2	73	28	138
0,5	62	23	129
0,8	51	17	115
0,9	44	15	106

STUNG TRENG

Fréquence	Nb de jours $0,1 \leq P < 5$ mm	Nb de jours $5 \leq P < 10$ mm	Nb de jours $0,1 \leq P$ mm
0,1	72	32	155
0,2	68	29	149
0,5	61	25	135
0,8	49	19	123
0,9	42	17	116

Les cartes au 1/2.000.000 donnent la distribution spatiale des précipitations journalières de fréquence annuelle d'une part et décennale d'autre part.

3-3 : ANALYSE STATISTIQUE DES PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES

On possède pour certaines stations les relevés journaliers contrôlés sur des périodes variables supérieures à 25 années. La connaissance de la variabilité de ces précipitations journalières pour des récurrences choisies (1 fois en moyenne tous les ans, tous les 10 ans, tous les 100 ans) présente un intérêt certain pour les calculs des crues de divers bassins et des ouvrages d'assainissement (drainage) ou de multiples ouvrages (réseaux d'égouts, canaux de protection de périmètres irrigués, débouchés pour le passage des crues).

La recherche d'une fonction de répartition $F(h)$ des valeurs non nulles de l'échantillon nécessite le tronquage des fréquences expérimentales $F(x)$ par celle de $F(o)$ du nombre de jours sans pluie.

Les hauteurs non nulles de précipitations journalières en régime tropical non cyclonique suivent assez bien une loi Gauss-logarithmique, c'est-à-dire que le logarithme de la hauteur $\log h$ est normalement distribué. L'ajustement graphique de cette fonction de répartition consiste à déterminer les trois paramètres:

- F_o choisi pour réaliser l'ajustement graphique.
- $\overline{\log h}$ moyenne des \log lue sur le graphique
- $\sigma(\log h)$ écart type des \log déduit du graphique.

$$\text{avec : } U = \frac{\log h - \overline{\log h}}{\sigma(\log h)} \qquad F(h) = \frac{F(x)}{F(o)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

et par suite évaluer les précipitations de diverses fréquences :
1/10 - 1/100 - 1/1000 et annuelle.

A SIHANOUKVILLE, si le nombre de jours des précipitations comprises entre 0 et 5 mm, restent sensiblement constant, le nombre de jours pour lesquels les précipitations sont supérieures à 5 mm croissent d'autant plus que la précipitation annuelle est plus élevée.

3-2 : Les précipitations journalières de fréquence annuelle et décennale expérimentale.

Compte tenu du fait que le Service ne dispose pas de toutes les données originales des précipitations journalières, deux méthodes ont du être utilisées indifféremment pour la détermination des précipitations de durée 24 heures de diverses fréquences (annuelle et décennale)

a) en partant des données originales existantes à chaque station pluviométrique, le classement des précipitations journalières par tranche de 5 en 5 mm a été réalisé pour toutes les années complètes d'observations. Lorsque le nombre d'années était suffisamment grand (supérieur à 30) une étude de la distribution a été faite pour évaluer les valeurs des précipitations de faible fréquence et fait l'objet du paragraphe suivant. Pour les autres stations, les valeurs de fréquences expérimentales annuelles et décennales ont été recherchées à la suite des classements exécutés.

b) en effectuant le classement des valeurs, du maximum mensuel en 24h sur une série d'années, portées dans les registres, on trouve les valeurs expérimentales des fréquences décennales et, par valeurs légèrement inférieures, les valeurs annuelles.

Cette deuxième méthode est acceptable, car les écarts trouvés entre cette valeur et la valeur exacte de la précipitation annuelle pour certains postes sont inférieurs à 2%; des écarts plus importants sont observables pour la précipitation décennale.

.....

Pour les stations étudiées les caractéristiques trouvées sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

	Caractéristiques			Précipitation journalière en mm de fréquence				Max. en l'observé	en l'année
	Po	$\log h$	$\log(\log h)$	1	1/10	1/100	1/1000		
Sihanoukville	0,20	1,51	0,316	165	285	460	680	364	10
Kampot	0,20	1,23	0,352	101	193	325	505	274	47
Pochentong	0,10	1,355	0,266	73	124	188	267	196	53
Pursat	0,14	1,245	0,298	74	128	200	306	164	27
Battambang	0,12	1,302	0,296	79	139	205	325	201	38
Bokor (Voel)	0,3	1,485	0,342	203	362	595	895	375	14
Kampot (19 ann.)	0,20	1,00	0,419	103	200	343	550	274	19
Kompong-Speu	0,20	1,23	0,299	78	130	208	305	154	20

Notons que pour la station de Kampot l'ajustement graphique est de moindre qualité. Avec les 19 années correctes, l'ajustement est meilleur pour les fortes valeurs.

L'ajustement graphique par une loi de GAUSS tronquée dont la variable est $\log h$ a été admis pour les 47 années. L'ajustement est alors plus fidèle et plus particulièrement pour les fortes valeurs.

On verra ultérieurement que l'étude statistique des hauteurs des précipitations de durée 2 jours, 3 jours, 5 jours, 10 jours peut s'effectuer sur le même modèle à cette station.

Données obtenues pour les précipitations journalières à
KAMPOT et KEP

	Maxi. Obs.	N. années	P. annuelle	P 1/10	P 1/100	P 1/1000
KAMPOT	274 mm	47	109 mm	202 mm	328 mm	452 mm
KEP	199	15	112	205	320	435

Pour la station de BOKOR (Val d'Émeraude) pour laquelle on dispose des maximums mensuels en 24h pour une période de 28 ans, le report de ceux-ci classés sur un graphique (précipitation en valeur linéaire en ordonnées et logarithme de l'ordre du classement en abscisses) se présente sous forme de deux demi-droites, l'une pour les valeurs inférieures à 90 mm et l'autre pour les valeurs supérieures. L'écart constant entre P pour les nombres du classement dans le rapport 1 à 10 nous permet d'évaluer les valeurs des faibles fréquences des P, si cet écart conserve cette valeur constante. Pour cette station, l'écart est 160 mm et l'on aurait pour:

P annuelle	:	190 mm
P 1/10	::	370 mm
P 1/100	:	550 mm
P 1/1000	:	730 mm

Ces valeurs sont relativement inférieures aux autres valeurs calculées soit par la courbe tronquée Gausso-Logarithmique des distributions des P journalières soit par la loi de GALTON des précipitations maximum annuelles de 24 heures.

Pour les autres stations, on constate très souvent des points extrêmes supérieurs à la 2ème demi-droite; points qui interdisent toute extrapolation légitime.

Nous avons remarqué lors de l'étude des intensités de 15' en 15' à STHAROUKVILLE que la fréquence de la chute de pluie était à décroissance exponentielle simple; mais, que pour des durées supérieures à 30' il existait deux lois exponentielles.

Pour la station de BOKOR (Val d'Émeraude) située à l'altitude 1075m les remarques précédentes indiqueraient également que la fréquence de la précipitation en 24 heures (supérieure à une certaine valeur) serait à décroissance exponentielle $e^{-\frac{P_{mm} - 190}{78,4}} = f.$

.....

En rapportant les valeurs des précipitations journalières de diverses fréquences à la valeur de la précipitation journalière de fréquence annuelle, les coefficients $\frac{P_{1/10}}{P}$, $\frac{P_{1/100}}{P}$, $\frac{P_{1/1000}}{P}$ prennent des valeurs sensiblement constantes.

$$1,7 < \frac{P_{1/10}}{P} < 1,8 ; \quad 2,6 < \frac{P_{1/100}}{P} < 2,8 ; \quad 3,7 < \frac{P_{1/1000}}{P} < 4,1$$

pour toutes ces stations.

Les coefficients $\frac{P_{1/10}}{P}$ établis expérimentalement, donc très approximativement, varient pour toutes les stations du CAMBODGE de 1,43 pour VOEUNT SAI à 1,86 pour SIEMREAP dont 70% sont compris entre 1,65 et 1,85.

Pour obtenir un ordre de grandeur des précipitations journalières de diverses fréquences, l'emploi de ces coefficients présente un intérêt pratique certain. Toutefois, étant donné le faible nombre des données à la base, une étude complète de la distribution des précipitations journalières est souhaitable pour toutes les stations pluviométriques.

3-4 : Etude statistique des précipitations de durée 2 jours, 3 jours, 5 jours, 10 jours.

Ces différentes durées de chutes de pluies ont été choisies afin de préciser éventuellement les drainages de grandes zones et de déterminer les caractéristiques des précipitations qui tombant en divers points d'un grand bassin versant de plusieurs dizaines de milliers de km² occasionnent les plus fortes crues.

L'analyse statistique complète aurait exigé la détermination des précipitations sur 2-3-5-10 jours pour chaque journée consécutive de l'année. Aussi, pour alléger les calculs, seules ont été prises en compte les précipitations maximum mensuelles pour ces diverses durées, parfois, en utilisant indifféremment soit les données du mois précédent soit celles du mois suivant afin de compléter la période.

On ne retenant que la valeur maximum annuelle de ces précipitations, la distribution de ces valeurs a été étudiée par la loi de GALTON en déterminant la moyenne géométrique G et l'écart géométrique \sqrt{G} de la série.

Pour KOKOR Val d'Emeraude, les caractéristiques déterminées à l'aide de 14 années exprimées en mm, sont :

	G	\sqrt{G}	1/10	1/100	1/1000	en 28 ans Max. Obj
P 21	326	1,393	500	708	909	603
P 31	393	1,406	608	868	1128	395
P 51	518	1,328	745	1002	1246	835
P101	806	1,297	1167	1478	1802	1231
P24h	207	1,332	335	607	806	458

Un essai complet d'étude statistique a été réalisé pour les précipitations de la région de KIEP. Les sommations des précipitations sur 2 jours - 3 jours - 5 jours - 10 jours ont été faites pour les périodes au cours desquelles les précipitations en :

48 h étaient supérieures à 60 mm

3 j étaient supérieures à 90 mm

5 j étaient supérieures à 100mm

et l'on remarque que les fréquences des précipitations de durées ci-dessus sont à décroissance exponentielle.

Pour ces durées, nous avons pour KIEP les relations suivantes:

Durée	Relation	f = 1	f = 0,1	f = 0,01	f = 0,001	Max. en : ans
1 jour	e- P-145 = f 435	145 mm	245 mm	345 mm	445 mm	199 mm
2 jours	e- P-175 = f 48	175	285	395	505	298
3 jours	e- P-220 = f 65	220	370	520	670	351
5 jours	e- P-280 = f 78	280	460	640	820	542
10 jours	e- P-300 = x	300 ^x	530 ^x	760 ^x	990	841 ^(o)

x = Valeurs déduites des précipitations maximum mensuelles de 10 jours.

(o) Valeur douteuse.

La loi de GALTON d'ajustement plus rapide permet d'évaluer les ordres de grandeur des précipitations de diverses durées: 2 jours - 3 jours - 5 jours - 10 jours quand on dispose seulement des maximum annuel.

Ainsi pour KAMPOT on obtient les valeurs suivantes en mm.

KAMPOT	G	\sqrt{G}	P 1/10	P 1/100	P 1/1000	Maxi 36
2 jours	150	1,461	244	363	467	4
3 jours	183	1,354	270	371	486	4
5 jours	227	1,295	316	413	503	49
10 jours	305	1,342	446	604	756	55

x Ces très fortes valeurs furent observées en Mars 1922, la précipitation recueillie en 5 jours est de fréquence 0,001 (durée de retour : 1000 ans). Les précipitations de 2 jours et de 3 jours ont une période de retour de 500 ans environ.

Notons que le classement des précipitations maximum mensuelles de durée 10 jours montre l'existence d'une loi exponentielle et donnerait pour précipitation millénaire 830 mm.

La distribution Gaussienne de \sqrt{VP} appliquée à cette station donne les résultats comparables à ceux de KEP.

KAMPOT	Précipitation en mm de fréquence			
	1	1/10	1/100	1/1000
2 jours	140	260	425	570
3 jours	170	300	493	680
5 jours	195	346	552	770
10 jours	260	475	702	930

Par la loi de GALTON on obtient les résultats suivant pour les stations de :

KOMPONG SPEU	G	\sqrt{G}	P 1/10	B 1/100	P 1/1000	Max. en 23
2 jours	99,6	1,327	143	192	239	209
3 jours	115,5	1,329	167	224	279	244
5 jours	142,7	1,394	219	311	398	284
10 jours	187,5	1,368	260	360	460	341

POCHENTONG	G	\sqrt{G}	P 1/10	P 1/100	P 1/1000	Maximum 53 ans
2 jours	99,2	1,330	147	204	253	205
3 jours	110,7	1,361	164	228	288	265
5 jours	137,5	1,309 ^{1,365}	194 ²⁰⁵	257 ²⁸³	316 ³⁶⁰	335
10 jours	188,6	1,402	291	414	535	356

STUNG TRENG	G	\sqrt{G}	P 1/10	P 1/100	P 1/1000	Maximum 28 ans
2 jours	124,1	1,319	177	237	292	216
3 jours	150,8	1,273	205	264	320	246
5 jours	180,1	1,269	245	314	378	326
10 jours	254,9	1,358	349 ³⁷⁹	427 ⁵²³	499 ⁶⁶⁵	412

BATTAMBANG	G	\sqrt{G}	P 1/10	P 1/100	P 1/1000	Maximum 38 ans.
2 jours	110	1,391	168	238	306	253
3 jours	130	1,368	194	270	340	293
5 jours	163	1,384	246	347	445	362
10 jours	208,5	1,387	316	447	573	453

Le classement par ordre décroissant des maximum annuels des précipitations de même durée permet par report graphique d'ajuster graphiquement une loi exponentielle de la fréquence de ces précipitations.

Les résultats obtenus pour les stations de BATTAMBANG, POCHENTONG, PURSAT, STUNG TRENG et KOMPONG SPEU sont portés dans les tableaux ci-dessous:

.....

Loi exponentielle

<u>BATTAMBANG</u>	A	P 1/10	P 1/100	P 1/1000	Maximum 38 années
2 jours	95	182	264	346	253
3 jours	109	212	335	418	299
5 jours	140	250	390	530	362
10 jours	180	311	500	680	453

<u>POGHENTONG</u>	P 1/10	P 1/100	P 1/1000	Maximum 53 années
2 jours	155	230	305	205
3 jours	180	275	370	265
5 jours	223	336	453	335
10 jours	299	424	549	356

<u>PURSAT</u>	A	P 1/10	P 1/100	P 1/1000	Maximum 31 années
2 jours	90	155	220	285	179
3 jours	102	177	252	327	196
5 jours	125	220	315	410	261
10 jours	162	282	402	522	345

<u>STUNG TRENG</u>	A	P 1/10	P 1/100	P 1/1000	Maximum 28 années
2 jours	106	200	300	400	216
3 jours	135	215	325	435	246
5 jours	160	235	365	500	326
10 jours	223	348	483	618	412

<u>KOMPONG SPEU</u>	A	P 1/10	P 1/100	P 1/1000	Maximum 23 années
2 jours	98	140	220	300	209
3 jours	110	172	265	370	244
5 jours	128	238	348	458	284
10 jours	174	284	440	600	340

Les résultats obtenus présentent de gros écarts selon la loi appliquée : loi de GALTON ou loi exponentielle mais principalement d'ailleurs pour les stations pluviométriques protégées de la mousson par des montagnes ou éloignées des zones côtières. La loi de GALTON donne toujours des valeurs inférieures à celles déduites de la seconde loi pour les précipitations de durée inférieure à 5 jours.

Avec un nombre d'années suffisamment grand d'années $N > 50$, la loi exponentielle ajustée graphiquement est suffisamment précise pour obtenir des valeurs caractéristiques soit à l'aide des maximum mensuels soit à l'aide des maximum annuels.

Les résultats présentés donnent les ordres de grandeurs des valeurs de diverses fréquences. Il nous semble que les valeurs déduites de la loi exponentielle (la fréquence de la précipitation est une fonction exponentielle de cette dernière : $f(p) = e^{-\frac{P - P_0}{a}}$ présentent une plus grande concordance et peuvent être acceptées comme les plus valables)

Pour toutes les stations non étudiées, les analyses permettraient de suivre la variation spatiale des coefficients entre précipitations de diverses fréquences et de même durée.

En première approximation, un ordre de grandeur des valeurs de ces coefficients pour les durées de 5 et 10 jours serait de :

$$\begin{array}{ll} 1,7 \text{ à } 1,9 & \text{pour } \frac{P \ 1/10}{PA} \\ 2,3 \text{ à } 2,8 & \text{pour } \frac{P \ 1/100}{PA} \\ 3,0 \text{ à } 3,3 & \text{pour } \frac{P \ 1/1000}{PA} \end{array}$$

.....

Séquences pluvieuses et maximisation.

Au cours de la saison pluvieuse, les précipitations ne sont pas des événements totalement indépendants les uns des autres, au contraire un phénomène de persistance non négligeable affecte leurs occurrences. On constate aisément, à la consultation des relevés journaliers, que les précipitations sont groupées en séries plus ou moins longues séparées par des accalmies de durée variable.

Le déplacement plus ou moins régulier et plus ou moins rapide des masses d'air, qui conditionne le maintien d'un certain type de temps, est responsable de l'occurrence des précipitations groupées en séries plus ou moins longues. Les phases pluvieuses importantes ont été retenues pour une même station, et les hyétogrammes de chacune d'elles ont été composés de manière à faire coïncider chaque fois le jour du maximum de précipitation. Ainsi on peut définir pour chaque station un hyétogramme enveloppe donnant la forme la plus rare que puisse revêtir une séquence pluvieuse sous l'angle des hauteurs journalières.

Les hyétogrammes "enveloppes" définis pour chaque station sont portés dans le tableau ci-joint. En comparant les valeurs maximum obtenues pour les précipitations de durée 5 jours et 10 jours à celles déterminées par la loi de distribution on constate que, pour des durées de 10 à 20 années d'observations, le hyétogramme enveloppe définit sensiblement les ordres de grandeur de la précipitation millénaire; pour un plus grand nombre d'années (N=50) les valeurs définissent approximativement le maximum possible de la suite des intensités journalières à chacune des stations pluviométriques étudiées.

.....

Pour KAMPOT et KOMPONG SPEU l'étude des précipitations mensuelles du mois le plus pluvieux Juillet à Kampot et Octobre à Kompong-Speu par la loi Gausso-logarithmique donne respectivement comme valeur millénaire de la précipitation: 1320 mm et 610 mm; valeurs comparables à celles trouvées: 1038 mm et 636 mm ou à celles déduites de l'étude des P 1/1000 en 10 jours; 937 et 600 mm ce qui représente comme convenable, les résultats obtenus par cette méthode artificielle mais surtout pratique.

Les inégalités du nombre d'années d'observations utilisées pour l'élaboration interdisent toutes correspondances entre ces différentes valeurs. A la suite de cette analyse précisant les valeurs maximales des précipitations d'une séquence pluvieuse en chaque station, on remarque que ces phases pluvieuses importantes varient d'une manière sensible avec la situation des stations.

Pour la zone maritime, le versant Ouest des Cardamomes, les valeurs de ces phases sont deux à trois fois plus importantes que celles de la zone centrale plus continentale du Cambodge, protégée des vents Sud-Ouest, zone relativement homogène.

Certaines phases pluvieuses ont une très grande extension spatiale (plusieurs dizaines de milliers de km²) et durent quelques jours seulement (3 à 6 jours).

Les cartes ci-jointes présentent les chutes de pluies recueillies au cours des 3 journées consécutives de la période 1 au 5 Octobre 1960 et de 24 heures de la période du 21 au 25 Mars 1922.

Bien que les données observées ne soient pas toutes utilisées puisque non centralisées, il ressort de ces cartes que l'extension de ces séquences pluvieuses peut atteindre 50.000 km². Pour étudier valablement sur différentes surfaces de bassins versants la variation de la

hauteur moyenne des précipitations en fonction de la durée de la pluie et de la fréquence de celle-ci, il serait nécessaire de disposer de toute une série complète de cartes isohyètes générales ce qui n'est pas le cas. Cependant, pour l'étude des crues maximum, engendrées par des chutes de pluies exceptionnelles, il est possible d'apprécier avec bon sens la valeur de la précipitation moyenne sur le bassin envisagé. Compte tenu qu'en chaque station pluviométrique : les rapports entre les précipitations sont sensiblement constants, les corrélations entre les précipitations journalières et les précipitations annuelles existent et que l'extension des séquences pluvieuses atteint 50.000 km², il est concevable de penser que la précipitation moyenne sur les bassins versants inférieurs à 20.000 km² obtenue à partir des précipitations de fréquence donnée à chacune des stations pluviométriques de ce bassin est bien représentative du bassin pour cette fréquence et ce, d'autant plus que la fréquence est faible. D'autre part, la précipitation moyenne ainsi calculée rapportée à l'une de celle d'un poste du bassin reste sensiblement égale à la précipitation moyenne annuelle du bassin rapportée à la précipitation moyenne annuelle de cette station.

.....

HYETOGRAMME ENVELOPPE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P	P	Nb d'années
											51	10 j	
ot	79	65	102	102	274	185	66	39	67	50	729	1038	36
	93	70	116	76	63	95	199	115	57	113	579	997	17
noukville	60	95	64	153	364	154	116	105	126	31	892	1318	10
in Maritime	115	114	160	179	453	314	138	114	126	192	1174	1905	19
r (ville)	89	165	102	205	376	185	142	114	111	232	1033	1721	12
entong	66	54	64	57	194	87	56	51	50	69	458	748	56
ambang	50	84	71	70	201	80	95	67	45	71	529	834	40
at	43	62	64	41	80	164	54	46	67	39	411	660	28
ong-Speu	55	49	47	92	41	47	53	184	61	37	387	636	23
g Treng	78	63	80	84	53	186	59	96	59	34	466	792	28
reap	67	43	57	62	81	183	90	58	59	67	474	773	31
ng Yai	256	144	166	157	116	297	353	178	220	117	1165	2004	12
	96	133	121	81	141	125	341	90	98	180	834	1306	13

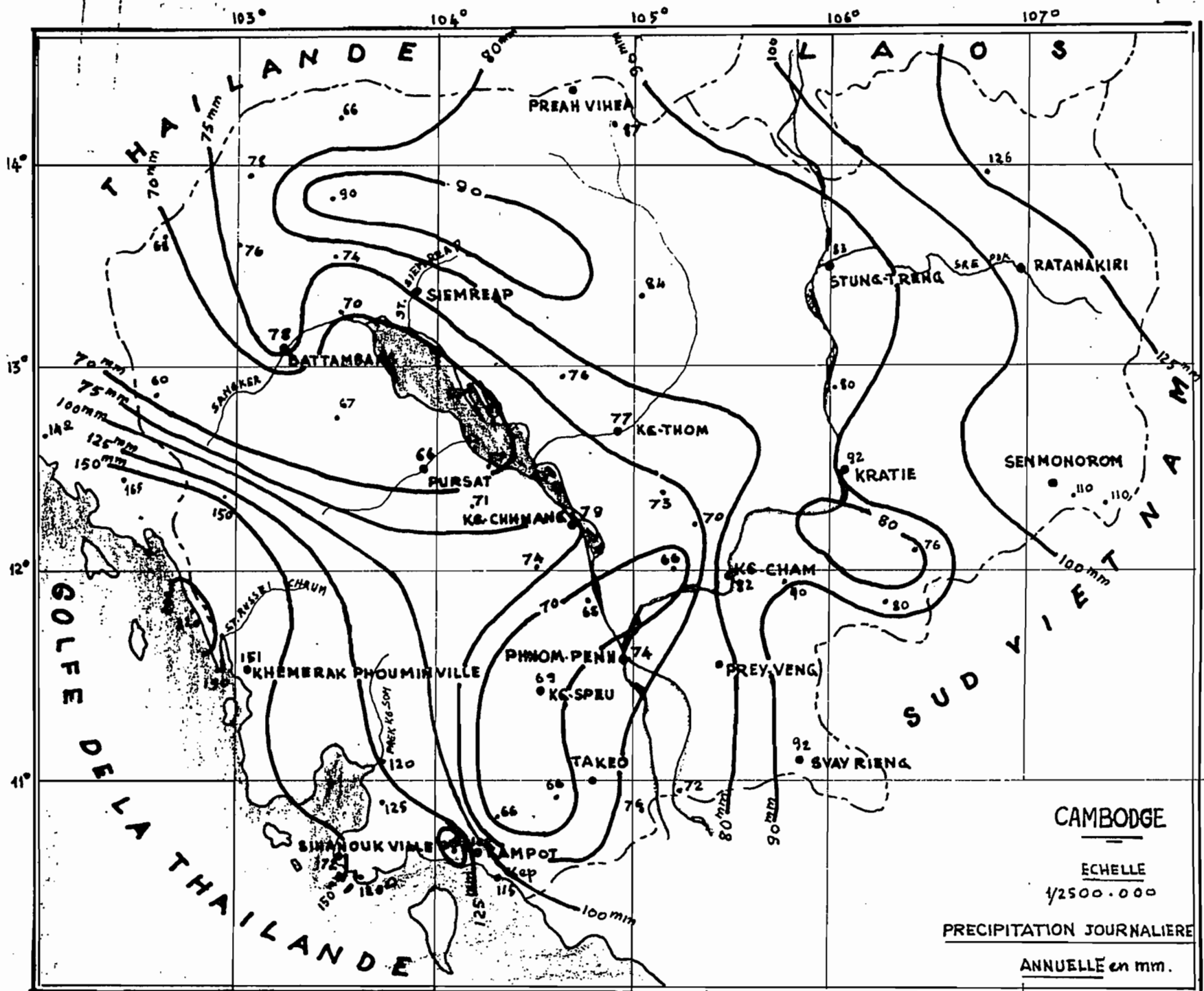
CONCLUSIONS.

Cependant, pour éviter un ajustement plus ou moins arbitraire la loi de GUMBEL permet de réaliser un ajustement correct tout en donnant les mêmes ordres de grandeur.

Pour la distribution des précipitations annuelles la loi de GUMBEL et la loi simple $f(p) = e^{-\frac{P - P_0}{a}}$ donnent des valeurs de même ordre de grandeur. La loi de GALTON et celle de GAUSS présentent des valeurs de précipitations nettement sous estimées pour les faibles fréquences.

En résumé, tous ces essais tendent à prouver que la loi simple $f(p) = e^{-\frac{P - P_0}{a}}$ s'adapte relativement bien à l'étude statistique des précipitations de diverses durées allant de 15' à 1 an.

Cette étude, d'homogénéisation des données, permet par l'exploitation statistique de celles-ci de définir certaines caractéristiques pluviométriques communes à chacune des stations étudiées et par la même d'estimer certaines valeurs à d'autres stations dont on connaît seulement la situation et quelques valeurs remarquables.

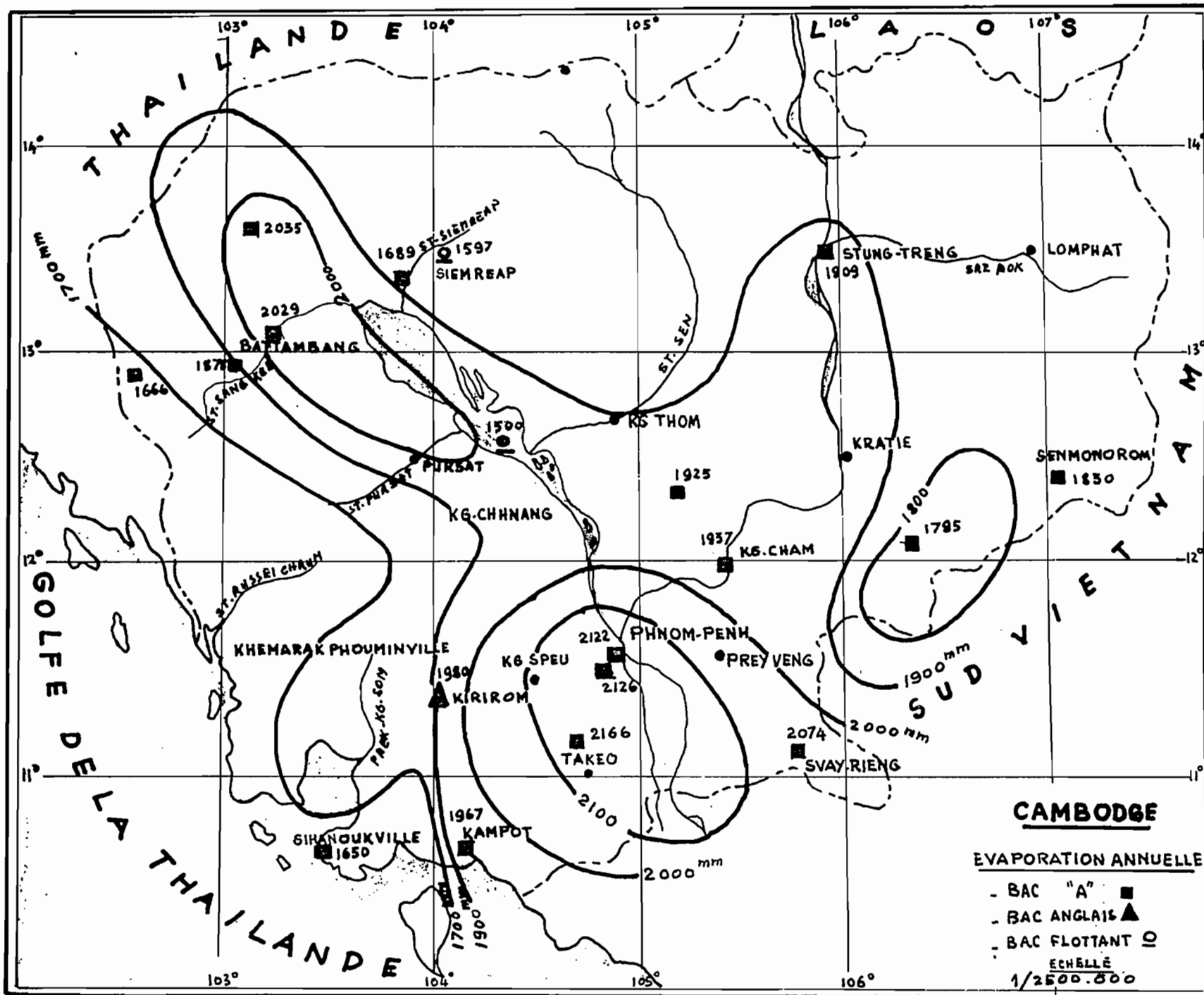


CAMBODGE

ECHELLE
1/2500.000

PRECIPITATION JOURNALIERE

ANNUELLE en mm.



103° 104° 105° 106° 107°

14° 13° 12° 11°

THAILANDE
 GOLFE DE LA THAILANDE

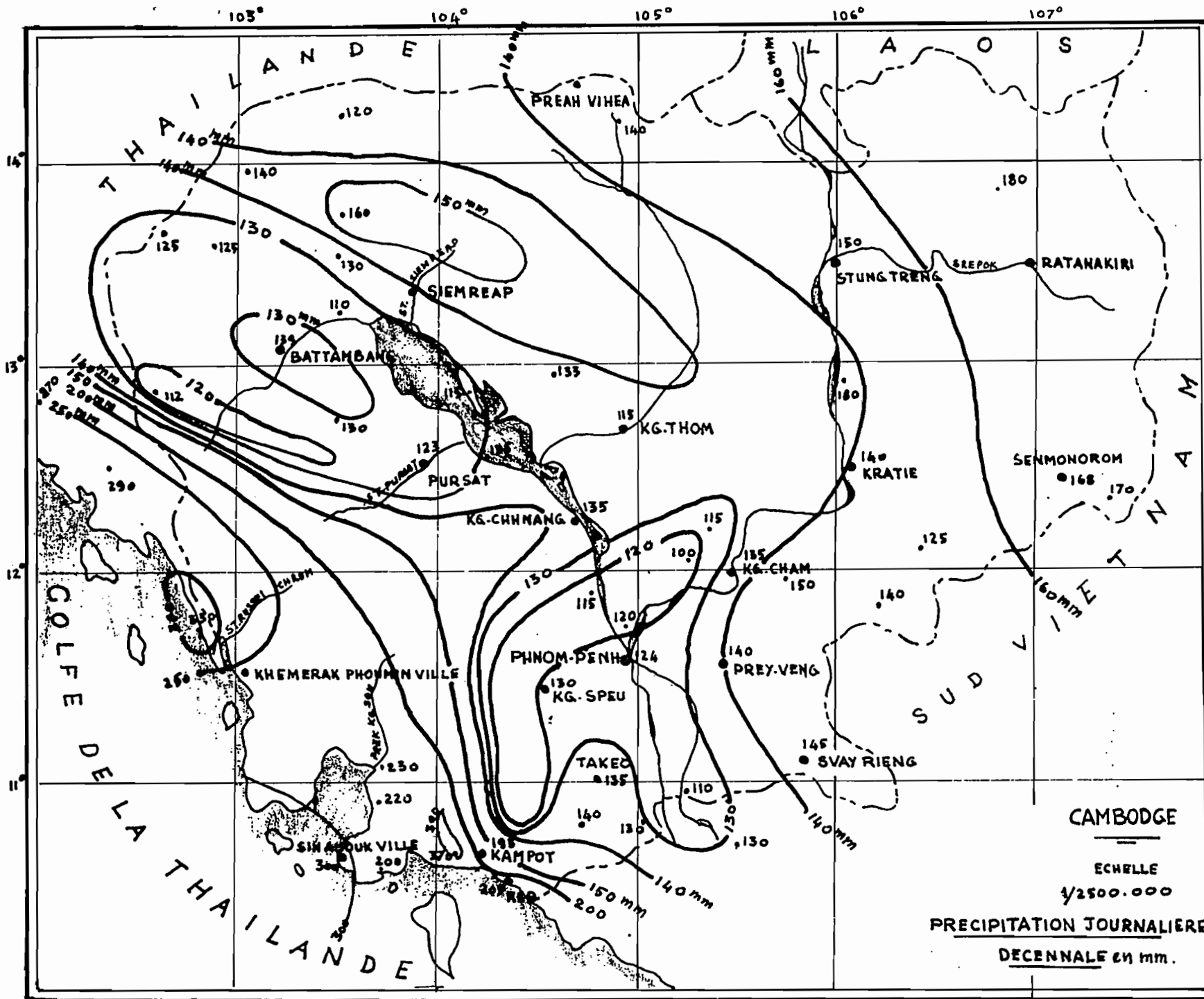
LAOS

VIETNAM

103° 104° 105° 106°

1700 mm, 1800 mm, 1900 mm, 2000 mm

ST. SIEMREAP, SIEMREAP, ST. SEN, ST. SANGKHE, ST. PARSAT, ST. ASSEL CHAM, PHNOM-PENH, KRATIE, SENMONOROM, SVAY-RIENG, KAMPOT, KHEMARAK PHOUMINVILLE, KIRIROM, TAKEO, K6 CHHANG, K6 SPEU, K6 CHAM, STUNG-TRENG, LOMPHAT, SRE AOK, K5 THOM, 2035, 2029, 1666, 1877, 1689, 1597, 1500, 1925, 1937, 2122, 2126, 2166, 2074, 1980, 1967, 1650, 1590, 1795, 1830, 1900, 2100, 2000



CAMBODGE

ECHELLE
1/2500.000

PRECIPITATION JOURNALIERE
DECENNALE en mm.

PRECIPITATIONS · DUREES DE FREQUENCE ANNUELLE

150mm

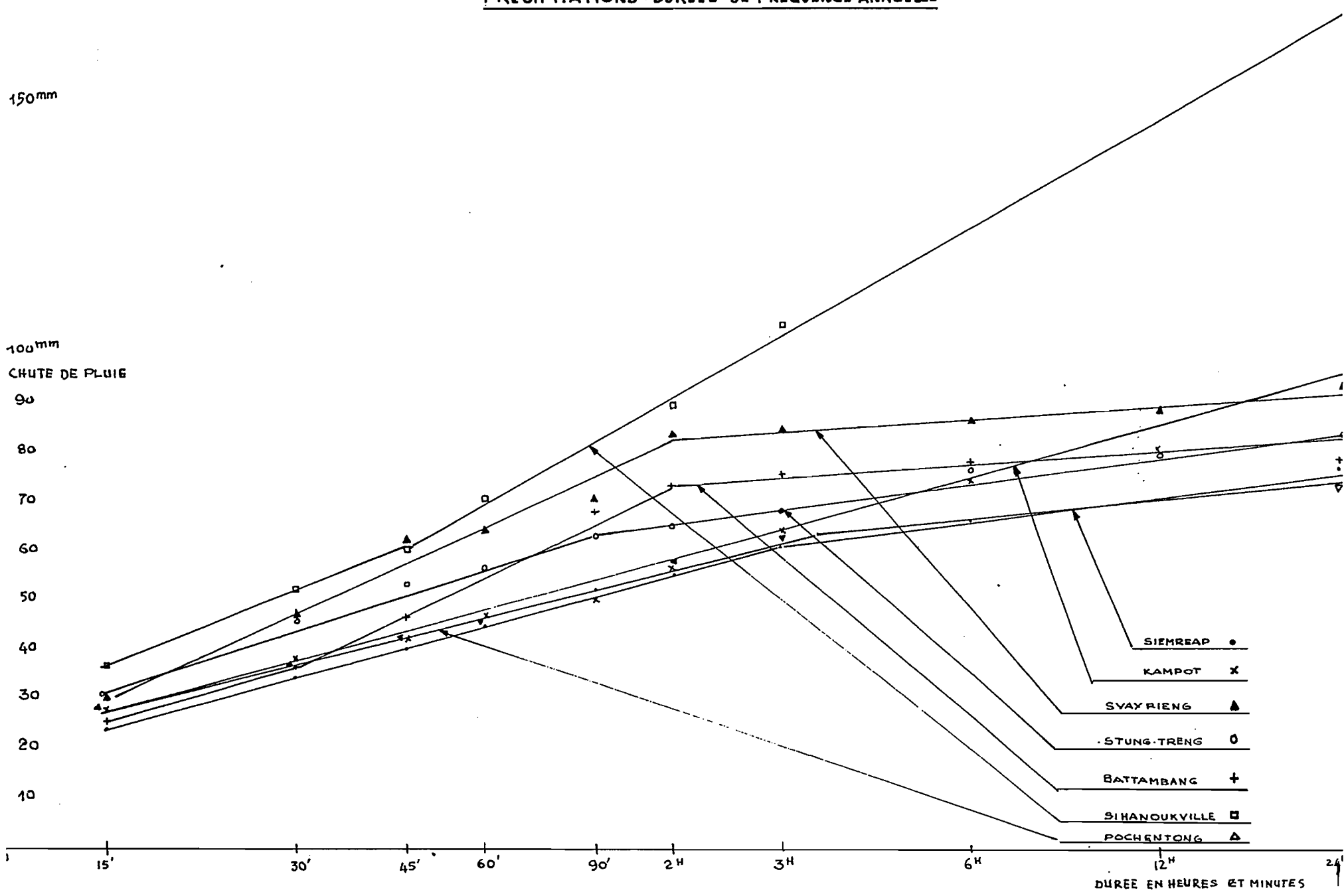
100mm
CHUTE DE PLUIE

90
80
70
60
50
40
30
20
10

15' 30' 45' 60' 90' 2^H 3^H 6^H 12^H 24^H

DUREE EN HEURES ET MINUTES

- SIEMREAP ●
- KAMPOT x
- SVAY RIENG ▲
- STUNG TRENG ○
- BATTAMBANG †
- SIHANOUKVILLE □
- POCHENTONG ▽



RELATION PRECIPITATION JOURNALIERE ANNUELLE
EN FONCTION HAUTEUR ANNUELLE MOYENNE

PRECIPITATION
 - JOURNALIERE EN MM.
 DE FREQUENCE ANNUELLE

150^{mm}

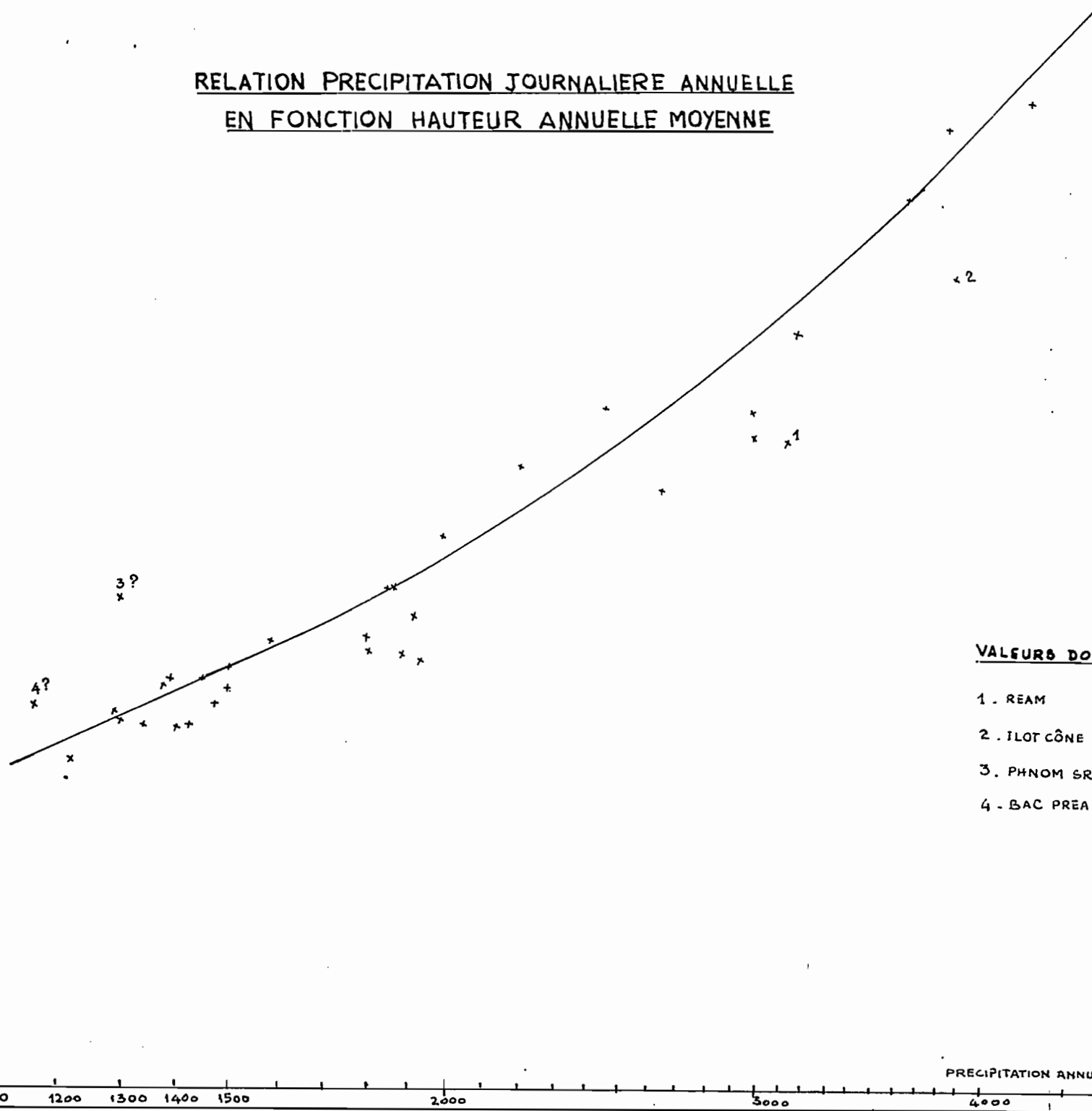
100^{mm}

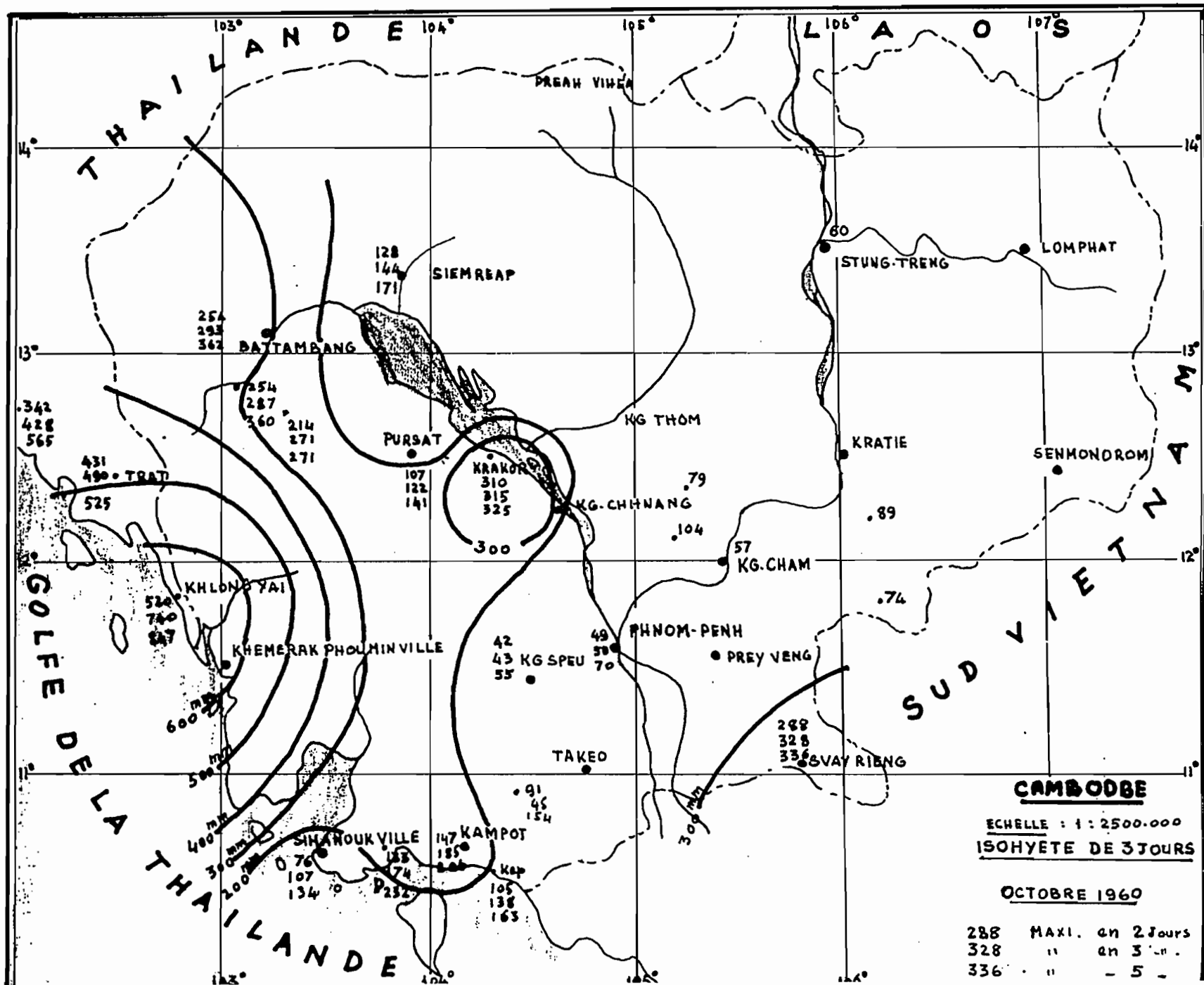
50^{mm}

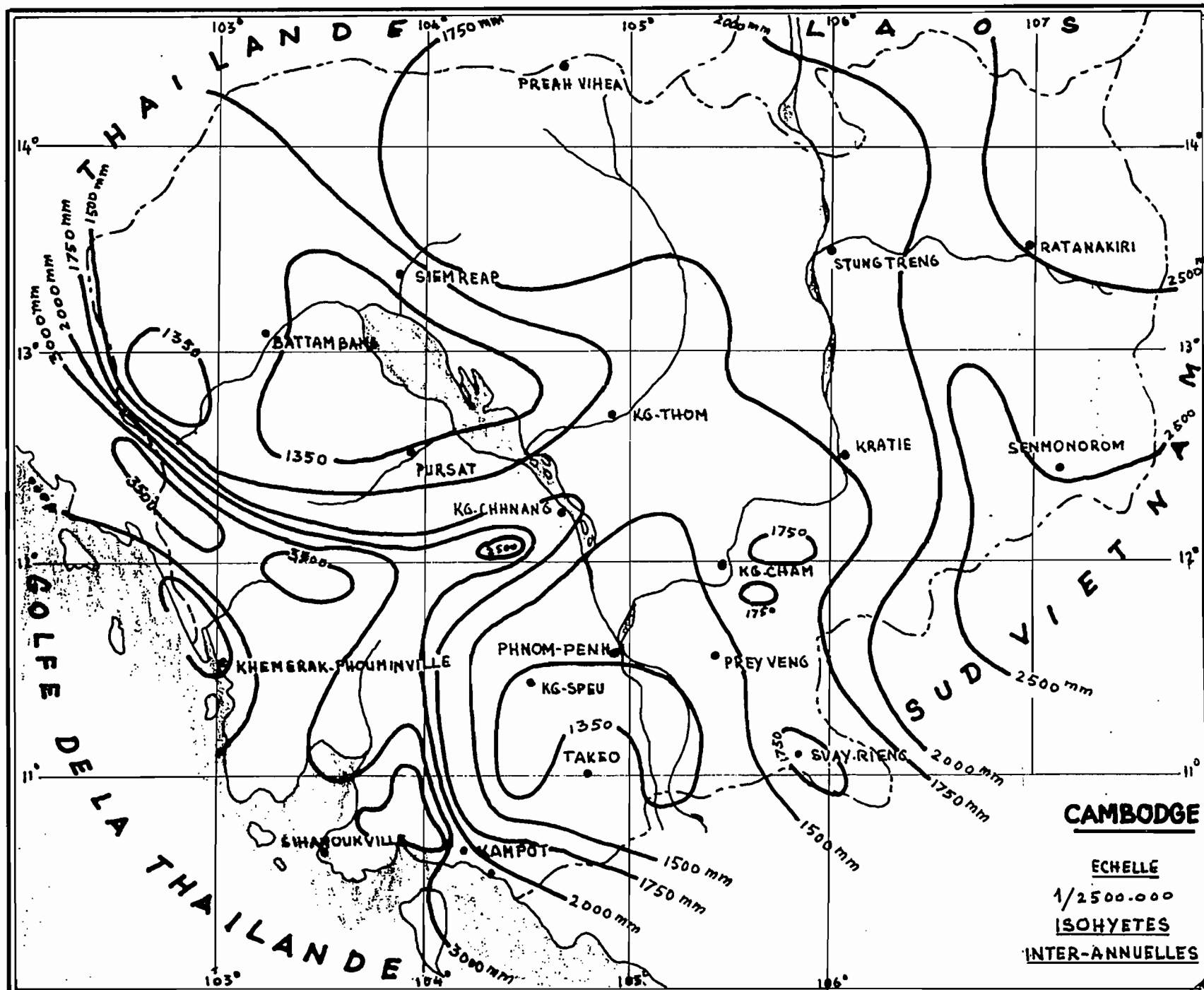
900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 2000 3000 4000 5000

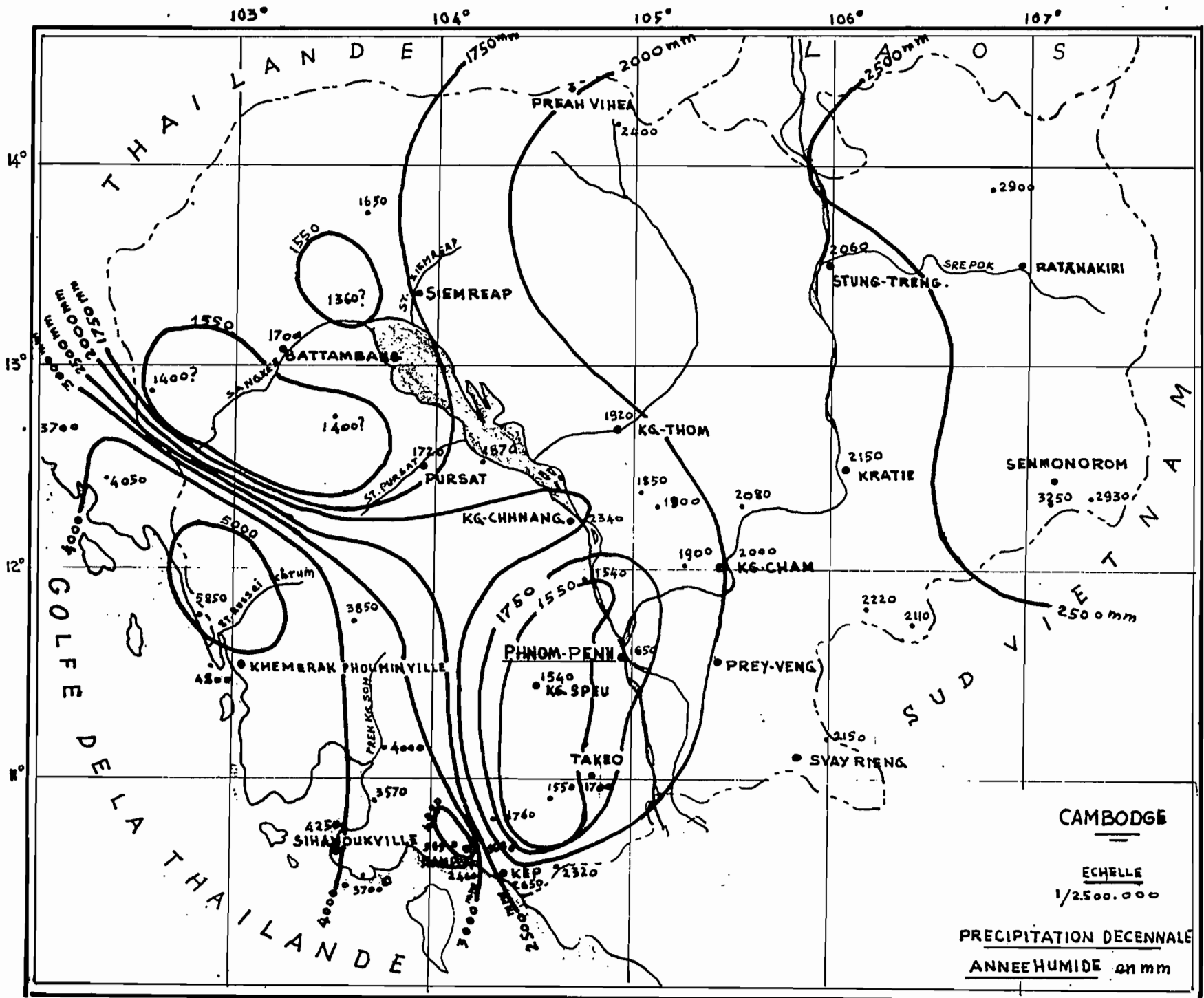
VALEURS DOUTBUSES

- 1. REAM
- 2. ILOT CÔNE
- 3. PHNOM SROK
- 4. BAC PREA







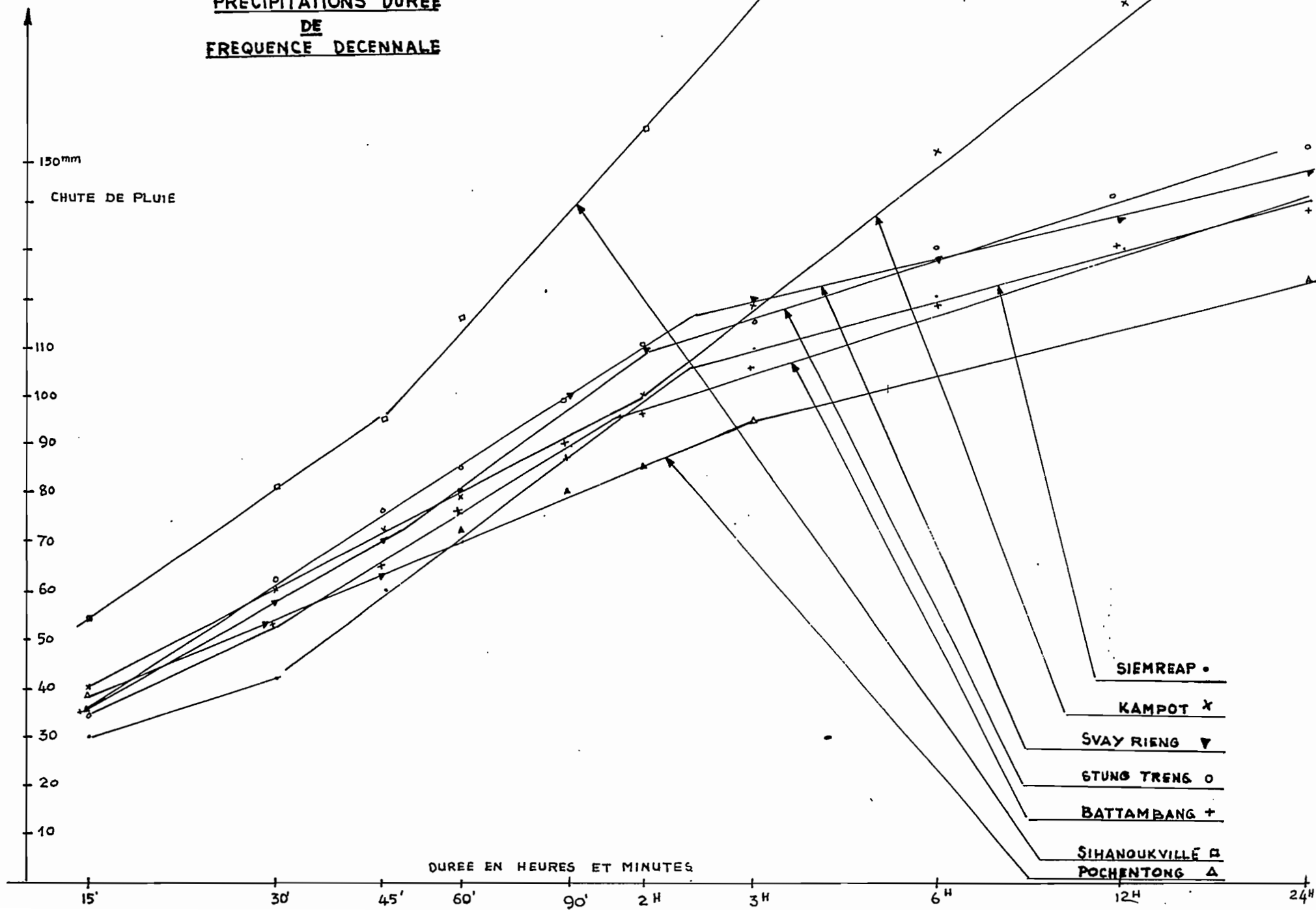


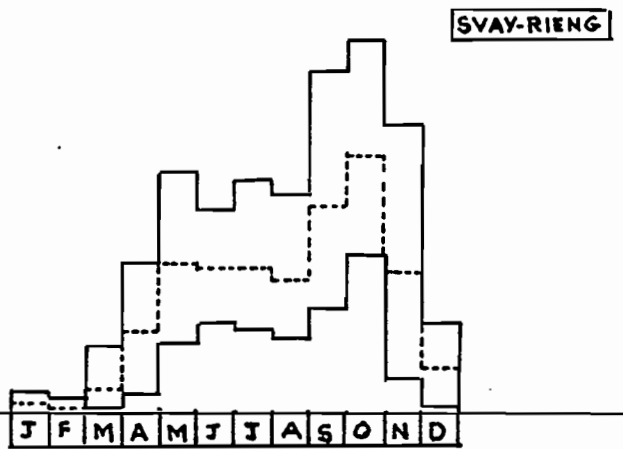
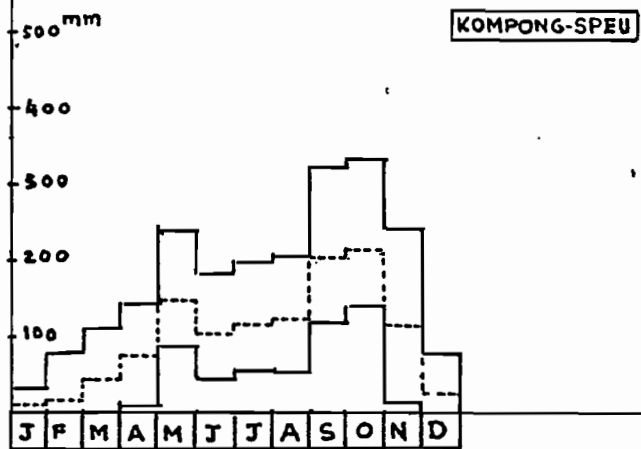
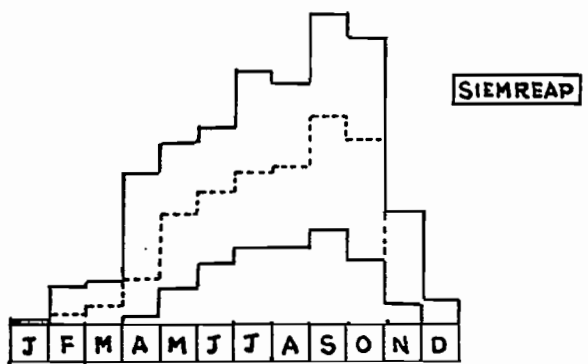
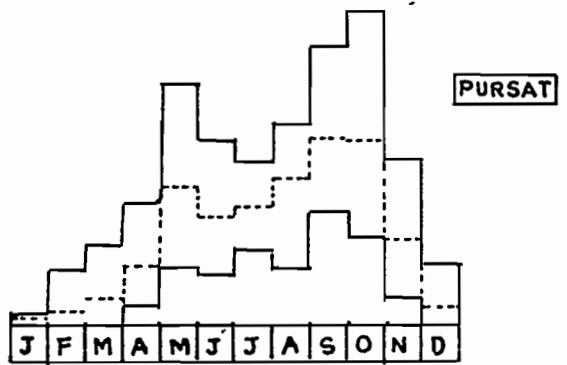
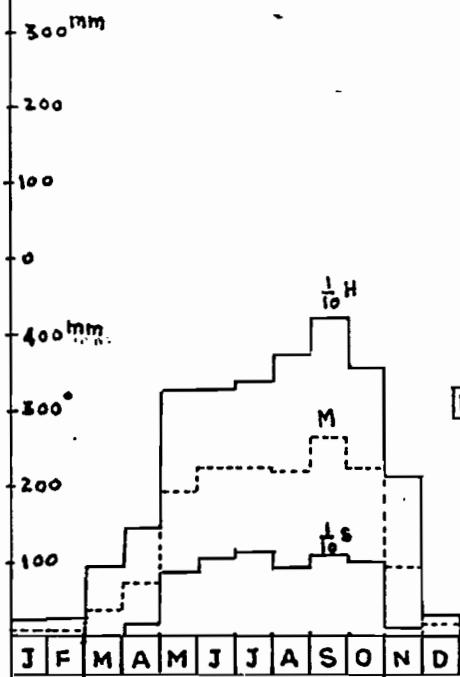
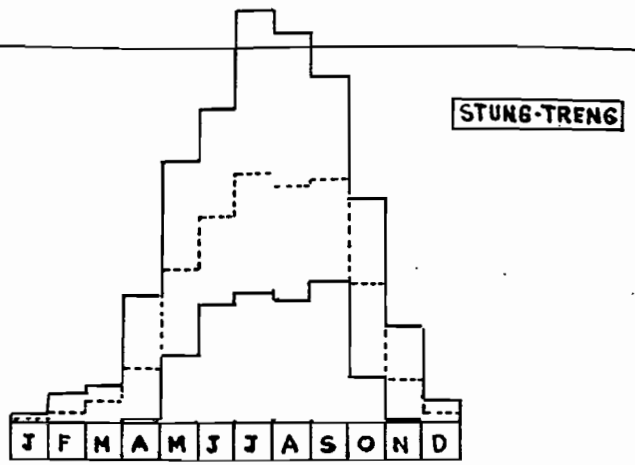
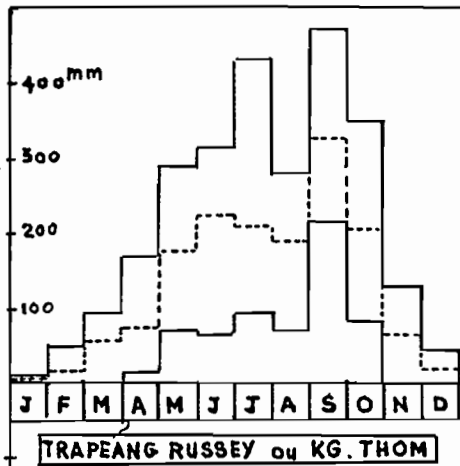
CAMBODGE

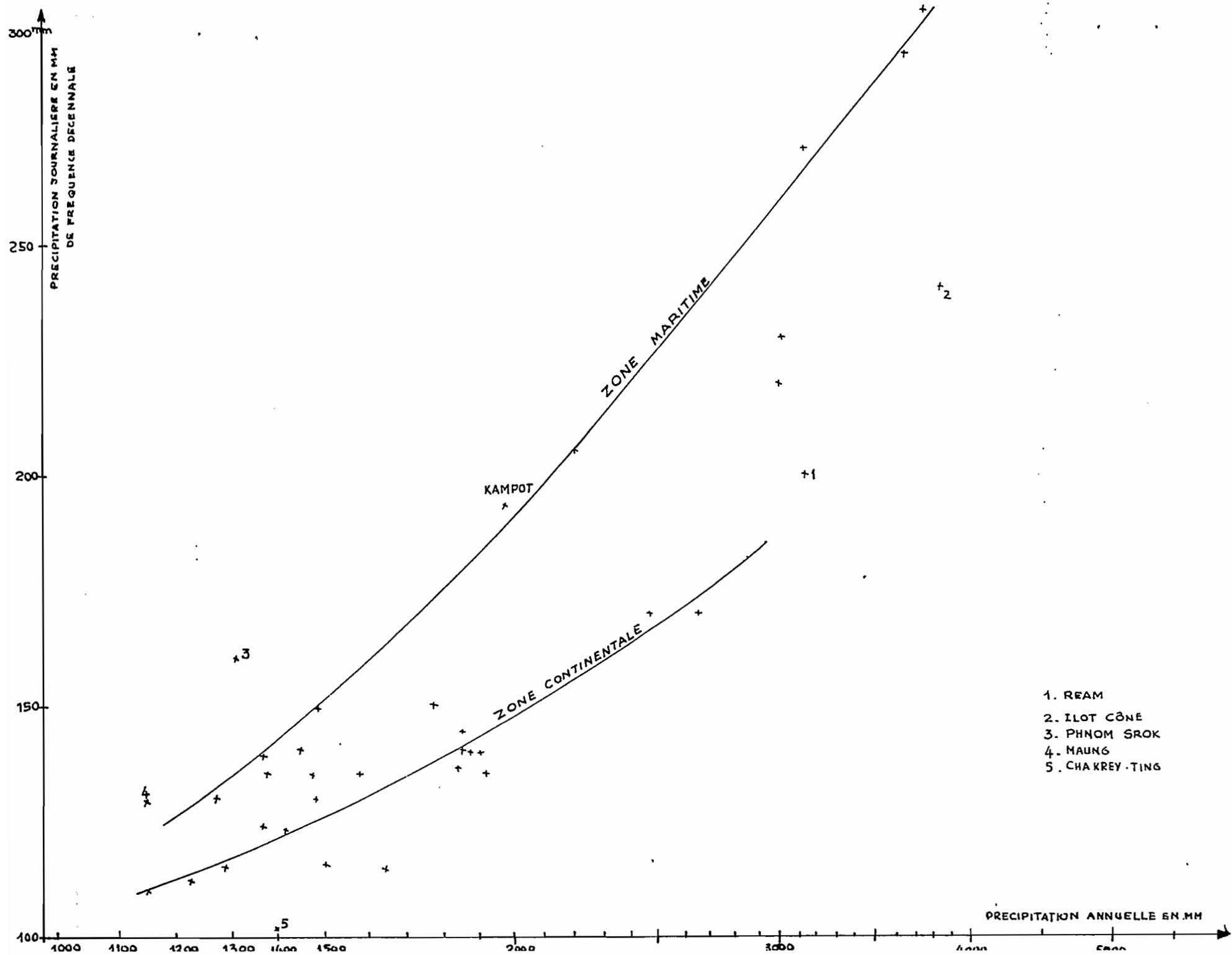
ECHELLE
1/2.500.000

PRECIPITATION DECENNALE
ANNEE HUMIDE en mm

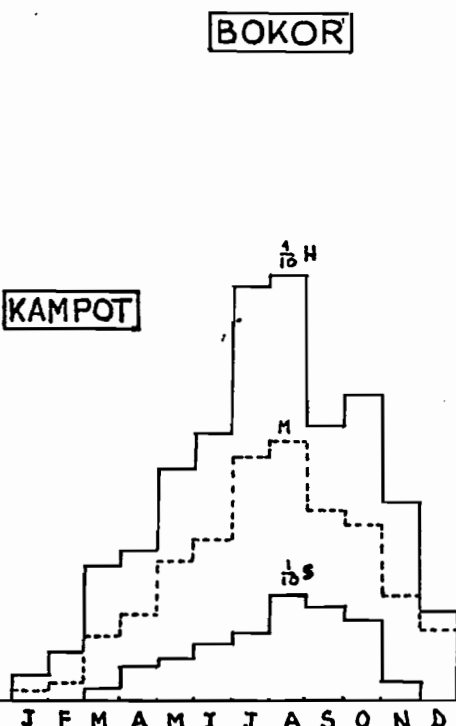
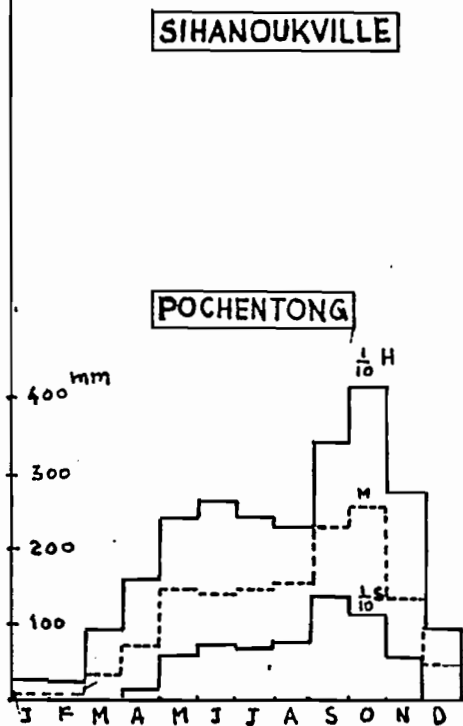
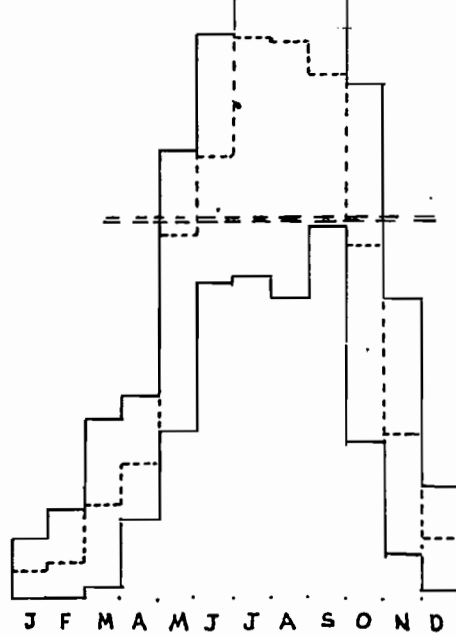
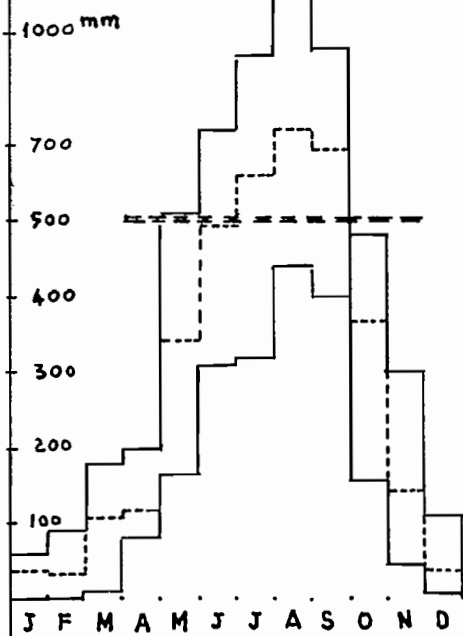
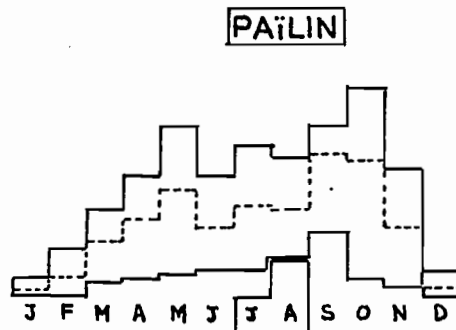
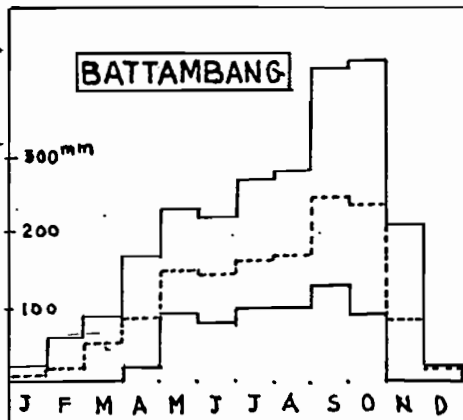
**PRÉCIPITATIONS DUREE
DE
FREQUENCE DECENNALE**



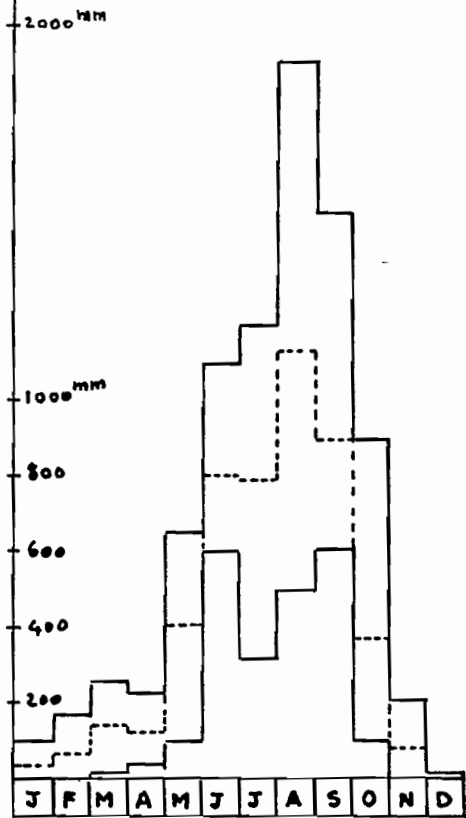




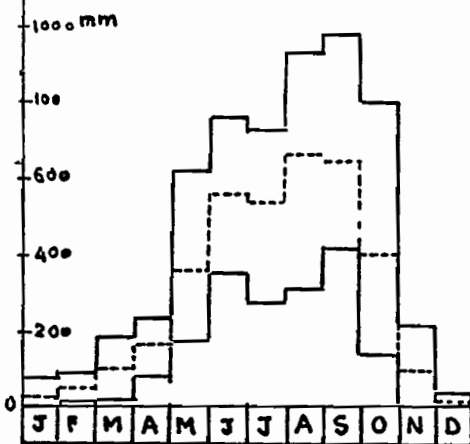
VARIATION DES PRECIPITATIONS MENSUELLES



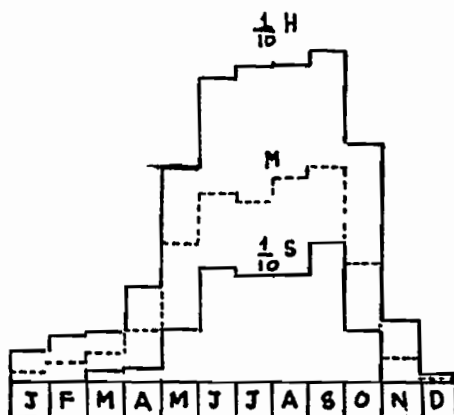
KHLONG YAI

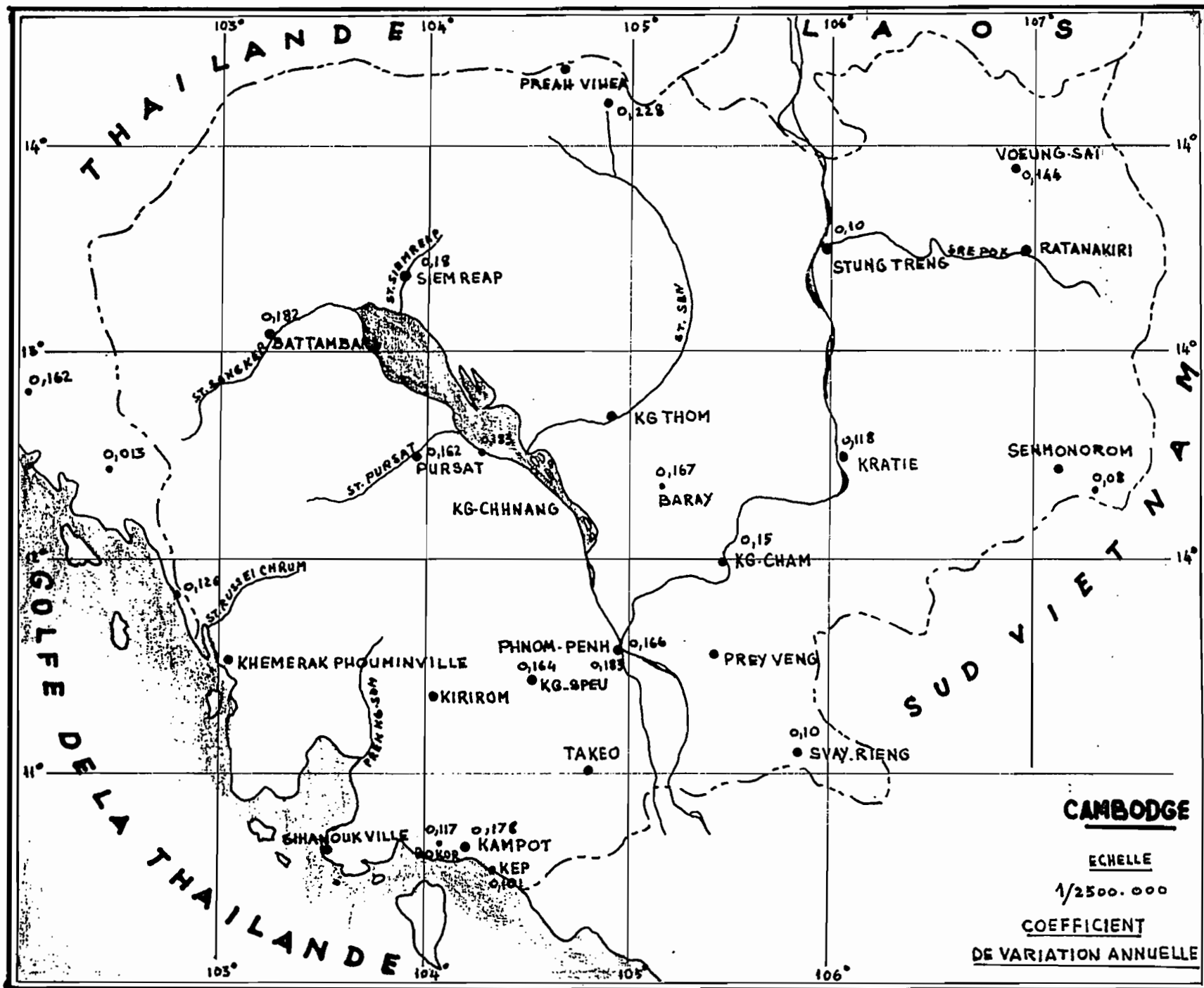


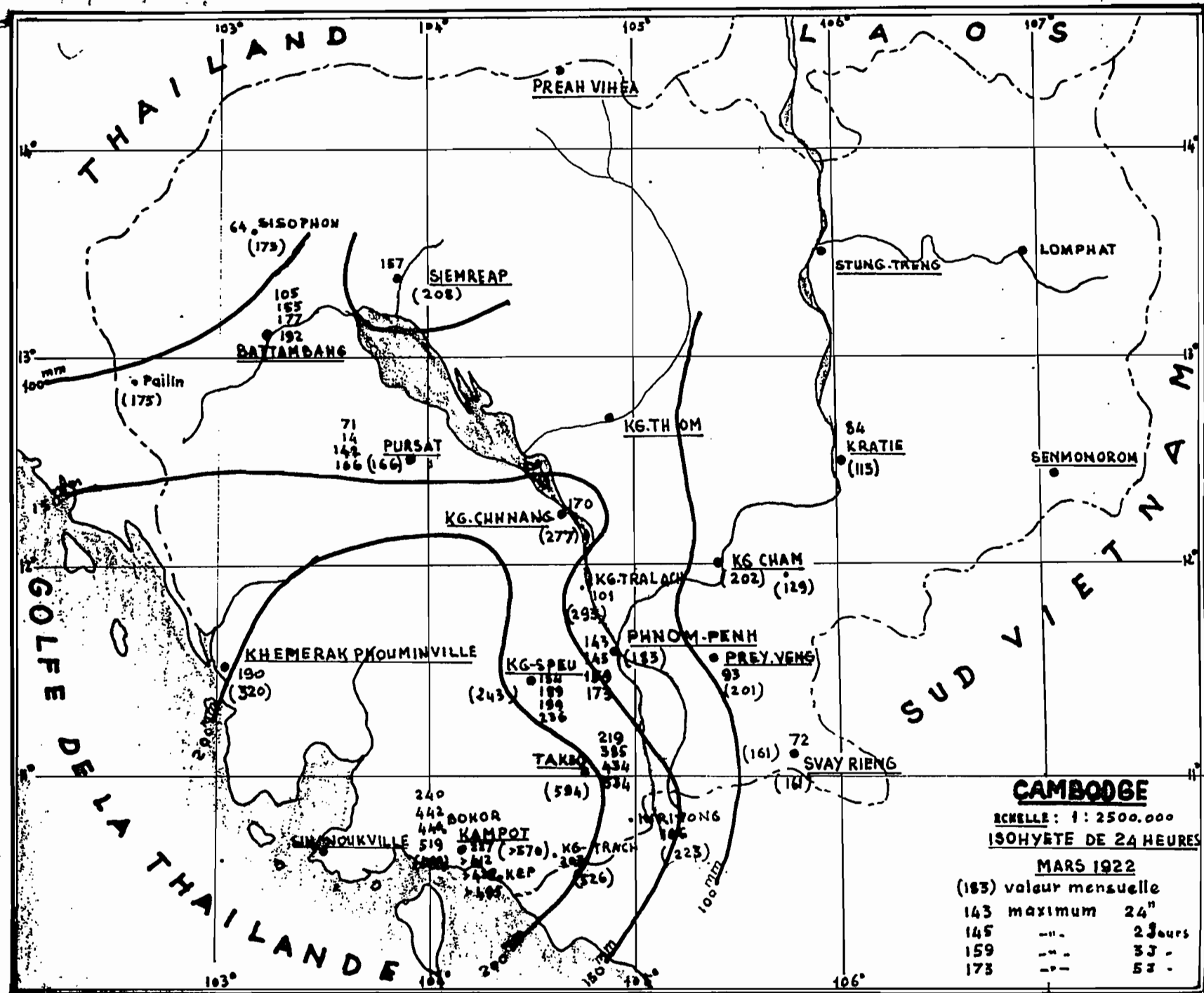
TRAT



CHANTABURI







THAILAND LAOS

13°
100 mm
Pailin (175)

64 SISOPHON (175)
105
185
177
192
BATTAMBANG

157 SIEMREAP (208)

PREAH VIHEA

STUNG TRENG LOMPHAT

71
14
142
186 (166)
PURSAT

KG. TH OM

84 KRATIE (115)

SEN MONOROM

170
(277)
KG. CHHNANG

KG. CHAM (202) (129)

GOLFE DE LA THAILANDE

190
(320)
KHEMERAK PHOUMINVILLE

101
(293)
KG. TRALACH

143
(183)
PHNOM-PENH

93
(201)
PREY VENG

154
180
189
194
236
(243)
KG. SPEU

219
385
434
(584)
TAKHEA

72
(161)
SVAY RIENG

240
442
444
519
(588)
SINGBOUKVILLE
BOKOR
KAMPOT
KEP
(526)

105
(223)
KG. TRACH
NORIBONG

103° 104° 105° 106° 107°

SUD VIETNAM

STATION PLUVIOMETRIQUE = KOMPONG CHAM

COORDONNEES = LAT 12°00

BASSIN VERSANT = MEKONG

Hautours exprimées en mm

ALTITUDE = LONG 105°28
19

PERIODE = 1928-1944, 1949-66	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	ANNEE
Maximum observé	64	108	113	167	392	428	354	469	454	543	290	101	2047
Valour 10%	25	24	100	145	330	340	340	350	415	355	200	35	1920
20%	7	12	55	125	275	290	310	273	365	270	160	25	1799
40%	2	3	22	86	220	220	230	242	325	220	90	14	1620
60%	0	0	8	59	180	190	190	190	214	170	60	4	1534
80%	0	0	0	25	120	133	126	160	180	128	20	0	1345
90%	0	0	0	15	84	105	110	95	85	96	10	0	1255
Minimum observé	0	0	0	1	61	87	68	39	74	82	4	0	1145
Médiane	1	1	13	75	195	205	217	224	245	208	75	8	1541
Moyenne	7	10	27	74	200	215	216	219	267	224	90	11	1545

Hautour d'eau recueillie pour des durées continues de

Hautour d'eau relevé pour des durées continues de

Période 1929-1966	1jour	2jours	3jours	5jours	10jours	Période 1961-1966	15minutes	30	45minutes	1heure	2heures	3heures
Maximum observé	1756	1955	2408	2930	3676	Maximum observé	32	60	74	75	104	114
Hautour annuelle	86	97	115	143	178	Hautour annuelle	25	40	46	51	58	60
Hautour décennale	140	155	185	216	302	Hautour décennale	34	62	75	80	100	115
Hautour centenaire	210	250	297	332	446							
Hautour millénaire	280	370	415	450	590							

280 e-f 350 e-vr

STATION PLUVIOMETRIQUE =

COORDONNEES = LAT 12°23'

BASSIN VERSANT = ~~TAZE~~ ^{SAP} STONE CHINIT Hautours exprimées en mm

ALTITUDE = LONG 105°04' 12m

PERIODE = 1926-1942-1951-1966	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	ANNEE
Maximum observé	71	126	90	228	316	535	478	484	629	484	770	218	2098
Valour 10%	20	80	87	150	305	320	320	320	420	320	140	60	1250
20%	2	29	68	120	270	330	290	315	395	290	110	40	1675
40%	0	30	43	85	216	250	230	235	315	200	68	9	1571
60%	0	0	25	63	170	175	165	190	250	140	37	0	1420
80%	0	0	0	20	130	120	129	123	200	123	12	0	1330
90%	0	0	0	6	56	90	60	115	155	70	3	0	1200
Minimum observé	0	0	0	5	30	82	35	27	107	58	0	0	995
Médiane	0	0	35	68	200	200	190	215	275	165	42	2	1420
Moyenne	4	15	35	72	173	207	205	222	282	194	55	22	1486

Hauteur d'eau recueillie pour des durées continues de

Hauteur d'eau relevée pour des durées continues de

Période 24 années	1jour	2jours	3jours	5jours	10jours	Période	15minutes	30	45minutes	1heure	2heures	3heures
Maximum observé	135	175	199	241	308	Maximum observé						
Hauteur annuelle	74	92	110	144	182	Hauteur annuelle						
Hauteur décennale	126	160	197	200	240	Hauteur décennale						
Hauteur centenaire	195	35	45	45	136							
Hauteur millénaire	245	105	55	32	55							

STATION PLUVIOMETRIQUE = SIEMREAP
 BASSIN VERSANT = STUNG ~~SABONREAP~~

COORDONNEES = LAT 13°22'
 LONG 103°51'
 ALTITUDE = 15m

Hautours exprimés en mm

PERIODE = 1928 - 1966	Jan	Fev	Mars	Lvr	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	ANNEE
Maximum observé / 47 années	16	124	203	310	348	323	389	374	575	596	323	157	1999
Valeur 10%	2	55	60	160	260	280	250	230	440	380	150	36	1750
20%	1	20	45	125	215	235	307	280	330	275	108	15	1648
40%	0	3	20	79	150	204	233	227	310	245	80	6	1490
60%	0	0	10	35	109	158	185	193	240	208	60	1	1412
80%	0	0	1	14	83	130	130	156	186	170	36	0	1325
90%	0	0	0	10	38	95	105	105	136	100	25	0	1100
Minimum observé	0	0	0	1	17	73	97	80	100	45	11	0	909
Médiane	0	1	16	57	136	173	200	215	260	215	70	2	1465
Moyenne 1917-1953 = 1480,8 1954-1966 = 1385,8	3	11	26	60	144	175	201	209	274	247	81	13	1464

Hautour d'eau recueilli pour des durées continues de						Hautour d'eau relevé pour des durées continues de						
Période Usines	1jour	2jours	3jours	5jours	10jours	Période Usines	15minutes	30	45minutes	1heure	2heures	3heures
Maximum observé	142	221	330	267	369	Maximum observé	30	42	60	71	121	128
Hautour annuelle	77	96 ³	110 ⁴	131 ⁷	182 ²	Hautour annuelle	24	34	40	45	56	61
Hautour décennale	133	180	240	240	284	Hautour décennale	30	42	60	70	100	110
Hautour centenaire	209	294	313	374	478							
Hautour millénaire	264	368	416	504	636							

STATION

PLUVIOMETRIQUE = KIMPOST

COORDONNEES = LAT

10°36'

BASSIN VERSANT = MARITIME

Hauteurs exprimées en mm

ALTITUDE = LONG

104°11'

PERIODE = 1911-39, 47-66 -	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	ANNEE
Maximum observé	62	116	575	275	412	542	789	761	688	537	250	211	2999
Valour 10%	37	65	180	200	310	355	545	560	365	405	265	120	2460
20%	34	46	130	182	248	297	450	433	338	317	204	65	2330
40%	17	35	79	149	200	234	330	388	293	264	150	35	2011
50%	4	13	53	88	130	165	275	270	220	202	117	8	1825
80%	0	7	39	55	99	110	185	185	150	145	90	4	1670
90%	0	0	17	44	57	75	110	150	125	120	25	0	1520
Minimum observé	0	0	0	6	20	49	41	43	66	44	7	0	1434
Médiane	9	21	67	120	170	184	299	327	259	232	133	23	1930
Moyenne	15,7	29,1	89,5	118,0	176,5	211,3	322,1	340,3	250,5	238,7	139,1	44,8	19756

Hauteur d'eau recueillie pour des durées continues de

Hauteur d'eau relevée pour des durées continues de

Période	1jour	2jours	3jours	5jours	10jours	Période 1958 - 1966	15minutes	30	45minutes	1heure	2heures	3heures
Maximum observé	62	116	575	275	552	Maximum observé	40	60	72	75	93	112
Hauteur annuelle	40	50	70	80	90	Hauteur annuelle	28	38	43	67	56	64
Hauteur décennale	202	270	390	510	630	Hauteur décennale	40	60	72	79	100	118
Hauteur centenaire	300	400	570	750	930							
Hauteur millénaire	450	600	850	1100	1350							

STATION

PLUVIOMETRIQUE =

DOCK FERMÉ

COORDONNÉES = LAT

10°38

BASSIN VERSANT =

MARITIME

Hauteurs exprimées en mm

ALTITUDE =

LONG

104°03

PERIODE = 1921-44, 61-66	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	ANNEE
Maximum observé	241	240	222	282	258	160	1704	1345	1566	398	462	478	6800
Valeur 10%	21	15	17	25	21	8	1180	1000	1200	440	430	220	1000
20%	42	20	25	30	30	80	1300	1000	1200	500	500	200	800
40%	62	50	50	100	54	20	1400	1100	1100	600	600	200	1000
50%	63	0	0	100	405	80	1400	800	600	400	400	200	800
80%	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	0	0
90%	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minimum observé	0	0	7	87	28	401	356	100	340	80	80	0	0
Médiane	2	2	7	143	466	60	360	80	80	0	0	0	500
Moyenne	31.4	41.2	27.3	77.7	42.3	21.7	21.7	22.5	20.7	40.2	20.7	20.7	5159.8

Hauteur d'eau recueillie pour des durées continues de

Hauteur d'eau relevée pour des durées continues de

Période	1jour	2jours	3jours	5jours	10jours	Période	15minutes	30	45minutes	1heure	2heures	3heures
Maximum observé	241	240	222	282	258	Maximum observé						
Hauteur annuelle	218	200	330	1000	0	Hauteur annuelle						
Hauteur décennale	370	500	600	225	1107	Hauteur décennale						
Hauteur centenaire	700	0	200	0	0							
Hauteur millénaire	100	0	0	0	0							

STATION PLUVIOMETRIQUE = *PREK THNOT*

COORDONNEES = LAT *11°27'*

BASSIN VERSANT = *PREK THNOT* Hauteurs exprimées en mm

ALTITUDE = LONG *104°32' 34"*

PERIODE =	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	ANNEE
Maximum observé.	72	100	293	259	313	251	246	426	430	426	275	187	1859
Valeur 10%	32	80	115	145	240	182	200	210	326	334	246	80	1540
20%	24	33	72	107	210	177	178	172	302	293	185	51	1430
40%	0	5	37	87	167	122	136	137	213	241	118	37	1275
50%	0	16	16	64	126	90	90	110	185	202	93	13	1210
80%	0	0	3	28	104	64	71	75	150	160	45	0	1100
90%	0	0	0	10	90	45	55	55	120	142	75	0	1025
Minimum observé	0	0	0	0	77	8	11	21	56	51	0	0	728
Médiane	0	6	32	76	143	104	112	123	203	212	101	15	1260
Moyenne													

Hauteur d'eau recueillie pour des durées continues de

Hauteur d'eau relevée pour des durées continues de

Période 13 ans	1jour	2jours	3jours	5jours	10jours	Période	15minutes	30	45minutes	1heure	2heures	3heures
Maximum observé	154	207	344	534	843	Maximum observé						
Hauteur annuelle	74	38	304	199	137	Hauteur annuelle						
Hauteur décennale	130	147 ¹⁴³	155 ¹⁶⁷	210 ²¹⁵	277 ²⁶⁰	Hauteur décennale						
Hauteur centenaire	278 ²⁷³	192	224	311	377 ³⁵⁰							
Hauteur millénaire	573 ^{3/5}	239	279	398	477 ⁴⁶²							

STATION PLUVIOMETRIQUE = SIHANOUKVILLE

COORDONNÉES = LAT 10°38

BASSIN VERSANT = MARITIME Hautours exprimées en mm

LONG 103°30
ALTITUDE = 13

PERIODE =	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	ANNEE
Maximum observé													
Valeur 10%													
20%													
40%													
60%													
80%													
90%													
Minimum observé													
Médiane													
Moyenne													

Hautour d'eau recueillie pour des durées continues de

Hautour d'eau relevé pour des durées continues de

Période	Hautour d'eau recueillie pour des durées continues de					Hautour d'eau relevé pour des durées continues de					
	1jour	2jours	3jours	5jours	10jours	15minutes	30	45minutes	1heure	2heures	3heures
Maximum observé	350	350	350	400	400	53	12	13	24	153	195
Hautour annuelle	100	100	100	100	400	37	52	60	70	80	105
Hautour décennale	285	380	100	52	400	54	81	95	116	155	190
Hautour centenaire	460	580				70	115	138	175	240	300
Hautour millénaire	600	800				95	153	190	247	345	448

STATION PLUVIOMETRIQUE = ROCHENTONG

COORDONNEES = LAT 11°34
LONG 104°56

BASSIN VERSANT = MEKONG

Hautours exprimés en mm

ALTITUDE = 11 m

PERIODE = 59 années	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	ANNÉE
Maximum observé	58	171	193	353	335	393	359	380	443	650	298	176	2310
Valour 10%	25	24	92	160	235	265	243	220	333	402	274	94	1640
20%	15	11	71	106	199	185	198	194	272	363	133	68	1535
40%	3	1	27	58	146	135	146	151	239	275	137	43	1417
50%	0	0	9	50	126	107	128	131	196	212	102	17	1310
80%	0	0	2	26	96	83	99	100	154	141	74	5	1266
90%	0	0	0	15	62	73	77	79	142	115	49	0	1040
Minimum observé	0	0	0	0	30	27	37	44	93	63	2	0	935
Médiane	0,6	0	15,0	55,4	138,1	129,0	139,6	142,0	220,6	243,0	174,5	27,6	1335
Moyenne	75	122	141	222	147,1	140,4	147,5	153,4	229,3	255,7	134,9	39,6	1373,0

Hautour d'eau recueillie pour des durées continues de

Hautour d'eau relevé pour des durées continues de

Période 53 années	1jour	2jours	3jours	5jours	10jours	Période 12 années	15minutes	30	45minutes	1heure	2heures	3heures
Maximum observé	1935	248	265,0	335,2	356,3	Maximum observé	37	55	80	89	95	97
Hautour annuelle	73	99	110	124	144	Hautour annuelle	22	37	42	47	55	53
Hautour décennale	124	159	170	183	199	Hautour décennale	22	37	42	47	55	53
Hautour centenaire	188	225	250	270	299	" centenaire	22	37	42	47	55	53
Hautour millénaire	267	300	325	345	369	" millénaire	22	37	42	47	55	53

STATION PLUVIOMETRIQUE = STUNG TRENG

COORDONNEES = LAT 13°31'

BASSIN VERSANT = MEKONG

Hautours exprimés en mm

ALTITUDE = LONG 54 105°58'

PERIODE = 1928-44; 47-66	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	ANNEE
Maximum observé	15	113	103	267	460	463	637	543	575	351	192	72	2231
Valeur 10%	10	40	90	170	350	420	530	510	450	295	125	35	2030
20%	2	25	60	155	300	330	380	380	420	260	100	20	1943
40%	0	5	25	86	235	254	320	325	345	183	55	5	1875
60%	0	0	6	50	175	220	265	275	285	136	35	2	1690
80%	0	0	1	16	120	200	200	200	220	100	10	0	1580
90%	0	0	0	7	90	150	195	165	295	60	2	0	1487
Minimum observé	0	0	0	0	47	125	95	102	169	35	0	0	1481
Médiane	0	0,5	14	70	193	240	300	310	323	174	48	4	1830
Moyenne 51 années	1,9	114	280	753	202,3	273,7	333,7	317,5	320,7	184,6	56,4	11,3	1817,3

Hauteur d'eau recueillie pour des durées continues de

Hauteur d'eau relevée pour des durées continues de

Période 28 années	1jour	2jours	3jours	5jours	10jours	Période 1963 - 1966	15minutes	30	45minutes	1heure	2heures	3heures
Maximum observé	186	216	246	326	412	Maximum observé	32	56	75	89	118	119
Hautour annuelle	83	106	137	160	223	Hautour annuelle	23	46	53	56	65	68
Hautour décennie	160	200	215	235	335	Hautour décennie	35	62	76	85	105	115
Hautour centenaire	253	305	325	380	483							
Hautour millénaire	336	440	435	525	618							

200 435 exprimés en mm

STATION PLUVIOMETRIQUE = BATTANISAJIT

COORDONNEES = LAT 13°06

BASSIN VERSANT = JUNG SANGKER Hautours exprimées en mm

ALTITUDE = LONG 103°51

PERIODE = 1914-1940, 1951-1966	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	ANNEE
Maximum observé	24	115	204	266	350	270	285	315	609	524	582	132	1970
Valour 10%	15	62	103	170	237	257	275	249	450	427	254	57	1702
20%	6	40	87	147	202	172	220	312	226	325	166	25	1614
30%	0	10	42	28	103	21	173	132	225	235	91	10	1429
40%	0	2	22	40	127	102	130	141	203	101	46	3	1296
50%	0	1	6	35	25	21	106	113	133	113	47	0	1164
60%	0	0	0	8	93	65	21	99	122	23	4	0	1057
Minimum observé	0	0	0	0	41	23	70	70	84	13	0	0	919
Médiane	0	67	43	70	125	129	132	135	245	207	63	7	1319
Noyenne	50	111	512	371	1427	1472	1640	1612	2412	2115	726	180	15735

Hautour d'eau recueillie pour des durées continues de						Hautour d'eau relevé pour des durées continues de						
Période 1914-1966	1jour	2jours	3jours	5jours	10jours	Période 1961-1966	15minutes	30	45minutes	1heure	2heures	3heures
Maximum observé						Maximum observé	325	550	64,3	66,0	97,5	1150
Hautour annuelle		95	69	140	180	Hautour annuelle	255	365	46,5	56,0	78,0	75,0
Hautour décennale		170	212	350	370	Hautour décennale	360	530	65,0	76,0	96,0	105,0
Hautour centenaire		250	375	390	460							
Hautour millénaire		340	360	413	530							

par extrapolation



188

23,2

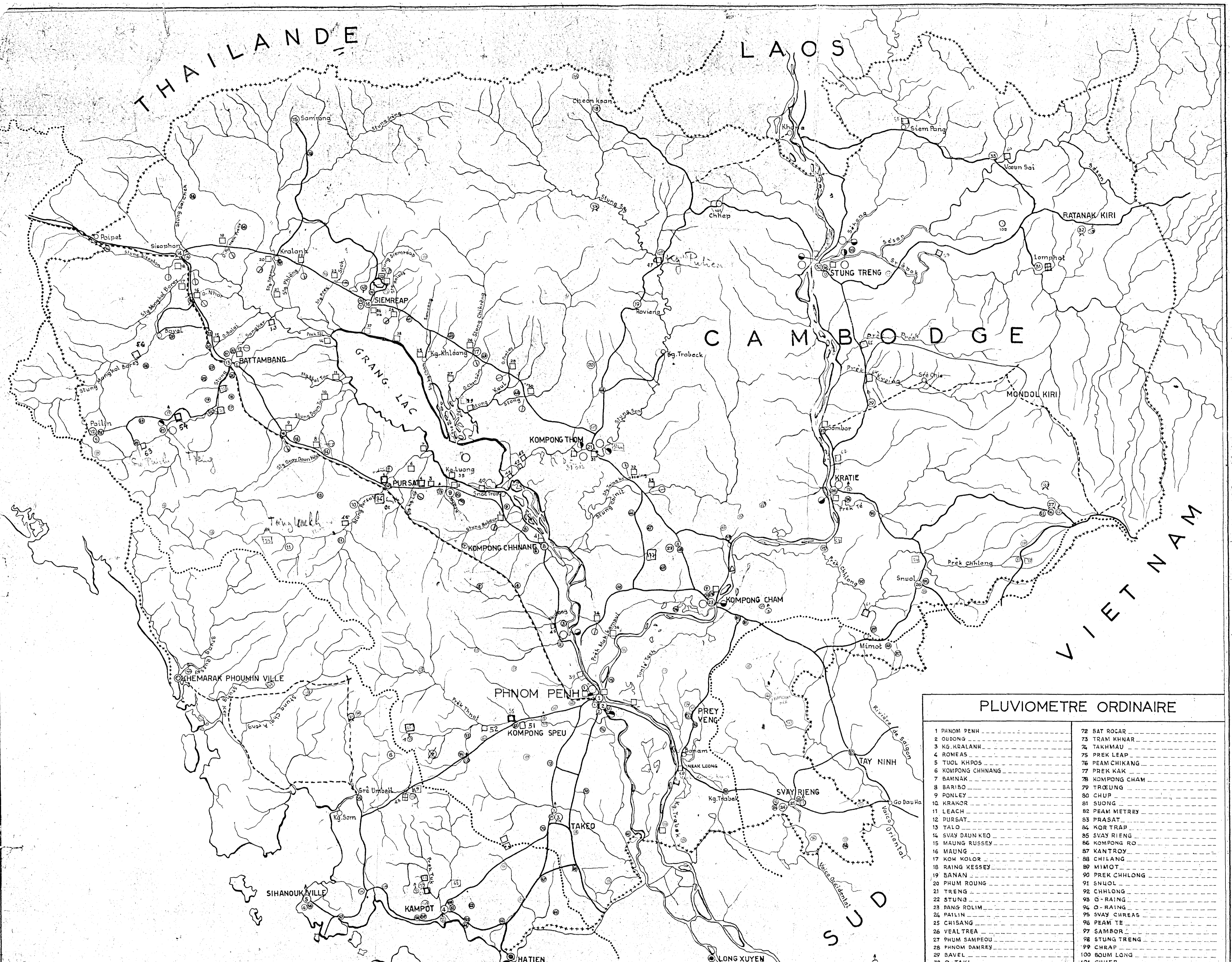
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

THAILANDE

LAOS

CAMBODGE

VIETNAM



PLUVIOMETRE ORDINAIRE

1 PHNOM PENH	72 BAT ROCAR
2 OUDONG	73 TRAM KHAR
3 KG. KRANH	74 TAKHMAU
4 ROMEAS	75 PREK LEAP
5 TUOL KHROS	76 PEAM CHIKANG
6 KOMPONG CHHNANG	77 PREK KAK
7 BANNAK	78 KOMPONG CHAM
8 BARIBO	79 TREUNG
9 PONLEY	80 CHUP
10 KRATOR	81 SUONG
11 LEACH	82 PEAM METREY
12 PURSAT	83 PRASAT
13 TALO	84 KOR TRAP
14 SVAY DAUN KEO	85 SVAY RIENG
15 MAUNG RUSSEY	86 KOMPONG RO
16 MAUNG	87 KANTROY
17 KOK KOLOR	88 CHILANG
18 RAING KESSEY	89 MIMOT
19 BANAN	90 PREK CHHLONG
20 PHUM ROUNG	91 SNUOL
21 TREUNG	92 CHHLONG
22 STUNG	93 O-RAING
23 PANG ROLIM	94 O-RAING
24 PAILIN	95 SVAY CHREAS
25 CHISANG	96 PEAM TE
26 VEAL TREA	97 SAMBOR
27 PHUM SAMPEOU	98 STUNG TREUNG
28 PHNOM DAMREY	99 CHRAP
29 BAVEL	100 BOUM LONG
30 O-TAKI	101 CHIEP
31 BATTAMBANG	102 TRAPANG KUSSEY
32 BATTAMBANG	103 KALANG - PUTER
33 CHANDEU SVA	104 O-CHRAL
34 POIPAT	105 TRAPANG PONG
35 SVAY CHEK	106 CHAMSEK
36 PHNOM SROK	107 JAMBOR - PANG
37 KRANH	108 PREK VILLE
38 CHONG KAL	109 TUK SAP
39 SIEMREAP	110 VEAL CHREY
40 KOK PATRI	111 BOUHA
41 ROLUOS	112 CHREY
42 DAMDEK	113 KOMPONG TRACH
43 KOMPONG KDEY	114 KOMPONG CHAM
44 CHRISTIAN VILLE	115 KOMPONG CHAM
45 SVAY RIENG	116 PREK CHHLONG
46 BARAY	117 PREK CHHLONG
47 SIEMREAP	118 CHAMCAR ANDONG
48 CHAMCAR LOEU	119 CHAMCAR LOEU
49 PREY TOTUNG	120 PHNOM PENH
50 PHNOM	121 SVAY RIENG
51 PHNOM PENH	122 TUK SAP
52 KOMPONG SPEU	123 TUK SAP
53 TRAPANG KRALUEUNG	124 TUK SAP
54 SRE KHLONG	125 SRE KHLONG
55 SRE AMBELL	126 PREK CHHLONG
56 SIEMREAP	127 PREK CHHLONG
57 TUK SAP	128 PREK CHHLONG
58 BOKOR	129 PREK CHHLONG
59 BOKOR	130 O-CHRAL
60 KAMPOT	131 TUK SAP
61 KAMPOT	132 PREK CHHLONG
62 CHAKREY TING	133 PREK CHHLONG
63 KEP	134 PREK CHHLONG
64 KEP	135 PREK CHHLONG
65 KOMPONG TRACH	136 PREK CHHLONG
66 KIRIVONG	137 PREK CHHLONG
67 TANI	138 PREK CHHLONG
68 CHHONG	139 PREK CHHLONG
69 CHREY THOM	140 PREK CHHLONG
70 ANG TASSOM	141 PREK CHHLONG
71 SLAKOU	142 PREK CHHLONG

ECHELLE LIMNIMETRIQUE

1 STUNG BABAUR
2 STUNG KRATOR
3 O-CHANLOS
4 STUNG THNOT CHUM
5 STUNG PURSAT
6 STUNG KANCHOR
7 STUNG PAILIN (SRE KHLONG)
8 SVAY DAUN KEO
9 MAUNG RUSSEY
10 TA MEAS
11 STUNG MEAT-PEAN (KRALUEUNG)
12 STUNG SAKKOR (BATTAMBANG)
13 MAT PEA (PREY TOTUNG)
14 MAT PEA (PREY TOTUNG)
15 STUNG CHANDEU SVAY (KOMPONG CHAM)
16 O-NHOR
17 MONGKOL BOREY
18 SISOPHON
19 SPEAN TRAPANG CHHUOK
20 STUNG KRANH (SPEAN TAPONN)
21 PHUM TA AM
22 STUNG PHLANG
23 STUNG PREASBROK
24 KOMPONG THKAI - 24 bis SIEMREAP
25 KOMPONG KHLEANG
26 CHIKRENG
27 STG. KAMBOT
28 PHUM KAUL
29 PHUM PEU VEUY
30 STUNG STUNG
31 KOMPONG THOM (STUNG SRE)
32 TAING KRASANG
33 STUNG CHINIT (KRALUEUNG)
34 SPEAN TRAS
35 KG. LUONG (KRALUEUNG)
36 ROKAKONG
37 KANTHEAY KORM (PHU-KROM)
38 BANGNACH (STUNG SRE)

38 KG. PHLOUK
39 PREK KRUS
40 SNOC TRON
41 KG. CHHNANG
42 PHAD-SANDAY
43 NEANG-SAO
44 KG. CHAMLANG
45 OUDONG
46 PHNOM KRAVANH (PHUM PRAT)
47 KG. PUTREA (SRE KHLONG)
48 SRE AMBELL
49 SRE O-CHRAL
50 NEAK LUONG (KOMPONG CHAM)
51 PREK THNOT (KOMPONG CHAM)
52 PREK THNOT (KOMPONG CHAM)
53 SRE PONLEU
54 TREUNG (SRE KHLONG)
55 PREK THNOT (KOMPONG CHAM)
56 STUNG THNOT (KOMPONG CHAM)
57 STUNG THNOT (KOMPONG CHAM)
58 SIEM PANG (SRE KHLONG)
59 KRABEI-CHUM (SRE KHLONG)
60 VEUN SAI (SRE KHLONG)
61 KG. KROL (SRE KHLONG)
62 SAMBOC (KRALUEUNG)
63 KAMPOT (KRALUEUNG)
64 PREK-KREING
65 PREK-PREAS
66 KIRIVONG
67 KOMPONG CHAM
68 STUNG TREUNG
69 STUNG TREUNG
70 STUNG TREUNG
71 STUNG TREUNG
72 STUNG TREUNG
73 STUNG TREUNG
74 STUNG TREUNG
75 STUNG TREUNG
76 STUNG TREUNG
77 STUNG TREUNG
78 STUNG TREUNG
79 STUNG TREUNG
80 STUNG TREUNG
81 STUNG TREUNG
82 STUNG TREUNG
83 STUNG TREUNG
84 STUNG TREUNG
85 STUNG TREUNG
86 STUNG TREUNG
87 STUNG TREUNG
88 STUNG TREUNG
89 STUNG TREUNG
90 STUNG TREUNG
91 STUNG TREUNG
92 STUNG TREUNG
93 STUNG TREUNG
94 STUNG TREUNG
95 STUNG TREUNG
96 STUNG TREUNG
97 STUNG TREUNG
98 STUNG TREUNG
99 STUNG TREUNG
100 STUNG TREUNG

PLUVIOMETRE ENREGISTREUR

1 PHNOM PENH
2 CHAMCAR MON
3 SLAKOU
4 KAMPOT
5 SIHANOUK VILLE
6 KIRIVONG (longue durée)
7 TRAPANG KRALUEUNG (longue durée)
8 KOMPONG CHHNANG
9 KRATOR
10 DAP BAT
11 TUOL KRUS
12 PAILIN
13 BATTAMBANG
14 SISOPHON
15 SAMRONG
16 KOK-PATRI - NEANT
17 KOMPONG KDEY
18 SPEAN KHAN - NEANT
19 ROVIENG
20 TANG (longue durée)
21 KOMPONG THOM (longue durée)
22 CHAMCAR LOEU - NEANT
23 KOMPONG CHAM
24 KOR-TRAP - NEANT
25 SVAY RIENG - NEANT
26 SNUOL
27 O-RAING - SEP - MAMRANG
28 KRATIE
29 SRE-BAU - O-KRATIE
30 STUNG TREUNG
31 LOMPHAT
32 ANDONG PICH
33 YOSUNAY (VEUN SAI)
34 TRAPANG PONG
35 SRE-KHUM (HYDROLOGUE)
36 CHUP (TRAC)
37 TRAPANG PONG

BAC EVAPORATOIRE

1 PHNOM PENH - BOUHA
2 CHAMCAR MON
3 SLAKOU
4 SIHANOUK VILLE
5 PAILIN
6 BATTAMBANG
7 KOK-PATRI
8 CHAMCAR LOEU - KRABEI
9 KOMPONG CHAM
10 KOR-TRAP
11 SVAY RIENG
12 O-RAING - SEP - MAMRANG
13 SNUOL
14 ANDONG PICH
15 YOSUNAY (VEUN SAI)
16 TRAPANG PONG
17 SRE-KHUM (HYDROLOGUE)
18 CHUP (TRAC)
19 TRAPANG PONG

CAMBODGE

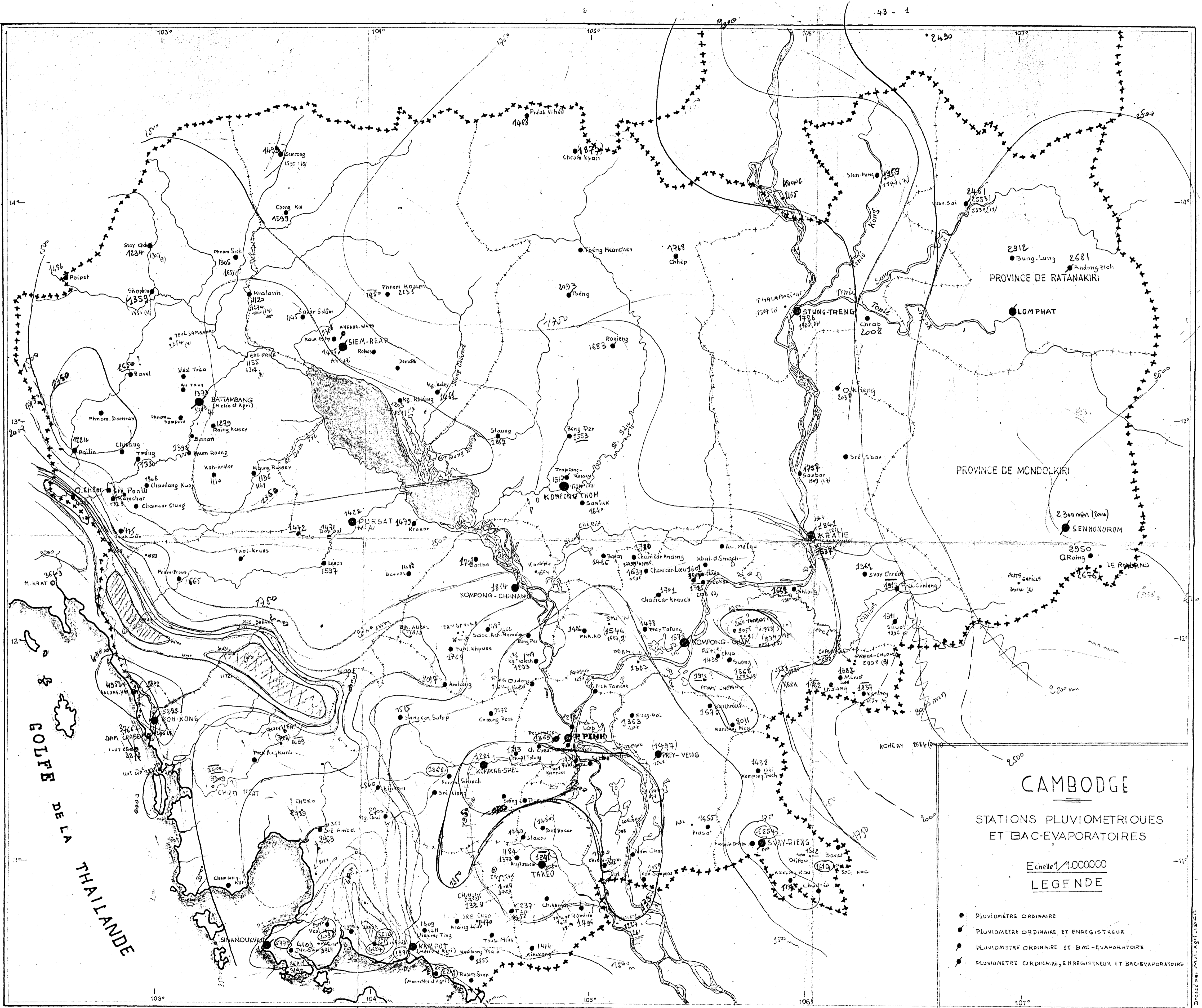
ECHELLE 1/1.000.000

STATION HYDROLOGIQUE ET HYDRO-METEOROLOGIQUE

LEGENDE

- ECHELLE LIMNIMETRIQUE
- LIMNIGRAPHIE
- MESURE DE DEBIT
- PLUVIOMETRE ENREGISTREUR
- PLUVIOMETRE ORDINAIRE
- BAC EVAPORATOIRE

ERREGISTREUR
 STUNG O-ROUICH - CHAM GR
 STUNG O-ROUICH - CHAM GR



CAMBODGE
 STATIONS PLUVIOMETRIQUES
 ET BAC-EVAPORATOIRES
 Echelle 1/1.000.000
 LEGENDE

- PLUVIOMETRE ORDINAIRE
- PLUVIOMETRE ORDINAIRE ET ENREGISTREUR
- PLUVIOMETRE ORDINAIRE ET BAC-EVAPORATOIRE
- PLUVIOMETRE ORDINAIRE, ENREGISTREUR ET BAC-EVAPORATOIRE

PLUVIOMETRIE INTER ANNUELLE

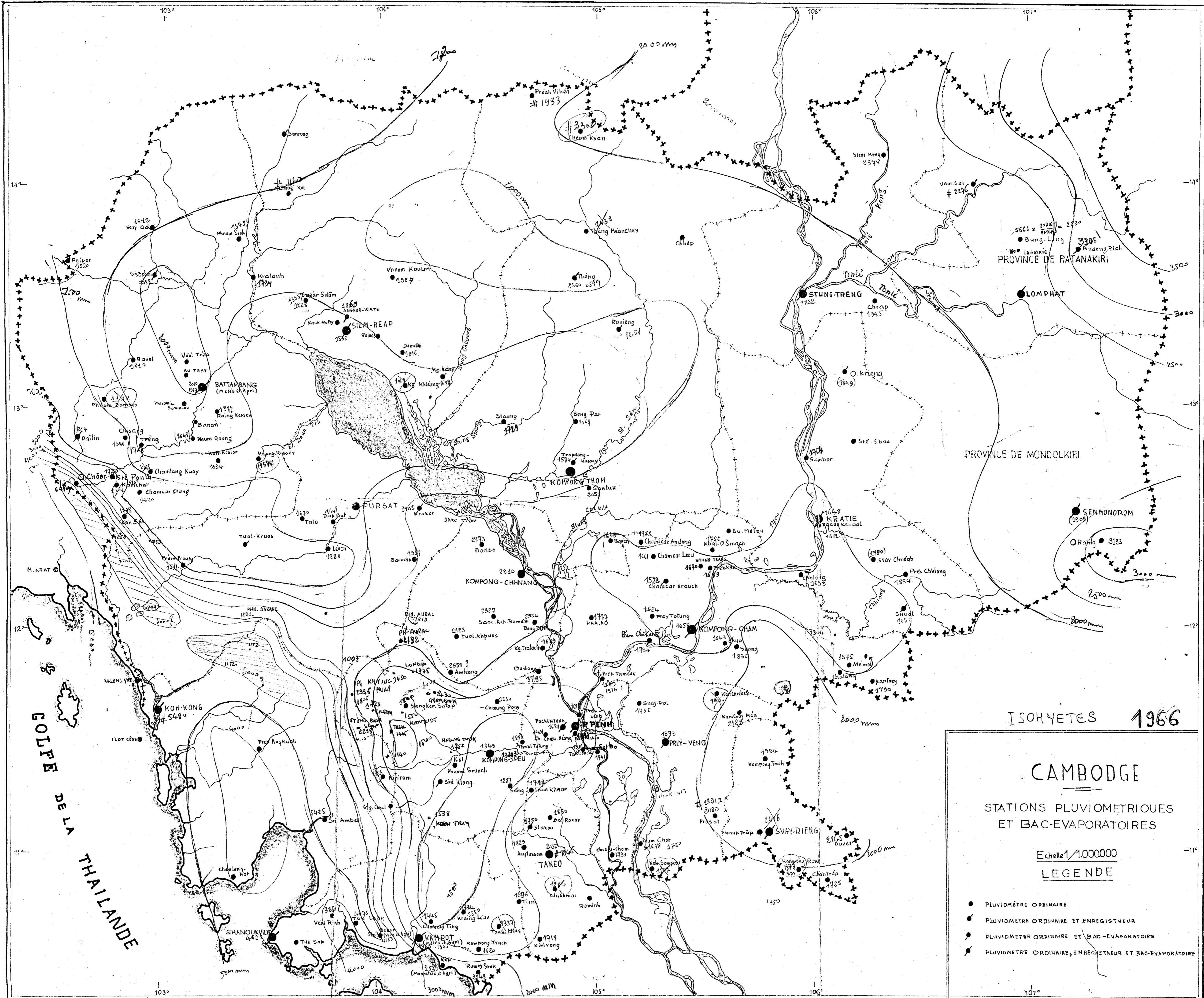
1449. Valeurs de mois complets écoulés.

— = corrigée
 () = données mensuelles
 1553 = données annuelles

CHAN TABOUR
 O 2140

GOLFE DE LA THAILANDE

Dressé par M. A. G. 1949



ISOHYETES 1966

CAMBODGE

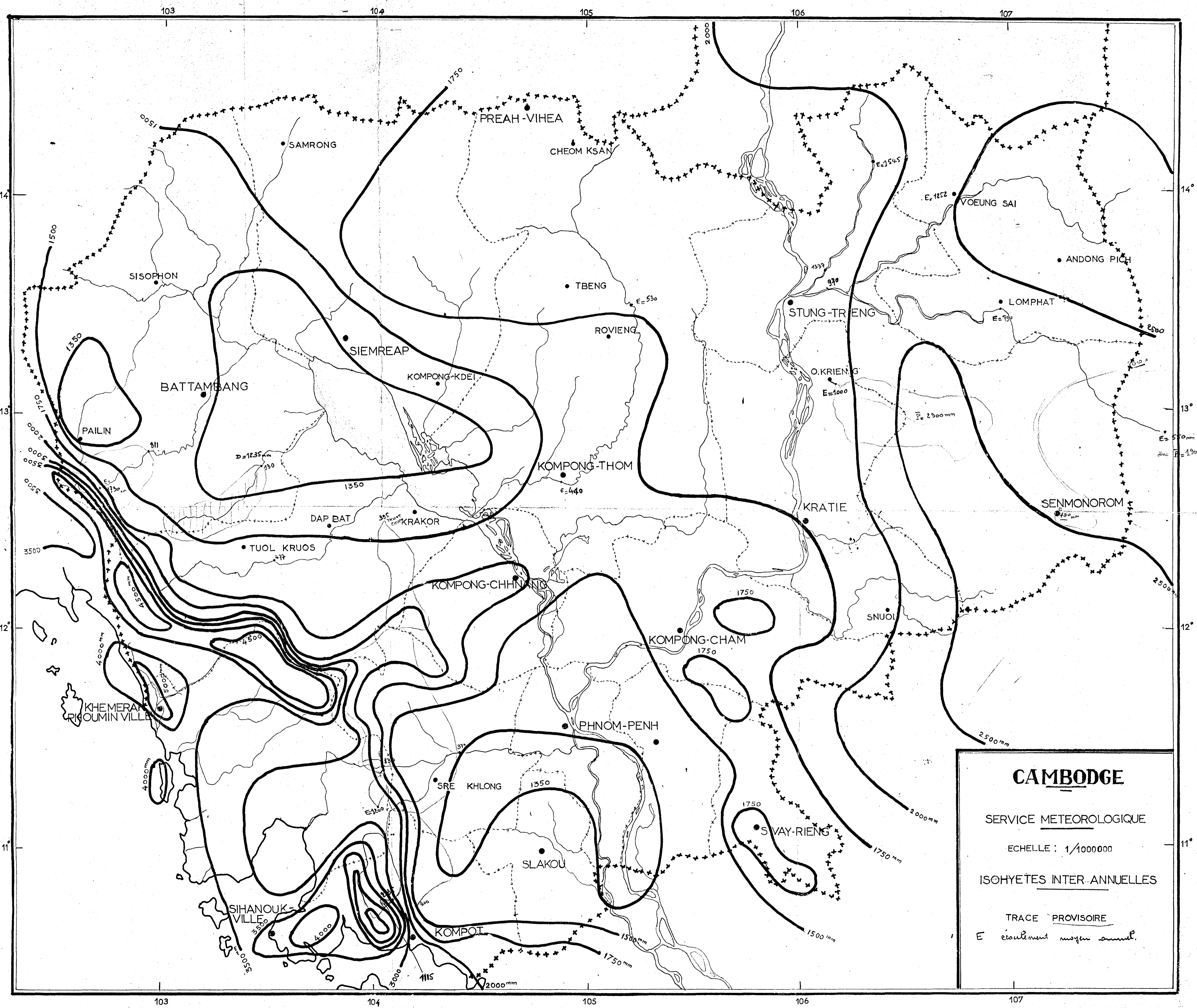
STATIONS PLUVIOMETRIQUES
ET BAC-EVAPORATOIRES

Echelle 1/1.000.000

LEGENDE

- PLUVIOMETRE ORDINAIRE
- PLUVIOMETRE ORDINAIRE ET ENREGISTREUR
- PLUVIOMETRE ORDINAIRE ET BAC-EVAPORATOIRE
- PLUVIOMETRE ORDINAIRE, ENREGISTREUR ET BAC-EVAPORATOIRE

GOLFE DE LA
THAILANDE



CAMBODGE

SERVICE METEOROLOGIQUE

ECHELLE : 1/1000000

ISOHYETES INTER-ANNUELLES

TRACE PROVISOIRE

E écoulement moyen annuel.

103

104

105

106

107

14

14°

13

13°

12

12°

11

11°

103

104

105

106

107

HYDROLOGIE DES BASSINS près de NOREAY

Aucune campagne de mesures hydrologiques même sommaires, portant sur une ou deux années n'a été faite, ni dans la région, ni sur les lieux, pour évaluer aussi raisonnablement que possible les caractéristiques des écoulements dans les cours d'eau sur lesquels des barrages pourraient être construits pour alimenter l'université Royale de TAKEO-KAMPOT.

Nous allons donc essayer d'estimer aujourd'hui, plus ou moins arbitrairement, certaines données nécessaires à l'avant projet tels que : apport moyen annuel, apport faible, crue décennale et crue maximum à l'aide des renseignements météorologiques connus.

Données météorologiques :

- évaporation moyenne annuelle sur bac de classe "A" : 2.100 mm, d'où une évaporation sur nappe d'eau libre comprise entre 1500 à 1.600 mm par an en moyenne avec une répartition mensuelle de Janvier à Décembre à ± 10 mm de : 130 - 150 - 180 - 165 - 145 - 125 - 120 - 110 - 95 - 95 - 105 - 120.
- pluviométrie : les données prises dans les archives de la météorologie donnent comme précipitation moyenne annuelle suivante sur la période d'observation:
 - TRAMFOY : 1867 (13 années)
 - TAKEO : 1530 (40 années)
 - ANGTASSON : 1073 (17 années)
 - SLAKOU : 1449 (6 années)
 - TANI : 1245 (17 années)
 - CHEUK : 1338 (18 années)
 - CHEY TING : 1409 (années)

Après contrôle des données mensuelles existantes et des moyennes des années pour lesquelles nous avons les données complètes et valables, nous obtenons les valeurs suivantes des précipitations annuelles :

- TRAMECK : 1424 mm sur 6 ans.
- TAKEO : 1450 mm sur 18 ans.
- ANGTASSON : 1373 mm sur 10 ans.
- SLAKOU : 1449 mm sur 6 ans.
- TANI : 1452 mm sur 5 ans.
- CHEUK : 1338 mm sur 18 ans.

Les données des anciens postes de TRAFOP et OHEUK situés à 8 et 12 kms des bassins versants étudiés peuvent être considérés comme représentatives des précipitations sur ceux-ci.

- Précipitation moyenne annuelle $P = 1400$ mm
- Précipitation décennale faible
0,78 x P d'après l'étude générale 1090 mm
- Précipitation journalière de fréquence décennale 130 mm
- Précipitation moyenne mensuelle approchée en mm.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
15	10	40	80	130	120	155	180	210	260	140	40

- température et vent : ont sensiblement les mêmes valeurs que celles du poste de SLAKOU.

- T moyenne annuelle $27^{\circ}8$
- T moyenne mensuelle maximum $29^{\circ}8$ en Avril.
- ☞ T moyenne mensuelle minimum $25^{\circ}2$ en Janvier.

DONNEES HYDROLOGIQUES.

a) écoulement annuel et décenal.

Aucune campagne de mesures hydrologiques dans cette région ayant été réalisée, nous devons estimer la valeur de l'écoulement moyen à l'aide de la formule de I. TURC en passant par le déficit d'écoulement :

$D = P - R = \frac{PL}{V \cdot 0,9 \cdot L^2} \cdot p^2$. Du diagramme donnant D en fonction de P pour différentes valeurs de T on tire pour $P = 1400$ mm et $T = 27^{\circ}8$ la valeur $D = 1210$ mm.

L'écoulement moyen annuel théorique serait donc de l'ordre de 180 mm/.

Le relief très prononcé favorise le ruissellement des grosses averses et les crues seront importantes. La couverture forestière et le sol perméable des plaines faciliteront l'évapotranspiration et tendront à retarder la date du début des écoulements et à réduire les premiers écoulements. Il serait raisonnable de penser que la valeur théorique trouvée plus haut représente une valeur minima certaine.

Il serait intéressant d'évaluer grossièrement la valeur de l'écoulement de l'année décennale sèche. Pour le problème, utilisons deux méthodes grossières. L'écoulement annuel décenal faible du Prek Thnot représente 57 % de l'écoulement moyen annuel. En prenant une valeur légèrement plus faible compte tenu de la plus grande irrégularité sur une plus petit bassin versant

nous aurons une lame écoulée de 100 mm en prenant 55%.

La courbe hydro-pluviométrique établie pour des régions tropicales humides permet, grâce à la connaissance des précipitations, d'évaluer l'écoulement sur des terrains de perméabilité moyenne. On trouve pour une précipitation totale de 1050 mm un écoulement de 80 mm.

En aucun cas, ces chiffres de 180 mm, 100 ou 80 m/m peuvent être considérés comme exacts, ils ne sont donnés que pour fixer un ordre de grandeur vraisemblable.

CRUES.

L'observation des averses et crues résultantes au cours d'une année permettrait de fixer les caractéristiques hydrologiques du bassin :

- temps de base et de montée de la crue,
- coefficient de ruissellement pur,
- valeur de l'infiltration.

En l'absence de ces données, et de données pour des bassins versants situés dans cette région il est pratiquement impossible d'assurer une bonne exactitude aux chiffres des débits de crues.

- annuelles : débit maximum = 3 à 5 m³/s.
 - décennales : débit maximum = 8 à 13 m³/s.
 - centenaires : débit maximum = 14 à 20 m³/s
- obtenus à partir des estimations suivantes :

P mm en 45'	KR	Temps de base : 7 h.
- annuelle 45	30%	$\frac{Q}{M} = 2,5 = \frac{\text{débit maximum de crue}}{\text{débit moyen de la crue rapportée au temps de base.}}$
- décennale 75	40%	
- centenaire 105	50%	

Par l'étude hydrologique de quelques bassins versants témoins distribués par région, et à l'aide des connaissances théoriques déjà obtenues il serait possible de mieux préciser les ordres de grandeur des débits et cela avec une sécurité plus grande.

Nous estimons recommandable et souhaitable d'entreprendre au moins deux campagnes de mesures hydrologiques afin de confirmer les valeurs estimées ou plus ou moins élaborées à partir de quelques renseignements. Il importe, en particulier, de savoir très exactement si le barrage prévu pourra effectivement fournir en année décennale sèche la quantité d'eau qu'on lui demande.

PREMIERS ELEMENTS HYDROLOGIQUES
DU BASSIN VERSANT DE SEN MONOROM

G. GIRARD
EXPERT HYDROMETEOROLOGUE

Le 8 Mai 1967

CARACTERES PHYSIQUES ET REPRESENTATION REGIONALE

Pays : CAMBODGE
Province : MONDOLKIRI
Srok : SEN MONOROM

Bassin du MEKONG
Sous bassin du PREY TE

BASSIN DU O'CHAPA à SEN MONOROM

Coordonnées géographiques:

Longitude : 107° 11' E

Latitude : 12° 31' N

1 - Caractères physiques:

- Superficie totale 40,2 km² sur carte No.64-41 111 au 1/50.000 POU ROTANG
- Indice de compacité 1,18
- Rectangle équivalent 4,55 x 8,8 km²
- Altitude moyenne 731 m
- Altitude extrême 647 à 860 m
- Pente moyenne du bassin 7m/km sur 80% du cours inférieur
- Classe du relief R 4
- Indice de pente $I_p = 0,189$

A 600m en amont de la station, retenue de hauteur d'eau 4m, superficie 70.000 m² (appelée retenue aval); à 3,500 km plus en amont, seconde retenue (appelée retenue amont) hauteur d'eau 3m superficie 40.000 m² (données grossièrement estimées). Le bassin versant d'alimentation de la retenue amont est de 22,2 km², celui de la retenue aval 39,0 km²).

11 - Représentation régionale

- 1 - 1: climat A_{wI} de KOPPEN (tropical humide à une saison des pluies
- Poste météorologique de référence: SEN MONOROM à 1 km Ouest du bassin
température mensuelles $26^{\circ} = T_x \leq 30^{\circ} 5$

.....

$$17^{\circ}5' < T_n < 21^{\circ}$$

Humidité relative

$$70\% < U < 91\%$$

Evaporation au bac classe "A" $3 < e < 8 \text{ mm/j}$ 1830 mm par an
(données portant sur deux années incomplètes).

Précipitations

Station pluviométrique de référence: Camp Le ROLLAND 21 km Sud Est.

Hauteur moyenne annuelle $P = 2676 \text{ mm}$ (10 ans)

Ecart type de P 214 mm

Coefficient de variation $0,08$

Nombre moyen annuel de jours de pluies: 171 avec 92 jours pour
lesquels $P_j > 10 \text{ mm}$

Hauteur ponctuelle de l'averse annuelle en 24h = 100 mm

Hauteur ponctuelle de l'averse ^{decennale} annuelle en 24h = 170 mm

2-2 - Sols et sous-sols

sous-sols : entièrement composé de nappes d'épanchement volcanique
(laves-scories) pouvant présenter des perméabilités
variables, généralement fortes.

Sols : L'épaisseur de la zone d'altération est très importante
et dépend des emplacements. Les sols sont perméables
et présentent une bonne cohésion.

Nappes : nappes souterraines très développées, existence de deux
nappes superposées de deux zones à perméabilité diffé-
rente alimentant la rivière en fin de saison des pluies
et fournissant en saison sèche un débit d'étiage soutenu
de 3 L/s/km^2 .

2-3 - Végétation

Exceptées les zones de forêt galerie le long des talwegs et quelques
ilots de savane arbustive, l'ensemble du bassin est recouvert par une
savane développée.

PROCES VERBAL D'INSTALLATION DU
BASSIN DE SEN MONOROM

=====

Pays : CAMBODGE
Province : MONDOLKIRI Bassin Hydrographique : MEKONG
Srok : SEN MONOROM Sous bassin : PREK TE

Coordonnées géographiques :

longitude : 107° 11' E

latitude : 12° 31' N

date de la mise en service : 10 juillet 1966

1 - STATION HYDROMETRIQUE

Nom : SEN MONOROM Cours d'eau O'CHAPA
Localisation : près de l'annexe vétérinaire
Type : à écoulement naturel
Echelle : de 3 mètres sur madriers en rive droite à 600m en aval
de la route digue ORAING-SEN MONOROM
1 limnigraphe OTT XX réduction 1/10 avancement 2 cm/heure
mis en service le 10.7.66 et placé à côté des échelles
Contrôle d'échelle et du pluviomètre, lectures bi-journalières.

Station de jaugeage:

- a) section de basses eaux 70m en aval
- b) section de moyennes eaux et hautes eaux 5m en aval
du limnigraphe. Mesures à l'aide d'une passerelle.

Organisme de gestion : Service de l'Hydraulique.

11 - Equipement pluviométrique.

Poste pluviométrique P1 (station météorologique) Service météorologique.

P2 - P3 totalisateurs relevés périodiquement

10 à 30 jours (Service hydraulique).

...../..

- 2 pluviographes Q1 journalier type George Kent à siphon (station météorologique)
G2 hebdomadaire type FILOTECNICA à augets
station camp militaire (Service de l'Hydraulique).

III - Station climatologique

Nom : SEN MONOROM (Service Météorologique)

Localisation : 2 km N-O station hydrométrique

Station comprenant :

- a) bac d'évaporation classe A
- b) anémomètre totalisateur
- c) abri avec thermomètre, hygromètre enregistreur.

Fonctionnement : intermittent depuis Avril 1965.

COMPLÉMENTS DES CARACTÉRISTIQUES DU BASSIN
DE SEN MONOROM

1 - Caractères physiques

En amont de la cascade d'une hauteur de chute de 12 m, le bassin versant de la rivière est de 53,7 km² dont 5,8 km² font partie du bassin versant de l'affluent RG se jettant dans l'OCHAPA trente mètres en amont de la cascade.

Cette cascade est située au pied de la crête près du chalet d'état.

2 - GÉOLOGIE

Toute la région de SEN MONOROM fait partie de l'immense plateau basaltique couvrant 6.000 km². Les épanchements volcaniques du quaternaire ancien reposent sur des unités géologiques peu accidentées

La rivière étudiée et ses affluents prennent leur source à l'intérieur de la caldera de 20 à 30 km de diamètre et s'en échappent en traversant un culot érodé.

Les laves et les matériaux pyroclastiques issus des volcans du type hawaïen sont empilés en forme de nappe au cours des diverses émissions.

L'altération superficielle très importante donne une grande perméabilité au sol. Ces formations de matériaux particulièrement perméables sont responsables du maintien pendant la saison sèche d'un fort débit d'étiage. Bien que la perméabilité des sols en surface soit élevée l'influence des pentes est prépondérante sur les ruissellements des fortes averses.

3 - CLIMAT

a) - Évaporation

L'évaporation d'une surface d'eau dans une cuve hors de terre

(bac de classe "A") à SEN MONOROM ou O-RAING est de 1830 mm, en moyenne, par an, selon la répartition mensuelle ci-dessous exprimée en mm.

Janvier : 174	Mai : 140	Septembre : 124
Février : 188	Juin : 133	Octobre : 120
Mars : 191	Juillet : 134	Novembre : 134
Avril : 182	Août : 130	Décembre : 180

L'évaporation d'une surface d'eau libre dans une retenue serait environ de 0,7 à 0,8 fois cette valeur soit 1.400 mm par an.

b) - Température

La température moyenne à SEN MONOROM est de l'ordre de 24^o. L'amplitude moyenne journalière varie d'un maximum en février avec 11^o à un minimum en Septembre avec 6^o.

La moyenne des maxima atteint un maximum en mars avec 30^o5 et la moyenne des minima un minimum en Janvier de 17^o5.

c) Précipitations:

Les mesures pluviométriques faites de Novembre 1933 à décembre 1944 à la station du camp le ROLLAND donnent une moyenne annuelle de 2.676 mm répartie mensuellement comme indiqué dans le tableau récapitulatif des données mensuelles (seules données disponibles avec le nombre de jours de pluie par mois et le maximum journalier.

Les mesures pluviométriques faites à la station de O RAING (Agriculture) à partir de Mai 1958 sur 9 années plus ou moins complétées par celles effectuées à la station de O RAING (Eaux et Forêts) distante de 800 m donnent une moyenne annuelle de 2.994 mm.

...../..

Les mesures récentes à SEN MONOROM à partir d'avril 1965 sont peu nombreuses pour retenir la moyenne de 2.120 mm comme significative.

La comparaison entre les précipitations annuelles 1965 et 1966 aux deux stations de O RAING (3247 et 3193 mm) et SEN MONOROM (2314 mm et 1910 mm) traduirait une différence importante des valeurs des précipitations annuelles. Mais, agissons avec prudence car les données pluviométriques de O RAING 1965 et 1966 ont été corrigées et celles de SEN MONOROM 1966 incomplètes présentent des écarts mensuels importants avec la station de l'Etat Major de SEN MONOROM située à moins de 3 km à l'Est.

La carte au 1/250.000 de la région avec courbes de niveau permet compte tenu de la direction dominante des vents chargés d'humidité et de l'exposition, de classer les stations à pluviométrie annuelle décroissante:

	P mm	Altitude
Poste Gatile	3120	200
O RAING	2994	750
Camp le Rolland	2676	850
Sen MONOROM	2120	704

et d'attribuer au bassin versant de SEN MONOROM une pluviométrie moyenne supérieure à celle de la station météorologique de SEN MONOROM mais inférieure à celle des stations de O RAING et Camp Le Rolland.

La station E-M de SEN MONOROM ne fonctionne qu'à partir du 10 Juillet 1966. En admettant une proportionnalité entre les précipitations mesurées aux mêmes périodes entre ce poste et celui de la météo on obtient, pour ce poste, une précipitation annuelle de 2.160 mm pour l'année 1966.

Par la même méthode on obtiendrait une précipitation annuelle de 2340 mm pour le pluviomètre installé sur la route de DAK DAM.

Ainsi, pour 1966 on pourrait, à défaut de mesures exactes des précipitations annuelles sur le bassin versant, d'admettre pour celles-ci une valeur de 2.200 mm.

Quelle serait la valeur de précipitation inter-annuelle sur ce bassin versant ? Une plus longue série d'années d'observations pluviométriques est nécessaire à SEN MONOROM pour l'évaluer avec sécurité. Toutes réserves étant faites, l'année 1966 dans cette région doit représenter l'année moyenne, comme à MIMOT - KRATIE - STUNG TRENG, année pour laquelle la précipitation tombée sur le bassin reste comprise très probablement entre 2.100 mm et 2.300 mm. Si l'on introduit les données de O RAING indiquant pour l'année 1966, une année nettement supérieure à la moyenne, cette estimation est optimiste.

L'observation complète des précipitations en divers points du bassin sur deux ou trois années, avec en même temps des observations correctes aux postes anciens et actuels:

Camp le Rolland

O Raing

Poste Gatille

permettrait d'avancer avec plus de sécurité les chiffres énumérés ci-dessus. Actuellement on peut assurer que la moyenne des précipitations reste comprise entre 2000 et 2400 mm sur le bassin.

Les précipitations annuelles de fréquence décennales sur le bassin seront évaluées par comparaison aux variations observées aux postes du CAMBODGE particulièrement ceux de STUNG TRENG - SVAY RIENG - BOKOR.

Année décennale humide	1,16 fois année moyenne soit 2450 à 2650 mm.
Année décennale sèche	0,83 fois année moyenne soit 1750 à 1900 mm.

Pour O RAING et Camp le Rolland les coefficients évalués sur 9 et 10 années sont :

1,08 et 1,10 pour l'année décennale humide.

0,88 et 0,83 pour l'année décennale sèche.

Nous adopterons 2.500 mm comme précipitation de l'année décennale humide sur le bassin et 1.850 mm comme précipitation de l'année décennale sèche.

d) Intensité des précipitations.

L'étude des précipitations journalières à O RAING permet de chiffrer à :

100 mm la précipitation annuelle en 24h.

170 mm la précipitation décennale en 24h.

250 mm la précipitation centenaire en 24h.

260 mm la précipitation décennale en 48h.

350 mm la précipitation décennale en 3 jours.

430 mm la précipitation décennale en 5 jours.

Ces données faciliteront les extrapolations que nous serons appelés à faire pour l'étude des intensités horaires.

Les enregistrements pluviographiques de 1961 à 1963 à O RAING et de 1965 et 1966 à SEN MONOROM dépouillés 15 mn par 15 mn et heure par heure donnent les valeurs maxima des intensités des chutes de pluies en 15 mn, 30 mn, 45 mn, 1h, 1h 30 mn, 2h, 3h, 6h observées au cours de ces années. On définit également la valeur annuelle des intensités pour ces durées.

Par comparaison avec les données obtenues à Phnom-Penh et Sihanoukville, en admettant que les valeurs annuelles et décennales ou centenaires sont dans le même rapport, on évalue grossièrement les intensités de ces valeurs pour SEN MONOROM.

...../..

Le graphique ci-joint donne les intensités maxima observées à O RAING et SEN MONOROM et les valeurs annuelles en trait plein. En pointillé sont portées les valeurs décennales et centenaires estimées.

Ces intensités nous permettront de mieux définir les débits de crue en précisant la valeur des coefficients de ruissellement des très fortes averses compte tenu de ce que nous saurons sur les indices d'infiltration du sol.

Au cours de la période d'observations hydrologiques du bassin versant de SEN MONOROM, seul le pluviographe journalier de la météorologie fournit les intensités pluviométriques de 15 en 15 mn.

Les intensités maxima observées sont de:

68,8 mm/h en 15'	le 13.9.66
60.0 mm/h en 30'	le 17.9.66
50,0 mm/h en 45'	le 17.9.66
42,5 mm/h en 1h	le 17.9.66

L'averse la plus violente de l'année 1966 est de 112 mm/h en 30' le 6 Juillet 1966. Elle a donné lieu à une crue qui n'a pas été observée.

LES DEBITS ET VOLUMES D'ECOULEMENT

a) Etalonnage de SEN MONOROM

Au cours de l'année hydrologique 1966-1967 (Mars 1966 à Février 1967) 16 mesures de débits de 0,109 m³/s à 4,505 m³/s ont été exécutées par le service de l'hydraulique pour des cotes réparties de 0,45 à 1,07 m.

Le jaugeage au flotteur du 5 Février 1967 H= 0,45 m donne un débit de 220 l/s en prenant un rapport $\frac{U}{V_{ms}} = 0,78$ obtenu par extrapolation de la courbe $\frac{U}{V_{ms}} (H)$.

Le jaugeage du 2 Mars 1967 H= 0,48m ne détermine pas exactement le débit par suite de l'imprécision par sous-estimation des mesures de vitesse au moulinet Q = 109 l/s.

Une estimation des vitesses dans une section 100m en aval de l'échelle le 12 mars 1967 donne un débit de 120 l/s à $\pm 20\%$ H = 0,435.

La courbe de tarage en basses eaux est d'ailleurs précisée par la cote de débit nul grâce à la recherche du seuil Q = 0 pour H = 0,3m.

La courbe de tarage en hautes eaux est déterminée par extrapolation simultanée des courbes: Section (H) et vitesse moyenne (H)
Pour H = 1,40 m on trouve S = 9,7 m² U = 0,99 m/s Q = 9,6 m³/s.

La cote maxima atteinte a été de 1,66m le 13 Septembre 1966 à laquelle correspond un débit de 12,75 m³/s.

b) Les débits journaliers.

Le débit journalier devrait être déterminé exactement lors des fortes crues par évaluation du volume journalier à partir de la

courbe de variation des débits dans le temps. Pour SEN MONOROM, le débit journalier a été évalué à partir d'une ou deux cotes relevées dans la journée. Il en résulte souvent des erreurs qui généralement arrivent à se compenser.

Le maximum de débit journalier exact au cours de la période a été observé le 14 Septembre 1966 avec 6,48 m³/s soit 0,162 l/s/km²

Les débits mensuels et annuels de l'année 1966 - 1967.

Au cours de 1966-1967 les débits mensuels observés à la station ont été de :

	(0,75)	m ³ /s en Juillet 1966
X	2,13	m ³ /s en Aout 1966
	3,82	m ³ /s en Septembre
	2,45	m ³ /s en Octobre
	1,05	m ³ /s en Novembre
	0,59	m ³ /s en Décembre
	0,32	m ³ /s en Janvier 1967
	0,18	m ³ /s en Février
	0,11	m ³ /s en Mars

les débits d'Avril et Mai 1966 doivent être estimés pour disposer d'une année complète d'observations.

Les précipitations de 192 mm du mois d'avril ont été utilisées par la végétation et pour la reconstitution en eau des couches superficielles du sol et d'une partie de celles de la zone d'altération. En avril, le débit moyen pouvait être de 0,120 m³/s en Mai les précipitations de 185 mm ont assuré le développement de la végétation et complété cette reconstitution. Le surplus a donné lieu à un léger accroissement du débit de base. Admettons pour débit moyen de ce mois 0,25 m³/s.

En Juin les précipitations de 141 mm, plus faibles, n'ont pas contribué à l'alimentation des nappes. Le débit probable n'a pas dépassé 0,23 m³/s.

Le débit moyen annuel de l'année hydrologique 1966 - 1967 a donc été très voisin de 1 m³/s; le volume annuel d'écoulement de 31,56 10⁶ m³ et la lame écoulée de 785 mm.

Déficit d'écoulement et écoulements annuels.

Au cours de 1966-1967, les précipitations sur le bassin ont été estimées à 2200 mm, la lame écoulée à 785 mm. Le déficit d'écoulement atteint 1415 mm, chiffre relativement élevé si on le compare à la valeur 1000 mm pour KIRIROM plateau, et à celle du PREK THNOT 1530mm.

La présence de ces forêts galeries luxuriantes avec des zones à résurgences de nappes toujours pourvues en eau, même en saison sèche favorise l'évapotranspiration.

D'autre part la perméabilité des sols joue en faveur de l'augmentation du déficit d'écoulement puisque les eaux des averses moyennes vont s'infiltrer et pourront être reprise par évapotranspiration.

A l'aide des précipitations admises et de la valeur du déficit on estime qu'en année décennale sèche, le volume d'écoulement serait de l'ordre de 20 à 22 10⁶ m³.

En année décennale humide le volume d'écoulement serait de l'ordre de 42 à 44 10⁶ m³, en tenant compte de très faibles variations de déficit d'écoulement que l'on peut observer.

ETUDE DES CRUES

=====

Caractéristiques des crues.

Etant donné le faible nombre de crues observées entre le 11 Juillet 1966 et la fin de la saison des pluies et, compte tenu de la faible valeur des débits de pointe, il sera délicat de déterminer avec précision les caractéristiques de l'hydrogramme de ruissellement type pour une averse unitaire de ce bassin versant.

Cependant certaines valeurs peuvent être évaluées correctement d'une manière indirecte.

Le temps de concentration du bassin ou la durée nécessaire pour que les gouttes d'eau tombant sur le bassin au point le plus éloigné de l'exutoire atteigne celui-ci est aussi égal au temps s'écoulant entre la fin de la pluie et la fin du ruissellement superficiel. Ce temps est égal à 32 heures en moyenne et varie de 30 à 34 heures.

Le temps de base de l'hydrogramme de ruissellement d'une crue unitaire est évalué par la durée de ruissellement d'une crue complexe amputée de la durée séparant les deux averses. Le temps de base varie de 28 à 34 heures selon les crues. Il reste en fait très légèrement inférieur au temps de concentration.

Le "lag" ou temps séparant le maximum de l'averse du maximum de crue varie de 5h à 9h. Par suite de l'effet du laminage de la pointe de crue dans les 2 petites retenues existantes, on peut admettre que le lag est de 5 heures pour les fortes crues.

Les hydrogrammes des crues moyennes, excepté celui de la crue du 2 août 1966 engendrée par une averse localisée à la partie aval du bassin, se présentent sous une forme triangulaire et singulièrement

...../..

aplatie par suite du laminage de la pointe de crue dans les retenue (les superficies respectives des retenues sont approximativement de 40.000 m² pour la retenue amont située à 3,500 km et 70.000 m² pour la retenue partiellement aménagée.

En estimant la courbe hauteur volume et la loi de variation de hauteur débit des déversoirs de la dernière retenue, il serait possible de reconstituer la crue avant son entrée dans la retenue. Nous ne pensons pas que cette recherche soit nécessaire pour ces crues moyennes car nous n'obtiendrons peut être pas avec une bonne précision les hydrogrammes réels par suite des diverses estimations imposées pour le calcul.

Sur les deux plus fortes crues enregistrées, relativement fortes, l'effet du laminage est atténué d'une façon appréciable. Même dans ce cas la recherche de l'hydrogramme n'est pas nécessaire car nous ignorons la répartition des averses, dans l'espace, les ayant engendrées.

Pour la plus forte crue de volume 398.000 m³ le laminage de la crue a été bien moins important que pour les autres mais non négligeable.

Le volume d'eau stockée dans la retenue au cours de la phase crue a été restitué progressivement à la rivière au cours de la phase décroue. La pointe de crue a été réduite et le volume écoulé sur dix heures est sensiblement le même.

La partie de l'écoulement dû au ruissellement nur ayant été isolée de la partie (écoulement de base et hypodermique), le volume de ruissellement de chaque crue a été déterminé.

Chaque hydrogramme de ruissellement nur observé, rapporté à une lame d'eau ruissellée de 10 mm donne des hydrogrammes identiques si les averses les ayant engendrés sont unitaires. C'est-à-dire homogènes sur le bassin et de durée inférieure à 2 heures.

Pour les 2 plus fortes crues du 14 Septembre 1966 et 18 Septembre 1966 les hydrogrammes de volume homogène ($E_r = 10 \text{ mm}$) sont différents; le maximum de ruissellement est plus élevé pour celui du 18 Septembre 1966. L'hydrogramme de la crue du 14 Septembre 1966 est déformé par suite de la deuxième averse survenant 7 heures après la première, en retranchant plus ou moins arbitrairement la 2ème partie du ruissellement pur correspondant à la 2ème averse on obtient un nouvel hydrogramme relativement semblable au premier.

On peut admettre un hydrogramme unitaire moyen probable, rappelons que cet hydrogramme est déformé par suite du laminage dans les retenues; en fait, la pointe de crue est peut-être de $14 \text{ m}^3/\text{s}$ et la somme des volumes écoulés sur 8 heures est la même. La distribution réelle serait peut être de la forme indiquée ci-dessus:

0,2 - 4,7 - 9,0 - 14,0 - 10,6 - 6,0 - 4,0 - 2,5 - 17 - 1,2 - 0,8 - 0,5 - 0,4 - 0,2 - 0,1 par heure.

Pour reconstituer l'hydrogramme de la crue avant son passage dans la retenue il est nécessaire de déterminer:

- a) les caractéristiques des deux déversoirs de la retenue, superficie en fonction des hauteurs, des débits en fonction des hauteurs avec le calage des seuils de ces deux déversoirs.
- b) déterminer les caractéristiques hauteur-surface-volume de la retenue.

Mais cet hydrogramme reconstitué serait encore déformé par suite de la première retenue située à 3,3 km en amont sur une partie du bassin.

On remarque d'ailleurs sur l'hydrogramme de la crue du 18 Septembre 1966 l'existence de l'arrivée d'une première onde de crue à la station avant le maximum, comme l'averse génératrice semble être unique, elle donne naissance normalement à une crue régulière. La première onde de crue est la crue normale, d'ailleurs laminée dans la retenue aval, et la seconde onde (maximum) celle de la partie amont du

bassin qui, par suite du laminage dans la retenue amont avait été décalée dans le temps.

Les deux laminages successifs allongent le temps de montée de la crue et le temps de réponse du bassin "lag". On doit admettre un temps du "lag réel" voisin de 4 heures pour un "lag vrai" de 5 heures et un temps de montée de 7 heures.

Malgré le faible nombre de fortes crues observées et l'influence importante de l'amortissement de la crue au passage des deux retenues il est possible raisonnablement d'évaluer les caractéristiques de la crue naturelle, c'est-à-dire celle que l'on observerait sans la présence de retenues :

- rise ou temps de montée 4 - 5h au lieu de 7h
- temps de base 28h au lieu de 32h
- Q m³/s pour Er = 10 mm 14 m³/s au lieu de 13 m³/s

ainsi que la distribution réelle donnée dans le tableau.

Coefficients de ruissellement:

Les précipitations journalières n'étant mesurées qu'en deux points: l'un dans le bassin à 1 km de l'exutoire et l'autre en dehors du bassin, il est impossible de chiffrer la valeur de la précipitation moyenne tombée sur ce bassin versant. Il aurait fallu disposer d'au moins 5 à 7 postes régulièrement répartis sur le bassin ou, à défaut, des enregistreurs longue durée pour connaître les précipitations.

Obligé de calculer les coefficients de ruissellement des crues nous devons, même grossièrement estimer les précipitations moyennes sur le bassin. On admettra, sans aucune garantie, que la moyenne des précipitations observées aux deux postes indiqués ayant participé visiblement à la formation de la crue est la précipitation moyenne sur le bassin.

.....

Le coefficient de ruissellement ainsi calculé $\frac{VR}{P \times S}$ varie de 3,6 à 14,2%.

Ce coefficient croît avec la hauteur moyenne de l'averse et avec la valeur du débit de base ou bien avec l'état de l'humidification du sol.

L'averse du 17 Septembre 1966 avec des intensités comparables à celles de l'averse du 13 Septembre 1966 est tombée sur un même sol saturé. La crue produite a un coefficient de ruissellement nettement plus faible 7,9% au lieu de 14,2% pour la crue du 13 Septembre 1966.

Cette anomalie est due à l'imprécision de la détermination des précipitations sur le bassin.

On peut noter que le coefficient de ruissellement d'une averse de 50 à 70 mm tombant sur un sol bien imbibé ou ayant reçu régulièrement des précipitations journalières de 5 à 15 mm pendant près de 20 jours oscille autour des valeurs 12 à 15%.

Ce coefficient va croître très rapidement avec la précipitation totale mais également avec l'intensité pluviométrique.

INDICE D'INFILTRATION

Le pluviographe hebdomadaire du poste militaire ne permet pas d'évaluer les intensités pluviométriques même sur 30 Minutes, seul celui de la station météorologique le permet pour 15 minutes.

Si l'on retire des deux hyétogrammes des averses du 13 et 17 Septembre 1966 les parties des fortes intensité ayant provoqué le ruissellement on obtient des valeurs approchées de l'indice d'infiltration 40 mm/h et 50 mm/h. Compte tenu de l'anomalie citée plus haut et des valeurs trouvées pour les autres averses: 24, 25, 32, 28 mm/h on peut admettre en première approximation un indice d'infiltration moyenne de l'ordre de 40 à 50 mm/h pour les très fortes intensités pluviométriques.

Ces résultats montrent en effet que la valeur de l'indice d'infiltration moyen croît avec l'intensité de la précipitation, ce qui est logique étant donné que la perméabilité des sols du bassin n'est pas homogène et que pour des faibles averses seulement une partie du bassin participe au ruissellement.

Remarquons que le pouvoir d'infiltration des sols reste très élevé en moyenne car l'indice d'infiltration varie de 10 à peut être 60 mm/h et plus même lorsque les sols sont très humidifiés.

Néanmoins, on perçoit que lors des très fortes intensités pluviométriques de l'ordre de 120 mm/h pendant 30' avec un indice d'infiltration moyen de 60 mm/h on enregistre des ruissellements instantanés de 50% pour cette partie de l'averse.

Un pluviographe type journalier préciserait la courbe de variation de l'indice d'infiltration en fonction de l'intensité pluviométrique. On estimera grossièrement:

CI = 60 mm/h	pour I	120 mm/h
50 mm/h		90
40 mm/h		60
30		40
20		25
17		18

Qu'elle est la variation de cet indice d'infiltration en fonction temps sous averse continue. L'averse du 11-8 d'une durée de 5 heures ne donne aucune indication sur la variation. L'homogénéité de l'épaisse zone d'altération laisse penser que ces variations (diminution) doivent être faibles dans le temps. Pour des précipitations de 500 mm en 5 jours (période de retour 20 ans), il est possible que les diminutions de l'indice d'infiltration ^{soient} plus fortes. Pour des pluies de faible intensité et continue on remarque un accroissement important de l'écoulement hypodermique et de base dans les 24 heures.

Estimation de la crue annuelle:

En admettant un coefficient de ruissellement de 13% pour une averse de hauteur annuelle 100 mm; on obtient un débit de pointe de 18 m³/s auquel on ajoute 3 m³/s pour le débit de base. $Q_{\text{Max}} = 21 \text{ m}^3/\text{s}$

Estimation de la crue décennale:

Grâce à la courbe de variation des intensités pluviométriques de fréquence décennale et de valeur de l'indice d'infiltration en fonction des intensités, on calcule la valeur du coefficient de ruissellement pour l'averse décennale de hauteur journalière; 170 mm; la lame ruissellée est de 44 mm et $KR = \frac{44}{170} = 26\%$.

La durée de l'averse est encore unitaire dans ce cas d'ailleurs limite. Le débit de ruissellement est de 61 m³/s auquel on ajoute 5 m³/s pour le débit de base $Q_{\text{Max}} = 66 \text{ m}^3/\text{s}$.

Estimation de la crue centenaire:

On calcule la lame d'eau ruissellée de façon identique pour chaque durée étudiée.

Entre 0 et 15' la lame tombée est 60 mm donc $I = 240 \text{ mm}/\text{H}$ or $CI = 60 \text{ mm}/\text{H}$ dont $L_R = \frac{240 - 60}{4} = 45 \text{ mm}$.

Entre 15' et 30' la lame tombée est 120-95 = 25 mm donc $I = 100 \text{ mm}/\text{H}$ or $CI = 55 \text{ mm}/\text{H}$ $L_R = \frac{100 - 55}{4} = 11,5 \text{ m}$ et on trouve $L_R = \sum L_R = 87 \text{ mm}$

pendant ces trois heures au cours desquelles il est tombé 201 mm la précipitation journalière de fréquence centenaire étant de 250 mm le coefficient de ruissellement est de 35% ou de 43% pour l'averse de trois heures.

Le ruissellement a été provoqué par une averse de durée plus longue qu'une averse unitaire, mais compte tenu des imprécisions au cours l'élaboration du diagramme de ruissellement, nous estimerons le même % de pointe. Le débit de base étant supposé de 8 m³/s.; la pointe de crue maximum serait de $122 + 8 = 130 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ces trois estimations des débits de crue sont basés sur certaines constatations faites lors de la campagne d'études 1966 - 1967 à savoir - augmentation de l'indice moyen d'infiltration du bassin versant en fonction de l'intensité pluviométrique et prédétermination du diagramme de distribution. Elles ne sauraient être prises comme exactes. Elles fixent les ordres de grandeur des valeurs des crues pour ces diverses fréquences.

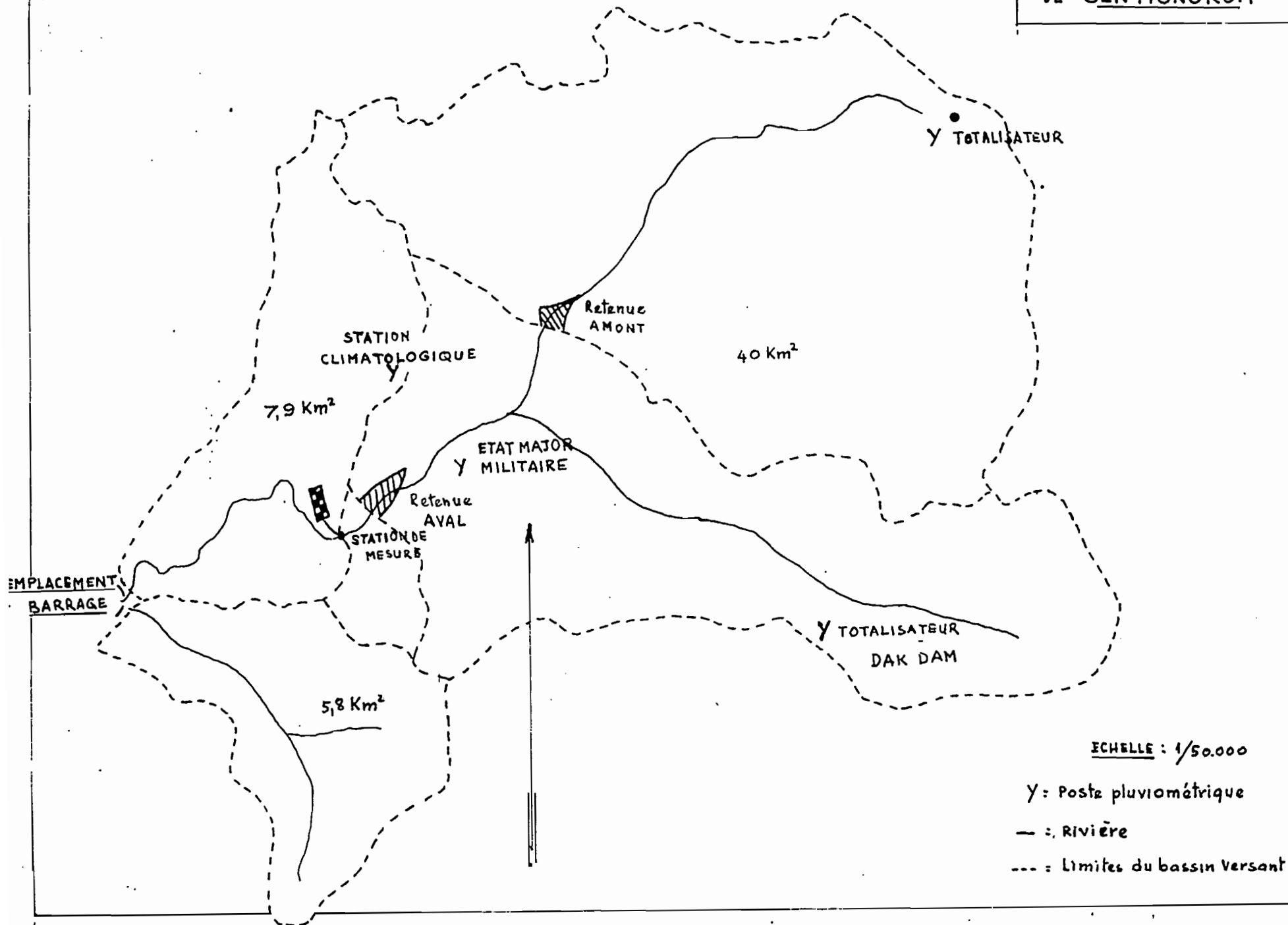
Une seconde et même une troisième campagne de mesures avec des observations particulières sur les précipitations et intensités pluviométriques sur le bassin assureraient la possibilité de préciser les chiffres dégrossis de ce rapport.

CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES AU SITE
DU BARRAGE PROJETE ACCUMULANT LES EAUX DE L'AFFLUENT R.G.

Bassin versant 30 m en amont de la cascade	: 53,7 km ²
Module	: 4/3 m ³ /s
Apport annuel moyen	: 42.10 ⁶ m ³
Apport décennal faible	: 27 à 29.10 ⁶ m ³
Apport décennal humide	: 56 à 58.10 ⁶ m ³
Débit de crue annuelle	: 28 m ³ /s
Débit de crue décennale	: 88 m ³ /s
Débit de crue centenaire	: 173 m ³ /s

NOTA : Toutes les autres données obtenues dans le rapport hydrologique concernant les débits et les volumes d'écoulement à la station de mesures doivent être multipliés par $\frac{53,7}{40,2} = 1,333$ ou 4/3 pour être applicables à la section du barrage projeté.

BASSIN VERSANT
DE SEN MONOROM



ECHELLE : 1/50.000

- Y : Poste pluviométrique
- : Rivière
- : Limites du bassin Versant

COURBE HYSOMETRIQUE DU BASSIN
DE SEN MONOROM

Altitude en Mètres

800-

731-

700-

600

0

25

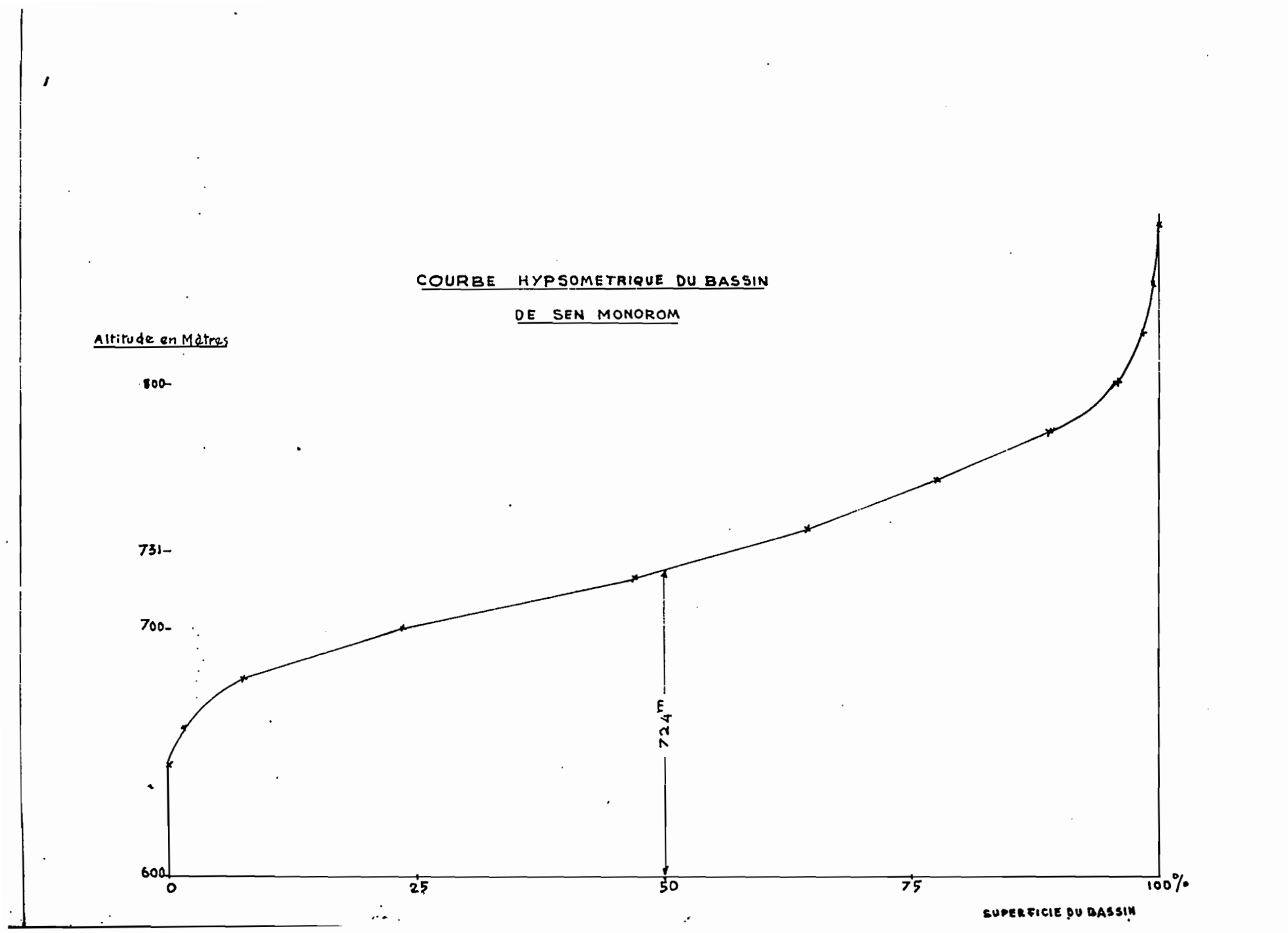
50

75

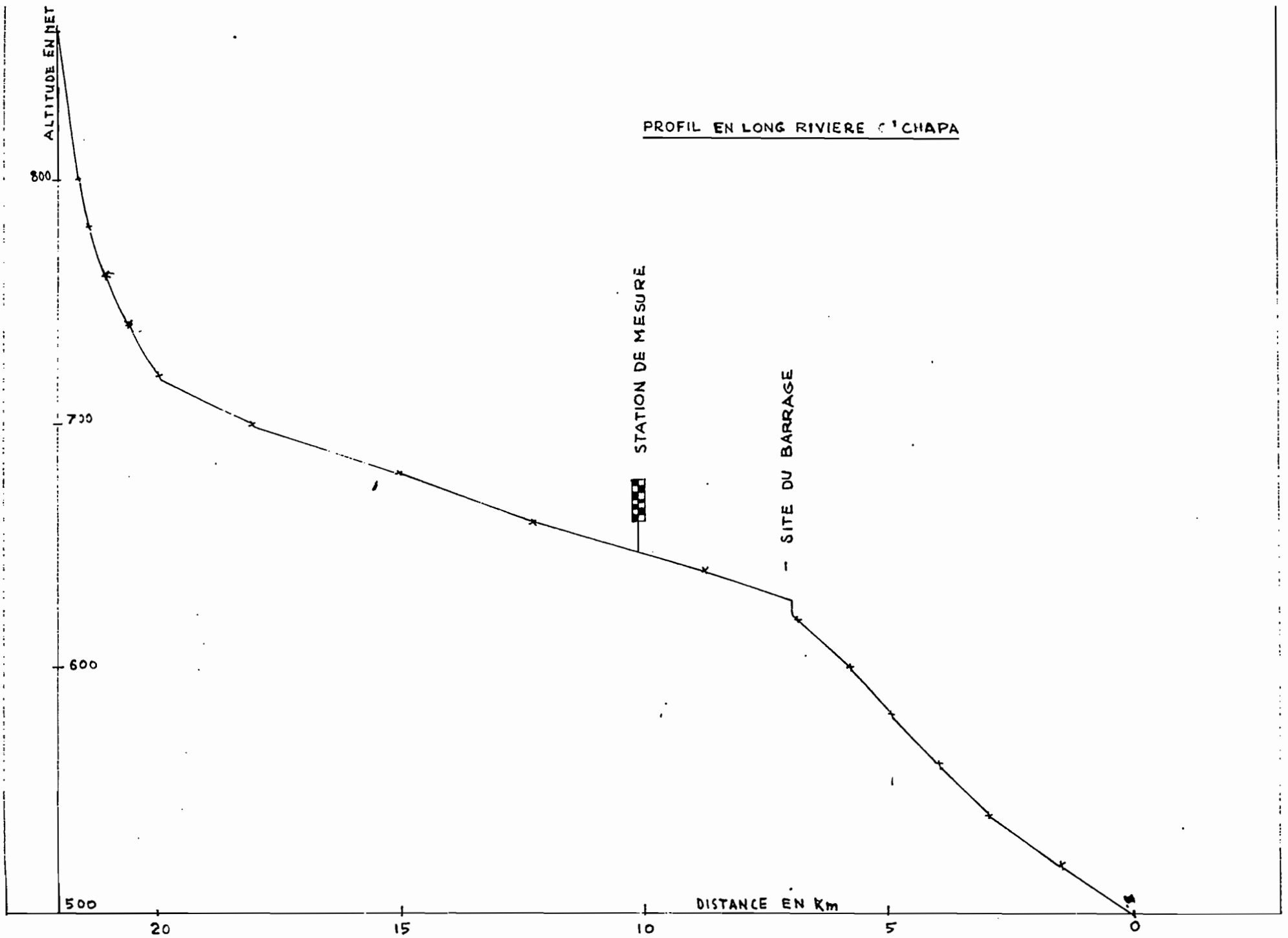
100%

SUPERFICIE DU BASSIN

724^m

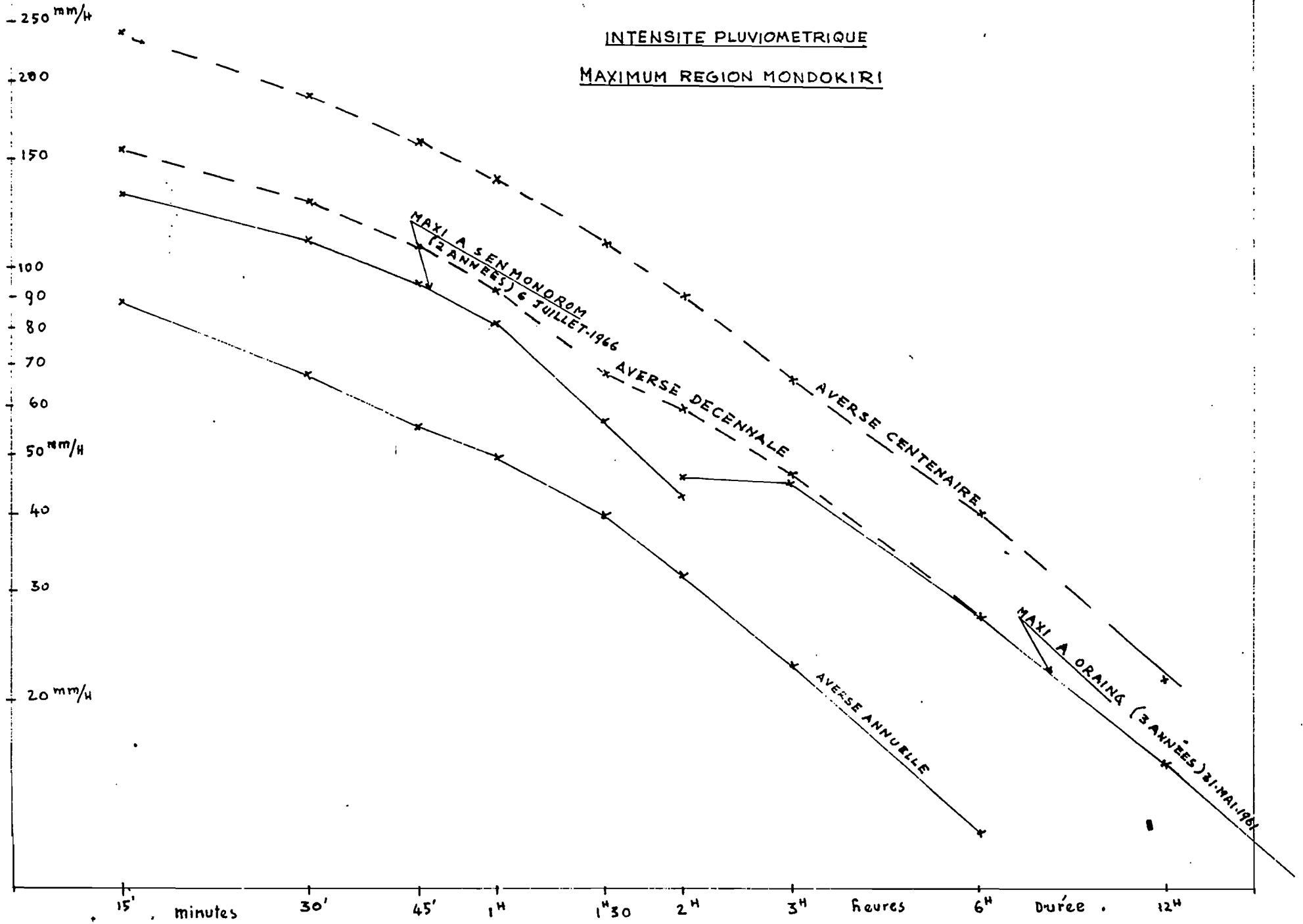


PROFIL EN LONG RIVIERE C'CHAPA



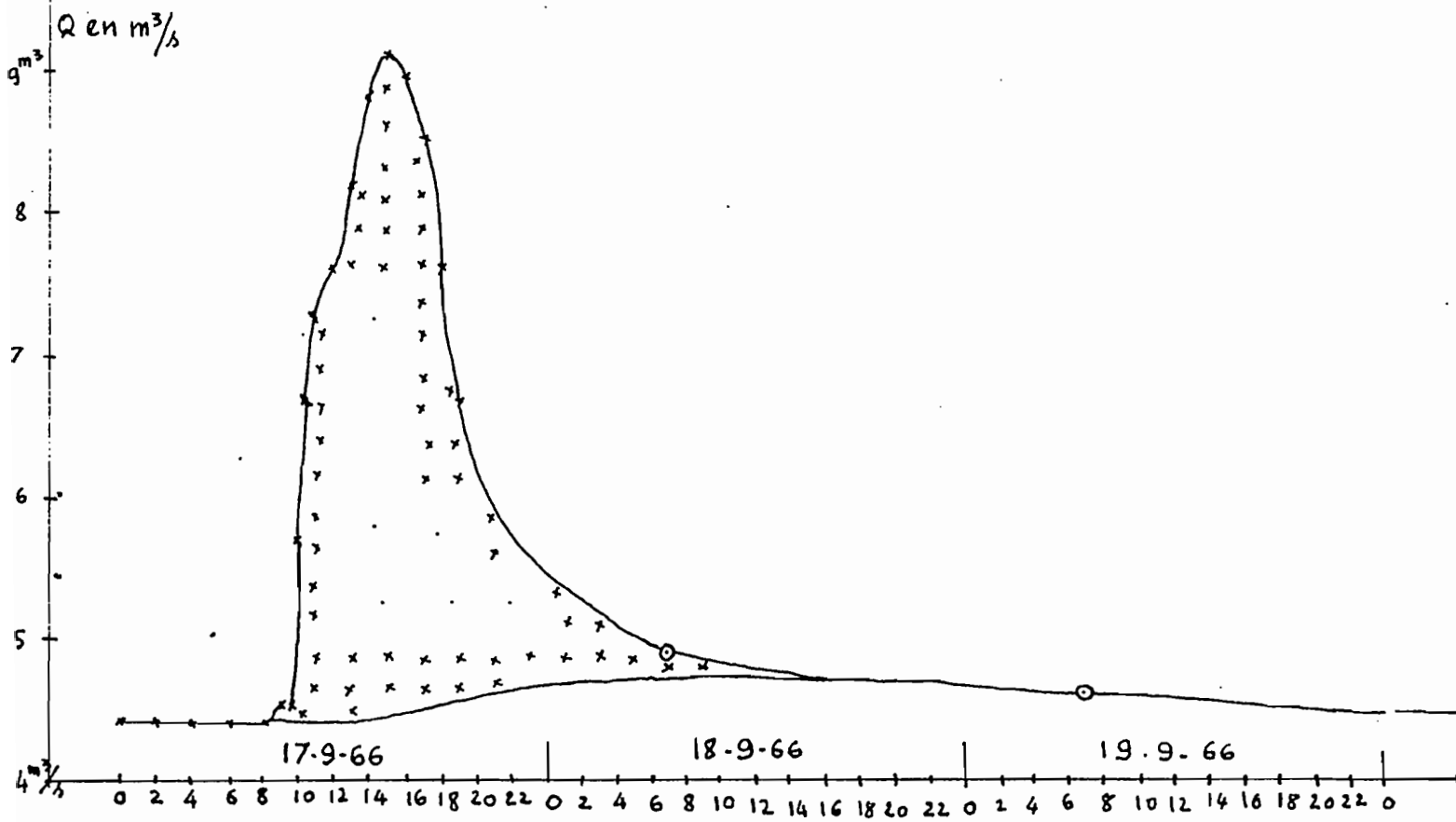
INTENSITE EN mm/H

INTENSITE PLUVIOMETRIQUE
MAXIMUM REGION MONDOKIRI

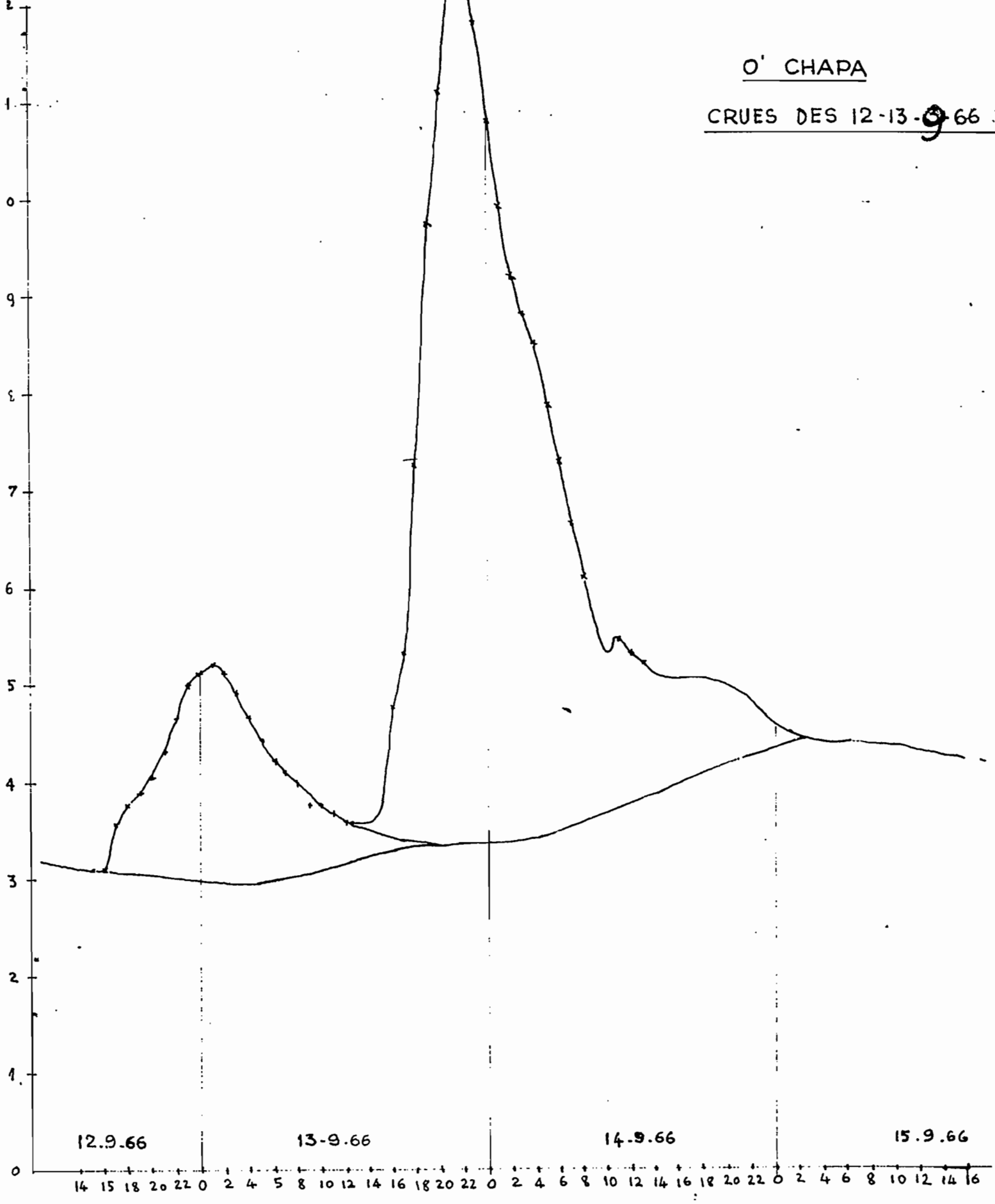


O' CHAPA

CRUE DU 17-9-66



Q en m³/s



O' CHAPA
CRUES DES 12-13-9-66

Etude de crue dans le quadrilatère
Rocakong, Kompong Préas, Prek Kdam, Phnom Penh .

-----x-----

La crue du Mekong de cette année a atteint le niveau maximum de 9,94 m à Phnom Penh. D'après les observations effectuées depuis 1894, la période de retour expérimentale de la crue de 1966 est de douze ans. La plus forte crue a atteint 10,62 m en 1894 et celle immédiatement inférieure 10,18 m en 1918.

La route du Sangkum sur le point d'être terminée a été partiellement endommagée par cette crue. Les jonctions entre digue et ouvrages d'art n'ayant pas été réalisées, les eaux ont trouvé par là des passages privilégiés facilement érodibles côté digue non stabilisée.

Le service de l'hydraulique et des voies navigables a réalisé entre les 17 et 19 Septembre les mesures systématiques des débits passant au travers de la route aux ouvrages d'art réalisés, aux passages privilégiés ou au dessus de la chaussée en construction.

La présente étude a pour objet limité d'être un essai d'interprétation des phénomènes hydrauliques qui se sont produits au cours de la crue et de présenter quelques remarques au sujet de la complexité du problème soulevé par le choix des débouchés des ouvrages d'art.

Niveau maximum des eaux.

- Sur le graphique ci-joint sont donnés :
- l'enveloppe des altitudes maximum du niveau d'eau enregistrées aux stations hydrométriques du Mekong entre Kompong Cham et Reak Luon au cours de la crue 1966.
 - le tracé probable de l'enveloppe des maximas pour la crue de 1894.

Comme la route du SANGKUM longe la berge rive droite du Mekong, les altitudes maximum des niveaux d'eau indiqués sur le graphique correspondent, par valeurs légèrement supérieures, à celles des eaux près de la route.

Les risques de submersion de la route peuvent être évalués en fonction du choix du niveau de la plateforme de la route digue.

En choisissant comme niveau de la plateforme de la route le niveau maximum de la crue de 1894 le risque de déversement par dessus la chaussée devient très réduit pour la portion Rocakong-Phnom Penh. Il en est de même entre la boucle de Rocakong et la RN 6 si l'on prend comme niveau de la plateforme celui du maximum des eaux à Rocakong.

Evolution de la crue de 1966.

Sans pouvoir saisir toutes les nuances de l'évolution de la crue dans les zones d'inondation du côté amont ou Nord Est de la route du SANGKUM et les zones délimitées par la RN 6, la crue du Mekong, caractérisée par un débit constant de 49.600 m³/s pendant 7 jours, du 13 au 20 Septembre, facilite la compréhension du phénomène hydraulique malgré certaines lacunes dans les observations.

Pour cette période, les niveaux d'eau étant stationnaires à Kompong Cham et à Peam Chikang ainsi que les pentes entre ces deux stations, les débits transitants à ces stations sont constants ainsi que les débits de déversements.

Après une montée rapide des eaux à toutes les stations entre le 11 et le 14 Septembre (PK 54, Rocakong, Kompong Présat, Kompong Présas, Prek Kdam, Kompong Prasat) et du 1/3 à Rocakong et au PK 54

Cette dernière phase peut être appelée phase à écoulement relativement permanent en opposition à la première qui est à écoulement transitoire rapidement variable.

Si, au cours de la 1ère phase, les stockages maximum dans les zones d'inondations atteignent 90.10⁶ m³ par jour dans la portion limitée à la route du SANGKUM - Prek Kdam - Oudong - Phnom Penh, représentant un stockage uniforme de 1.000 m³/s pendant 24 heures ou bien un écart entre entrées et sorties de 1.000 m³/s ; dans la seconde phase, ce stockage ne dépasse pas 300 m³/s.

Entre le 11 et le 23 Septembre (début et maximum de crue) le volume stocké dans cette zone est de 470.10⁶ m³ et peut être représenté par un débit uniforme de 5.000 m³/s sur 24 heures seulement.

L'effet de stockage dans cette zone très important lors du passage d'une onde de crue du Mekong devient très faible en cas de débit maximum constant et ne représente plus que 5 % de prélèvement sur les entrées.

On constate que la pente générale de la ligne d'eau entre les ponts de Kompong Présas, Kompong Prasat et le Tonlé Sap à Prek Phneo, Prek Kdam, Phnom Penh reste pratiquement constante dans le temps. On note cependant un maximum de celle-ci de + 5 à + 10 cm vers le 15 Septembre. L'accroissement de la section mouillée dans la zone du quadrilatère limité au Tonlé Sap, RN 6, route du Sangkum est de 1.000 m² par jour et passe de 46.000 m² le 14 à 51.000 m² le 19 Septembre. Durant cette période les débits transités dans ce quadrilatère sont constants ou légèrement croissants du 15 au 19 par suite de l'accroissement du rayon hydraulique.

Pour effectuer le bilan hydrologique de ce quadrilatère nous devons chiffrer les entrées et les sorties, le stockage étant évalué précédemment. Les entrées ont été mesurées les 17 et 18 Septembre sur la route du Sangkum et atteignaient 6.800 m³/s. Les entrées du 15, 16 mesurées partiellement sur la route du Sangkum ont été estimées proportionnellement à celles des 17 et 18 Septembre. Les sorties sont : Tonlé Sap à Prek Kdam avec écoulement vers le lac jusqu'au 24, Tonlé Sap à Phnom Penh avec écoulement vers le Mekong à partir du 17 Septembre..

Ces sorties sont assez mal connues dans le temps. Les mesures réelles sont soulignées, les autres valeurs sont de grossières interpolations estimées.

dates	5	110	114	115	16	17	18	19	20	21	22	23
TONLE SAP		5300	5000	4800	4400	3600	2800	<u>1800</u>	1400	1200	1000	500
à												
Prek Kdam	<u>5970</u>											
Tonlé Sap												
à												
Phnom Penh												
(lac)		14700	1800	11000	0							
(Mekong)						1600	2000	2200	<u>2400</u>	2800	3200	3400
Stockage		300	900	800	400	300	300	300	200	0		
sortie +												
stockage		900	1100	14600	14800	5500	5100	4900	14000	14000	14200	13900
entrée		700			4600		6800					

En comparant les entrées aux sorties augmentées des stockages on remarque une nette imprécision de ce bilan vers les 17, 19 Septembre. Elle est due principalement à la sous estimation très importante à Prek Kdam. La légère surestimation dans les mesures des débits vers la boucle de Kocakong ne pouvant dépasser 450 m³/s sur les 2.328 m³/s évalués, elle ne peut avoir une influence notable sur le bilan.

Replaçons nous à l'intérieur du système hydraulique d'écoulement général du Mekong. En aval de Kompong Cham, les débordements en rive droite et en rive gauche ont des débits permanents dès le 14 Septembre jusqu'au 16 ou 17. Nous notons une constance des cotes

aux échelles B7 sur le Tonlé Sap TOCH à Peam Khnong B5. A ces dates correspond l'écoulement permanent vu précédemment. Ensuite, les remontées très lentes sont les conséquences d'un phénomène complexe dû à la diminution progressive des débits allant vers le lac par le Tonlé Sap à Phnom Penh et Prek Kdam lors de l'accroissement des débits du Mékong et de la permanence de son débit maximum. Les conséquences sont multiples. Pour évacuer la partie de ces débits qui ne peuvent s'écouler vers le lac, le niveau du Mékong à Phnom Penh doit monter pour que la tranche d'eau additionnelle sur le Mékong et sur les plaines de débordements véhiculent ces débits. Par réaction, cette augmentation des niveaux à Phnom Penh exige qu'en amont sur le Mékong une surélévation des niveaux compense la diminution de pente dans ce bief et puisse faire transiter un débit au moins équivalent. Les débits de défluences en rive droite et rive gauche s'accroissent. Les plans d'eau s'élèvent (échelle B7) sur Tonlé Toch en rive gauche pour assurer ce nouvel écoulement additionnel ; sur la rive droite, il en est de même mais l'apport des zones d'inondation s'écoulant par le PK 54 et par la berge du TONLÉ SAP entre Phnom Penh et Prek Kdam tend à réduire les débits transitant vers le lac par le Tonlé Sap à Phnom Penh ce qui accélère le processus d'accroissement des niveaux sur cette rive. Signalons que l'apport de la zone d'inondation du quadrilatère étudié créé sur le Tonlé Sap un dôme hydraulique entre Phnom Penh et Prek Kdam près de Kompong Os.

Une stabilisation des niveaux se produira lorsque la surélévation obtenue à Phnom Penh sera suffisante pour que l'ensemble Mékong + Bas ac soit capable d'évacuer les débits constants passant à Peam Chikang diminués des débits de défluences vers la rive gauche et des débits évacués par le PK 54. On admet les hypothèses simplificatrices que le niveau du grand lac est inférieur à celui du Mékong à Phnom Penh et que le Tonlé Sap à Prek Kdam ne débite plus. Les problèmes sont très complexes lorsque le niveau du lac, lac alimenté par son propre bassin et par le PK 54, atteint et dépasse le niveau du Mékong à Phnom Penh dès 9,50 m. Dans ce cas, la crue ou toute crue du Mékong devient extraordinairement forte.

L'observation de la crue de 1966 caractérisée par un débit constant à l'entrée dans la zone des défluences permet de mieux comprendre son évolution dans la zone en amont de Phnom Penh sans pouvoir en suivre quantitativement le développement. Ce dernier point ne peut être traité que par le modèle mathématique du delta ou une étude semblable limitée à la partie Kompong Cham - Phnom Penh.

Les débits représentant la somme des débits de défluences rive droite de Kompong Cham à KCCARONG doivent s'évacuer par l'ou-

.../...

Nous ne connaissons ni la répartition de cette répartition au travers de la route RN 6 entre Skoun et l'embranchement de la route du Sangkum et entre cet embranchement et le pontage du PK 54 et les ouvrages de la route du Sangkum. Avant les constructions de la digue de la RN 6 et de la route du Sangkum, il existait une certaine répartition dans l'évacuation de ces débits de défluences. La plus grande partie s'évacuait dans la direction qui donne la pente motrice la plus forte par les cheminements préférentiels dans les bas fonds. La plus faible par les écoulements en nappe dans les vastes zones selon le même critère.

La majeure partie des écoulements devrait s'établir par le Muk Kompoul en direction N - S et autres bas fonds plus ou moins marqués par des chapelets de bungs et en direction de Kompong Chhnang par le bas fond du PK 54.

Les répartitions de ces écoulements restent variables selon l'importance de la crue. Nous pensons que, pour les crues ordinaires, les écoulements à travers la route RN 6 devraient être relativement faibles comparés à ceux du Muk Kompoul, pour les crues très fortes ces écoulements croissent plus rapidement que ceux de la zone du Muk Kompoul. En effet, pour les crues ordinaires les eaux empruntent les drains naturels, pour les fortes crues les débits importants ne peuvent plus être véhiculés en totalité dans ces drains et l'écoulement en nappe prend toute son importance.

Nous ne connaissons ni la répartition ni la variation de cette répartition au travers de la route RN 6 entre Skoun et l'embranchement de la route du Sangkum et entre cet embranchement et Prek Edam.

Après la construction de la digue de la RN 6 et le pont du PK 54, et pour les fortes crues seulement, les débits passant au pont du PK 54 ne représentent qu'une faible partie des débits qui se seraient écoulés si la route n'était pas construite. On constate ainsi une augmentation des niveaux d'eau du côté Mekong de la RN 6 et une augmentation des débits transités dans la zone comprise entre cette digue et le Mekong pour compensation. En fortes crues, les fortes vitesses au pont indiquent l'existence d'une forte mise en charge le long de cette route.

Si dans la zone d'écoulement en rive droite du Mekong on construit une digue avec des ponts aux passages des lits et des bas fonds préférentiels entre le Mekong et la RN 6 il en résulte que la totalité des eaux d'écoulement en nappe doit emprunter ces débouchés et ainsi les niveaux côté amont montent pour assurer le passage de ces débits d'écoulements.

Avec la construction de cette nouvelle digue, on assiste à une nouvelle surélévation des niveaux d'eau en amont de cette route

mais également le long de la RN 6 vers l'amont selon une courbe de remous. On note alors des vitesses maximum de l'ordre de 3,5 m/s au PK 54. Les vitesses sont plus faibles aux ouvrages de la route du Sangkum (vitesse maxima 3 m/s au pont de Kompong Preas.

L'ouverture des brèches dans la digue route du Sangkum a eu des effets bienfaisants car, malgré la constance des débits de déversements sur la rive droite en amont de PSA CHAN sa progressive augmentation en aval et les hauteurs croissantes à toutes les stations de mesure, on enregistre au voisinage des brèches une diminution progressive des niveaux d'eau dès l'ouverture.

Sans ouverture de ces brèches les eaux auraient continué de monter pour que les débits à ces brèches puissent transiter par tous les autres passages et réduire les déversements près de ROCAKONG par suite de la diminution de la pente motrice des déversements dans cette zone.

Le plan ci-joint donne les niveaux d'eau observés ou estimés d'après les déductions le 21 Septembre. Les estimations faites le long de la RN 6 sont déduites des dénivellations mesurées. A l'embranchement de la route du Sangkum les dénivellées mesurées impliquent un choix exact à plus ou moins quelques centimètres. La cote de A ne peut augmenter et la cote B ne peut diminuer. La dénivellée F a été faite d'après les délaissés très nets de crue et le maximum en G également.

On remarque que les charges aux digues dans les conditions d'écoulements à cette date sont plus fortes entre le point Y et Rocakong (117 à 104 cm contre 70 - 64 - 49 cms).

Si donc on prévoit sur la route du Sangkum les ouvrages permettant de laisser passer les débits mesurés les 17 et 18 Septembre nous aurons pour la même crue des niveaux en tous points identiques et des vitesses acceptables aux ouvrages.

Ne pas construire les ouvrages suffisants pour assurer l'évacuation de ces débits entre le point Y et la boucle de Rocakong entraîne pour une crue identique une surélévation des niveaux d'eau en amont de la route.

Cette surélévation très sensible vers cette cote entraînera une diminution des déversements par les Preks et le long de la berge du Mekong au droit du Prek Koy, accroîtra les vitesses aux passages des ouvrages de la route du Sangkum accentuées par suite

de la baisse de niveau en aval (pont de Komong Treas) et augmentera les vitesses au passage du pont au PK 54 ce qui est plus grave.

Grâces aux digues qui assurent un contrôle total du passage des déversements rive droite on évalue à 6.500 m³/s (n° 21 à 35) les déversements globaux entre Kompong Cham et Rocakong et à 9.700 m³/s ceux de Kompong Cham à Phnom Penh pour un débit de 49.600 m³/s à KOMPONG CHAM.

Entre la situation initiale sans digue et la situation actuelle on peut être assurés que même en tenant compte des effets de stockage, en amont des digues, notre évaluation actuelle est inférieure à ce qu'elle était au paravant par suite d'une réduction des débits des défluences.

Les effets de stockage en amont de la route du Sangkum se chiffrent à 240 m³/s permanents. Les débits des défluences entre Kompong Cham et Phnom Penh sont évalués à 10.000 m³/s les 18 et 19 Septembre pour des altitudes de 11,45 m à Rocakong et 12,93 à Peam Chakang. Or le 12 et 13 Aout 1963 pour des altitudes de 10,36 à Rocakong et 12,02 à Peam Chikang, les défluences mesurées entre Kompong Cham et Phnom Penh étaient de 2.000 m³/s. Ces deux valeurs permettent d'évaluer à quelques 10.000 m³/s les débits de défluences et de déversements qui se sont produits lors de la crue de 1894 sur la berge rive droite du Mekong entre Kompong Cham et Phnom Penh et à 13.000 m³/s ceux de la crue de 1910.

Nous pouvons estimer par ailleurs la valeur des débits transités dans la zone d'inondation en aval de la route du Sangkum pour la cote de 10,60 à Phnom Penh à 9.200 m³/s en admettant l'hypothèse d'une pente constante dans cette zone puisque déjà observée entre les cotes 8,60 m et 9,94 m.

Pour la plus grande crue les débits à travers la RN 6 et à travers le quadrilatère seraient sensiblement égaux.

Il n'est pas envisageable, raisonnablement, de prévoir des sections d'écoulement aussi importante sur les routes du Sangkum et sur la RN 6 pour laisser passer la plus grande crue connue ni même celle de 1910. Les réalisations actuelles doivent donc être conçues de telle manière qu'une grande inondation ne puisse les détruire ou qu'une crue moyenne à fort gradient de montée ne puisse occasionner des vitesses dommageables envers les ouvrages.

Le choix du nombre de ponts et de la valeur totale des ouvertures n'est donc dicté que par les risques d'inondation des zones situées en amont de ces routes digues et de destruction de ces ouvrages.

Pour assurer la sécurité des ouvrages deux solutions sont possibles : protéger les abords immédiats pour éviter les entraînements des matériaux ou augmenter leur nombre de telle manière que les niveaux "aval" par suite de l'accroissement des débits transités, soient suffisamment élevés pour que les vitesses des eaux sous les ouvrages soient acceptables.

Toutefois, des réductions de passage entraînent automatiquement une augmentation du niveau d'eau en amont assez loin dans la zone de remous et dans les régions voisines par répercussions.

Pour assurer que les niveaux d'eau, en moyenne tous les 10 ans, ne dépasseront pas ceux de 1966 il est nécessaire de prévoir les débouchés laissant s'écouler les 10.000 m³/s entre Skoun et Phnom Penh à travers la route RN 6 et celle du Sangkum et de protéger particulièrement le pont de Kompong Préas contre une crue plus forte.

Ces débouchés doivent être recherchés dans les zones à écoulement maximum aux points où :

- la dénivellation est maximum entre l'amont et l'aval.
- la profondeur maximum en eau est la plus grande.
- les possibilités d'alimentation et d'évacuation de de passage par des bas fonds existants sont offertes.

C'est du côté du grand lac sur la RN 6 en amont de la route du Sangkum et près des ponts de Kompong Préas et Kompong Prasat que sont les emplacements optima.

L'ouvrage situé sur la RN 6 a une influence non négligeable sur les cotes des plans d'eau en aval de ROCA OK et à Phnom Penh. Toute décharge a pour effet dans le cas où le lac n'est pas plein de réduire les cotes maximum à Phnom Penh. Approximativement, 2.000 m³/s qui s'écoulent vers le lac réduisent de près de 10 cms la cote à Phnom Penh. Ils sont sans effets dans le cas où le lac est plein mais ne jouent alors qu'un rôle d'amortissement.

Dans ces conditions, lors d'une très grande crue, les ouvrages protégés pourront supporter les vitesses plus fortes et les niveaux d'eau maximum qui seront atteints ne doivent pas dépasser les altitudes de 12,50 m puisque les débits non évacués feront monter les plans d'eau dans la zone amont de manière à réduire les débits de déversements et à permettre au Mékong de véhiculer ces débits soit dans son lit soit dans la zone rive gauche à cette cote.

Tous ces points délicats peuvent être traités par le modèle mathématique ajusté à l'aide des données obtenues lors de la crue de 1966. Les nombreuses précisions obtenues permettraient de mieux évaluer les interactions complexes dans cette zone du delta.

Phnom Penh, le 26 Novembre 1966

G. GIRARD
Hydrométéorologue O.M.S.