

**OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER**

**COMITÉ INTERAFRICAIN
D'ÉTUDES HYDRAULIQUES**

**ÉTUDE GÉNÉRALE DES AVERSES EXCEPTIONNELLES
EN AFRIQUE OCCIDENTALE**



République de CÔTE D'IVOIRE

par

Y. BRUNET - MORET

Ingénieur hydrologue à l'O.R.S.T.O.M.

JUIN 1967

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

COMITE INTER AFRICAIN
D'ETUDES HYDRAULIQUES

ETUDE GENERALE
DES AVERSES EXCEPTIONNELLES
EN AFRIQUE OCCIDENTALE

République de Côte d'Ivoire

par Y. BRUNET-MORET
Ingénieur Hydrologue de l'ORSTOM

Juin 1967

Par Convention n° 16/M/62/S du 16 Mars 1962, il a été confié à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer l'étude systématique des pluies en Afrique Occidentale.

Cette étude, basée sur l'analyse des relevés pluviométriques et des enregistrements de pluviographes, a pour buts principaux de déterminer les hauteurs de précipitations journalières de fréquences rares et d'établir des courbes intensités-durées pour diverses périodes de récurrence sur l'ensemble de l'Afrique Occidentale.

- PREMIERE PARTIE -

ETUDE DES PLUVIOMETRIES JOURNALIERES PONCTUELLES

I - DONNEES D'OBSERVATIONS

L'étude des pluviométries journalières a été reprise entièrement pour un bon nombre de pays de l'Afrique de l'Ouest en suivant une nouvelle méthode. Nous avons utilisé les relevés des stations pour lesquelles nous avons 10 années au moins de relevés journaliers :

Dahomey	35	stations	au total	1 021	années d'observation
Togo	47			968	
Côte d'Ivoire	39			1 063	
Mali	60			1 569	
Niger	37			958	
Mauritanie	18			546	
Total	236			6 125	

Nous devons tout d'abord faire les remarques suivantes sur la valeur des observations :

- Il a été fréquent que le pluviomètre placé dans une localité ait été changé de place à un changement d'observateur, ces déplacements ont pu atteindre ou dépasser le kilomètre et modifier la position du pluviomètre par rapport à l'orographie, au vent dominant. Mais nous ne pouvons avoir de précisions sur les anciens emplacements, et il n'est pas possible de tenir compte de ces modifications que nous estimerons sans importance réelle pour l'étude des pluviométries journalières, étant donné le relief en général peu accentué, des régions étudiées.

- Certains pluviomètres peuvent se trouver dans des positions défectueuses par rapport aux obstacles préexistants ou qui se sont développés : arbres, constructions ... Il n'est pas question de tenir compte de ces imperfections.

- Les erreurs d'observation sont nombreuses : nous avons été témoins des suivantes :

. L'observateur néglige les dixièmes de millimètres et arrondit systématiquement la hauteur au millimètre inférieur. Cela peut avoir une influence, relativement faible, sur le total annuel.

. Il arrive que certains observateurs, dans le cas de pluies supérieures à 10 mm, comptent bien le nombre d'éprouvettes de 10 mm, mais écrivent en dixièmes de millimètres le contenu de la dernière éprouvette : ainsi 50,6 mm au lieu de 56 mm. Cela se vérifie facilement d'après le nombre abusif des zéros au rang des unités, et nous n'avons pas tenu compte des années ainsi observées.

. Les négligences d'observations sont fréquentes : l'observateur néglige de relever les petites averses, et celles-ci sont totalisées (éva-
poration en moins) avec la première averse un peu forte : le nombre de jours de pluie est réduit et la plupart des totaux journaliers inférieurs à 10 mm disparaissent.

. Un point délicat est celui de la définition du "jour de pluie". Les Services météorologiques demandent des relevés à heures fixes (deux fois par jour) et comptent comme jour de pluie toute période de 24 heures (commençant après le relevé du matin) pendant laquelle il a été mesuré au moins 0,1 mm. Il peut donc se produire qu'une petite pluie soit tombée dans le seau pluviométrique et ait été évaporée avant le relevé suivant. Il se peut aussi que l'heure du relevé du matin soit arrivée pendant une averse et que la hauteur totale de l'averse soit comptée sur deux jours différents. Or nous cherchons à établir la loi de répartition de la pluviométrie par périodes de 24 heures indépendamment de l'heure du début de cette période. Dans certains cas, avec l'aide des fiches originales de l'observateur, la hauteur totale peut être rétablie. Dans bien d'autres cas, cela n'est pas possible. A vrai dire, il est assez rare, sauf dans les stations météorologiques d'"observation", que l'observateur se dérange avant la fin de l'averse. Notons de plus que certains observateurs ont manifestement compté comme pluie les fortes rosées qui peuvent se produire.

Pour conclure ces remarques sur la valeur des observations, nous pensons cependant que, dans l'ensemble, elles sont bonnes, sinon il n'aurait pas été possible de dégager les tendances générales de la distribution telles qu'elles seront précisées plus loin.

II - METHODE D'ETUDE

Le nombre d'années d'observations, une quarantaine pour les stations privilégiées, ne permet pas d'estimer avec assez d'exactitude la valeur de la hauteur de probabilité une fois en 10 ans, uniquement au vu du rangement en ordre décroissant des pluviométries journalières.

A - La représentation mathématique choisie pour la loi de probabilité de répartition des pluies journalières est une loi de Pearson III tronquée :

$$F_1(x) = F_1(0) \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_x^{\infty} (ax)^{\gamma-1} e^{-ax} a \, dx .$$

$F_1(x)$ est la probabilité pour que la valeur de la variable soit supérieure ou égale à x .

$F_1(0)$ est la probabilité pour que la valeur de la variable ne soit pas nulle.

γ paramètre sans dimensions.

a paramètre dont l'inverse $\frac{1}{a}$ s'exprime dans la même unité que x .

$\Gamma(\gamma)$ étant la fonction gamma.

On pourrait prendre $F_1(0)$ égal à $\frac{M}{365,25}$, M étant le nombre de jours de pluie par an, mais ce nombre est mal connu (nombre de jours de pluie inférieur à 0,1 mm non comptabilisé, relevés de petites pluies non effectués, averses coupées en deux journées à l'heure du relevé, rosées comptées comme pluie).

Nous préférons calculer les paramètres $F_1(0)$ [ou plutôt M] et $\frac{1}{a}$ par la méthode des moments. Soit m le nombre d'années d'observation à la station :

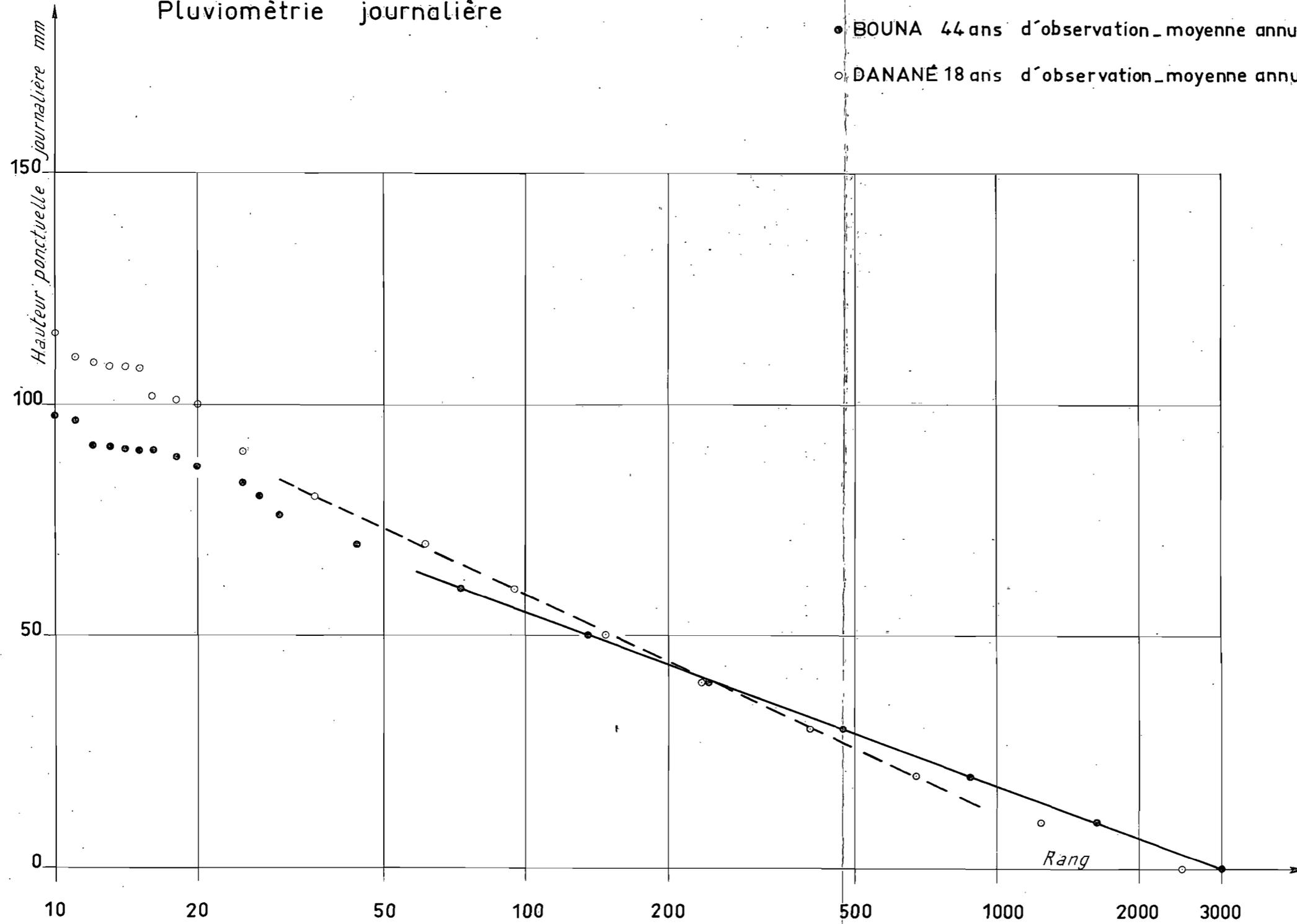
. la somme des hauteurs pluviométriques ponctuelles journalières est :

$$\sum_1 = m M \frac{\gamma}{a}$$

COTE D'IVOIRE
Pluviométrie journalière

Gr: 1

- BOUNA 44 ans d'observation - moyenne annuelle 1139mm.
- DANANÉ 18 ans d'observation - moyenne annuelle 2269mm.



. la somme de leurs carrés est :

$$\Sigma_2 = m M \frac{Y}{a} \frac{Y+1}{a}$$

. la somme de leurs cubes est :

$$\Sigma_3 = m M \frac{Y}{a} \frac{Y+1}{a} \frac{Y+2}{a}$$

. la somme de leurs bicarrés est :

$$\Sigma_4 = m M \frac{Y}{a} \frac{Y+1}{a} \frac{Y+2}{a} \frac{Y+3}{a}$$

B - Il ne peut être question, avec les moyens dont nous disposons, de calculer directement les sommes des carrés, les sommes des cubes et les sommes des bicarrés des hauteurs pluviométriques journalières observées. Comme les pluviométries journalières ont été rangées en classes de 10 mm en 10 mm, nous avons déterminé par classe la valeur moyenne de la hauteur, la valeur du carré moyen, la valeur du cube moyen, la valeur du bicarré moyen :

Dans la tranche A mm à A + 10 mm (A dizaine ronde), nous pouvons assimiler la loi de répartition à une exponentielle (qui se transforme en droite sur le graphique 1 en coordonnées semi-logarithmiques). Les hauteurs étant rangées en ordre décroissant, r_1 étant le rang de la hauteur A + 10 mm et r_0 celui de la hauteur A mm, la valeur usuelle du rapport $\frac{r_1}{r_0}$ est de 0,55 d'où par intégration entre les bornes r_1 et r_0 on obtient :

- valeur moyenne de la hauteur dans la classe A + 4,50 mm ;
- valeur du carré moyen dans la classe (A + 4,5)² + 8 mm² ;
- valeur du cube moyen dans la classe (A + 4,5)³ + 24 (A + 4,5) + 4 mm³ ;
- valeur du bicarré moyen (A+4,5)⁴ + 48(A+4,5)² + 16(A+4,5) + 84 mm⁴.
dans la classe

La valeur moyenne varie peu avec le rapport $\frac{r_1}{r_0}$: si celui-ci passe de 0,4 à 0,75, la valeur moyenne passe de A + 4,25 à A + 4,76 mm.

Dans la pratique, nous calculons Σ_2 Σ_3 et Σ_4 en prenant les carrés, cubes et bicarrés des 5 à 10 premières valeurs observées les plus fortes de la pluviométrie journalière, puis en multipliant le nombre d'observations dans chaque tranche par la valeur moyenne du carré, du cube et du bicarré correspondant à la tranche.

Il y a une imprécision sur la tranche la plus basse, de 0 à 10 mm, tant en nombre qu'en moyenne, mais l'erreur relative sur Σ_2 , Σ_3 et Σ_4 diminue avec la puissance et est inférieure à l'erreur relative sur Σ_1 (et due à la non-observation de petites pluies, à l'évaporation dans le seau pluviométrique).

C - La méthode la plus simple pour déterminer les paramètres $\gamma \frac{1}{a}$ et M est d'utiliser les rapports des moments consécutifs :

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{\Sigma_1}{mM} = \frac{\gamma}{a} && \text{pluviométrie moyenne annuelle } P = M \frac{\gamma}{a} \\
 R_2 &= \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1} = \frac{\gamma+1}{a} \\
 R_3 &= \frac{\Sigma_3}{\Sigma_2} = \frac{\gamma+2}{a} \\
 R_4 &= \frac{\Sigma_4}{\Sigma_3} = \frac{\gamma+3}{a}
 \end{aligned}$$

nous voyons que R_2 , R_3 , R_4 sont indépendants de M et ces rapports fournissent un test d'utilisation de la loi de Pearson III ; le "résidu" $R = R_2 + R_4 - 2 R_3$ a pour valeur moyenne : zéro avec une variance théorique facile à calculer : compte tenu de cette variance et du résidu calculé d'après les rapports, eux-mêmes calculés d'après les observations, il est possible de voir si l'on est dans les limites possibles d'utilisation d'une loi de Pearson III.

Les paramètres sont déterminés par :

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{a} &= R_3 - R_2 \\
 \frac{\gamma}{a} &= 2 R_2 - R_3 && \text{d'où } M = \frac{P}{2 R_2 - R_3} \\
 \gamma &= \frac{2 R_2 - R_3}{R_3 - R_2}
 \end{aligned}$$

Les variances de ces déterminations sont fortes étant donné les valeurs usuelles de γ en pluviométrie journalière. Pour 3 600 jours d'observation (soit 40 ans à 90 jours par an en moyenne) nous obtenons comme

coefficients de variation : pour $\frac{1}{a}$: 15 %
 pour $\frac{Y}{a}$: 19 %
 pour Y : 30 %

Il faut remarquer, pour ne pas s'inquiéter des valeurs des coefficients de variation donnés plus haut, que le paramètre Y n'est pas très sensible : une erreur de 10 % sur Y conduit (en conservant pour calculer $\frac{1}{a}$ et M les valeurs "observées" du rapport R_2 et de la pluviométrie moyenne) à une différence de 2 % sur la détermination de la hauteur journalière de fréquence centenaire. Et d'autre part, quelle que soit la loi de représentation choisie, les coefficients de variation des déterminations des paramètres seront du même ordre, imposés par la forme de la répartition réelle.

Il nous a semblé intéressant d'améliorer les déterminations des paramètres en utilisant les liaisons qui existent entre le résidu R et les différences R_3-R_2 et $2R_2-R_3$. Les corrélations étant supposées linéaires, les déterminations améliorées des paramètres se font par :

$$\frac{1}{a} = (R_3 - R_2) - b_1 R$$

$$\frac{Y}{a} = (2R_2 - R_3) + b_0 R$$

avec $b_1 = \frac{10/Y_0 + 32/Y_0(Y_0+1)}{6/Y_0 + 74/Y_0(Y_0+1) + 78/Y_0(Y_0+1)(Y_0+2)}$

$$b_0 = \frac{6/Y_0 + 32/Y_0(Y_0+1)}{6/Y_0 + 74/Y_0(Y_0+1) + 78/Y_0(Y_0+1)(Y_0+2)}$$

(Y_0 ayant été déterminé par $\frac{2R_2 - R_3}{R_3 - R_2}$)

D - Pour le calcul des hauteurs pluviométriques journalières ponctuelles correspondant à une fréquence donnée, nous utilisons les tables de Pearson (plus exactement des tables calculées à partir de celles de Pearson, et d'utilisation plus pratique et plus rapide). Ces dernières tables ne sont établies que pour des valeurs de Y_t allant de 0,05 en 0,05. Comme Y est un paramètre peu sensible, l'erreur commise en utilisant une valeur tabulée de Y_t est insignifiante, comme nous l'avons fait remarquer plus haut. Les paramètres M_t et $1/a_t$ utilisés avec la valeur tabulée de Y_t sont calculés d'après la valeur de la pluviométrie annuelle et en conservant la valeur améliorée de :

$$\frac{Y_t + 1}{a_t} = R_2 + R (b_0 - b_1)$$

III - RESULTATS GLOBAUX DE L'ANALYSE

L'effectif global des stations analysées par la méthode décrite ci-dessus se monte à 236 correspond à 6 125 stations-années. Ne sont pas comprises dans cet effectif : les stations "côtières" c'est-à-dire celles qui se trouvent à moins de 10 km du bord de la mer ou d'une lagune côtière ; ni les stations au Nord du 19° N de latitude.

Les premières ont été éliminées a posteriori lorsque nous nous sommes aperçu que les paramètres de distribution ne suivaient pas les mêmes lois que ceux des stations de l'intérieur.

Les secondes ont été éliminées a priori à cause de leur très faible total pluviométrique et parce que les pluies d'hiver deviennent relativement importantes par rapport aux pluies d'été.

Ont été calculées, pour chacune des 236 stations :

- les valeurs améliorées des paramètres $Y \frac{1}{a}$ et M ;
- les valeurs choisies de ces paramètres pour entrer dans les tables de Pearson (la valeur tabulée choisie de Y_t étant la plus proche de la valeur calculée).

D'après les tables : le nombre moyen annuel de jours de pluie $\geq 10,0$ mm, les valeurs des hauteurs pluviométriques journalières ponctuelles de récurrence 1, 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans.

D'après les observations : les nombres d'observations égalant ou dépassant les hauteurs calculées de récurrences 1, 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans.

Les résultats globaux sont les suivants :

. Sauf rares exceptions, le nombre M moyen de jours de pluie par an est légèrement supérieur au nombre observé, ce qui est normal, ce dernier ne tenant pas compte des jours de pluie inférieure à 0,1 mm.

. Le nombre calculé de jours de pluie supérieure à 10,0 mm est, par station-année, en moyenne supérieur de 0,2 jour au nombre observé de jours de pluie supérieure à 10,1 mm : on peut admettre que l'accord est très bon.

. Le tableau ci-dessous compare les nombres d'observations égalant ou dépassant les hauteurs calculées de diverses récurrences et les nombres théoriques correspondant :

Récurrence annuelle	observé	6 090	théorique	6 125
2 ans		3 043		3 062,5
5 "		1 229		1 225
10 "		663		612,5
20 "		353		306,25
50 "		151		122,5
100 "		79		61,25
1 000 "		10		6,125

L'on décèle, par cette méthode de stations-années, un déficit des effectifs théoriques par rapport aux effectifs observés à partir de la récurrence décennale. Ceci est indiscernable sur chaque station prise isolément. La loi de Pearson III n'est donc pas parfaitement adaptée aux observations. Quelques sondages sur les hauteurs journalières dépassant les récurrences centenaires nous ont montré que certaines correspondaient sûrement à la somme dans le pluviomètre de plusieurs journées de pluie.

Quoi qu'il en soit des observations, les valeurs calculées d'après une loi de Pearson III sont déficitaires par rapport à ces observations et en moyenne :

- de moins de 1 % pour la fréquence d'une fois en 10 ans
- de 1,5 % " " en 20 ans
- de 2 % " " en 50 ans
- de 2,5 % " " en 100 ans

Une partie au moins de la distorsion ci-dessus provient d'ailleurs du mode de calcul du paramètre $\frac{1}{at}$ après le choix de la valeur de γ_t d'entrée dans les tables. Nous avons conservé pour ce calcul la valeur observée du rapport R_2 , et cela conduit à sous-estimer tous les moments d'ordre supérieur à 2 donc les hauteurs de fréquences rares dont le poids relatif dans ces moments augmente avec leur ordre.

IV - ETUDE DES VARIATIONS DES PARAMETRES SUIVANT LA PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE

A - Cette étude a été conduite sur graphiques, et tout d'abord par régions pour les quantités $\frac{\Sigma_2}{m}$ $\frac{\Sigma_3}{m}$ R_2 R_3 $\frac{\sqrt{\gamma}}{a}$ en fonction de la pluviométrie moyenne de la station, ce qui a permis de constater que les points moyens de groupements étaient les mêmes quelles que soient les régions.

Nous avons ensuite cherché quelles étaient les fonctions de γ et de a dont les coefficients de variation théoriques étaient les plus petits et nous avons choisi :

. le rapport $R_2 = \frac{\gamma+1}{a}$ dont le coefficient de variation pour $\gamma = 0,7$ est $\frac{1,764}{\sqrt{N}}$
soit pour :

$\bar{P} = 250$ mm/an	et 10 ans d'observations	un coefficient de variation de	11,2 %
	et 40 ans	"	5,6 %
$\bar{P} = 1 500$ mm/an	et 10 ans	"	5,2 %
	et 40 ans	"	2,6 %

. le rapport $\frac{\sqrt{\gamma}}{a}$ dont le coefficient de variation pour $\gamma = 0,7$ est $\frac{1,626}{\sqrt{N}}$
soit pour :

$\bar{P} = 250$ mm/an	et 10 ans d'observations	un coefficient de variation de	10,4 %
	40 ans	"	5,2 %
$\bar{P} = 1 500$ mm/an	et 10 ans	"	4,8 %
	40 ans	"	2,4 %

. l'expression $R_2 - 0,2 R_3 = \frac{0,8\gamma + 0,6}{a}$ dont le coefficient de variation pour $\gamma = 0,7$ est $\frac{1,521}{\sqrt{N}}$

soit pour :

$\bar{P} = 250$ mm/an et 10 ans d'observations	un coefficient de variation de 9,7 %
et 40 ans	" " 4,9 %
$\bar{P} = 1 500$ mm/an et 10 ans	" " 4,5 %
et 40 ans	" " 2,3 %

alors que les coefficients théoriques de variation de $\frac{1}{a}$ et de γ sont pour $\gamma = 0,7$ respectivement de $\frac{6,169}{\sqrt{N}}$ et de $\frac{8,648}{\sqrt{N}}$ soit 4 à 5 fois plus élevés et que les répartitions de $\frac{1}{a}$ et de γ sont nettement plus dissymétriques.

L'étude conduite simultanément sur les graphiques, en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle, de $R_2, \frac{\sqrt{\gamma}}{a}$ et $R_2 - 0,2 R_3$ conduit au tableau suivant :

\bar{P}	$R_2 - 0,2 R_3$	R_2	$\frac{\sqrt{\gamma}}{a}$	d'où $\frac{1}{a}$ avec $\gamma = 0,7$.
100	11,80	17,29	8,55	10,22
200	15,70	23,01	11,37	13,59
300	17,50	25,65	12,68	15,15
400	18,62	27,29	13,49	16,12
500	19,48	28,45	14,06	16,80
600	20,01	29,32	14,49	17,32
800	20,83	30,53	15,09	18,03
1 000	21,33	31,26	15,45	18,47
1 200	21,63	31,70	15,67	18,73
1 500	21,81	31,96	15,80	18,88
2 000	21,83	31,99	15,81	18,90
2 500	21,84	32,00	15,82	18,91

B - Nous n'avons pu trouver de relation entre l'altitude, la longitude ou l'altitude et les variations de γ , et nous nous sommes demandé si les conditions géographiques proches du poste pluviométrique ne pouvaient expliquer ces variations.

La valeur médiane des 236 valeurs de γ est, après pondération, de 0,72. Nous avons choisi comme valeur centrale 0,70. Sur les 236 stations, 19 n'ont pu être placées sur les cartes par rapport au relief

(10 valeurs de γ sont $>0,70$, une = 0,70, 8 sont $<0,70$)

46	sont dominées par un relief situé au Sud,	il n'y a que 4	valeurs de $\gamma < 0,70$
36	" " " " à l'Ouest,	" 4	" $< 0,70$
22	" " " " au Nord,	" 6	" $> 0,70$
18	" " " " à l'Est ;	" 4	" $> 0,70$
29	sont en terrain plat mais en forêt humide ou zone inondée	" 5	" $> 0,70$
66	- id - mais sans " ni zone inondée il y a	25	" $< 0,70$
		9	" = 0,70
		32	" $> 0,70$

Cette récapitulation montre bien l'influence du relief ou de la grande forêt sur la valeur de γ , et justifie relativement le choix de $\gamma = 0,70$ comme valeur centrale parce que le nombre d'emplacements conduisant à une augmentation de γ est supérieur au nombre d'emplacements conduisant à une diminution de γ .

Il n'est pas possible, pour l'instant, d'évaluer numériquement l'effet du relief sur la valeur de γ . Un examen plus approfondi des tableaux que nous avons dressés conduit aux règles suivantes :

. Si le relief est au Sud ou à l'Ouest, γ est d'autant plus supérieur à 0,70 que le relief est proche,

. Si le relief est à l'Est ou au Nord, γ est inférieur à 0,70 et d'autant plus petit que le relief est proche,

mais il semble bien que la zone d'action des reliefs Est ou Nord (5 km ?) soit moins étendue que celle des reliefs Sud ou Ouest (15 km ?) ;

l'existence d'un fleuve important (NIGER, SENEGAL) à toucher la station équivaut à un relief situé dans l'azimut opposé.

S'il y a du relief dans diverses directions, l'effet du relief au Sud prime l'effet du relief au Nord ou à l'Est, l'effet du relief au Nord prime l'effet du relief à l'Ouest, l'effet du relief à l'Ouest prime l'effet du relief à l'Est, compte tenu des distances relatives des reliefs à la station.

La situation en forêt humide ou en zone d'inondation très étendue rend γ inférieur à 0,7.

Nous rappelons que lorsque γ diminue, la pluviométrie moyenne annuelle restant constante, la hauteur ponctuelle journalière augmente à récurrence égale.

V - CONCLUSION DE L'ETUDE

Nous pouvons admettre que, sur un terrain plat, sans relief commandant la station dans un rayon d'une quinzaine de kilomètres, ni forêt humide, ni grande zone d'inondation entourant la station, la répartition des hauteurs pluviométriques journalières ponctuelles est convenablement représentée par une loi de Pearson III tronquée jusqu'à la fréquence centenaire, le paramètre γ étant pris égal à 0,7 le paramètre $\frac{1}{a}$ variant avec la pluviométrie moyenne annuelle d'après le tableau donné ci-dessus, et le nombre moyen de jours de pluie par an (déterminant le tronquage) étant calculé d'après la pluviométrie moyenne annuelle, γ et $\frac{1}{a}$ calculés ci-dessus.

L'effet orographique est certain et tend à diminuer γ (c'est-à-dire augmenter les hauteurs journalières ponctuelles de fréquences rares) ou à l'augmenter (c'est-à-dire à diminuer ces hauteurs). Dans l'état actuel des choses, il n'est pas possible de chiffrer ces variations de γ qui sont importantes : les deux tiers des déterminations de γ sont comprises entre 0,55 et 0,90, les neuf dixièmes entre 0,45 et 1,10. Mais l'effet de ces variations est moins important qu'on ne pourrait le penser : ce qui est illustré par le graphique 2 relatif à une pluviométrie moyenne annuelle de 1 000 mm où sont figurées, en partie, les répartitions correspondant à $\gamma = 0,45 - 0,55 - 0,70 - 0,90$ et 1,10.

VI - DETERMINATION PRATIQUE D'UNE HAUTEUR PLUVIOMETRIQUE PONCTUELLE
JOURNALIERE DE FREQUENCE RARE

Nous rappelons que les résultats ci-dessus ne sont valables que pour les stations qui ne sont pas dans la bande côtière (cette zone s'étendant du bord de la mer ou de la lagune côtière jusqu'à 10 km environ à l'intérieur).

Le tableau du paragraphe IV.A donne, pour une pluviométrie moyenne annuelle \bar{P} et $\gamma = 0,7$ les valeurs de $\frac{1}{a}$ d'où l'on peut déduire le nombre moyen de jours de pluie par an ($\gamma = 0,7$) $M = \frac{a}{0,7} \bar{P}$.

Pour des valeurs de γ différentes de 0,7 et à pluviométrie moyenne annuelle \bar{P} constante, la valeur du rapport $\frac{\sqrt{\gamma}}{a}$ semble constante, du moins pour $0,5 < \gamma < 1,0$ (car nous n'avons pas assez de valeurs inférieures à 0,5 ou supérieures à 1,0 pour pouvoir affirmer quelque chose). D'où pour \bar{P} et $\frac{\sqrt{\gamma}}{a}$ choisis, on peut calculer les valeurs de $\frac{1}{a}$ et de M d'après la valeur prise sur le tableau ci-dessus à la valeur de \bar{P} .

Les graphiques 3, 4 et 5 donnent les pluviométries ponctuelles journalières pour des récurrences de 1, 10 et 100 ans en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle ponctuelle.

Comme en coordonnées semi-logarithmiques (cf. Graphique 2) la représentation des hauteurs ponctuelles en fonction de la fréquence, ou du temps de récurrence, est sensiblement une droite :

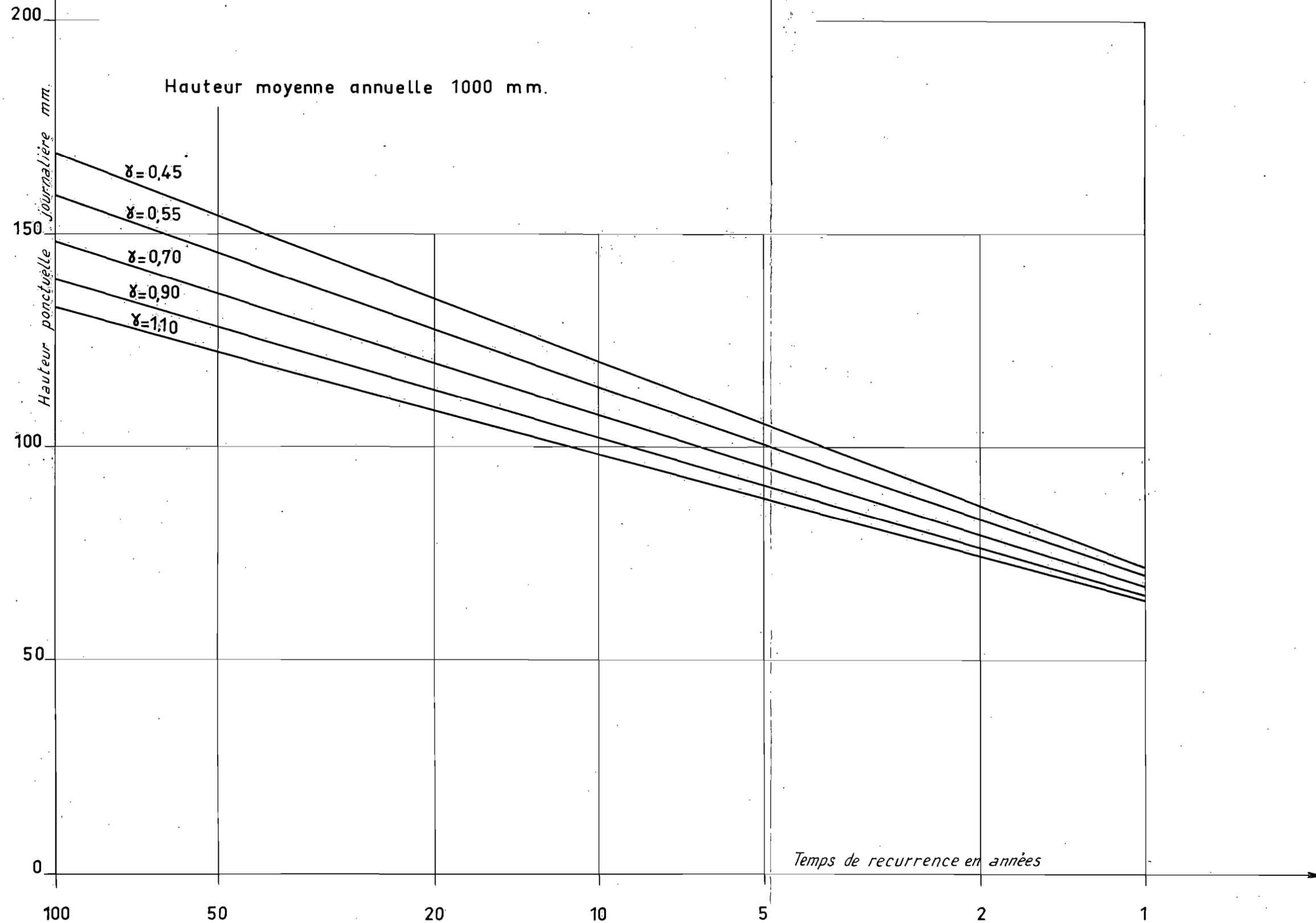
. la hauteur de fréquence 1 fois en 2 ans est sensiblement égale à la hauteur de fréquence 1 fois par an + 0,3 (hauteur de fréquence une fois en 10 ans - hauteur de fréquence 1 fois par an),

. la hauteur de fréquence 1 fois en 5 ans est sensiblement égale à la hauteur de fréquence 1 fois par an + 0,7 (hauteur de fréquence une fois en 10 ans - hauteur de fréquence une fois par an),

. la hauteur de fréquence 1 fois en 20 ans est sensiblement égale à la hauteur de fréquence 1 fois en 10 ans + 0,3 (hauteur de fréquence une fois en 100 ans - hauteur de fréquence 1 fois en 10 ans),

. la hauteur de fréquence 1 fois en 50 ans est sensiblement égale à la hauteur de fréquence 1 fois en 10 ans + 0,7 (hauteur de fréquence une fois en 100 ans - hauteur de fréquence 1 fois en 10 ans).

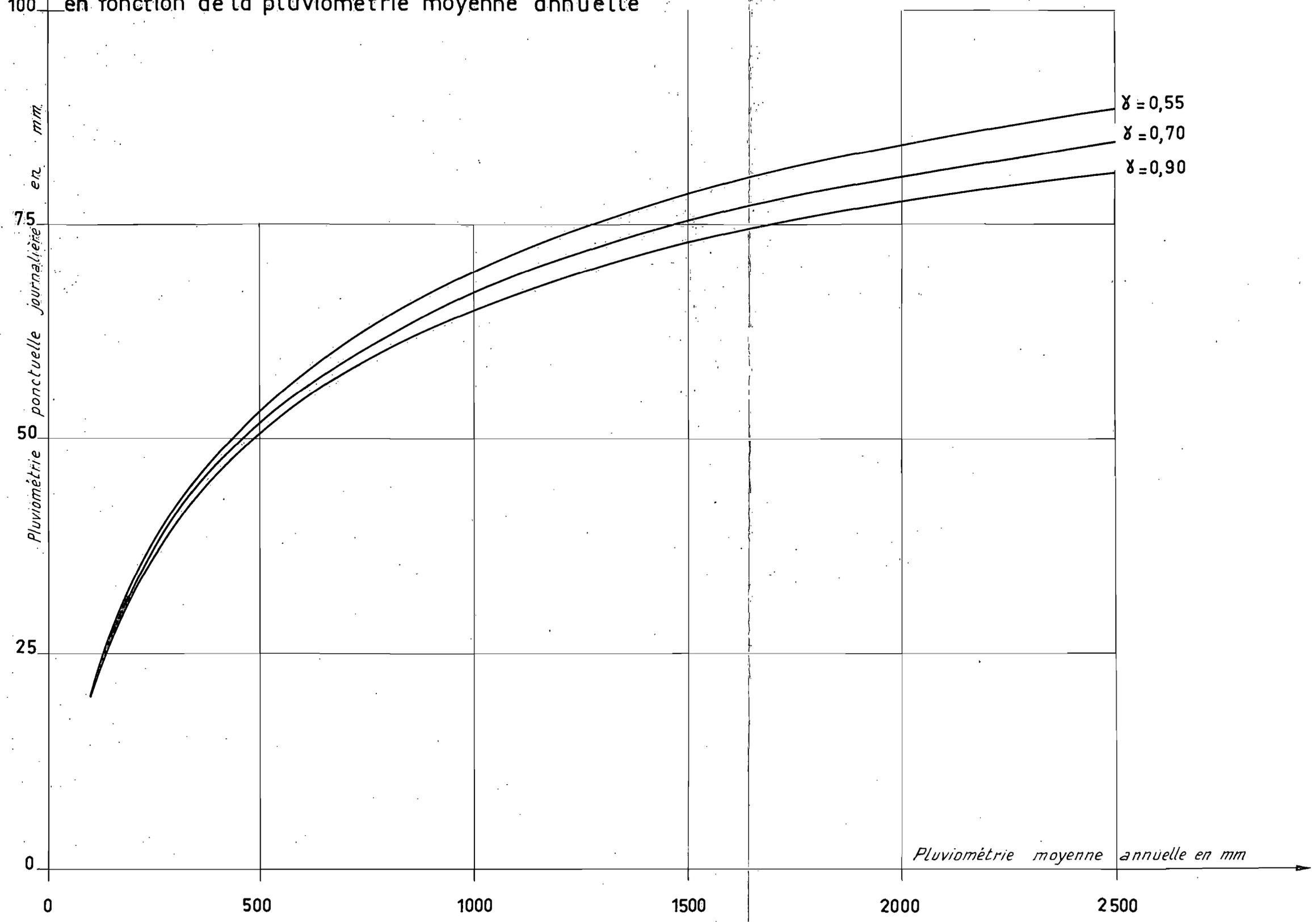
AJUSTEMENT D'UNE LOI DE PEARSON III AUX Gr:2
 HAUTEURS PONCTUELLES DE PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES



PLUVIOMÉTRIE PONCTUELLE JOURNALIÈRE DE RÉCURRENCE ANNUELLE

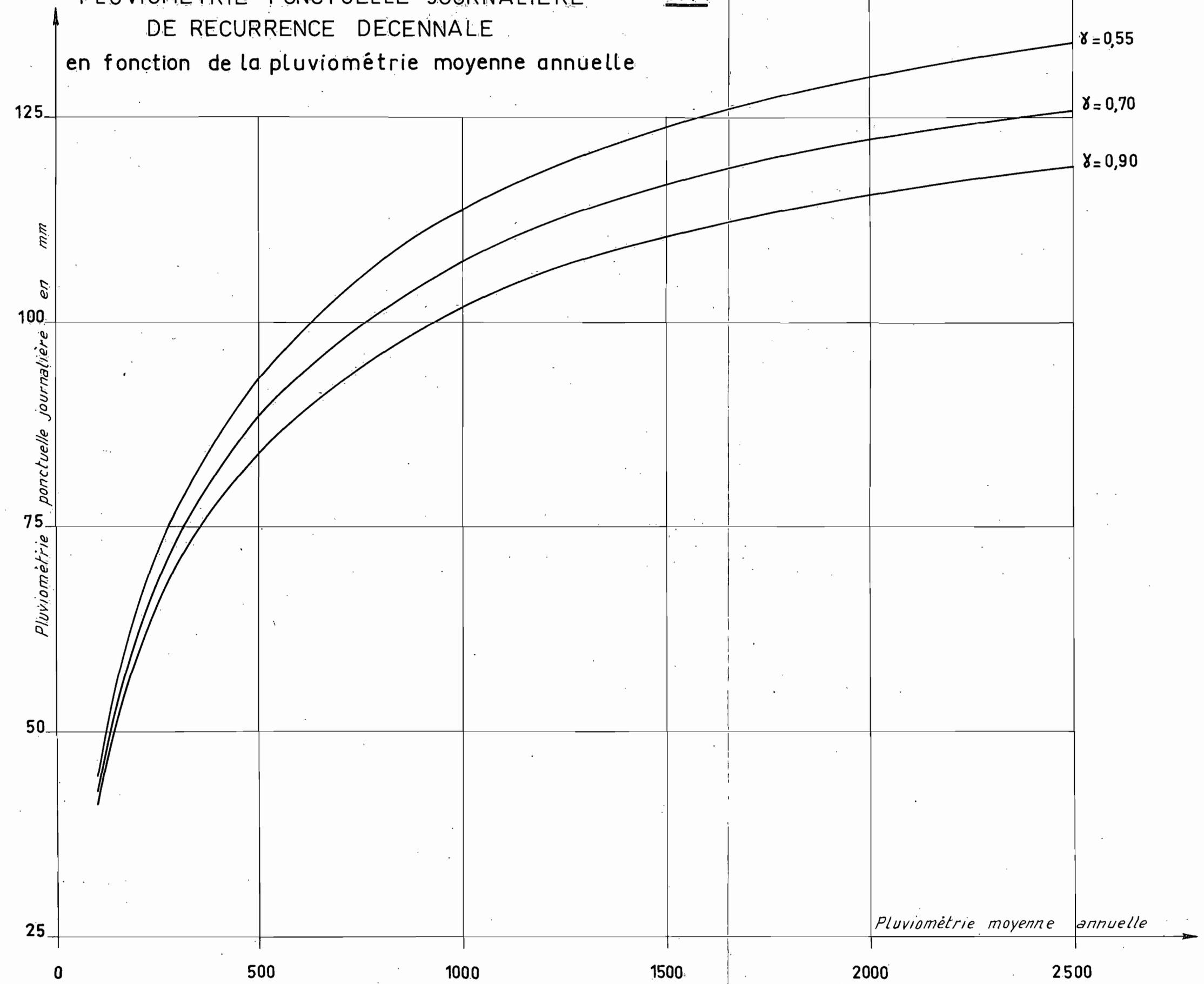
Gr:3

en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle



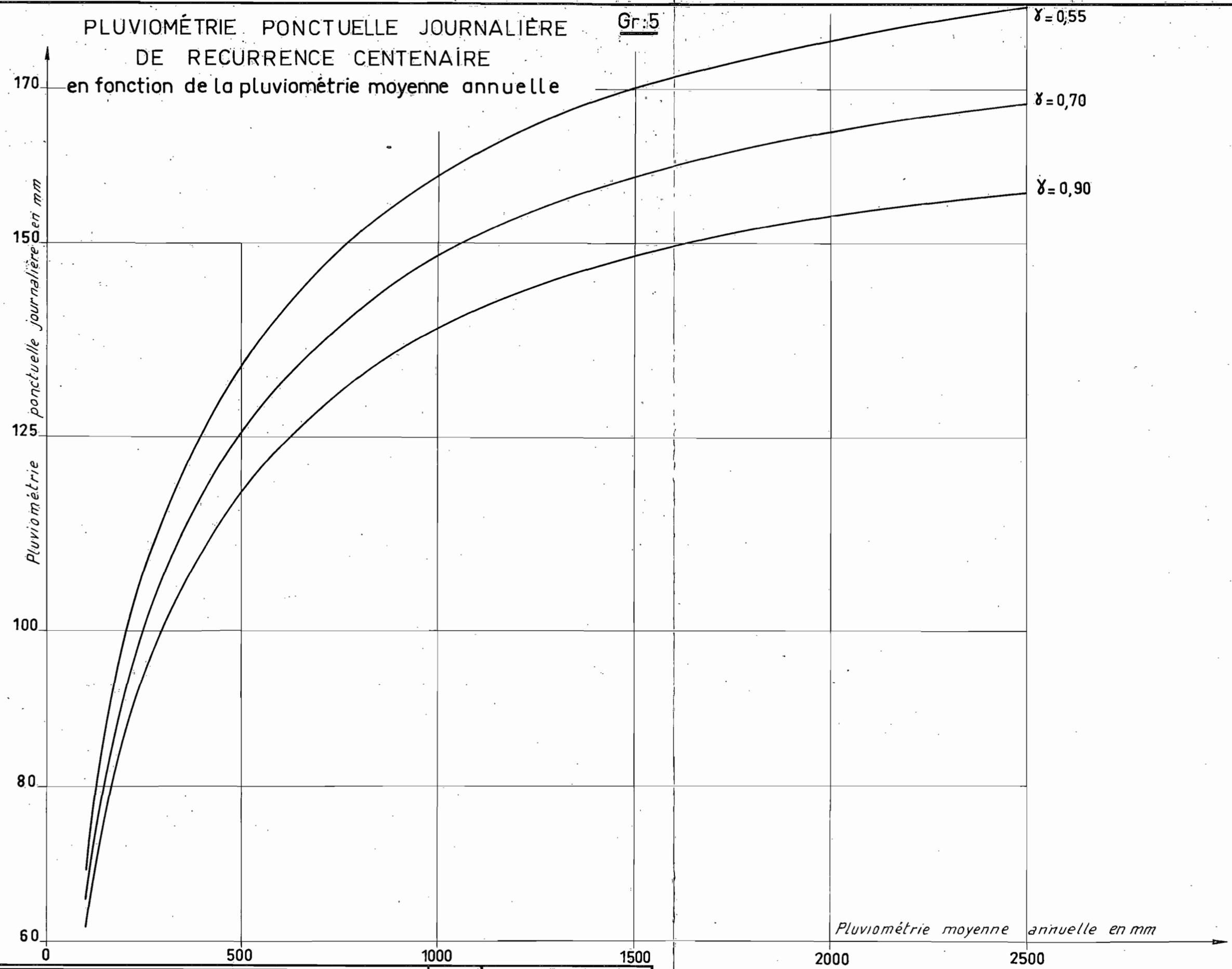
PLUVIOMÉTRIE PONCTUELLE JOURNALIÈRE
DE RECURRENCE DECENNALE
en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle

Gr: 4



PLUVIOMÉTRIE PONCTUELLE JOURNALIÈRE
DE RECURRENCE CENTENAIRE
en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle

Gr:5



VII - DETAIL DES RESULTATS RELATIFS à la COTE D'IVOIRE

A - Le tableau VI résume les résultats obtenus en analysant par une loi de Pearson III les relevés des 39 stations non côtières de Côte d'Ivoire pour lesquelles nous avons dix années ou plus de relevés journaliers.

Nous donnons par station :

- . le nombre m d'années d'observations,
- . la hauteur pluviométrique moyenne annuelle en mm,
- . le nombre moyen annuel observé de jours de pluie (au sens météorologique),
- . la valeur tabulée choisie pour γ (la plus proche de la valeur calculée) et les valeurs de $\frac{1}{a}$ et de M (nombre moyen annuel de jours de pluie) qui s'en déduisent d'après \sum_1 , \sum_2 , \sum_3 et \sum_4 ,
- . les valeurs en mm des hauteurs journalières - calculées - de probabilités : annuelle, une fois en 2 ans, une fois en 5 ans, une fois en 10 ans, une fois en 20 ans, une fois en 100 ans.

On a ajouté, à côté de ces valeurs calculées, les valeurs expérimentales en mm des hauteurs journalières de fréquence annuelle, une fois en 2 ans et une fois en 5 ans (lorsque cette dernière pouvait être déterminée).

B - La carte 7 donne le dessin des isohyètes moyennes interannuelles et la carte 8 donne le tracé approximatif des lignes d'égaux hauteurs pluviométriques, journalières, ponctuelles, décennales. Ce tracé est approximatif car il ne peut tenir compte des singularités orographiques qui réduisent ou augmentent la valeur moyenne 0,7 du paramètre γ . Par contre, nous avons choisi $\gamma = 0,55$ pour toute la région forestière.

VIII - PLUVIOMETRIE DE LA BANDE COTIERE

La pluviométrie de cette bande côtière est difficile à étudier : à cause de sa faible profondeur perpendiculairement à la côte il n'y a que très peu de stations pluviométriques. Et nous ne sommes même pas sûr de l'homogénéité de cette bande au point de vue de l'application de lois de répartition d'un seul type, avec paramètres variables, à toutes les stations. Une loi de répartition de forme Pearson III n'a pas l'air d'être utilisable et une loi de forme Goodrich semble mieux adaptée.

TABLEAU VI

Précipitations journalières exceptionnelles (en mm)
aux divers postes d'observations (Loi Pearson III)

Station	Nbre d'an- nées	P moy. (an)	M moy. (an)	M	X	1/a	Probabilités									
							1 fois par an	1 fois en 2 ans	1 fois en 5 ans	1 fois en 10 ans	1 fois en 20 ans	1 fois en 50 ans	1 fois en 100 ans			
							calc.	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.	calc.		
: ABENGOUROU	: 45	: 1371:	101,4:	111,14:	0,65:	18,984:	72,9:	72,8:	85,2:	84,2:	101,6:	112,2:	114,1:	126,6:	143,3:	156,0:
: ADZOPE	: 20	: 1474:	106,0:	136,72:	0,55:	19,593:	73,4:	77,4:	85,9:	85,0:	102,5:	103,4:	115,2:	127,9:	144,9:	157,8:
: AGBOVILLE	: 38	: 1440:	116,2:	120,20:	0,7:	17,108:	69,3:	71,9:	80,5:	83,3:	95,4:	96,9:	106,8:	118,2:	133,3:	144,8:
: AGNIBELEKROU	: 12	: 1084:	86,3:	127,64:	0,45:	18,649:	63,0:	60,7:	74,5:	68,5:	89,9:	:	101,8:	113,7:	129,6:	141,7:
: AZAGUIE	: 28	: 1794:	132,8:	153,38:	0,6:	19,492:	78,0:	79,5:	90,5:	94,0:	107,2:	105,8:	120,0:	132,8:	149,8:	162,7:
: BEOUMI	: 25	: 1236:	66,4:	94,06:	0,55:	23,895:	81,5:	81,0:	96,5:	104,3:	116,7:	114,4:	132,1:	147,6:	163,8:	184,0:
: BONDOUNKOU	: 33	: 1198:	89,0:	92,84:	0,75:	17,202:	67,7:	65,7:	79,0:	74,6:	94,1:	96,7:	105,6:	117,2:	132,5:	144,1:
: BONGOUANOU	: 15	: 1291:	94,5:	157,18:	0,35:	23,470:	75,4:	80,5:	89,5:	90,5:	108,5:	:	123,1:	137,9:	157,6:	172,6:
: BOUAFLE	: 40	: 1351:	89,3:	102,11:	0,65:	20,352:	76,6:	78,2:	89,7:	90,0:	107,3:	105,6:	120,7:	134,1:	152,0:	165,5:
: BOUAKE	: 42	: 1199:	102,5:	101,72:	0,6:	19,645:	71,2:	68,6:	83,7:	88,5:	100,5:	107,8:	113,3:	126,2:	143,8:	156,3:
: BOUNA	: 44	: 1139:	68,8:	80,62:	0,8:	17,662:	69,3:	70,0:	81,1:	84,5:	96,7:	98,0:	108,6:	120,5:	136,3:	148,3:
: BOUNDIALI	: 36	: 1433:	80,8:	94,23:	0,8:	19,007:	77,4:	78,0:	90,1:	88,7:	107,0:	100,0:	119,7:	132,6:	149,6:	162,5:
: DABAKALA	: 42	: 1177:	72,8:	71,76:	0,9:	17,283:	69,9:	69,0:	81,7:	81,4:	97,3:	99,7:	109,1:	120,9:	136,5:	148,4:
: DALOA	: 42	: 1427:	99,9:	132,53:	0,5:	21,533:	76,9:	78,4:	90,3:	93,2:	108,4:	106,4:	122,2:	136,1:	154,6:	170,2:
: DANANE	: 18	: 2269:	136,6:	193,16:	0,45:	26,103:	97,8:	101,0:	114,0:	119,1:	135,8:	:	153,1:	169,2:	191,5:	208,5:
: DIMBOKRO	: 43	: 1209:	99,7:	110,16:	0,55:	19,955:	70,9:	73,1:	83,5:	86,4:	100,4:	95,0:	113,3:	126,3:	143,5:	156,6:
: DIVO	: 15	: 1612:	117,7:	123,56:	0,7:	18,634:	76,0:	76,9:	88,2:	83,5:	104,4:	:	116,8:	129,2:	145,7:	158,2:
: FERKESSEDOUGOU	: 37	: 1357:	103,8:	123,07:	0,5:	22,049:	77,2:	78,4:	91,0:	91,4:	109,5:	114,3:	123,6:	137,8:	156,8:	171,2:
: GAGNOA	: 42	: 1489:	118,4:	131,02:	0,6:	18,941:	73,0:	74,2:	85,2:	90,5:	101,4:	102,4:	113,8:	126,2:	142,7:	155,3:
: GRABO	: 11	: 2401:	166,1:	211,95:	0,55:	20,596:	85,4:	84,7:	98,6:	:	116,2:	:	129,6:	143,0:	160,1:	174,5:
: GUIGLO	: 35	: 1717:	102,4:	126,00:	0,6:	22,707:	86,7:	83,0:	101,3:	103,7:	120,7:	127,2:	135,5:	150,4:	170,2:	185,3:
: KATIOLA	: 14	: 1192:	77,1:	97,12:	0,6:	20,456:	73,2:	75,0:	86,3:	85,7:	103,8:	:	117,1:	130,5:	148,3:	161,8:
: KORHOGO	: 23	: 1404:	81,6:	97,91:	0,7:	20,487:	79,0:	84,2:	92,4:	96,7:	110,2:	110,2:	123,8:	137,5:	155,6:	169,3:
: LAKOTA	: 14	: 1547:	102,2:	107,23:	0,9:	16,032:	71,2:	71,9:	82,1:	81,2:	96,6:	:	107,5:	118,5:	133,0:	144,0:
: LARASSO	: 14	: 1342:	94,0:	101,48:	0,8:	16,535:	68,5:	66,7:	79,6:	78,2:	94,2:	:	105,4:	116,5:	131,3:	142,6:
: MAN	: 41	: 1765:	123,7:	139,48:	0,65:	19,465:	78,9:	81,0:	91,5:	95,2:	108,4:	109,2:	121,2:	134,1:	151,2:	164,2:
: MANKONO	: 26	: 1280:	68,1:	100,30:	0,5:	25,518:	84,7:	84,0:	100,6:	102,5:	121,9:	:	138,2:	154,7:	176,5:	193,2:
: MBAHIAKRO	: 20	: 1173:	80,6:	87,43:	0,75:	17,887:	69,3:	69,8:	81,2:	82,7:	96,9:	94,5:	108,8:	120,8:	136,7:	148,8:
: ODIENNE	: 20	: 1687:	128,3:	164,53:	0,45:	22,788:	82,1:	83,1:	96,2:	94,6:	115,2:	:	129,7:	144,3:	163,8:	178,6:

- TABLEAU VI (Suite) -

Précipitations journalières exceptionnelles (en mm)
aux divers postes d'observations (Loi Pearson III)

Station	Nbre d'an- nées	P moy. (an)	M moy. (an)	M	γ	1/a	Probabilités													
							1 fois par an		1 fois en 2 ans		1 fois en 5 ans		1 fois en 10 ans		1 fois en 20 ans		1 fois en 50 ans		1 fois en 100 ans	
							calc.	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.
OUANGLODCUGOU	14	1378	68,8	78,10	1	17,647	76,9	80,6	89,1	91,1	105,3		117,5	129,8	145,9	158,2				
OUME	20	1334	106,0	123,73	0,55	19,604	71,7	70,1	84,1	77,5	100,7		113,4	126,2	143,2	156,1				
SEGUELA	42	1356	81,1	112,28	0,55	21,958	78,4	82,0	92,3	100,0	110,8	113,0	125,1	139,3	158,3	172,8				
SOUBRE	25	1639	115,9	144,16	0,6	18,949	74,7	74,8	86,9	86,1	103,1	105,5	115,5	128,0	144,5	157,1				
TAÏ	13	1885	121,6	139,54	0,6	22,516	88,1	87,0	102,6	102,0	121,9		136,6	151,4	171,0	185,9				
TENGRELA	10	1463	98,6	140,80	0,4	25,968	85,6	85,0	101,4	107,4	122,7		139,0	155,5	177,5	194,2				
TIASSALE	37	1295	82,2	106,89	0,6	20,194	74,1	75,0	87,0	90,0	104,2	104,9	117,4	130,6	148,2	161,6				
TOUBA	19	1406	81,6	92,99	0,9	16,801	72,3	70,6	83,7	84,0	98,9		110,3	121,8	137,1	148,6				
TOULEPLEU	37	1880	112,5	122,58	0,8	19,171	82,9	80,8	95,7	97,9	112,8	113,8	125,7	138,7	155,8	168,8				
VAVOUA	11	1287	80,9	90,82	0,8	17,714	71,5	73,5	83,3	87,6	99,0		111,0	122,9	138,8	150,8				

Ci-dessous, un tableau résume ce que nous avons pu extraire des observations :

Station	Nbre d'années d'observation	Pluviométrie moyenne ann. (mm)	Hauteurs journalières ponctuelles approximatives de récurrences annuelle et décennale (mm)	
GRAND LAHOU	43	1 700	128	216
SASSANDRA	24	1 750	128	210
ABOISSO	37	1 924	104	170
ABIDJAN ville	33	2 052	131	225
ADIAKE	20	2 097	120	200
ABIDJAN aéro	28	2 124	135	230
BANCO	27	2 140	131	220
LAME	32	2 148	122	185
DABOU	11	2 195	132	205
TABOU	38	2 339	136	225

- DEUXIEME PARTIE -

ETUDE DES INTENSITES

IX - COURBES INTENSITES-DUREES

L'étude de la pluviométrie journalière peut être considérée comme une étude d'intensité en 24 heures, mais peut se faire à partir de relevés pluviométriques journaliers. L'étude d'intensité dont il va être question concerne des durées bien plus courtes et les documents de base ne peuvent être que les diagrammes de pluviomètres enregistreurs, ou pluviogrammes, dont l'échelle d'enregistrement soit suffisamment grande (pluviographes à augets basculeurs à mouvement journalier).

L'idéal serait de pouvoir dépouiller les enregistrements d'une station en laps de temps définis et de classer les hauteurs tombées en chaque unité de temps (par exemple 5, 10, 15, 20, 30 minutes, etc...) comme nous avons fait pour les pluviométries journalières et d'essayer d'ajuster une loi de répartition par laps de temps. De ces lois, on déduirait pour une fréquence choisie - par exemple récurrence décennale - les hauteurs tombées en 5, 10, 15 minutes, etc.. d'où les intensités moyennes en 5, 10, 15 minutes, etc... et la courbe intensité-durée - de récurrence décennale.

Nous insistons sur le fait qu'une telle courbe intensité-durée - de récurrence décennale par exemple - ne représente pas le hyétogramme d'une précipitation décennale, même réarrangé en intensités classées : le problème est tout différent.

X - METHODE UTILISEE

La méthode exposée ci-dessus n'est malheureusement pas applicable aux données dont nous disposons : non seulement le nombre d'années d'enregistrement par station est encore trop réduit, par rapport à la variabilité de la grandeur à étudier, mais de plus aucune année n'est complète : il manque toujours plusieurs enregistrements importants (mouvement arrêté, entonnoir bouché ...).

Les enregistrements sur appareils à augets basculeurs ont été dépouillés à partir des précipitations supérieures à 25 mm en 24 heures (heures de début de ces 24 heures indépendantes du jour légal ou pluviométrique, mais choisies l'une après l'autre pour englober dans les 24 heures le maximum possible de hauteur enregistrée).

Nous n'avons pas effectué de corrections sur les documents originaux et avons supposé les mouvements d'horlogerie bien réglés, les plumes correctement enfoncées sur les stylets, les axes de tambours en bonnes positions par rapport aux arcs décrits par les plumes, et les volumes de basculement des augets exacts. Il est probable que certaines corrections eussent été indispensables car tous les appareils n'ont pas été réglés avant mise en route - ni vérifiés en cours de marche - et nous avons constaté que ce type d'enregistreur peut être faux de 20 % avant réglage !

Les pluviogrammes retenus (plus de 25 mm en 24 heures) ont été disponibles tout d'abord par périodes de 5 minutes (ne se recouvrant pas) en partant de la période de plus forte intensité. Pour chaque pluviogramme, on a déterminé la courbe intensité-durée aux laps de temps 5, 10, 15, 20, 30, 45 minutes, 1, 1 1/2, 2, 4, 8, 16 heures : ce sont des intensités-durées maximales du pluviogramme pour chacun de ces laps de temps, et par exemple le laps de temps de 10 minutes donnant l'intensité-durée maximale en 10 minutes peut ne pas contenir le laps de temps de 5 minutes d'intensité-durée maximale en 5 minutes.

Au cours de cette opération, le diagramme des intensités de précipitation reste tel quel. On ne classe pas les intensités de périodes de 5 minutes par valeurs décroissantes : si l'on opérerait ce classement au préalable, on augmenterait systématiquement les intensités-durées des différents laps de temps en travaillant sur un diagramme artificiel.

Nous avons ensuite groupé, pour chaque station, les pluviogrammes par classes de hauteurs totales en 24 heures : 25,5 à 35 mm, 35,5 à 45 mm, etc... et calculé les intensités-durées moyennes par laps de temps dans chaque classe de hauteur, pour obtenir un diagramme moyen d'intensités-durées correspondant à une hauteur moyenne de classe.

Etant donné le nombre d'années d'observations à chaque station, l'effectif des classes diminue très rapidement lorsque la hauteur moyenne croît et devient trop faible pour que des valeurs moyennes aient une signification. Nous avons alors groupé en zones géographiques les stations dont les diagrammes intensités-durées pour les faibles hauteurs sont identiques et qui semblent en mêmes positions climatiques par rapport aux déplacements du front intertropical (FIT).

XI - RESULTATS

C'est ainsi que, pour la Côte d'Ivoire - bande côtière non comprise - nous avons fait trois groupements. Nous précisons que chaque année d'observation est incomplète, et que chacun des pluviographes groupés - souvent par 3 ou 4 - sur un bassin versant étudié par l'ORSTOM, a été compté comme station indépendante.

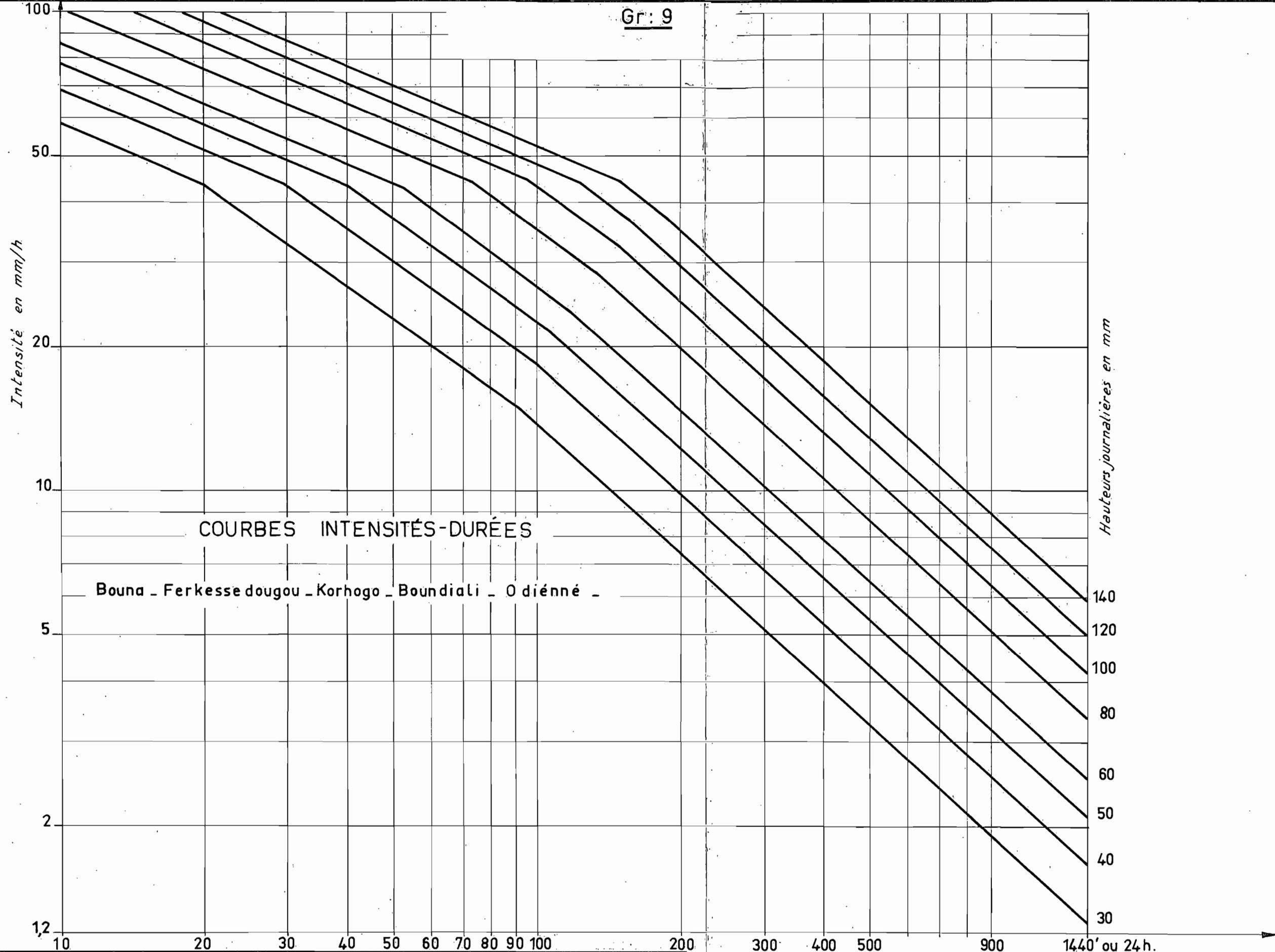
- Groupement Nord : BOUNA, FERKESSEDOUGOU, KORHOGO, BOUNDIALI, ODIENNE avec 44 stations-années dont 9 provenant du Service météorologique, et 35 de bassins versants ORSTOM.
- Groupement Centre : BOUAKE, MAN, avec 33 stations-années dont 19 provenant du Service météorologique et 14 de bassins versants ORSTOM point Sud, près d'AZAGUIE : 12 stations-années de bassins versants ORSTOM.

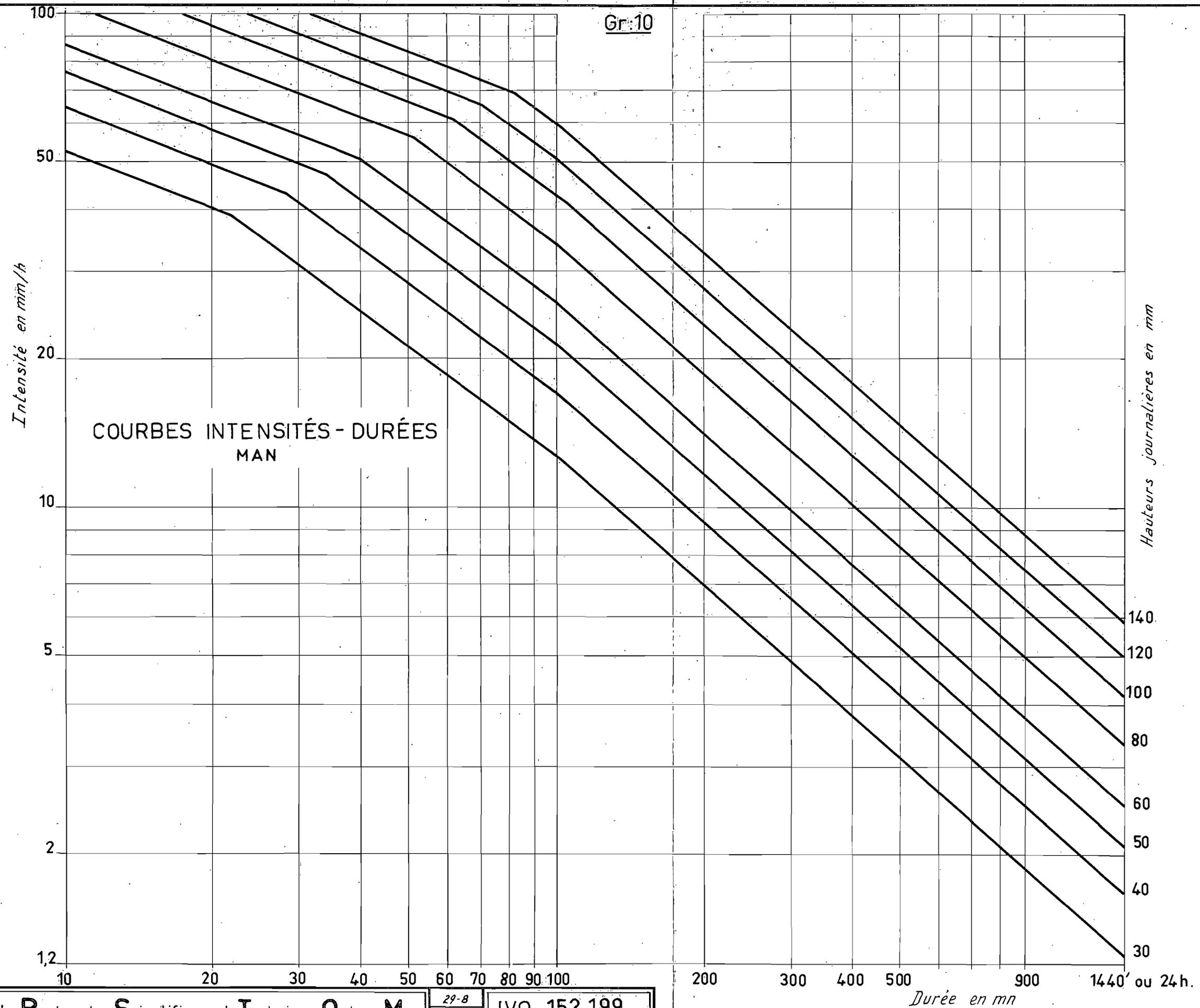
Les graphiques 9, 10 et 11 montrent les courbes intensités-durées moyennes pour différentes hauteurs totales en 24 heures, transposées en échelles log-log. On constate sur ces graphiques, dont les courbes intensités-durées pour des hauteurs journalières supérieures à 100 mm sont des extrapolations, que pour les faibles durées, les intensités sont les mêmes à hauteurs égales pour le groupement Nord et le point Sud mais sont plus fortes pour le groupement Centre. Cela provient peut-être du fait - entre autres - que les stations de MAN sont toutes situées juste au pied Sud d'un relief important.

L'utilisation de ces graphiques est délicate, car nous n'avons aucun moyen de connaître leurs zones de validité. A priori, nous pensons que le graphique 10 peut être utilisé dans la partie Ouest de la Côte d'Ivoire, aux pluviométries moyennes annuelles supérieures à 1 700 mm, région forestière et assez accidentée, tandis que le graphique 9 peut être utilisé dans tout le reste du pays.

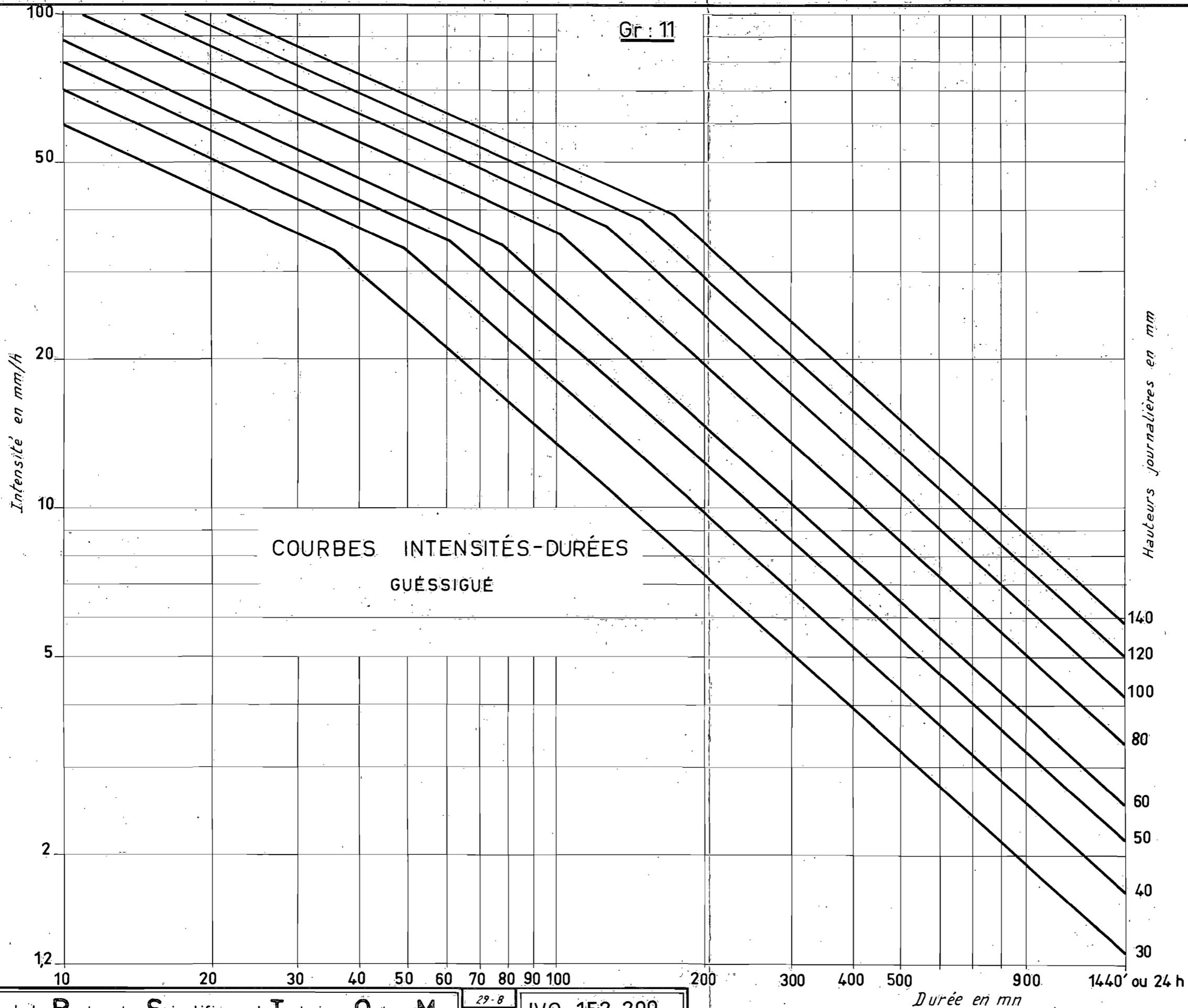
En entrant dans ces graphiques avec la hauteur ponctuelle journalière d'une fréquence choisie, on obtient le diagramme intensité-durée moyen correspondant, qui n'est pas la véritable courbe intensité-durée telle que nous l'avons définie au paragraphe IX.

Gr: 9





Gr : 11



XIII - CAS DE LA BANDE COTIERE

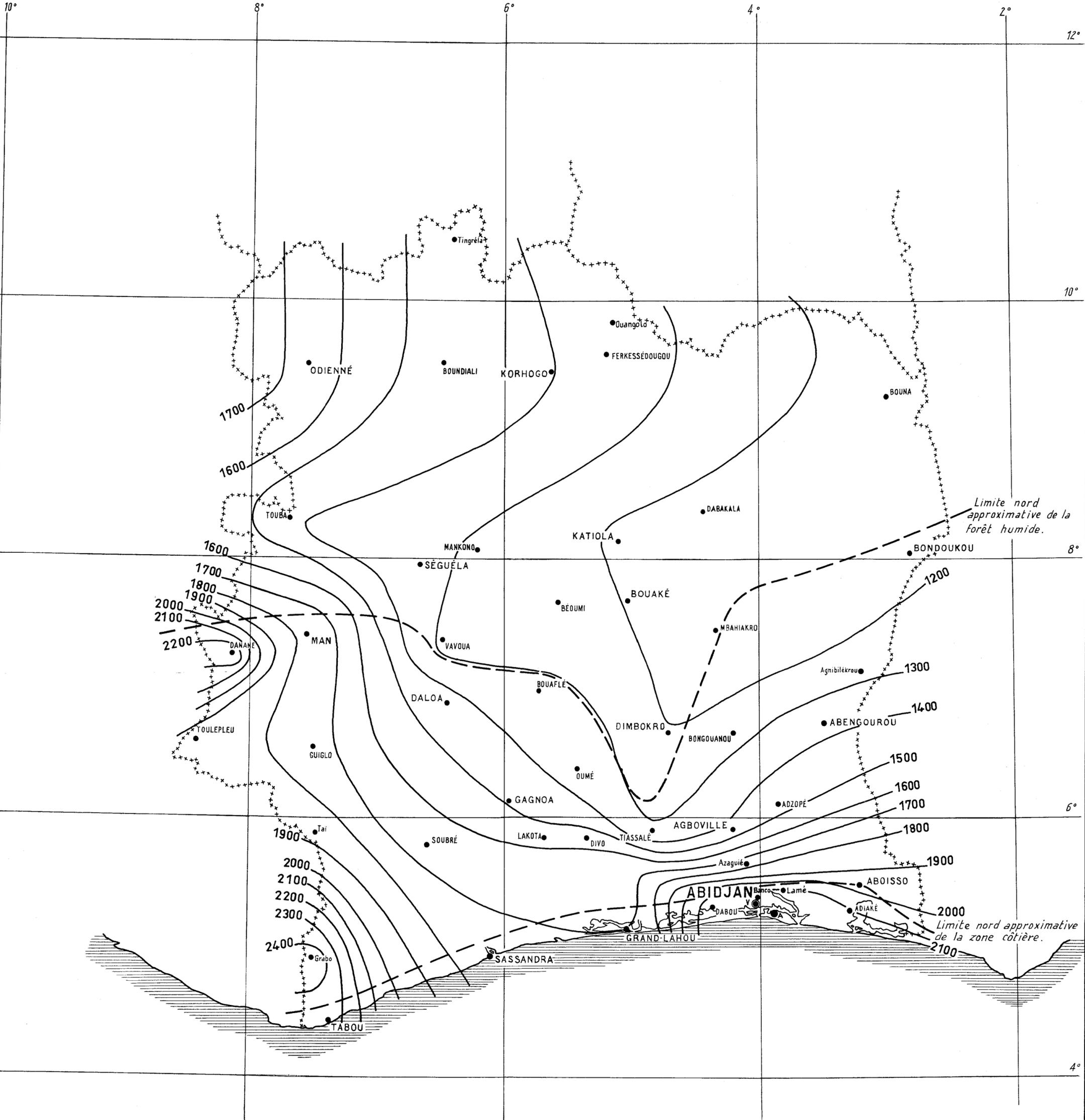
Nous ne disposons que de douze années (1955-66 inclus) incomplètes d'une seule station : ABIDJAN aéro. Nous fournissons ci-dessous les chiffres obtenus par simple rangement des observations :

le rang 1 correspondant à la plus forte, de fréquence inconnue,
 le rang 6 correspond à la fréquence une fois en 2 ans,
 le rang 12 " " " " une fois par an,
 le rang 24 " " " " deux fois par an.

Durée (mn-h-j)	Rang 1 (mm)	Rang 6 (mm)	Rang 12 (mm)	Rang 24 (mm)
5 mn	19	13	12	11
10	34	23	21	19
15	46	30	28	24
30	65	51	46	41
1 h	102	72	66	56
2	152	100	92	72
4	184	130	112	93
8	215	151	119	97
1 j [*]	225	168	135	112

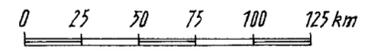
* . Chiffres provenant des 28 années de relevés journaliers, pluviométrie moyenne annuelle : 2 124 mm.

ISOHYÈTES MOYENNES INTERANNUELLES



Limite nord approximative de la forêt humide.

Limite nord approximative de la zone côtière.



LIGNES D'ÉGALES HAUTEURS JOURNALIÈRES PONCTUELLES DECENNALES



Limite nord approximative de la forêt humide.

Limite nord approximative de la zone côtière.

