

Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer

COMITÉ INTER-ÉTATS
d'ETUDES HYDRAULIQUES

ETUDE GENERALE DES AVERSES EXCEPTIONNELLES EN AFRIQUE OCCIDENTALE



République du NIGER

par

Y. BRUNET-MORET

Ingénieur Hydraulique de l'O.R.S.T.O.M.

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

COMITE INTER-ETATS
d'ETUDES HYDRAULIQUES

ETUDE GENERALE des AVERSES EXCEPTIONNELLES
en AFRIQUE OCCIDENTALE

République du NIGER

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

Edition provisoire

Juin 1963

Par Convention n° 10/e/61/H du 5 Janvier 1962, Monsieur le Ministre des Travaux Publics de la République du NIGER a confié à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer le dépouillement des pluviogrammes du Service Météorologique et l'interprétation sommaire des principales averses enregistrées.

En fait, il a été possible de procéder à une étude plus complète que celle prévue à cette Convention, notamment en utilisant les données des pays voisins situés dans les mêmes zones climatiques.

En effet, par Convention n° 16/M/62/S du 16 Mars 1962, le Comité Interétats d'Etudes Hydrauliques a 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 journaliers pluviométriques et des enregistrements de pluviographes, a pour buts principaux de déterminer les hauteurs de précipitations journalières de fréquence rare et d'établir les courbes intensités-durées pour diverses périodes de récurrence, sur l'ensemble de l'Afrique Occidentale et du TCHAD.

Pour des raisons d'ordre administratif très compréhensibles, les résultats de cette étude sont publiés pays par pays. Chaque publication étant de ce fait indépendante, nous avons jugé utile de reprendre dans chacune tous les considérants et toutes les explications justifiant les méthodes utilisées. Mais il va de soi que l'étude a été réalisée pour l'ensemble de l'Afrique Occidentale, ce qui assure une base statistique plus vaste et aussi la possibilité de mieux comprendre les phénomènes, et d'en mieux présenter la synthèse.

A - ETUDE des PLUVIOMETRIES JOURNALIERES du NIGER

I - DONNEES d'OBSERVATION -

Les éléments dont nous disposons comprennent, en y incluant les observations de 1961, les relevés de 71 stations totalisant 982 années complètes d'observations pluviométriques journalières. Seules, deux de ces stations ont une période d'observation de 40 ans ou plus, et neuf de 35 ans ou plus.

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

- Il a été fréquent que le pluviomètre installé dans une localité ait été changé de place aux changements 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'a pas été possible de tenir compte de ces modifications, que nous estimerons sans importance réelle pour l'étude des pluviométries journalières, étant donné le relief 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 témoin des suivantes :

L'observateur néglige les dixièmes de millimètre 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 (évaporation en moins) avec la première averse un peu forte. Le nombre de jours de pluie est réduit, et la plupart des averses inférieures à 10 mm disparaissent.

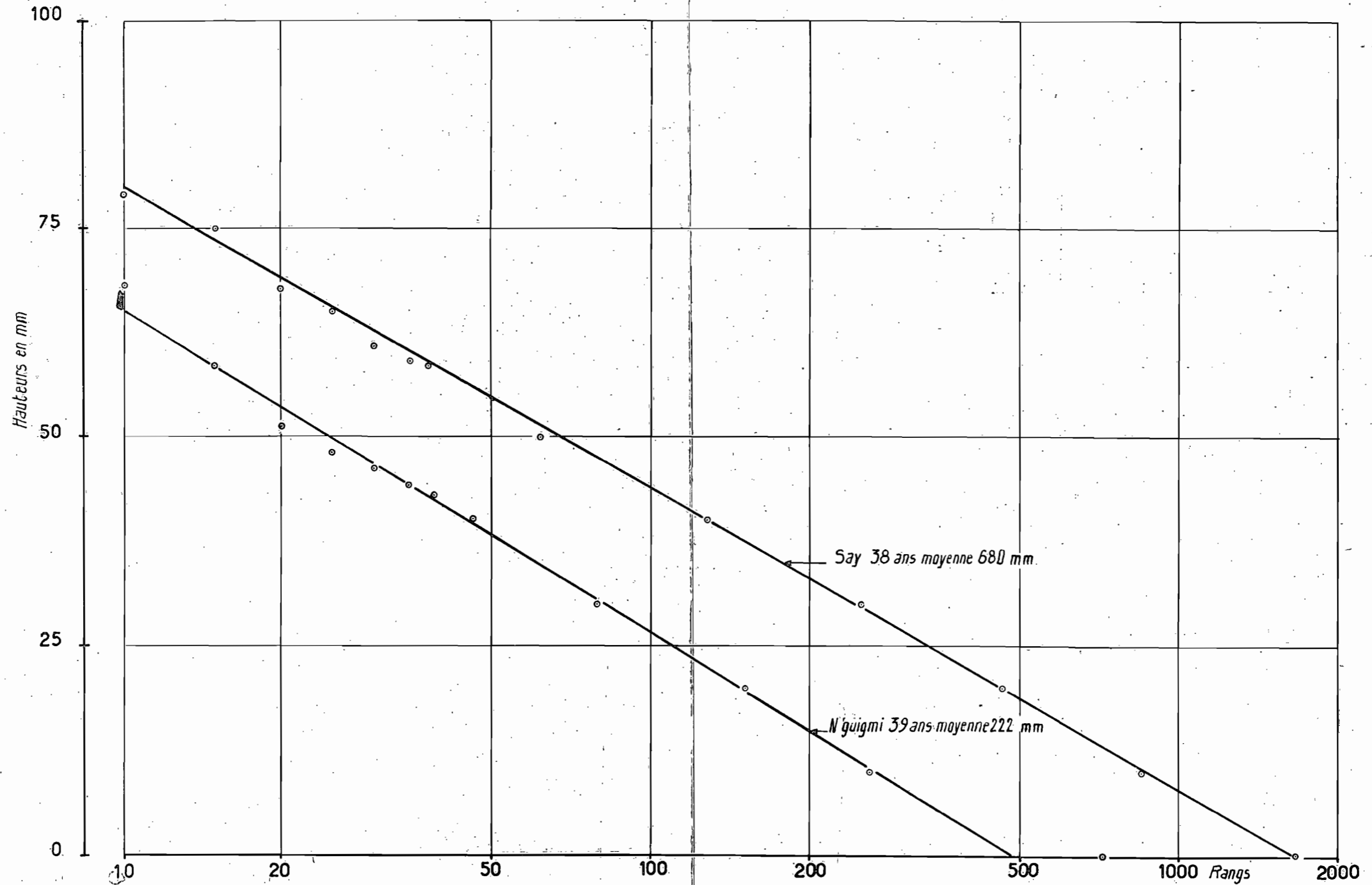
- Les erreurs de mesure sur les observations relativement anciennes, antérieures à 1926, sont quelquefois difficiles à déceler si l'observateur n'a pas spécifié le matériel utilisé. A la création du Service Météorologique, les pluviomètres "Association" et les éprouvettes millimétriques manquaient. Il a été utilisé des éprouvettes graduées en centimètres cubes et des récipients quelconques (seaux, touques d'essence) dont la surface d'ouverture n'était pas toujours bien mesurée. Dans bien des cas, l'observateur a inscrit le nombre de centimètres cubes relevés et l'a divisé par 40 pour trouver la hauteur pluviométrique, alors que, d'après les notes, la surface du récipient n'était pas de 400 cm². Certains relevés ont pu être corrigés, bien d'autres ont été abandonnés.

- 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 au 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 cette averse soit comptée sur deux jours différents. Or, nous cherchons à établir la loi de répartition de la pluviométrie par période 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.

Pluviométries journalières rangées



II - METHODE d'ETUDE -

Le nombre d'années d'observation, une quarantaine au maximum pour les stations privilégiées, ne permet pas d'estimer avec assez d'exactitude la valeur de la hauteur de probabilité une fois en cinq ans, uniquement au vu du rangement en ordre décroissant des pluviométries journalières. Pour une station observée pendant 40 ans par exemple, les écarts entre les 10 précipitations les plus fortes de chaque station varient de façon beaucoup trop irrégulière pour que, en choisissant la 4ème valeur qui devrait correspondre à la fréquence décennale, on trouve bien effectivement l'averse décennale : on peut obtenir une valeur nettement trop faible si le nombre d'averses très fortes a été anormalement faible pendant les 40 ans considérés, ou une valeur nettement trop forte si le nombre d'averses très fortes a été anormalement élevé. Cependant, la distribution de l'ensemble des valeurs classées, comme il a été dit plus haut, présente, pour l'ensemble des stations étudiées, des caractères communs qui vont faciliter notre tâche.

A - PREMIERES CONSTATATIONS sur la REPARTITION des PLUVIOMETRIES JOURNALIERES -

Les pluviométries journalières des stations ont été classées en ordre décroissant, en rangeant d'abord les N (N nombre d'années d'observation) premières valeurs, puis les autres par classes de 10 en 10 mm jusqu'à 0,1 mm.

Si nous portons en coordonnées semi-logarithmiques : p, la hauteur, et log r, logarithme du rang r, nous constatons que les points représentatifs s'alignent sur une certaine distance - depuis $p = 10$ ou 20 mm jusqu'à $r = N$ environ. Ils s'en écartent pour les très fortes et les très faibles fréquences.

Pour faciliter les comparaisons des diagrammes représentatifs des diverses stations, il serait intéressant de définir les droites qui s'ajustent sur les diagrammes, pour deux points caractéristiques. Le premier point caractéristique de la droite d'ajustement est l'intersection avec l'axe des abscisses qui a pour coordonnées $p = 0$ et une valeur de log r que nous désignerons par $\log r_0$. Le point r, de la courbe expérimentale correspondant à $p = 0$, est très mal connu, comme nous le verrons plus loin, mais il est clair qu'il s'écarte nettement de la droite d'ajustement.

On pourra prendre, comme second point caractéristique de la droite, celui dont l'abscisse est $\log \frac{r_0}{10}$. Ce point est toujours situé à la fois sur la courbe et sur la droite d'ajustement puisque, en pratique, les stations présentent plus de 10 averses par an, $\frac{r}{10}$ est donc supérieur à N. On désigne par p_1 , l'ordonnée correspondant à $\log \frac{r_0}{10}$.

Nous constatons que le produit $r_0 \times p_1$ pour les diverses stations est proportionnel au produit N (nombre d'années) P (pluviométrie moyenne annuelle) :

$$r_0 \times p_1 \times K = N \times P \quad (1)$$

En effet, si on détermine graphiquement pour chacune des 119 stations du MALI et du SENEGAL (stations ayant 10 années ou plus d'observations journalières disponibles), le coefficient K, on vérifie que K est sensiblement constant : sa valeur moyenne est de 0,456.

Les écarts, par rapport à cette valeur, sont très faibles ; on peut les préciser comme suit : soit K_i , une des valeurs trouvées pour K, la moyenne étant 0,456, n le nombre de stations pluviométriques, la dispersion est définie par l'écart-type qui est égal à :

$$s = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 0,456)^2}{n - 1}}$$

on trouve que cet écart-type est égal à 0,009.

Le coefficient de variation, qui est égal au rapport de l'écart type à la grandeur aléatoire que l'on étudie, soit ici le rapport K, est égal à $\frac{0,009}{0,456}$, soit 2 %.

Ce coefficient de variation, très petit, montre qu'en pratique on peut admettre que K est bien une constante.

L'existence de ce véritable invariant K montre que l'ensemble des distributions des pluviométries journalières que nous avons à étudier obéit à une relation unique et nous allons, dans ce qui suit, chercher une représentation mathématique qui s'approchera le plus possible de cette relation qu'on ne peut pas espérer trouver au stade actuel des études.

Quelle est la signification pratique de la formule trouvée plus haut ? Admettons que la droite d'ajustement coïncide avec la courbe réelle des points représentant p en fonction de n , jusqu'à l'axe des abscisses. L'abscisse r_0 devient alors le nombre total d'observations de jours de pluie.

$\frac{r_0}{N}$ est le nombre de précipitations journalières par an.

Si \bar{p} est la moyenne des précipitations journalières

$$p = \frac{r_0}{N} \bar{p}$$

et dans ces conditions la relation (1) s'écrit :

$$K r_0 p_1 = r_0 \bar{p}$$

$$\bar{p} = K p_1$$

or, la distance sur l'axe des abscisses entre le point $\log r_0$ et le point $\log \frac{r_0}{10}$ est constante et égale à 1. p_1 définit donc la pente des droites d'ajustement.

Si p_1 était constant, c'est-à-dire si \bar{p} était constant pour toutes les stations, toutes les droites seraient parallèles. Ceci n'est pas exact en réalité, et, dans ces conditions, la pente des droites est une fonction linéaire de \bar{p} qui croît légèrement avec P .

Plus la hauteur de précipitation annuelle est grande, plus la pente de la droite augmente, ce qui indiquerait que le nombre de jours de pluie augmenterait moins vite que P . Malheureusement, tout ceci suppose que la courbe expérimentale soit confondue avec la droite d'ajustement, ce qui n'est pas tout à fait exact. Les explications que nous donnons restent donc approximatives. N'ayons pas de regret, le nombre exact de jours de pluie est très difficile à déterminer car les observateurs prennent de la rosée pour de la pluie, ne comptent pas parfois les faibles averses, etc ... de sorte que, même si la courbe expérimentale s'ajustait jusqu'au bout à la droite il serait difficile d'arriver à une valeur précise de \bar{p} et, par suite, à une détermination exacte des divers paramètres définissant le faisceau de droites.

B - CHOIX de la RELATION -

Ayant constaté qu'il existait une relation unique définie par un invariant entre les droites s'ajustant sur les courbes expérimentales, nous avons essayé d'ajuster une relation mathématique simple à ce faisceau de courbes expérimentales.

Nous avons envisagé une relation de forme exponentielle et une relation gaussio-logarithmique, le procédé d'analyse étant graphique dans les deux cas. L'accord entre les hauteurs pluviométriques de fréquence donnée déterminées suivant ces deux lois est très bon jusqu'à la probabilité d'une fois en 10 ans. Cet accord est moins bon pour les probabilités plus rares, la détermination gaussio-logarithmique correspondant à des pluies plus fortes dans tous les cas. La relation exponentielle risque de conduire à des valeurs sous-estimées, ce qui serait dangereux. C'est pour cette raison que notre choix s'est porté sur la relation gaussio-logarithmique.

C - UTILISATION de la LOI GAUSSIO-LOGARITHMIQUE -

M. ROCHE avait déjà étudié la répartition des hauteurs des pluies journalières tropicales (non cycloniques) sur un certain nombre de stations d'Afrique comprises entre le 4ème parallèle Sud et le 17ème parallèle Nord. En considérant les hauteurs comme une suite de variables aléatoires indépendantes, il a admis qu'elles suivaient une loi gaussio-logarithmique tronquée.

Avant de préciser l'expression de cette relation, il semble nécessaire de procéder à un bref rappel des définitions correspondant à ce type de loi.

Une loi gaussique est de la forme :

$$F(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{x}}{s} \right)^2} \cdot dx$$

$F(x)$ étant la probabilité ou le nombre de chances sur 100 pour que la variable aléatoire étudiée soit inférieure ou égale à la valeur de x . Pour une valeur de x exceptionnellement forte, $F(x)$ est très voisin de 1. On utilise plus fréquemment la probabilité au dépassement qui est égale à $1 - F(x)$.

\bar{x} est la moyenne arithmétique de la variable aléatoire x .

$$s \text{ est son écart-type} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

On écrit fréquemment la formule de GAUSS sous sa forme réduite :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du \quad \text{avec } u = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

Les valeurs de $F(x)$ sont fournies par les tables de l'intégrale de GAUSS en fonction de u que l'on appelle l'écart réduit.

La courbe représentant

$$e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{x}}{s} \right)^2}$$

est symétrique, ce qui signifie que les valeurs très fortes ou très faibles de la variable, qui ont le même écart par rapport à \bar{x} , ont la même probabilité. Autrement dit, si on considère des précipitations annuelles, si $\bar{x} = 1400$ mm et si l'année décennale humide est de 2000 mm, l'année décennale sèche, donc de même probabilité, représenterait une hauteur de précipitation égale à $1400 - (2000 - 1400) = 800$ mm. Ceci n'est pas vrai pour de nombreux phénomènes, par exemple, la courbe des hauteurs d'averses journalières est asymétrique. On revient alors à la loi de GAUSS en prenant une valeur réduite égale à une fonction linéaire du logarithme de la variable :

$$u = a + b \log x$$

On a ainsi une loi gaussio-logarithmique.

En toute rigueur on devrait, pour une station pluviométrique donnée, considérer la collection de tous les relevés journaliers, y compris les valeurs $x = 0$, c'est-à-dire les jours pour lesquels il n'a pas plu. Pour une année (non bissextile), on disposerait donc de 365 valeurs. Or, dans bien des applications, on ne considère que les hauteurs de précipitations supérieures à une limite donnée et plus fréquemment à la limite 0 ; c'est-à-dire qu'on ne prend en compte que les valeurs non nulles. On a affaire, dans ce cas, à ce qu'on appelle une distribution tronquée.

Si $F_1(x)$ est la probabilité pour que la hauteur de précipitation journalière soit supérieure ou égale à x (en rapportant cette probabilité aux 365 hauteurs journalières de l'année y compris les jours à précipitation nulle), $F_1(0)$ la probabilité pour que la hauteur de pluie soit supérieure à 0 (par exemple, si le nombre de jours de pluie est en

moyenne de 122 jours par an, $F_1(0) = \frac{1}{3}$), $\frac{F_1(x)}{F_1(0)}$ est la probabilité tronquée.

Ceci étant posé, la loi logarithmique s'écrit comme suit :

$$\frac{F_1(x)}{F_1(0)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

$$\text{avec } u = \frac{\log x - \log x}{s}$$

- $F_1(x)$ est la probabilité pour que x soit supérieure ou égale à x , (probabilité rapportée au nombre total de jours pendant la durée d'observation).
- $F_1(0)$ est la probabilité pour que la hauteur ne soit pas nulle.
- $\overline{\log x}$ est la moyenne de toutes les valeurs de $\log x$, en ne considérant que les jours pluvieux.
- s est l'écart-type de $\log x$.

L'expérience montre que l'ajustement ne se fait correctement entre la loi gausso-logarithmique et la courbe expérimentale qu'en prenant $F_1(0)$ un **peu inférieur** à la valeur expérimentale. La détermination directe de $\overline{\log x}$ et s serait rendue très délicate par les valeurs négatives très fortes que peut prendre $\log x$ au voisinage de $x = 0$; on utilisera pour chaque station des procédés graphiques.

Dans ces conditions, les opérations à effectuer pour chaque station pluviométrique sont les suivantes :

- rangement des hauteurs pluviométriques journalières par ordre décroissant et détermination de leur fréquence tronquée $\frac{F_1(x)}{F_1(0)}$. Pour la valeur de $F_1(0)$ on prendra, pour un premier essai, les $2/3$ de la valeur expérimentale.
- pointage sur papier gausso-logarithmique en portant en abscisse (échelle logarithmique) la hauteur en mm et en ordonnée (échelle gaussique) la fréquence tronquée expérimentale correspondante (graphique 2).

En pratique, on prend les 20 premières valeurs, puis on ne considère que les averses, de 10 en 10 mm, jusqu'à la hauteur 10 mm.

- Les points doivent s'aligner, en vertu de la relation indiquée plus haut, pour la majeure partie de la courbe ainsi tracée. On vérifie l'alignement des points. Si l'alignement est insuffisant, on procède à un nouvel essai avec une autre valeur de $F_1(0)$. Nous reviendrons plus loin sur le choix de $F_1(0)$.

- Une fois les points alignés le mieux possible, on peut déterminer sur le graphique les valeurs de $\overline{\log x}$ et de s qui servent, avec la valeur de $F_1(0)$ choisie, à calculer les hauteurs x correspondant aux probabilités $F_1(x)$ données. Cette détermination est facile :

en effet : $\log x = \overline{\log x}$ correspond à $u = 0$ et pour $u = 0$ $\frac{F_1(x)}{F_1(0)}$, fréquence tronquée, est égale à $\frac{1}{2}$. Il suffit, sur le graphique, de prendre l'abscisse correspondant à cette valeur de l'ordonnée.

D'autre part, s est la pente de la droite par rapport à l'axe des ordonnées. On la détermine pratiquement en considérant le point d'ordonnée $\frac{F_1(x)}{F_1(0)} = 0,001$.

Il semblerait que la détermination de $\overline{\log x}$ et de s soit inutile puisqu'il suffit, pour trouver x correspondant à la valeur $F_1(x)$ donnée, de porter $\frac{F_1(x)}{F_1(0)}$ en ordonnée sur la droite représentative de la relation générale, laquelle est déterminée graphiquement. Mais dans les recherches qui ont précédé la mise au point des cartes de précipitations journalières de faible fréquence, il était très important de vérifier si les paramètres $F_1(0)$, s et $\overline{\log x}$ présentaient, entre eux, avec la hauteur de précipitation moyenne ou avec la latitude, des relations simples. On verra plus loin que cette recherche n'a pas donné des résultats très satisfaisants.

Si la détermination graphique de $\overline{\log x}$ et de s ne présente pas de difficulté, il n'en est pas de même de $F_1(0)$; en effet, pour une variation notable de cette valeur, les points restent alignés. Mais heureusement, comme on va le voir par l'exemple suivant, une mauvaise détermination de $F_1(0)$ n'a pas une grosse influence sur $\overline{\log x}$ et s et encore moins sur les valeurs obtenues pour les hauteurs de précipitations de probabilité rare.

Prenons l'exemple d'une station pour laquelle la relation gauss-logarithmique soit exactement définie par :

$$F_1(0) = 0,100 \quad s = 0,300 \quad \overline{\log x} = 1,173$$

Supposons que, au lieu de prendre $F_1(0) = 0,100$, on ait pris $F_1(0) = 0,080$ ou $F_1(0) = 0,125$. Portons graphiquement les points représentatifs obtenus en divisant $F_1(x)$ expérimental par $F_1(0)$ et en portant en abscisse x correspondant pour des valeurs de x variant de 5 en 5 mm. On constate que, sur les deux diagrammes nouveaux, les points restent sensiblement alignés pour des valeurs de x comprises entre 25 et 100 mm. Déterminons graphiquement $\log x$ et s pour ces deux nouvelles droites, ainsi que les hauteurs journalières de faible probabilité ; on obtient le tableau ci-dessous :

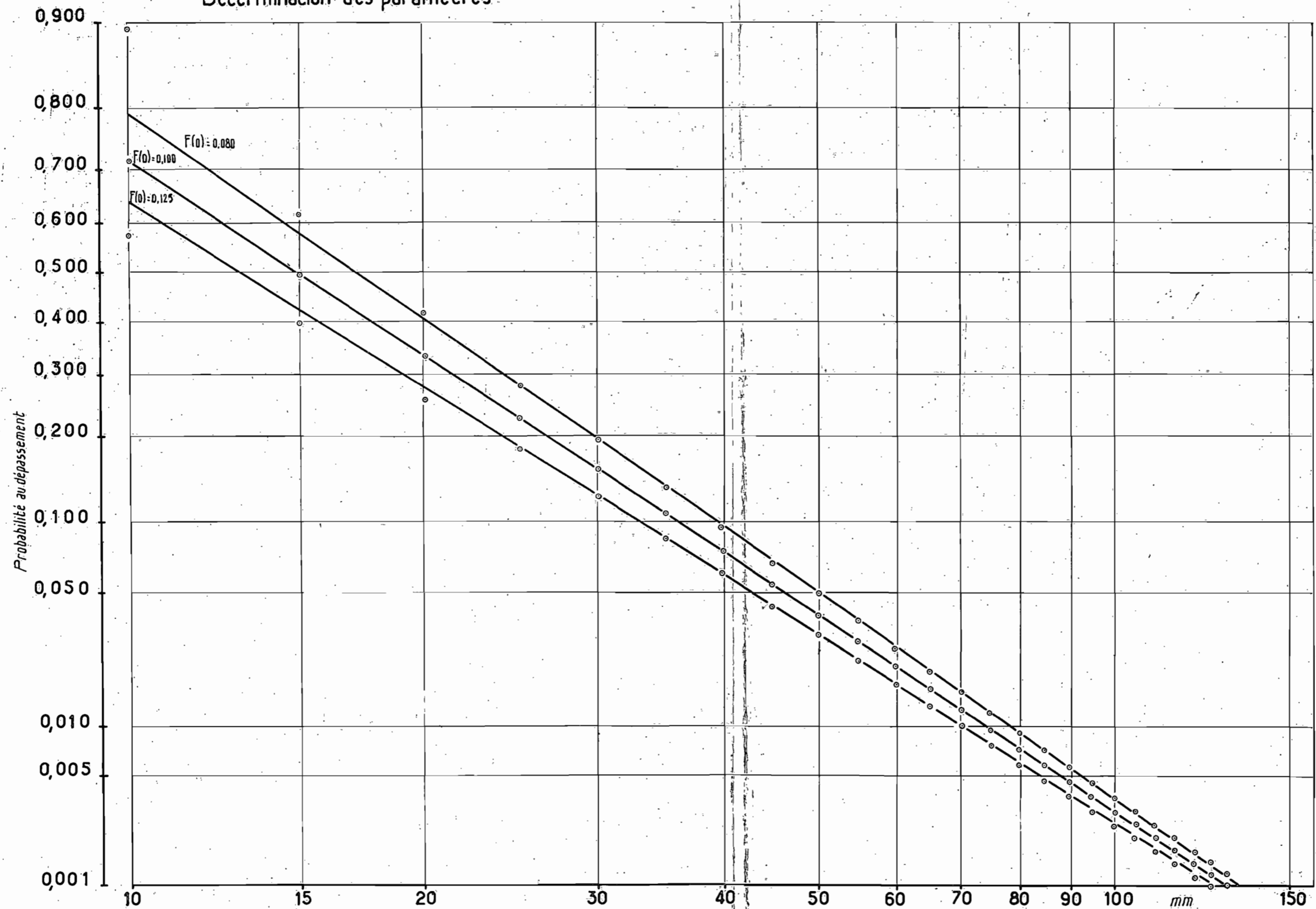
$F_1(0)$	0,080	0,100	0,125
$\frac{\log x}{s}$	1,230	1,173	1,114
s	0,286	0,300	0,315
Hauteurs journalières de probabilité annuelle	56,4 mm	56,2 mm	56,1 mm
1 fois en 2 ans	68,4 -	68,4 -	68,4 -
- - 5 -	86,1 -	86,5 -	87,1 -
- - 10 -	101 -	101,5 -	102 -
- - 20 -	116,5 -	118 -	120 -
- - 50 -	140 -	142 -	145 -
- - 100 -	159 -	162 -	167 -

Malgré une forte variation de $F_1(0)$, les valeurs extrêmes de la hauteur de pluie décennale 101 et 102 mm sont très voisines, et même pour la précipitation centenaire, l'écart est encore très acceptable.

L'incertitude sur le choix de $F_1(0)$ est donc sans conséquence grave sur le résultat. Par contre, elle introduit une certaine dispersion dans la comparaison des valeurs d'un même paramètre pour diverses stations.

Loi gaussio-logarithmique de répartition
Détermination des paramètres

Gr_2



III - RESULTATS de l'ANALYSE -

Le tableau ci-après résume les résultats obtenus en analysant, par une loi gaussio-logarithmique, les relevés des 29 stations du NIGER pour lesquelles nous disposons de 10 années ou plus de relevés journaliers.

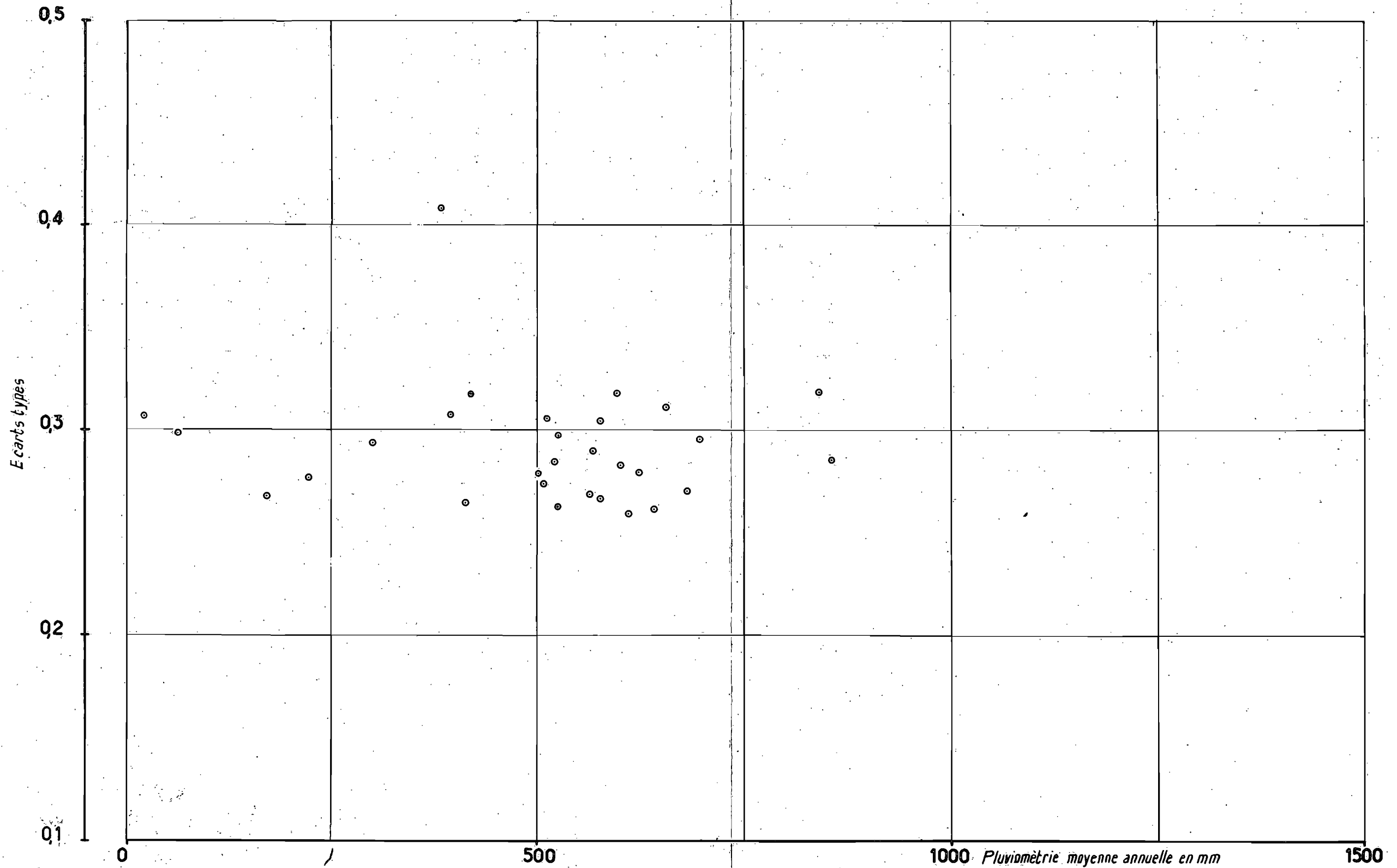
Nous donnons par station :

- la hauteur pluviométrique moyenne annuelle en millimètres,
- le nombre d'années d'observation,
- les valeurs obtenues graphiquement pour $F(0)$, $\overline{\log x}$ et σ qui déterminent la loi de répartition. On en déduit, dans chaque cas, les hauteurs de précipitation correspondant aux diverses fréquences,
- les valeurs en millimètres des hauteurs journalières de probabilité annuelle, une fois en 2 ans, une fois en 5 ans, une fois en 10 ans, une fois en 20 ans, une fois en 50 ans et une fois en 100 ans.
- nous avons ajouté, à ces valeurs calculées, les valeurs expérimentales, en millimètres, des hauteurs journalières de probabilité annuelle, une fois en 2 ans, et une fois en 5 ans, tirées simplement du rangement des pluviométries journalières.

L'accord entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales est bon pour les probabilités annuelles et d'une fois en 2 ans, moins bon pour la probabilité d'une fois en 5 ans, ce qui est normal puisque les stations présentent des périodes d'observations portant en général sur moins de 40 ans. L'échantillon est alors insuffisant pour déterminer une valeur précise de l'averse quinquennale et la valeur extrapolée à partir de la droite ajustée est plus sûre.

Gr. 3

Écarts types logarithmiques



NIGER I

HAUTEURS de PRECIPITATIONS JOURNALIERES EXCEPTIONNELLES
aux DIVERS POSTES d'OBSERVATIONS

Station	F ₁ (0)	log x:	σ	Nbre: d'an- nées.	Moy.: annu- elle.	P R O B A B I L I T E S									
						annuelle:	1/2 ans	1/5 ans	1/10:	1/20:	1/50:	1/100:			
BILMA	:0,00296	:1,082	:0,306	37	20	4,4:	5,0:	12,9:	12,8:	22,7:	22,0:	30,8:	39,4:	52,5:	63,5:
IFEROUANE	:0,0145	:0,866	:0,298	21	63	13,5:	13,2:	18,1:	20,5:	24,8:	25,0:	30,5:	36,8:	45,9:	53,6:
AGADES	:0,0216	:1,171	:0,267	38	173	29,9:	30,0:	37,9:	36,4:	49,3:	42,7:	58,6:	68,7:	83,0:	94,8:
N°GUITMI	:0,0211	:1,304	:0,276	39	222	41,2:	43,0:	52,7:	51,6:	69,2:	70,2:	82,8:	97,7:	118,8:	136,5:
TANOUT	:0,0356	:1,202	:0,293	24	299	42,4:	42,5:	53,6:	49,0:	70,5:	66,1:	83,9:	99,1:	121,3:	140,0:
DIFFA	:0,0548	:1,113	:0,408	10	382	60,3:	60,7:	81,7:	70,0:	115,3:	100,5:	145,5:	181,1:	236,1:	285,1:
TAHOUA	:0,0576	:1,103	:0,307	38	395	41,3:	41,0:	51,4:	50,2:	66,5:	62,3:	79,2:	93,1:	113,8:	131,2:
MAINE SCROA	:0,0496	:1,211	:0,264	23	413	42,8:	42,5:	52,1:	53,3:	65,3:	67,7:	76,2:	87,7:	104,5:	118,0:
GOURE	:0,0502	:1,205	:0,317	26	419	51,6:	51,3:	65,2:	60,6:	85,5:	81,0:	102,8:	121,9:	150,0:	173,8:
ZINDER	:0,0537	:1,263	:0,278	51	501	52,2:	50,8:	64,0:	64,2:	80,9:	75,9:	94,8:	110,2:	131,8:	150,0:
FILLABERY	:0,0555	:1,257	:0,273	38	508	51,0:	51,9:	62,1:	59,8:	78,2:	72,5:	91,4:	105,7:	126,5:	143,2:
FILINGUE	:0,0571	:1,248	:0,305	30	513	57,0:	54,3:	71,0:	69,5:	91,6:	86,7:	109,1:	128,2:	156,3:	179,9:
OUALLAM	:0,0490	:1,313	:0,284	14	521	58,1:	55,0:	71,8:	73,0:	91,6:	93,8:	107,9:	125,9:	151,7:	173,0:
MADAOUA	:0,0547	:1,283	:0,262	25	524	51,8:	52,0:	62,7:	59,7:	78,0:	68,6:	90,8:	104,2:	123,9:	139,6:
TERA	:0,0627	:1,222	:0,297	23	526	53,6:	54,5:	66,2:	62,2:	84,7:	72,2:	100,2:	117,2:	141,9:	162,2:

HAUTEURS de PRECIPITATIONS JOURNALIERES EXCEPTIONNELLES
aux DIVERS POSTES d'OBSERVATIONS

Station	F ₁ (0)	log x:	σ	Nbre:	Moy.:	P R O B A B I L I T E S										
						annuelle:	1/2 ans:	1/5 ans	1/10:	1/20:	1/50:	1/100:	d'an-:	annu-:	----	----
				nées.:	elle.:	calc:	exp:	calc:	exp:	calc:	calc:	calc:	calc:	calc:	calc:	calc:
TESSAOUA	:0,0609	:1,280	:0,268	25	: 562	:54,3	:50,0	:65,6	:61,3	82,0:	69,2:	95,5:	109,9:	130,9:	147,9:	
KOLO	:0,0685	:1,208	:0,289	20	: 567	:51,8	:50,7	:63,4	:74,0	80,2:	93,0:	94,2:	109,6:	131,8:	150,7:	
MYRRIAH	:0,0591	:1,284	:0,304	16	: 575	:62,4	:64,0	:77,6	:76,9	100,0:	87,2:	118,8:	139,6:	169,8:	195,4:	
NIAMEY V	:0,0612	:1,267	:0,266	56	: 575	:52,4	:51,5	:63,3	:64,0	78,9:	76,8:	91,6:	105,4:	125,3:	141,3:	
BIRNI N'KONNI	:0,0753	:1,182	:0,318	28	: 596	:56,6	:56,4	:70,3	:68,0	91,0:	82,2:	108,4:	127,9:	156,3:	180,3:	
NIAMEY A	:0,0685	:1,234	:0,282	20	: 600	:53,5	:53,1	:65,0	:61,1	81,8:	81,5:	95,9:	111,2:	133,0:	151,0:	
YENI	:0,0593	:1,333	:0,259	11	: 610	:58,7	:56,5	:70,6	:65,6	87,7:	79,7:	101,6:	116,7:	137,7:	155,2:	
MARADI	:0,0674	:1,270	:0,279	28	: 623	:57,1	:54,0	:69,3	:62,4	87,3:	83,3:	102,1:	118,0:	140,9:	160,0:	
DOGOUDOUTCHI	:0,0611	:1,346	:0,261	39	: 640	:61,5	:62,0	:74,1	:73,3	92,0:	88,7:	106,7:	122,5:	144,9:	163,3:	
MAGARIA	:0,0745	:1,240	:0,311	23	: 654	:62,5	:62,8	:77,4	:70,8	99,8:	80,8:	118,6:	139,0:	169,4:	195,0:	
SAY	:0,0721	:1,282	:0,270	38	: 680	:57,7	:58,5	:69,5	:67,8	86,5:	83,1:	100,7:	115,6:	137,4:	155,2:	
DOSSO	:0,0841	:1,223	:0,295	31	: 694	:58,5	:58,4	:71,4	:67,6	90,4:	86,4:	106,2:	123,3:	148,6:	169,4:	
KOULOU	:0,0889	:1,273	:0,318	11	: 839	:73,6	:72,1	:91,2	:80,0	117,2:	123,5:	139,3:	163,7:	199,5:	230,1:	
GAYA	:0,0883	:1,287	:0,285	27	: 836	:65,9	:66,4	:79,8	:79,0	100,0:	93,2:	116,7:	134,9:	161,1:	182,8:	

IV - DISCUSSION des RESULTATS de l'ANALYSE

Les stations ont été classées dans le tableau n° I par région et par hauteur de précipitation annuelle croissante. Il serait ainsi facile de dégager a priori les tendances générales qui pourraient exister dans les variations des divers paramètres.

On constate que $F_1(0)$ croît nettement avec la hauteur de précipitation annuelle et passe de 0,02 à 0,08 quand celle-ci s'élève de 50 à 200 mm ; il y a fort peu de dispersion.

Les valeurs de $\overline{\log x}$ restent comprises entre 1 et 1,3, avec une certaine dispersion et sans qu'il soit bien net qu'elles croissent avec la hauteur de précipitation annuelle.

Mis à part une valeur aberrante de 0,408 pour DIFFA, l'écart-type s varie entre 0,259 et 0,318 ; cette variation semble bien indépendante de la hauteur de précipitation annuelle (graphique n° 3). La dispersion est grande puisque le coefficient de variation atteint 8 %, hauteur d'une moyenne égale à 0,286 pour la série des écarts-types fournis par les 29 stations du NIGER totalisant 810 années d'observations.

Il est évident qu'un certain nombre de points aberrants correspondent à des valeurs aberrantes de $F_1(0)$. On serait tenté, après ce qui a été dit plus haut, de choisir $F_1(0)$ de façon à ce qu'il varie régulièrement du haut en bas du tableau 1. Mais nous verrons plus loin que la dispersion dans les valeurs de $F_1(0)$ et $\overline{\log x}$ est due certainement, pour quelques stations, à des causes physiques indépendantes de la faible valeur de l'échantillon statistique et des erreurs qui pourraient être introduites par suite de la part d'arbitraire qui intervient dans les opérations d'ajustement. Dans ces conditions, choisir $F_1(0)$, de telle façon qu'il varie bien régulièrement avec la hauteur de précipitation annuelle, reviendrait à fausser les données brutes disponibles, ce qu'il convient d'éviter à tout prix, au stade actuel des études tout au moins.

Malgré les recherches effectuées dans plusieurs directions, nous n'avons pas pu lier individuellement les constantes de la répartition $F_1(0)$, $\overline{\log x}$ et s à la hauteur de précipitation annuelle. Le régime pluviométrique étant au NIGER, comme en HAUTE-VOLTA, relativement homogène dans tout le pays, on ne peut chercher d'explication à la dispersion des résultats que dans le caractère douteux de certains relevés (voir les réserves formulées pages 1 et 2) et dans l'influence des micro-clinats.

Les quelques études relatives à l'influence des micro-climats et qui ont déjà été effectuées, comme par exemple celle du bassin du KOUILOU, ont montré que certaines stations subissaient fréquemment des orages violents et que d'autres, au contraire, ne voyaient que rarement de tels phénomènes.

Les stations sont généralement très éloignées les unes des autres, de sorte qu'une étude systématique de ces singularités locales est impossible. Cependant, dans la région de DAKAR (République du SENEGAL), bien connue pour la répartition irrégulière des averses orageuses, il y a cinq stations assez rapprochées les unes des autres (elles sont distantes de moins de 6 km), pour qu'on puisse avoir une idée des répercussions de cette hétérogénéité sur les hauteurs d'averses exceptionnelles.

L'étude des pluviométries à ces 5 stations du Cap Vert montre une hétérogénéité à la fois des hauteurs de précipitations annuelles et aussi des hauteurs d'averses en 24 heures tout particulièrement à partir de la fréquence quinquennale. Il est vrai que la même étude, par analyse fine de la variance de chaque échantillon à l'aide des divers tests de SNEDECOR et de BARTLETT, montre que cette hétérogénéité peut être imputée à la seule insuffisance des échantillons (20 ans, en l'occurrence).

Nous ne sommes même pas sûrs que des séries de 40 ans seraient assez longues pour fournir un résultat précis après ajustement sur une relation gaussio-logarithmique.

Tout ceci montre qu'il n'y a pas lieu de se scandaliser des valeurs aberrantes du tableau I, et il n'y a pas beaucoup d'espoir de les éliminer complètement.

Mais il ne faudrait pas en déduire non plus que, par suite de l'existence de ces assez nombreux points aberrants, toute généralisation et toute interpolation sont impossibles. La situation de la presqu'île du CAP VERT, sans être exceptionnelle, ne correspond pas au cas général de l'Afrique de l'Ouest, où le relief assez monotone est garant d'une certaine homogénéité. On retiendra simplement, lorsqu'on utilisera les cartes de précipitations exceptionnelles, qu'il existe des singularités locales qu'il convient de ne pas négliger.

Quant à la connaissance des précipitations exceptionnelles, dans le cas général, notons que les données du tableau I seront traduites sur une carte, ce qui éliminera automatiquement les points aberrants.

V - EXPLOITATION des RESULTATS

Les valeurs qui nous semblent déterminées avec le plus de précision sont celles des pluviométries journalières de probabilité annuelle. C'est pourquoi nous avons rapporté les hauteurs de fréquence plus faible à la hauteur de fréquence annuelle. Nous avons donc porté sur des graphiques les rapports, station par station, des hauteurs de probabilité 1 fois en 2 ans, en 5 ans, en 10 ans, en 20 ans à cette hauteur de probabilité annuelle en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle.

La dispersion des points des graphiques croît lorsque la probabilité décroît (nous donnons en annexe les graphiques correspondant à 1/2 et 1/10), mais il ne semble pas que le rapport soit fonction de la longitude. Nous avons tracé sur chaque graphique une courbe moyenne représentant la variation de ce rapport avec la hauteur moyenne annuelle. Ces courbes sont reproduites sur le graphique ci-après.

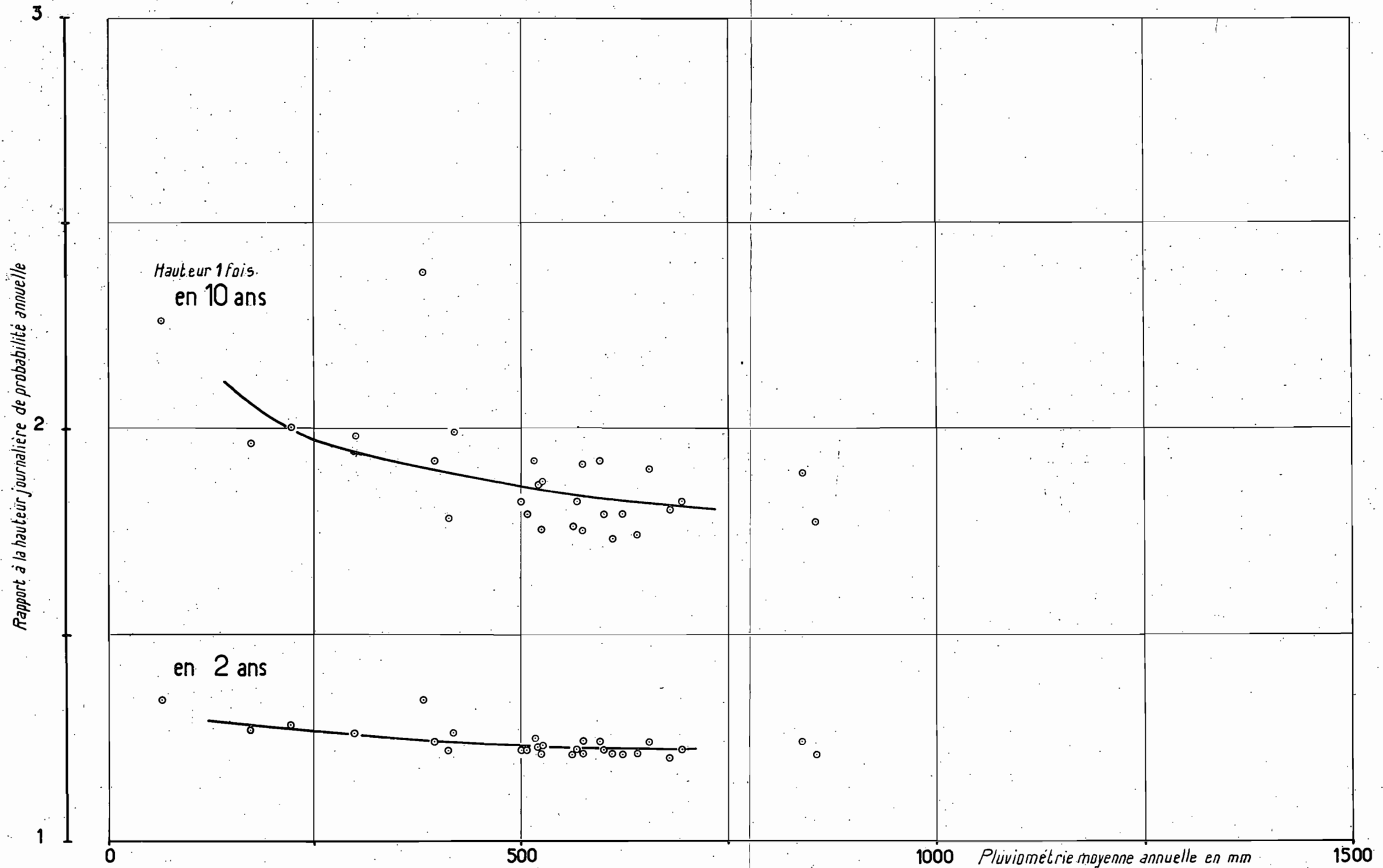
Nous avons tracé, sur les cartes jointes, le réseau des isohyètes moyennes annuelles de 100 en 100 mm et le réseau des lignes d'égaux hauteurs (de 5 mm en 5 mm) des pluviométries journalières de probabilité une fois par an.

Cette carte est moins précise que la précédente : pour tracer les lignes, nous avons utilisé les différentes déterminations malgré leur dispersion, en tenant compte du nombre d'années d'observations.

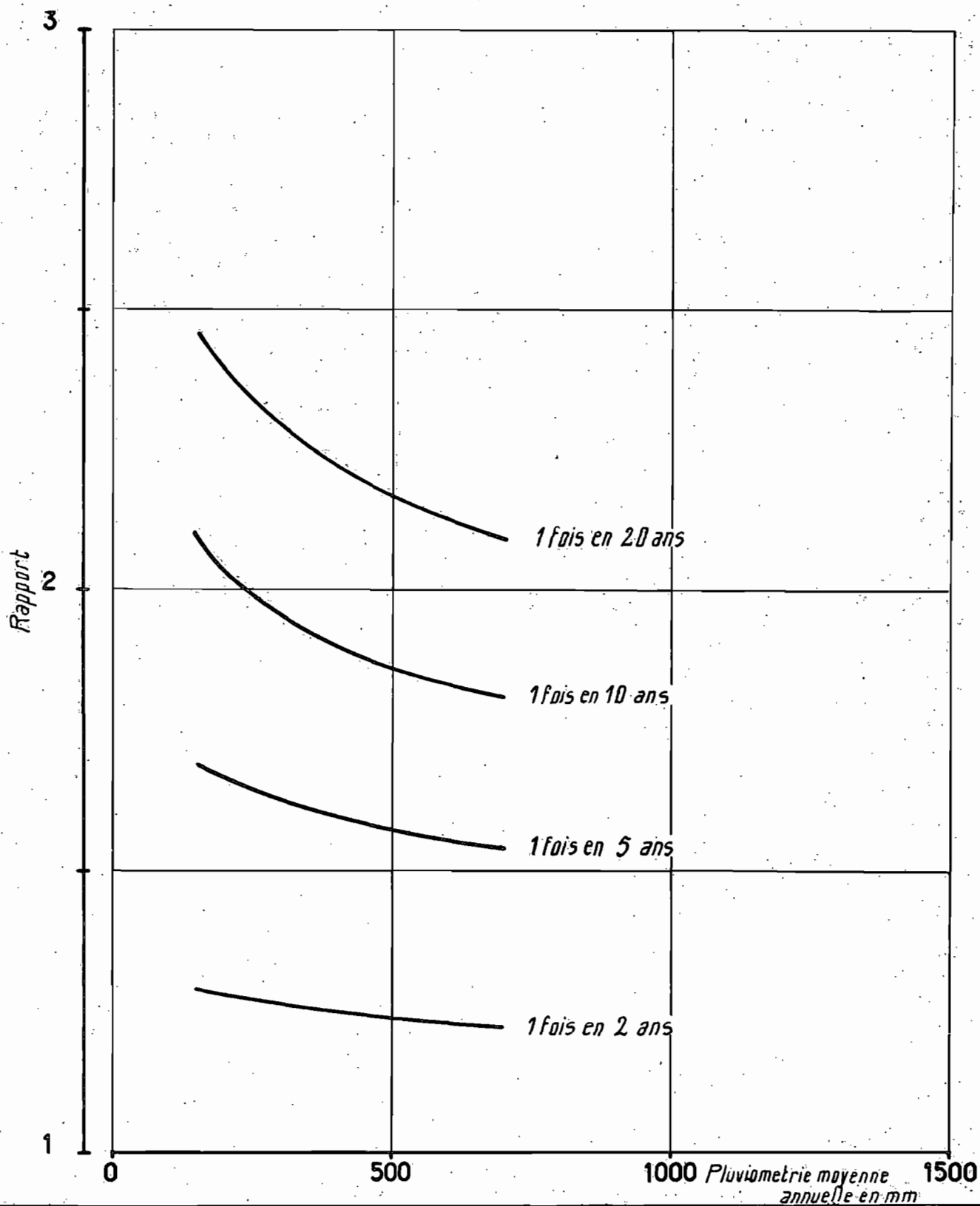
L'ensemble des deux cartes et du graphique précédent permettent de déterminer, avec une précision qu'il est difficile de chiffrer, des hauteurs pluviométriques journalières ponctuelles jusqu'à la probabilité 1 fois en 20 ans. Nous n'avons pas osé aller au-delà. On trouvera ci-contre la carte des précipitations décennales.

Les lignes d'égaux hauteurs journalières de probabilité annuelle (ou décennale) ne suivent pas exactement le tracé des isohyètes comme cela se produisait à peu près au MALI et en HAUTE-VOLTA. Au NIGER, on observe à partir du méridien 6° E un mouvement incliné vers le Sud-Est des isohyètes, c'est-à-dire que, pour une même latitude, la hauteur de précipitation annuelle diminue fortement d'Ouest en Est, à un tel point que N'GUIGMI ne reçoit que 220 mm alors que TILLABERY, situé à une latitude voisine, est arrosé par 500 mm. Les lignes d'égaux hauteurs journalières de précipitations suivent ce mouvement des isohyètes mais d'une manière moins prononcée de telle sorte que ces hauteurs croissent légèrement d'Ouest en Est le long d'une isohyète ; il s'agit là d'un phénomène inverse et d'ailleurs moins intense que celui que l'on observe au SENEGAL.

Rapport à la hauteur journalière de probabilité annuelle
de la hauteur de probabilité 1 fois en 10 ans et en 2 ans



Rapport des hauteurs journalières de diverses probabilités
à la
hauteur de probabilité annuelle



Pour calculer en un point quelconque la hauteur de précipitation correspondant à une fréquence qui ne soit ni annuelle, ni décennale, on cherchera sur la carte (graphique 7), la hauteur de précipitation moyenne annuelle, sur la carte (graphique 8), la hauteur journalière de probabilité annuelle et, sur le graphique 6, en fonction de la hauteur de précipitation annuelle trouvée sur la carte 7 et de la fréquence donnée (1 fois en 5 ans ou en 20 ans), la valeur du rapport entre précipitation de fréquence annuelle et celle de la fréquence donnée. Il suffira alors de multiplier par ce rapport la hauteur de fréquence annuelle trouvée sur la carte 8 pour obtenir la hauteur de fréquence cherchée. La fréquence la plus courante utilisée étant la fréquence décennale, c'est la raison pour laquelle nous avons jugé utile de faire ces opérations et d'établir la carte correspondant à cette fréquence (graphique 9).

Les données fournies par ces cartes ne tiennent pas compte des singularités locales ; elles correspondent à des situations moyennes. Pour une zone de faible étendue qui, de façon notoire, serait particulièrement exposée aux orages, il faudrait majorer les valeurs de la carte de 10 à 20 %. Pour une surface assez étendue, par exemple au-delà de 20 à 25 km², de telles singularités s'estompent dans la moyenne.

Gr_6

NIGER
Isohyètes annuelles

○ Agadès

○ Tanout

○ N'Guigmi 200

○ Bouré

○ Tessaoua

○ Zinder

300

○ Mainé-Soroa 400

500

○ Magaria

600

Echelle: 1/2.500.000

ORSTOM

A6

DATE 21-6-1965

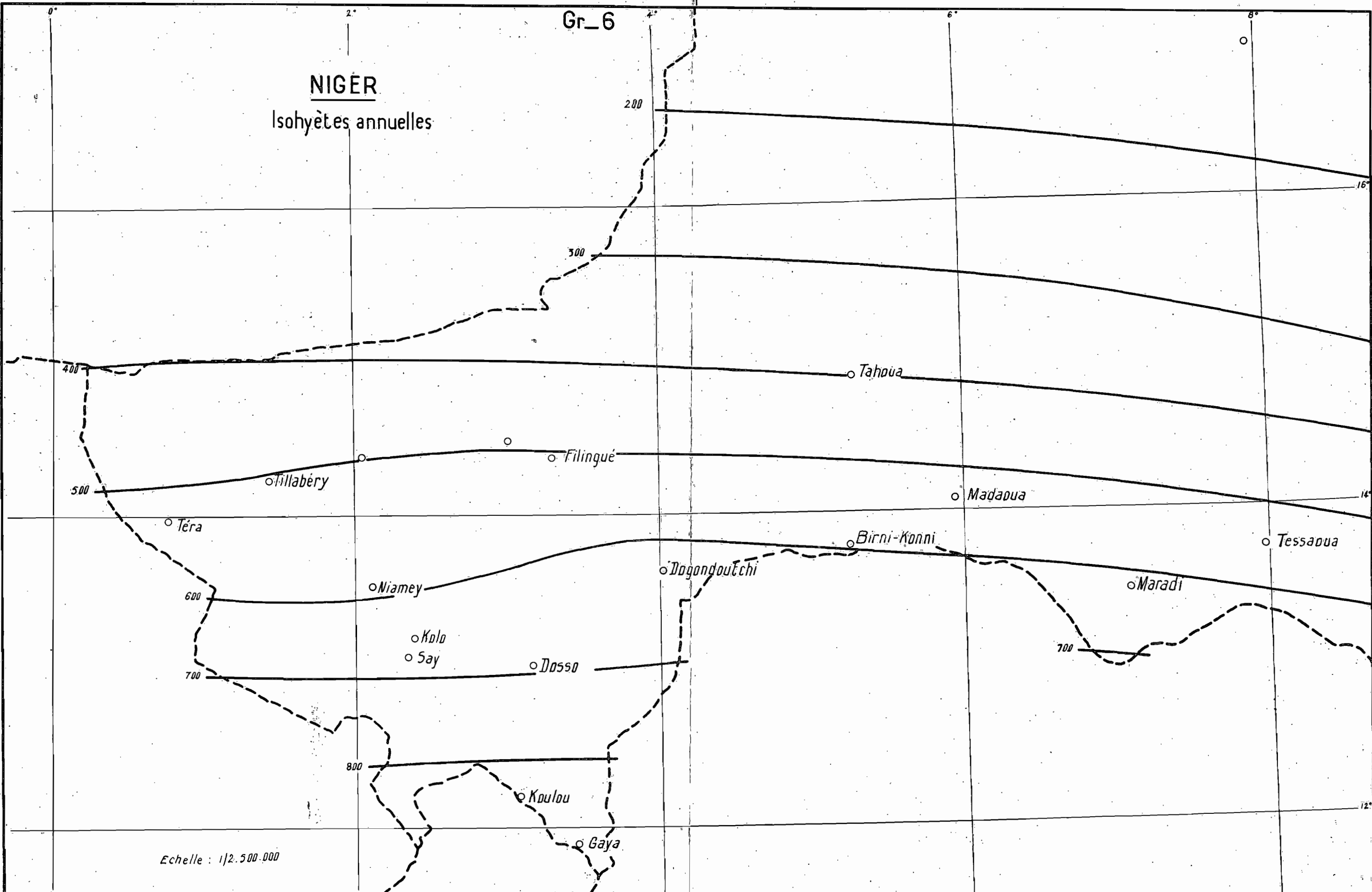
DESSINE Gallienne J.

NIG 71.252

Gr_6

NIGER

Isohyètes annuelles

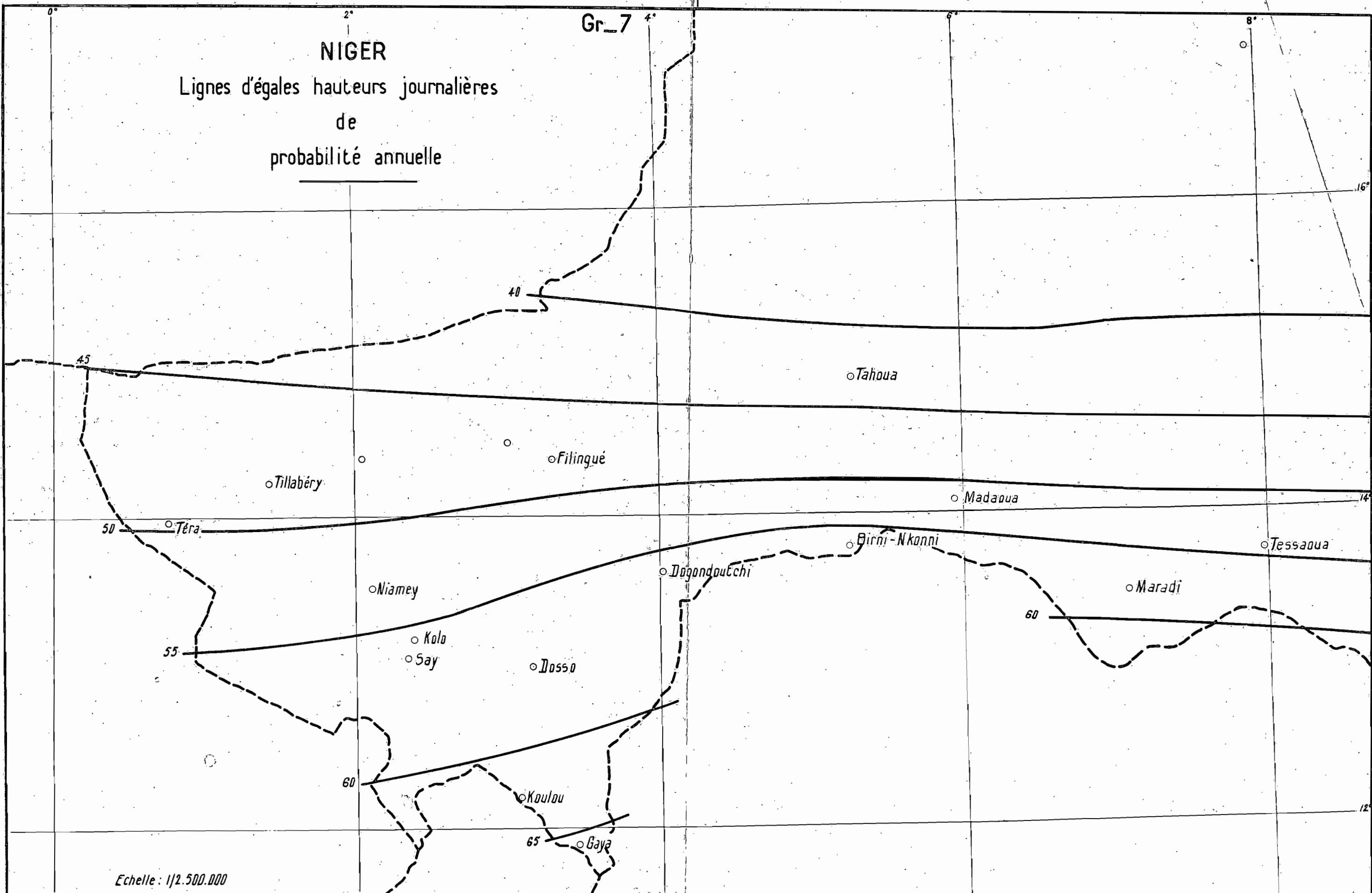


Echelle : 1/2.500.000

NIGER

Lignes d'égales hauteurs journalières
de
probabilité annuelle

Gr_7



Echelle : 1/2.500.000

ORSTOM

Ao

DATE 24-6-1963

DESSINE Gallienne J.

NIG. 71.254

NIGER

Gr_7

Lignes d'égales hauteurs journalières
de
probabilité annuelle

○ Agadès

○ Tanout

○ N'Guigmi

○ Gouré

○ Tessaoua

○ Zinder

○ Mainé-Soroa

○ Magaria

Echelle : 1/2.500.000

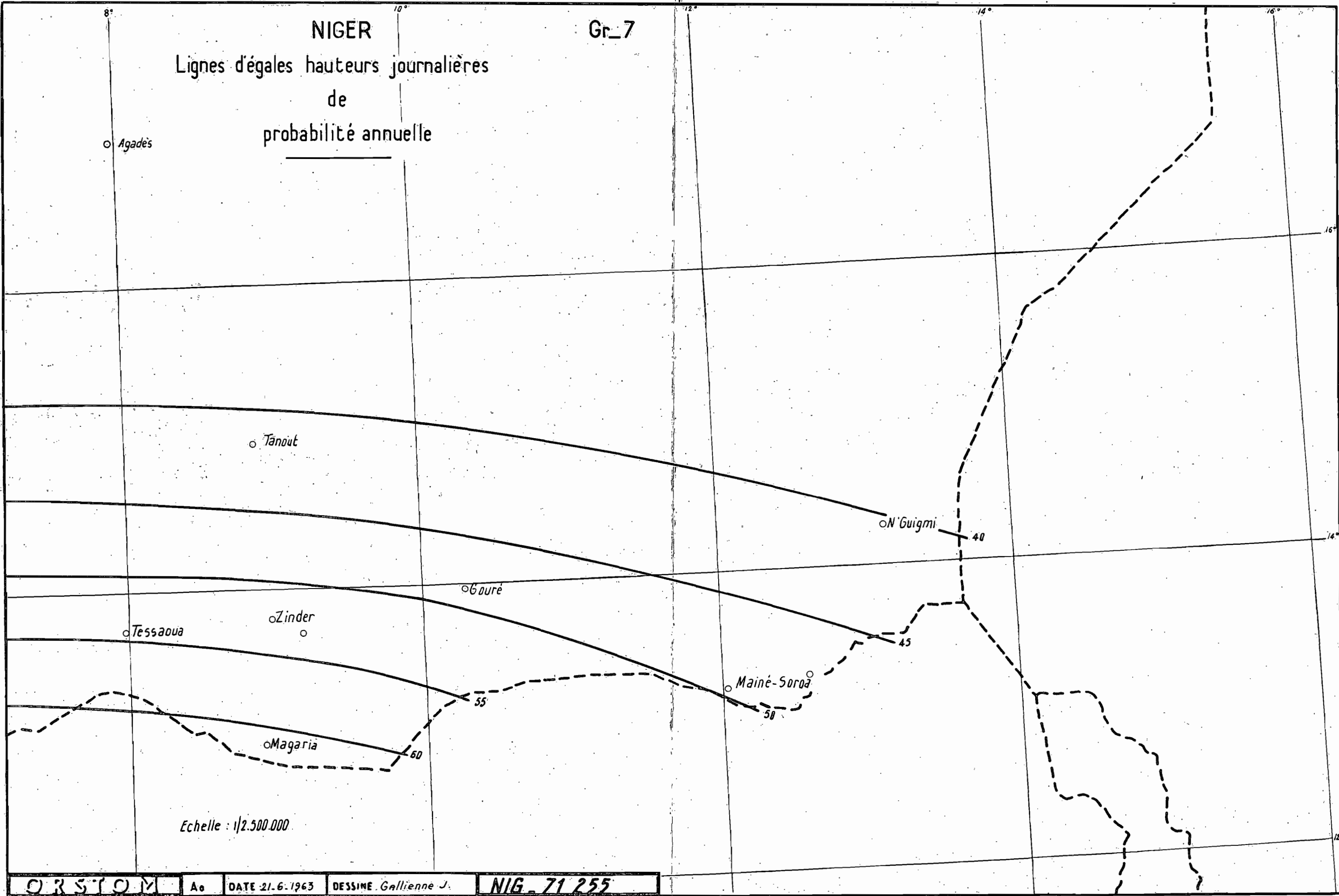
ORSTOM

Ao

DATE 21.6.1963

DESSINE Gallienne J.

NIG_71_255



NIGER

Gr_8

Lignes d'égaux hauteurs journalières
de
probabilité 1 fois en 10 ans

○ Agadès

○ Tanout

○ N'Guigmi 80

○ Gouré

○ Tessaba

○ Zinder

○ Mainé-Soro 90

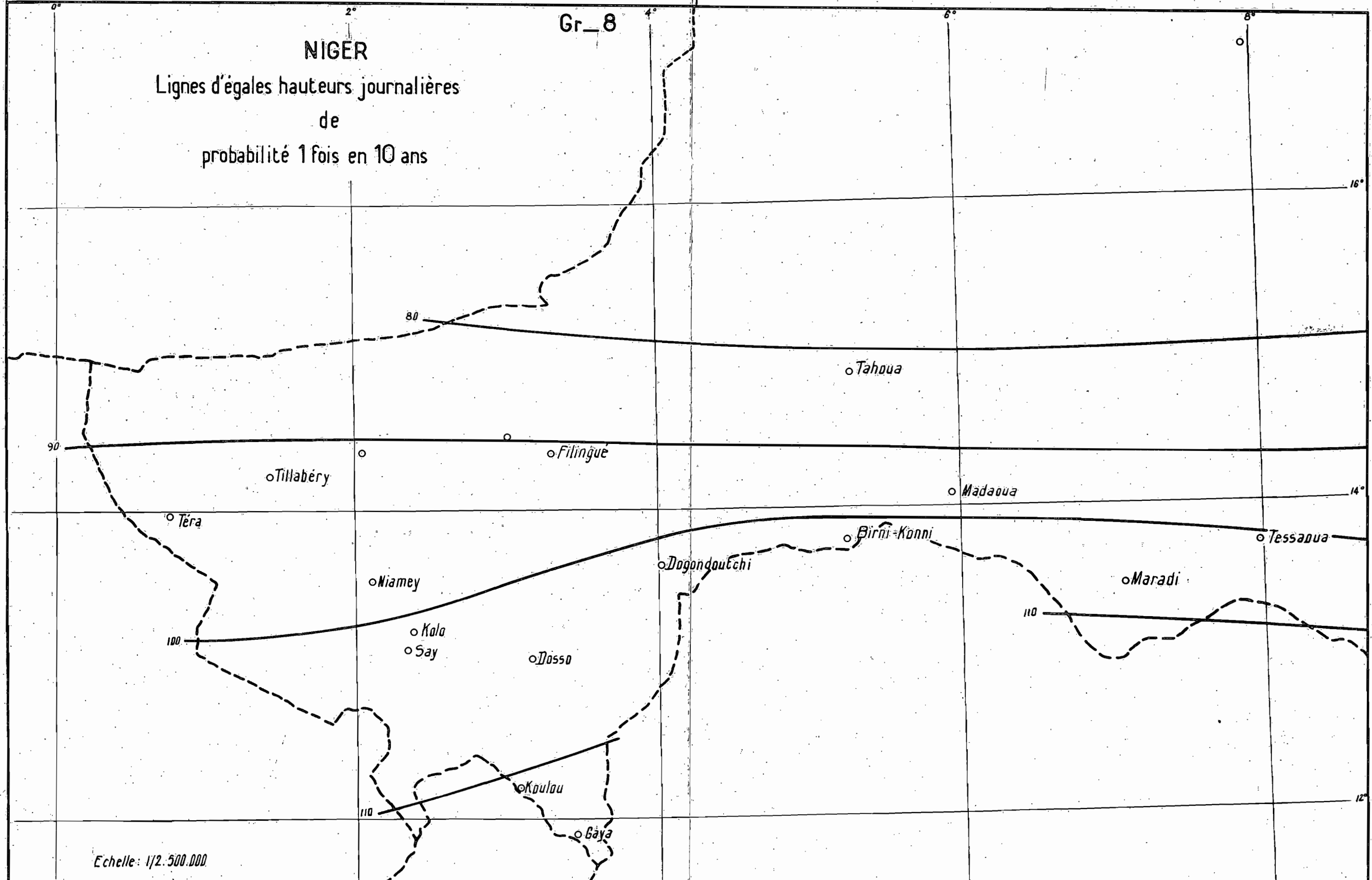
○ Magaria 110

Echelle : 1/2.500.000

Gr-8

NIGER

Lignes d'égales hauteurs journalières
de
probabilité 1 fois en 10 ans



Echelle: 1/2.500.000

B - ETUDE des INTENSITES - COURBES INTENSITES-DUREE

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.

L'idéal serait de pouvoir dépouiller les enregistrements en laps de temps définis (par exemple 5, 10, 15, 20, 30 minutes, etc), de les classer comme nous avons fait pour les pluviométries journalières, et d'essayer d'ajuster une loi de répartition.

Cette méthode n'est malheureusement pas applicable : non seulement le nombre d'années d'enregistrement est très réduit à chaque station, mais de plus, aucune année n'est complète : il manque toujours un ou plusieurs enregistrements importants car l'entonnoir du pluviographe se bouche facilement (insectes morts, débris végétaux, et surtout poussières et sables soulevés par le vent qui précède chaque tornade).

Les enregistrements anciens sur appareils à siphon ne sont pas d'un grand grand intérêt, les incidents de fonctionnement étant très fréquents. Nous avons cependant dépouillé tout ce qui était utilisable dans le domaine des précipitations supérieures à 40 mm par jour.

Les enregistrements sur appareils à augets basculeurs ont été dépouillés à partir des précipitations supérieures à 10 ou 15 mm par jour. Aucune correction n'a été faite sur les documents originaux : il est probable que certaines eussent été indispensables car tous les appareils n'ont pas été réglés avant mise en route, et nous avons constaté que ce type d'enregistreur peut être faux de 10 % avant réglage.

Les pluviogrammes ont été systématiquement dépouillés par périodes de 5 minutes, en partant de la période de plus forte intensité. Pour chaque

chaque averse, on a déterminé la courbe intensité-durée. Cette courbe est établie comme suit : on considère la période de 5 minutes qui encadre le maximum et on calcule l'intensité moyenne, puis on prend une période plus longue de 10 minutes et on calcule l'intensité moyenne, on prend une suite de valeurs croissantes de l'intervalle de temps encadrant le maximum d'intensité : 10', 15', 20', 30', 45', 60', 90', 120', 150', 300'; l'intensité moyenne décroît, bien entendu, au fur et à mesure que l'intervalle de temps t ou durée croît. La courbe décroissante de l'intensité moyenne, en fonction de la durée t , est la courbe intensité-durée.

Au cours de cette opération, le diagramme des intensités de précipitations reste tel quel. On ne classe pas les intensités par valeurs décroissantes ; il en résulterait, si on opérât ainsi, des diagrammes artificiels qui pourraient donner lieu à des erreurs dans les applications. La seule condition est le choix de l'intensité maximale comme point de départ des opérations.

On peut être amené à tracer les diagrammes intensité-durée correspondant aux averses des diverses fréquences : fréquence annuelle ou décennale par exemple. Ces diagrammes sont déterminés à partir de l'analyse des courbes intensité-durée pour toutes les averses ou, à la rigueur, pour toutes les fortes averses pour lesquelles on dispose d'enregistrements.

Nous avons utilisé ce qui était à notre disposition dans la zone sahélienne et soudanienne, entre les pluviométriques moyennes annuelles 200 et 1300 mm, de l'Océan Atlantique à ABECHÉ : au total 145 stations-années (années incomplètes) pour 58 stations. Quarante de ces stations correspondent à des pluviographes groupés sur des bassins expérimentaux étudiés par l'ORSTOM. Tous les enregistrements ne nous ont donné que 16 totaux pluviométriques ayant dépassé 100 mm en 24 heures.

Cette masse de pluviogrammes est manifestement insuffisante, tant par la faible densité spatiale des enregistreurs que par la trop courte durée de leur fonctionnement, pour obtenir des résultats précis.

Nous avons groupé les enregistrements par zone : 12 zones correspondant à des hauteurs de précipitations annuelles variant sensiblement de 100 en 100 mm, 150 à 250 mm, 250 à 350 mm etc Nous avons établi, dans chaque zone, des courbes intensité-durée pour des précipitations journalières de 20, 40, 60, 80 mm en faisant les moyennes des intensités-durées des précipitations comprises entre $20 \text{ mm} - 20 \%$ et $20 \text{ mm} + 20 \%$ etc

Si nous portons les résultats obtenus en coordonnées logarithmiques (durée en minutes, intensités en mm/h), nous constatons une rupture d'alignement des points. Cette singularité s'explique facilement lorsque l'on se reporte à la forme typique des diagrammes des tornades ; ceux-ci, dans leur forme la plus simple, comprennent une très courte période à assez faible intensité, l'averse préliminaire, une période à forte ou très forte intensité, qu'on appelle le corps, enfin une période pendant laquelle l'intensité décroît et peut se maintenir assez longtemps à une assez faible valeur, cette dernière partie de l'averse est appelée la traîne. La traîne peut comprendre une véritable averse secondaire par rapport au corps. Il existe d'ailleurs des tornades s'écartant de ce schéma classique : tornades sans traîne, tornades à deux ou trois pointes presque égales, etc ... Le point de rupture des courbes intensités-durée sépare le corps de l'averse représentée à gauche de la traîne et de l'averse préliminaire représentée à droite.

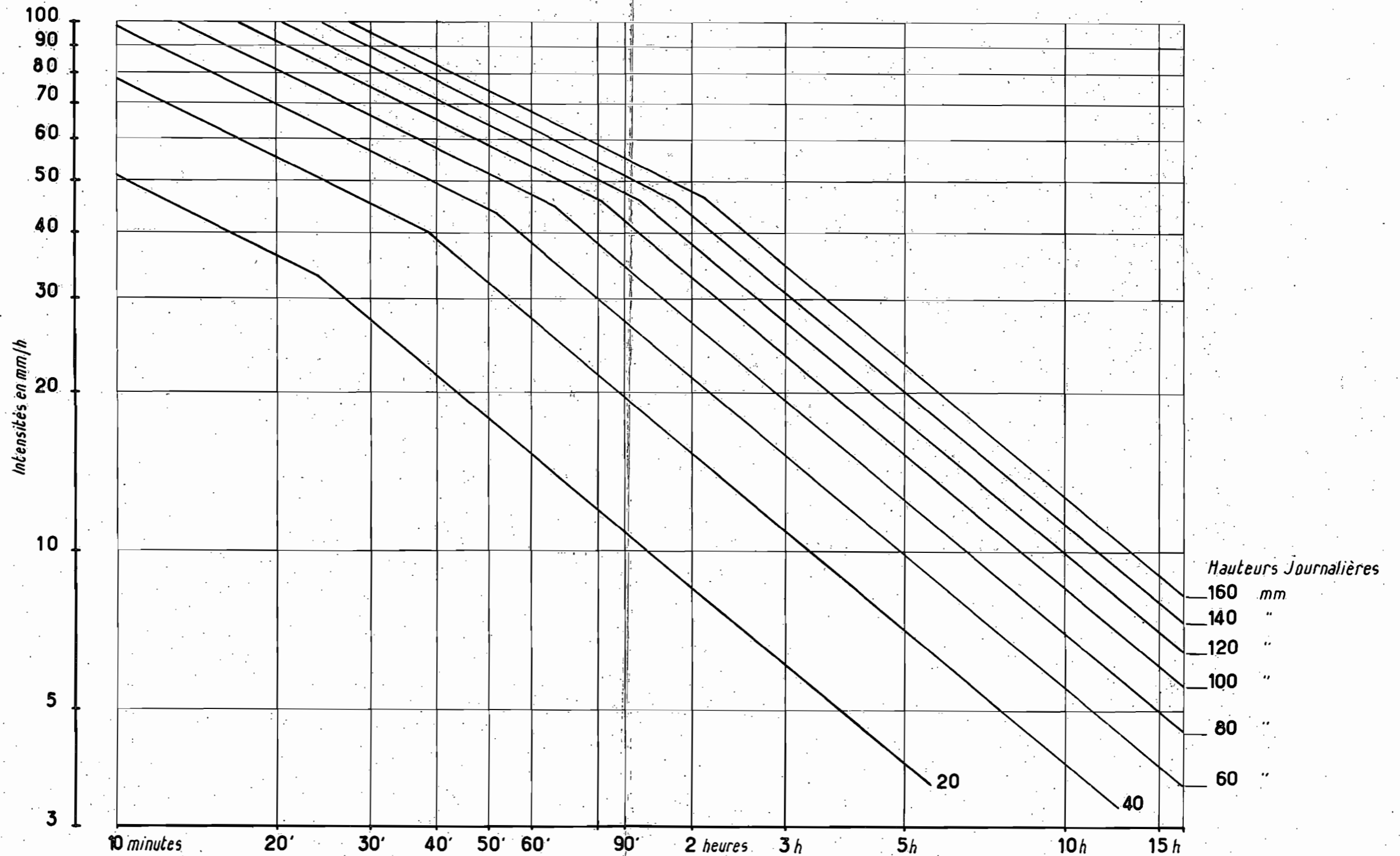
Le parallélisme des droites représentant ce que nous venons d'appeler la traîne est bon, non seulement entre les différentes hauteurs journalières dans une zone, mais également entre les zones. L'abscisse, durée de la rupture d'alignement, reste, pour une hauteur donnée, sensiblement la même pour les différentes zones, et l'on peut admettre le parallélisme des représentations des parties à gauche du point de rupture.

Le schéma final correspondant à la zone de BAMAKO, une des mieux connues, est représenté sur le graphique n° 10 sur lequel les courbes intensité-durée moyennes correspondant à l'ensemble des précipitations journalières de 20, 40, 60 mm sont bien définies, les courbes 80 à 100 mm sont moins sûres, les courbes 120, 140 et 160 mm sont des extrapolations.

Les différentes zones étudiées avaient, en fait, des limites légèrement différentes de celles données plus haut, les limites pratiques correspondaient aux différents groupes de pluviographes. Mais cependant, il n'a pas été possible de constituer des groupes de relevés correspondant à un même nombre de stations et de stations-années. Les réseaux de courbes ainsi tracés sont donc de valeurs inégales. Leur comparaison a cependant permis de constater qu'à hauteur journalière et durée égales, les intensités croissent lorsque la hauteur de précipitation annuelle diminue, tout au moins pour les fortes intensités : il faut, par rapport aux courbes de notre graphique-type (graphique n° 10), multiplier les ordonnées par un facteur fonction de la hauteur de précipitation moyenne annuelle.

Gr_9

Courbes intensités-durées
région de Bamako



Pour une hauteur moyenne annuelle de :

200 mm, multiplier les intensités par	1,19
300 mm	1,18
400 mm	1,16
500 mm	1,14
600 mm	1,12
700 mm	1,10
800 mm	1,08
900 mm	1,05
1000 mm	1,02
1100 mm	0,99
1200 mm	0,95
1300 mm	0,91

Ces coefficients sont valables dans la zone sahélienne et soudanaise comprise entre les méridiens 0° et 12° Ouest. Nous n'avons pas assez de données pour assurer de leur constance à l'Ouest et à l'Est de cette zone. Il semblerait qu'ils diminuent un peu en allant vers l'Est.

On ne doit pas attacher une importance excessive à la précision des coefficients donnés plus haut, nous ne prétendons pas que leur valeur soit définie à 1 % près. Par ailleurs, les zones étudiées peuvent être, comme nous l'avons vu plus haut, légèrement décalées par rapport aux zones du tableau, c'est ainsi que le graphique n° 10 ne correspond pas exactement à la bande 1100 mm, d'où un coefficient de 0,99 au lieu de 1,00.

Nous disposons maintenant de toutes les données pour la détermination du diagramme intensité-durée correspondant à un point quelconque et à une fréquence quelconque.

On note pour le point donné la hauteur de précipitation annuelle, d'où on déduit la valeur du coefficient puis, grâce à la première partie de ce mémoire, on détermine l'averse exceptionnelle de 24 heures de la fréquence cherchée. Sur le graphique 10, on choisit la courbe intensité-durée correspondant à la hauteur d'averse exceptionnelle de 24 heures trouvée plus haut et on multiplie les ordonnées de cette courbe par le coefficient.

Considérons, par exemple, une station qui serait située exactement à mi-distance de TAHOUA et MADAOUA et cherchons quelle y est l'intensité en 20' de l'averse décennale. Sur le graphique 7, on évalue à 470 mm la hauteur de précipitation annuelle, pour laquelle le coefficient de correction peut être pris égal à 1,15.

On voit sur le graphique 9 que l'averse décennale à cette station est égale à environ 88 mm. Pour une telle averse, le graphique 10 nous donne une intensité moyenne de 90 mm/h en 20'. Pour la station considérée, cette intensité en 20' est donc égale à $90 \times 1,15 = 103,5$ mm/h.

Pour réduire le nombre des opérations à effectuer, nous avons, pour le MALI (comme pour chaque autre pays d'ailleurs), déterminé les diagrammes intensités-durées correspondant aux diverses fréquences.

Ces diagrammes ont été établis comme suit : pour une fréquence quelconque (annuelle ou décennale par exemple), on fait correspondre, à chaque hauteur d'averse de cette fréquence, une hauteur de précipitation moyenne annuelle par superposition au graphique 7 des graphiques 8 et 9 par exemple. Cette correspondance n'offre pour ainsi dire pas de difficultés. Cependant, l'absence de parallélisme entre les isohyètes et les lignes d'égaux hauteurs journalières de précipitation, à l'est du méridien 6° Est, apporte une certaine imprécision. Au maximum, l'averse décennale de 110 mm s'applique à une gamme de hauteurs de précipitations annuelles allant de 600 à 800 mm, pour lesquelles les coefficients de correction varient de 1,12 à 1,08. Le choix d'une valeur de 700 mm, dans ce cas, limite à 2 % l'erreur maximale. On peut admettre que ceci est tout à fait admissible dans ce genre de synthèse géographique.

On peut alors, pour la fréquence décennale, multiplier les ordonnées de chaque diagramme de la figure 10 par le coefficient correspondant à la hauteur moyenne annuelle liée à la hauteur de précipitation exceptionnelle de 24 heures.

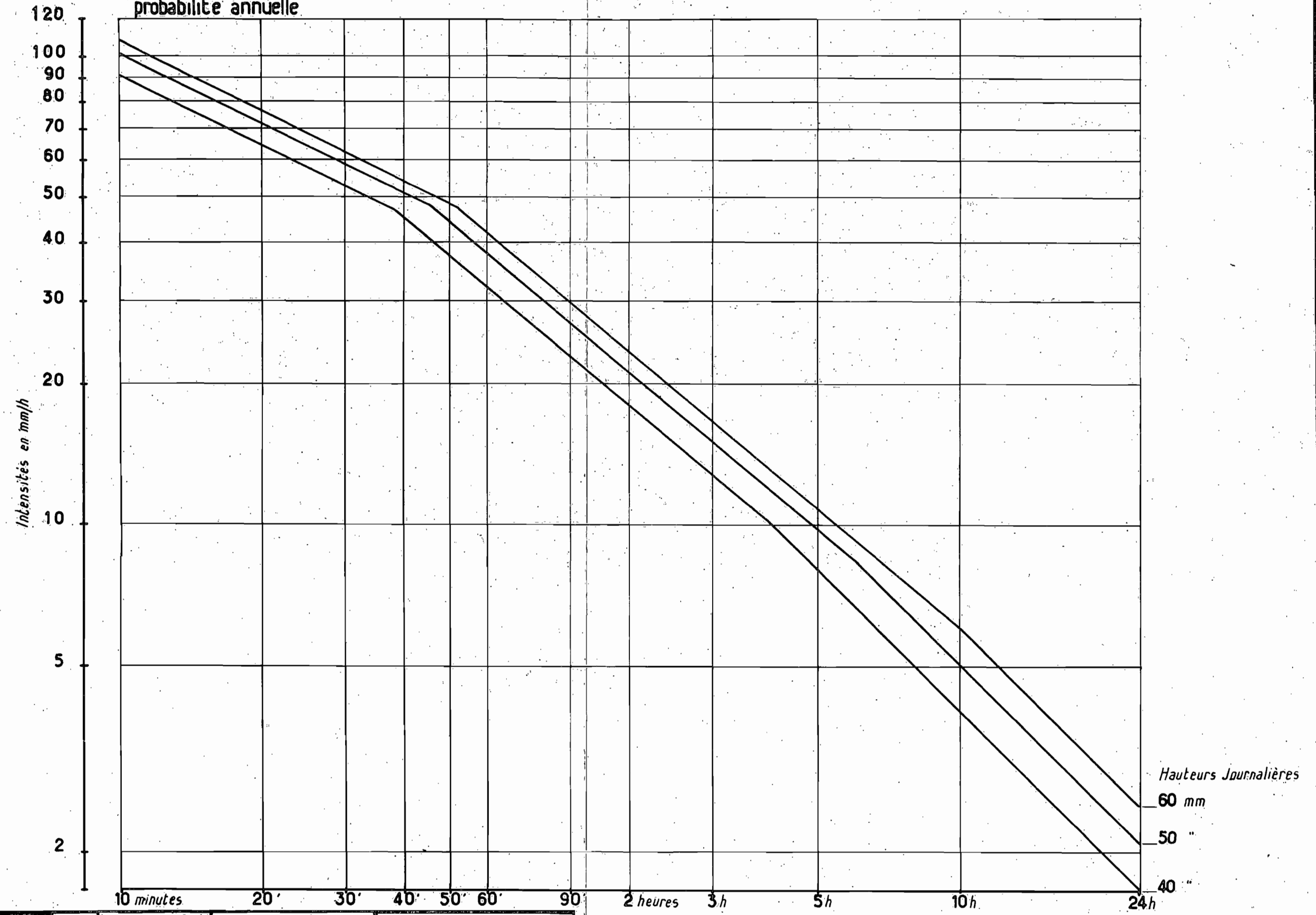
On a ainsi établi, pour les fréquences annuelles 1/2 ans, 1/5 ans, 1/10 ans, 1/20 ans, les 5 diagrammes (graphiques 11 à 15), qui fournissent directement les courbes intensité-durée pour une fréquence donnée. Supposons, par exemple, que l'on désire obtenir la courbe intensité-durée de FILINGUE pour une fréquence décennale ; on constate sur le graphique 9 que l'averse de 24 heures, y survenant 1 fois tous les 10 ans, vaut sensiblement 90 mm ; le graphique 14 donne directement le diagramme intensité-durée pour une telle averse décennale de 90 mm en 24 heures.

Cette opération ne doit pas donner l'illusion d'une précision absolue car elle fait toujours abstraction des singularités locales. En outre, les diagrammes intensité-durée ont été établis principalement à partir des données de pluviographes installés au nord de l'isohyète 1200 mm, dans une région où dominent les tornades simples avec un corps prédominant et parfois une ondée préliminaire et une traine de faible intensité et peu longue (exemple sur le graphique 16).

Les averses multiples peuvent se produire au nord de l'isohyète 1200 mm et au coeur de l'hivernage, mais elles sont surtout le fait des régions plus arrosées (sud de DOSSO) où elles deviennent presque aussi nombreuses que les averses simples en Août et Septembre. Un exemple d'averse multiple durant de 4 à 10 heures, parfois plus, avec plusieurs pointes séparées par des périodes à faibles intensités est donné sur le graphique 17.

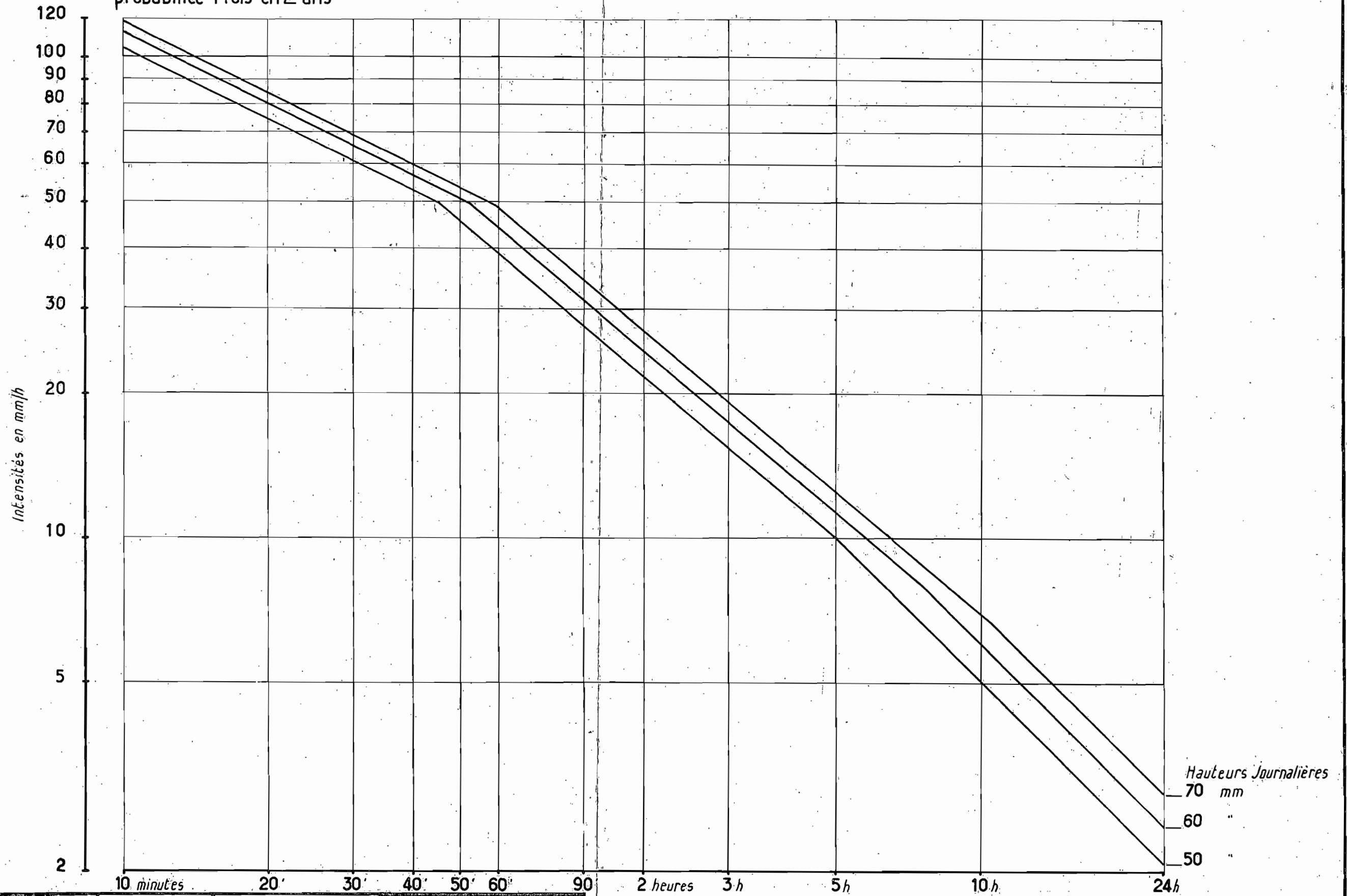
Le manque d'observations ne permet pas aujourd'hui de différencier les courbes intensité-durée relatives à ces divers types d'averses, ni leur probabilité réciproque d'apparition. De toutes façons, les tornades simples doivent fournir les intensités les plus fortes, ce qui jouera en attendant en faveur de la sécurité.

Courbes intensités-durées
probabilité annuelle Gr. 10



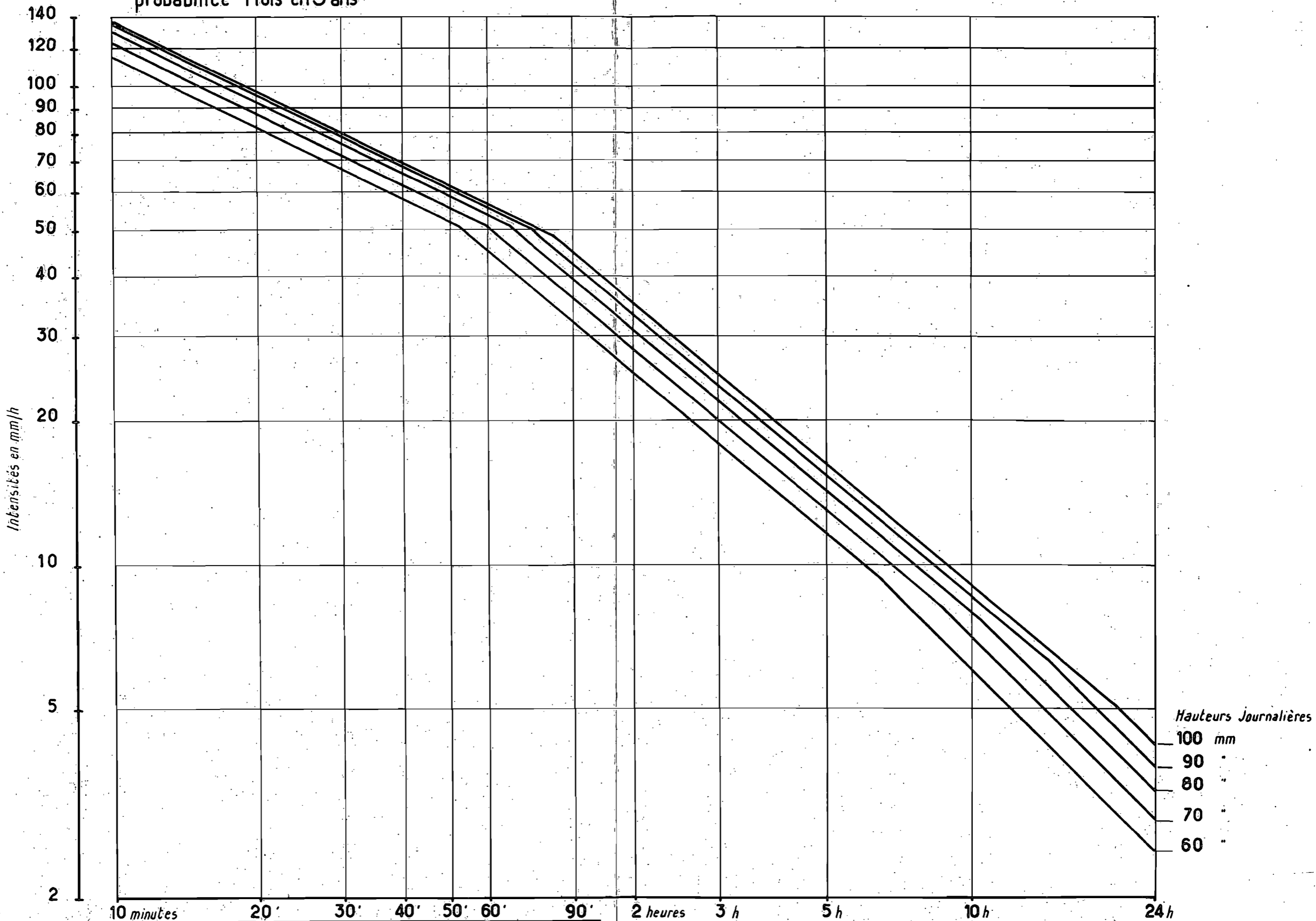
Courbes intensités-durées
 probabilité 1 fois en 2 ans

Gr_11



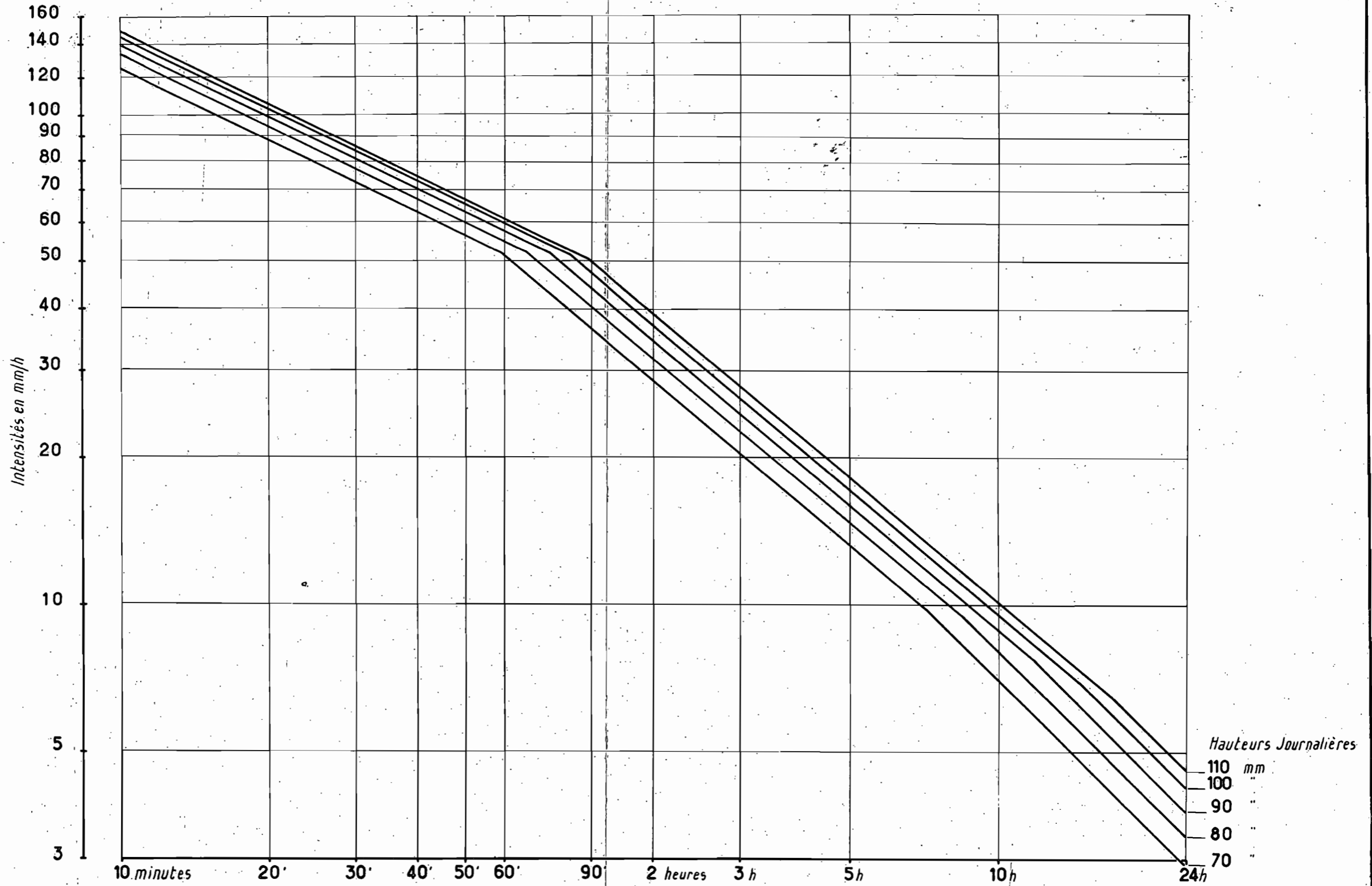
Courbes intensités - durées
probabilité 1 fois en 5 ans

Gr_12



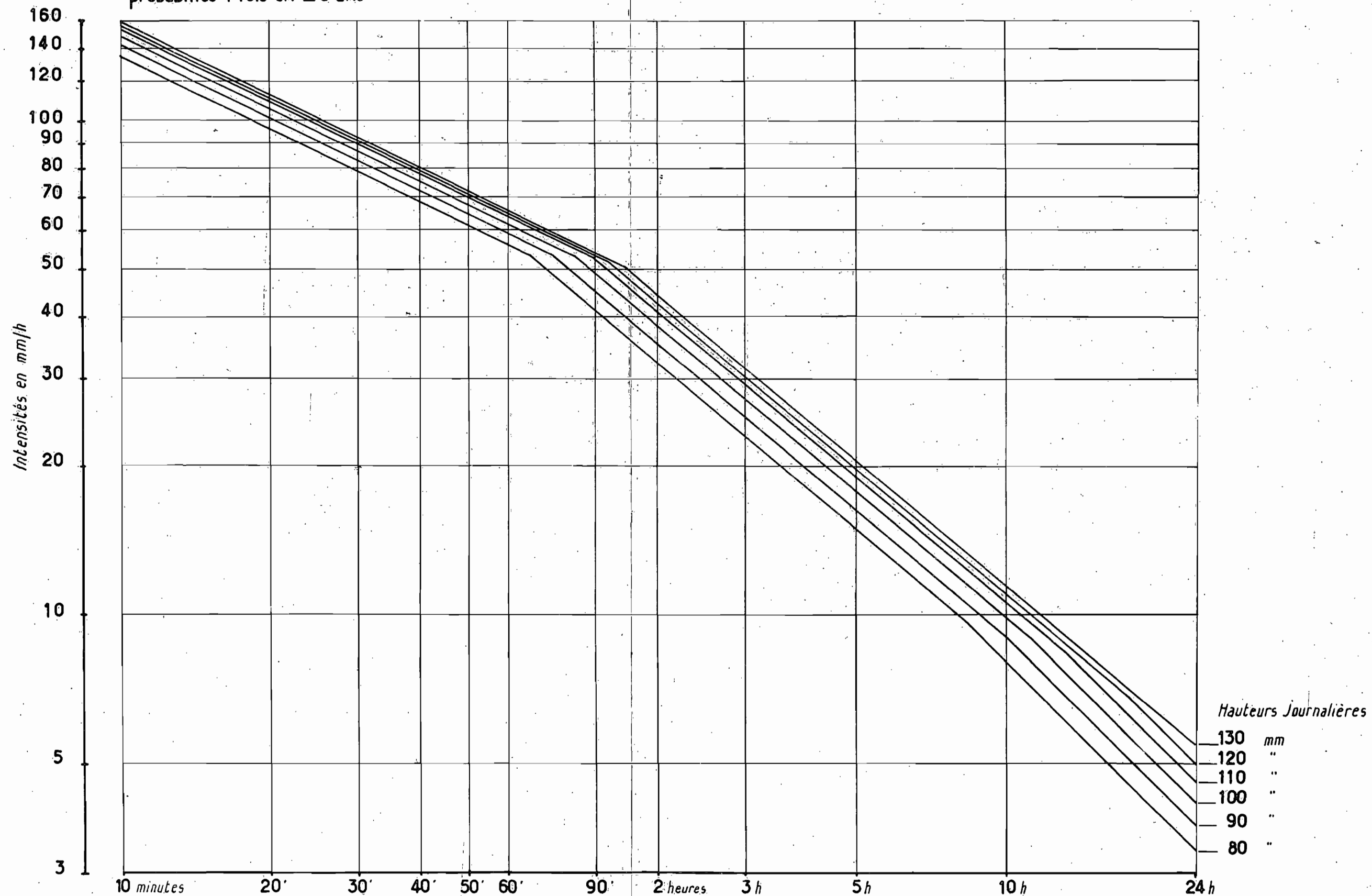
Courbes intensités - durées
probabilité 1 fois en 10 ans

Gr_13

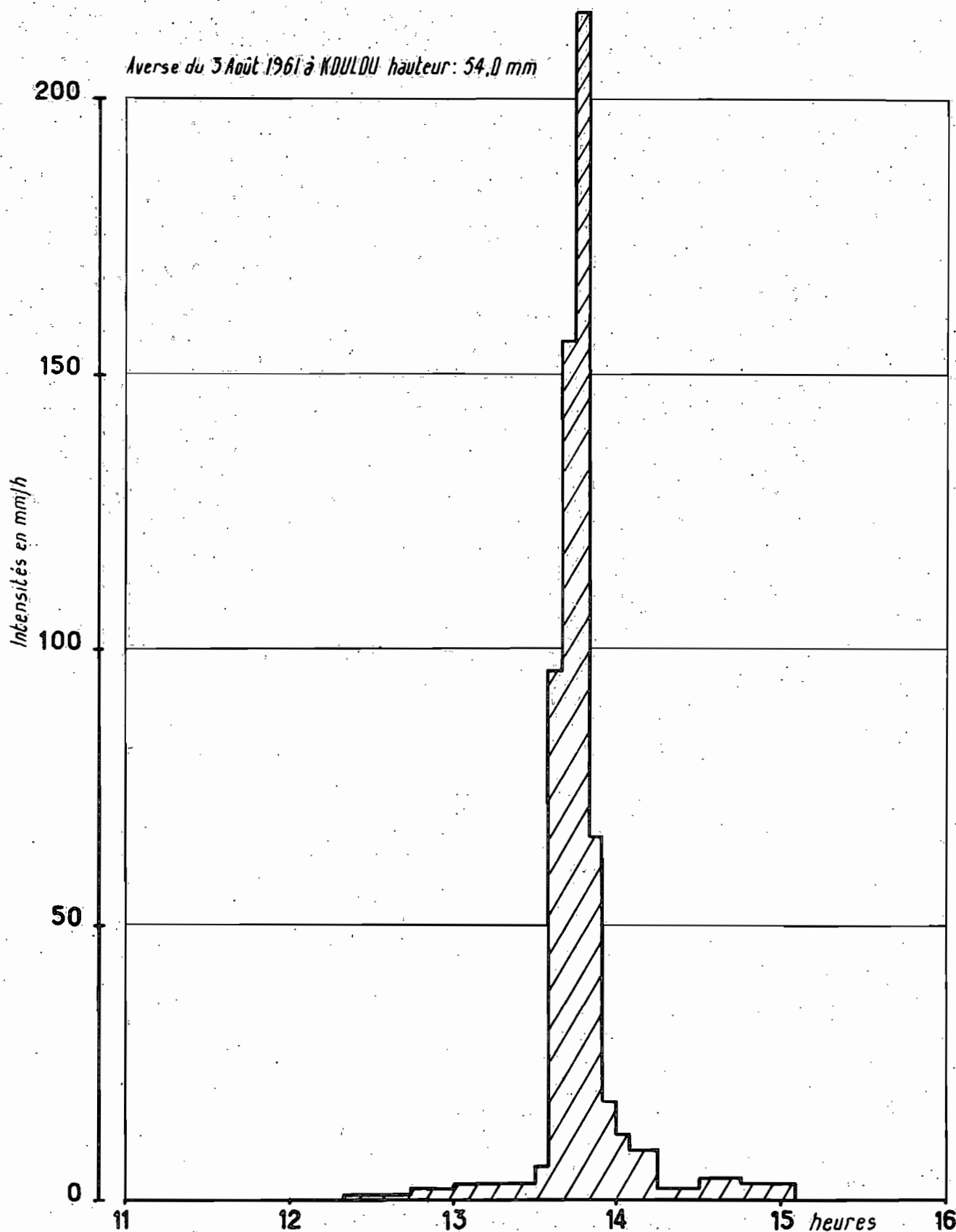


Courbes intensités-durées
probabilité 1 fois en 20 ans

Gr_14



HYÉTOGRAMME



HYÉTOGRAMME

Gr_16

Averse du 10 au 11 Août 1961 à ZINDER hauteur: 49.5 mm

