

MÉTHODE D'ANALYSE DE LA RÉPARTITION DES PRÉCIPITATIONS DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE

YVES BRUNET-MORET

Ingénieur Hydrologue à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

RÉSUMÉ

L'auteur présente une méthode permettant de déterminer, pour les tornades tropicales, la répartition des précipitations dans le temps et dans l'espace sur un bassin versant connu, pour une averse de fréquence faible donnée.

L'utilisation de la notion d'encombrement moyen permet de passer du maximum ponctuel à la hauteur de pluie moyenne sur le bassin. La remarquable similitude des hyétogrammes observés dans ces régions pour diverses hauteurs de précipitations permet de définir un diagramme type d'averse et de suivre sa déformation avec la hauteur de l'averse, ce qui permet l'extrapolation.

SUMMARY

This paper offers a method for determining the areal and time distributions of precipitations for tropical individual thunderstorms of low frequency.

The use of the «average size» permits the computation of the average depth of precipitation over the drainage area, related to the maximum depth of a given frequency at a single station.

In the studied countries, the storm intensity patterns are quite similar for all depths. It is possible to define standard intensity pattern and to study the variations of the shape of this pattern related to the depth, giving so a way for extrapolation.

L'écoulement provoqué sur un bassin versant de faible superficie par une averse déterminée varie suivant les caractères principaux de cette averse que l'on peut classer comme suit :

- La hauteur à l'épicentre
- La répartition des hauteurs dans l'espace
- La répartition des intensités dans le temps
- Les conditions initiales du sol : saturation préalable, degré de croissance de la végétation.

Une averse de fréquence donnée doit donc être caractérisée, au point de vue de l'écoulement, par un certain nombre de chiffres précisant chaque caractéristique. Pour simplifier, on peut admettre, dans le cas le plus général, que l'averse décennale est une averse dont la hauteur à l'épicentre admet une période de retour de dix ans et dont toutes les autres données correspondent aux valeurs les plus fréquentes pour les très fortes averses. Cette définition n'est pas sans reproche, mais elle présente, pour les applications pratiques, l'avantage de la simplicité.

Nous ne nous occuperons, dans le présent rapport, ni de la détermination de la hauteur à l'épicentre qui peut être effectuée par l'application de la méthode des stations-années aux résultats des pluviomètres situés dans le bassin ou au voisinage, ni de l'étude des conditions initiales beaucoup plus complexe.

Pour la répartition des hauteurs dans le temps et des intensités dans l'espace, il importe de définir d'abord des grandeurs les caractérisant, d'analyser leurs variations, afin de permettre l'extrapolation aux averses de faible fréquence.

Dans le cas relativement facile de la MAURITANIE, il a été possible de mettre au point, pour l'étude de chacune de ces caractéristiques, une méthode relativement simple. En effet, les averses intéressantes pour l'étude des crues sont constituées

S. T. O. M.

19 DEC. 1968

Collection de Référence

no

12659

par des lignes de grains orageux semblables, donnant lieu à des réseaux d'isohyètes de formes analogues et à des hyétogrammes très voisins les uns des autres.

1. ETUDE DE LA RÉPARTITION DES PRÉCIPITATIONS DANS L'ESPACE

Sur le plan des applications, cette étude doit permettre de répondre à la question suivante :

Etant donné qu'il est tombé, en un point donné, une averse de fréquence donnée, disons décennale pour fixer les idées, quelle hauteur de pluie moyenne sur un bassin entourant ce point peut-on attendre avec la même probabilité ?

Il est bien connu de tous les hydrologues que cette hauteur de pluie moyenne est inférieure à la hauteur de pluie ponctuelle à condition, évidemment, que l'on astreigne ces deux caractéristiques de pluie, valeur ponctuelle et valeur moyenne, à se produire avec la même fréquence. Nous appellerons « coefficient de réduction » le rapport de la pluie moyenne à la pluie ponctuelle. On sait intuitivement que ce coefficient est d'autant plus faible que la surface est plus grande et ceci d'autant plus que le type de précipitation étudié couvre une surface plus faible.

Nous considérerons une zone homogène du point de vue pluviométrique, c'est-à-dire pour laquelle la loi de répartition des averses dans le temps est la même en tous points. Cette condition implique entre autres l'égalité en tous points des modules pluviométriques et le même écart-type des pluies journalières; elle n'est jamais réalisée de façon parfaite, mais on peut se contenter de l'égalité des coefficients de variation et utiliser comme variable l'écart réduit $\frac{p - \bar{p}}{\sigma p}$ au lieu de la pluviométrie journalière p . Nous admettons, en outre, qu'à une station ne tombe pas plus d'une averse par jour et que, si deux stations ont été arrosées le même jour, la ligne qui les joint a été également arrosée.

1.1. Coefficient de réduction pour deux points :

Choisissons deux stations situées dans une zone répondant aux conditions précédentes, distantes d'une longueur connue : nous prendrons comme exemple TAMCHAKETT et KIFFA. Ces stations sont distantes de 101 km et on possède 24 années d'observations communes.

Considérons d'abord la station de TAMCHAKETT et notons dans un tableau, par tranches verticales séparées, les pluies journalières comprises entre 20 et 30 mm, 40 et 50 mm, etc... En face de chacune des pluies ainsi classées, portons la pluie du même jour à KIFFA. Supprimons alors les couples de pluies simultanées pour lesquels la pluie de KIFFA est supérieure à celle de TAMCHAKETT. On obtient en définitive le tableau suivant:

| 20 à 30 | | 30 à 40 | | 40 à 50 | | 50 à 60 | | 60 à 70 | | 70 à 80 | | 80 à 90 | | 90 à 100 | | > 100 | |
|---------|------|---------|------|---------|------|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|----------|---|-------|---|
| T | K | T | K | T | K | T | K | T | K | T | K | T | K | T | K | T | K |
| 22,4 | 12,6 | 36,7 | 18,0 | 43,7 | 24,0 | | | | | | | | | | | | |
| 27,0 | 6,9 | 33,4 | 0 | 48,0 | 3,7 | etc | | | | | | | | | | | |
| 25,1 | 4,0 | 33,5 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| etc... | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Considérons maintenant le poste de KIFFA et faisons la même opération. Nous portons, cette fois, dans chaque classe 20-30, 30-40, etc... les pluies de KIFFA comprises dans cette classe, supérieures aux pluies concomitantes à TAMCHAKETT :

| 20 à 30 | | 30 à 40 | | 40 à 50 | | 50 à 60 | | 60 à 70 | | 70 à 80 | | 80 à 90 | | 90 à 100 | | > 100 | |
|---------|------|---------|------|---------|-----|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|----------|---|-------|---|
| K | T | K | T | K | T | K | T | K | T | K | T | K | T | K | T | K | T |
| 22,4 | 0 | 38,7 | 10,1 | 48,3 | 7,5 | etc... | | | | | | | | | | | |
| 21,6 | 19,4 | 30,1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| etc... | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Pour chaque classe 20-30, 30-40, etc... de l'ensemble des deux tableaux, calculons la moyenne de la première colonne : \bar{x} (colonne des chiffres les plus forts) et la moyenne \bar{y} de la seconde colonne.

Nous définirons le coefficient de réduction ponctuel moyen pour la classe considérée comme la valeur du rapport $\frac{\bar{y}}{\bar{x}}$. On obtient ainsi les valeurs portées dans le tableau ci-après :

| Classes | Nombre d'observations | Moyennes 1 ^{es} colonnes | Moyennes 2 ^{es} colonnes | Coefficient de réduction |
|----------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 20 à 30 | 96 | 24,2 | 4,0 | 0,166 |
| 30 à 40 | 52 | 34,3 | 7,8 | 0,226 |
| 40 à 50 | 28 | 44,2 | 10,6 | 0,240 |
| 50 à 60 | 9 | 52,9 | 4,3 | 0,081 |
| 60 à 70 | 6 | 63,3 | 18,2 | 0,287 |
| 70 à 80 | 10 | 72,9 | 15,8 | 0,217 |
| 80 à 90 | 3 | 82,7 | 17,4 | 0,211 |
| 90 à 100 | 2 | 93,2 | 17,2 | 0,184 |
| > 100 | 7 | 117,2 | 18,3 | 0,156 |

Dans le cas présent, le coefficient de réduction ne varie pratiquement pas avec la hauteur de précipitation, la distance entre les deux stations étant relativement grande, mais pour des stations plus rapprochées, il croît avec la hauteur de précipitations.

Nous opérons ainsi sur tous les couples de pluviomètres situés dans la zone étudiée, pour lesquels on dispose d'une période assez longue de relevés journaliers.

On obtient, en définitive, pour chaque couple :

— 1 distance

— 1 tableau analogue au tableau ci-dessus, donnant pour chaque classe de pluie journalière, une valeur du coefficient moyen de réduction.

Ces données permettent de tracer une série de graphiques comportant pour chaque classe de précipitations :

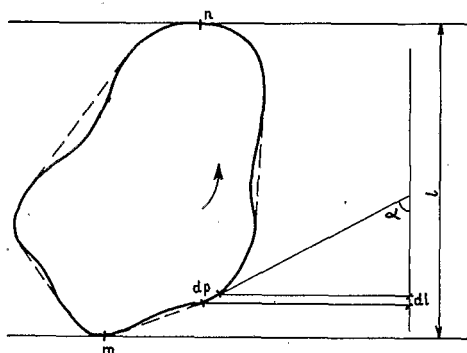
- en abscisses, les distances séparant 2 points,
- en ordonnées, les coefficients de réduction.

1.2. Coefficient de réduction pour un bassin donné :

Considérons un bassin de forme quelconque. La pluie tombée, un jour donné, sur ce bassin se traduit par un réseau d'isohyètes qui peut se présenter de multiples façons, suivant la position du ou des épicyentres de la ou des averses simples ou multiples, observées ce jour-là.

Supposons qu'au lieu d'orienter diversement un réseau d'isohyètes d'image donnée, on fasse prendre au bassin, ce qui revient au même, toutes les positions possibles sur ce réseau considéré comme fixe. Le nombre d'isohyètes coupées sera d'autant plus grand, donc le coefficient de réduction d'autant plus petit que la distance entre les deux tangentes au bassin parallèles au réseau sera plus grande. Si l'on fait prendre au bassin toutes les orientations possibles, on peut définir une distance moyenne entre les deux tangentes, appelée « encombrement moyen » du bassin. Pour un réseau d'isohyètes donné, correspondant à une averse ponctuelle connue, cette distance correspondra à une valeur déterminée du coefficient de réduction moyen

CALCUL DE L'ENCOMBREMENT MOYEN



COEFFICIENT DE RÉDUCTION POUR UNE SURFACE

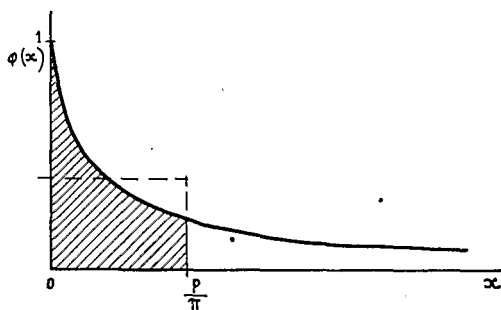


Figure 1

La figure 1 montre un bassin quelconque tangent à deux parallèles au réseau d'isohyètes, distantes de l . Si le bassin tourne sur lui-même, la moyenne de la distance l est L , l'encombrement moyen. Il est bien évident que seul le contour convexe le plus court entourant le bassin intervient dans la distance des deux tangentes. Il est figuré en pointillés sur le graphique. Appelons p son périmètre. Le contour convexe est tangent aux points m et n . Considérons un élément $d\alpha$ de ce contour et soit α l'angle que fait la tangente au droit de cet élément avec la perpendiculaire commune aux deux parallèles. α peut caractériser la position du bassin.

L'élément de contour dp donne en projection sur la perpendiculaire un élément dl de l'encombrement l . Si l'on considère un intervalle de position $d\alpha$, les différentes positions du bassin étant équiprobables, la probabilité élémentaire dans l'intervalle $d\alpha$ est égale à $\frac{d\alpha}{2\pi}$; donc, pour une révolution complète, la valeur de l'élément dl est :

$$\int_{-\pi/2}^{2\pi-\pi/2} dp \cos. \alpha \frac{d\alpha}{2\pi}$$

Cette valeur est évidemment nulle puisque la perpendiculaire est décrite dans les deux sens positif et négatif. Mais comme il s'agit de calculer l'encombrement moyen, seules les valeurs absolues nous intéressent et on écrira :

$$dl_{\text{moyen}} = \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} dp \cos. \alpha \frac{d\alpha}{2\pi}$$

d'où

$$l_{\text{moyen}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^p dp \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} \cos. \alpha d\alpha = \frac{p}{\pi}$$

Donc, en moyenne, le bassin présentera une longueur $x = \frac{p}{\pi}$ perpendiculaire au réseau d'isohyètes; c'est-à-dire que, au cours de la rotation du bassin, la valeur moyenne du coefficient de réduction entre les points extrêmes sera égale à $\varphi\left(\frac{p}{\pi}\right)$, si $\varphi(x)$ désigne le coefficient de réduction ponctuel en fonction de la distance x de deux points pour une hauteur de précipitation donnée; $\varphi(x)$ correspond aux courbes expérimentales tracées au chapitre précédent.

Si l'on considère, non plus le coefficient de réduction entre deux points extrêmes, mais le coefficient moyen de réduction pour l'ensemble du bassin, il suffira d'intégrer $\varphi(x)$ entre 0 et $\frac{p}{\pi}$, on obtient :

$$\frac{\pi}{p} \int_0^{p/\pi} \varphi(x) d(x)$$

C'est l'ordonnée moyenne de la courbe $\varphi(x)$ entre les valeurs $x = 0$ et $x = \frac{p}{\pi}$.

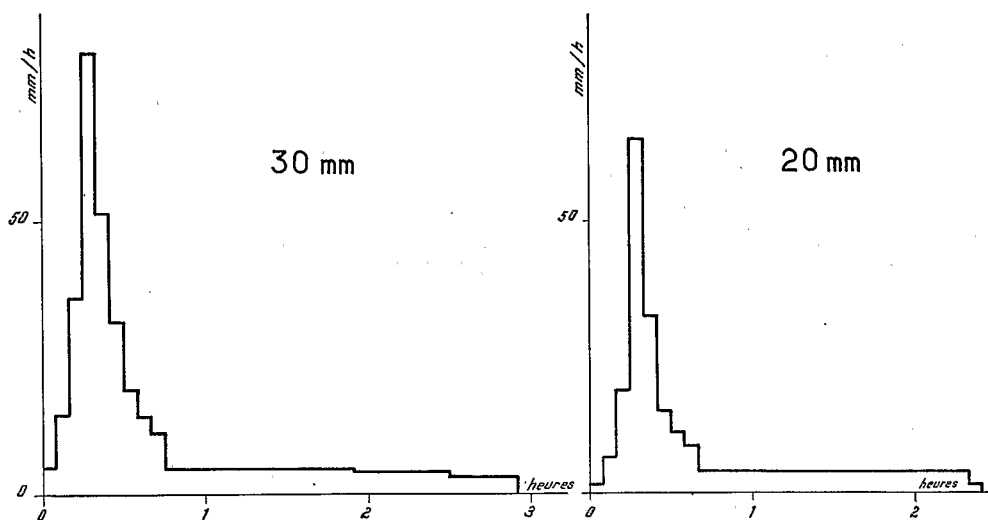
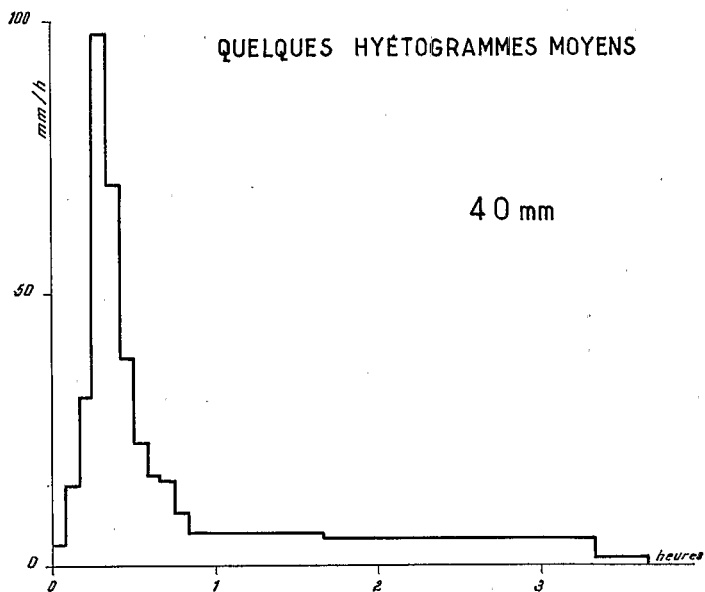
On l'obtient en planimétrant la surface hachurée de la figure 1 et en divisant par $\frac{p}{\pi}$.

En pratique, il peut être commode, après avoir tracé le réseau de courbes $\varphi(x)$

ÉTUDE DES PRÉCIPITATIONS DANS LE BRAKNA

CAMPAGNES 1958 ET 1959

QUELQUES HYÉTOGRAMMES MOYENS



Graphique 2

VARIATION DES CARACTÉRISTIQUES DE L'AVERSE EN FONCTION DE LA HAUTEUR TOTALE

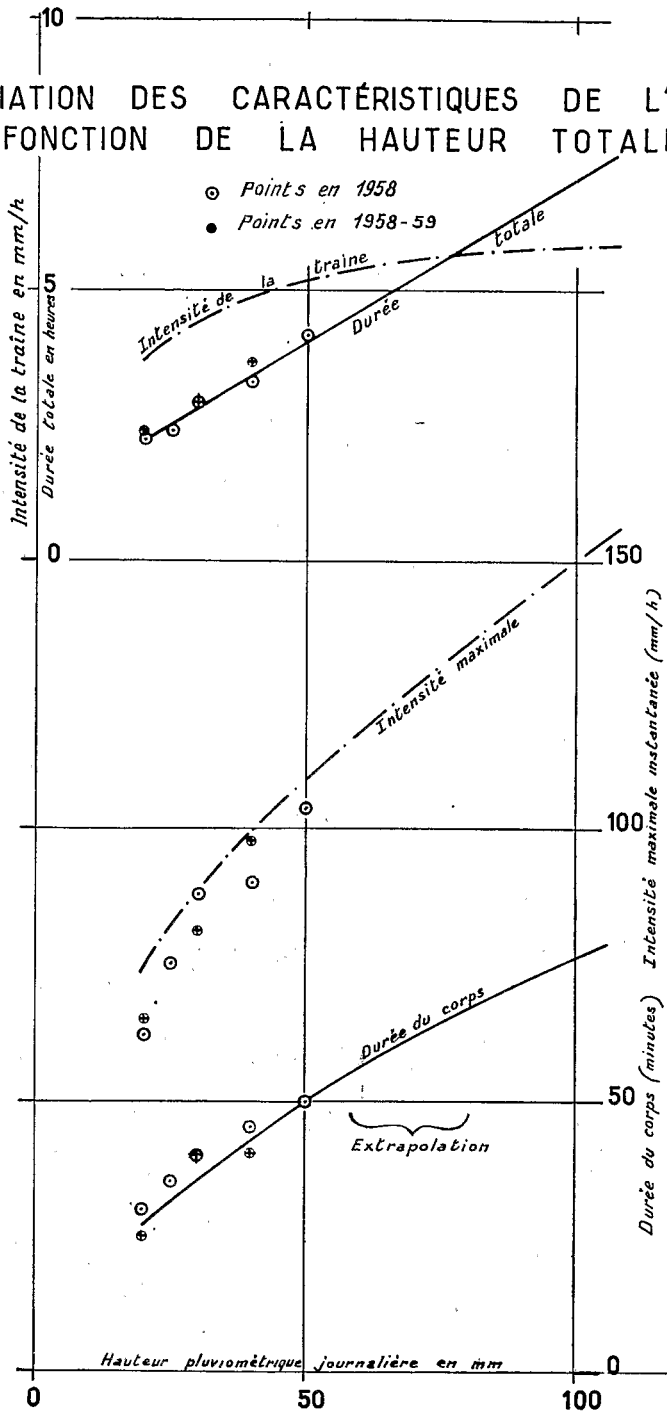


Diagramme 3

comme nous l'avons indiqué plus haut, d'établir le réseau des courbes des ordonnées moyennes :

$$\frac{1}{x} \int_0^x \varphi(x) d(x)$$

On obtiendra alors le coefficient de réduction pour un bassin versant et donné un maximum ponctuel donné en prenant, pour la courbe correspondant à ce maximum ponctuel, l'ordonnée du point l'abscisse est égale à l'encombrement : $\frac{p}{\pi}$.

2. RÉPARTITION DES INTENSITÉS DANS LE TEMPS

Dans le cas particulier des averses orageuses à une seule pointe, telles qu'on les observe en MAURITANIE, la méthode suivante apporte des données plus précises que l'utilisation de la courbe intensité-durée, elle permet de définir dans ces régions, pour une averse de fréquence donnée, le diagramme moyen des intensités en fonction du temps, ou hyétogramme moyen.

L'étude est effectuée à partir des données des pluviomètres enregistreurs. Les diagrammes bruts sont dépouillés par tranches de temps de 5 minutes, ce qui est suffisant pour l'application à des bassins versants dépassant 2 ou 3 km². Les hyétogrammes obtenus sont classés par tranches suivant les hauteurs :

18,5 — 22,5 mm (20 mm)
 22,5 — 27,5 mm (25 mm)
 etc...

Pour les diagrammes relatifs à une tranche donnée, les intervalles ayant donné lieu à l'intensité maximale sont mis en coïncidence. On détermine alors, pour chaque intervalle de 5 minutes, les intensités moyennes entre les divers hyétogrammes disponibles dans cette tranche, et on détermine ainsi un diagramme moyen.

Ce diagramme moyen est d'autant plus intéressant que, dans le cas présent, la dispersion des diagrammes observés est faible autour de la forme moyenne. En outre, les formes sont très voisines d'une tranche à l'autre, comme on peut le constater par le graphique n° 2, ce qui est en rapport avec la faible dispersion.

Ces averses types comprennent, après une très courte ondée préliminaire, que l'on peut négliger, un corps donnant lieu seul au ruissellement sur presque tous les sols et une traîne ne donnant lieu qu'à des phénomènes d'écoulement tout-à-fait secondaires. On conçoit qu'il est possible de définir cette forme type de diagramme par quatre caractéristiques :

- l'intensité maximale
- la durée du corps ou pluie utile correspondant à des intensités supérieures à une limite donnée (10 mm/h par exemple dans le cas présent).
- la hauteur de la pluie utile ou du corps
- la durée totale de l'averse.

A l'aide de l'ensemble des hyétogrammes types établis pour chaque classe d'averse, il est possible de tracer en fonction de la hauteur de l'averse les courbes définissant ces deux premières caractéristiques, l'intensité de la traîne et la durée totale de l'averse.

On constate, sur le diagramme, que l'intensité de la traîne est presque constante et que la durée du corps varie relativement peu.

Par ailleurs, à l'aide des diagrammes en escaliers établis pour les diverses classes de précipitations, il est facile de tracer la courbe moyenne des intensités du corps

dont les abscisses et ordonnées seront non pas la durée en minutes et l'intensité en mm/h, mais respectivement les pourcentages de la durée du corps et les pourcentages de l'intensité maximale. On peut déduire notamment à partir de ce diagramme n° 4 et du diagramme n° 3, la hauteur de précipitation correspondant au corps.

HYÉTOGRAMME TYPE DU CORPS DE L'AVERSE

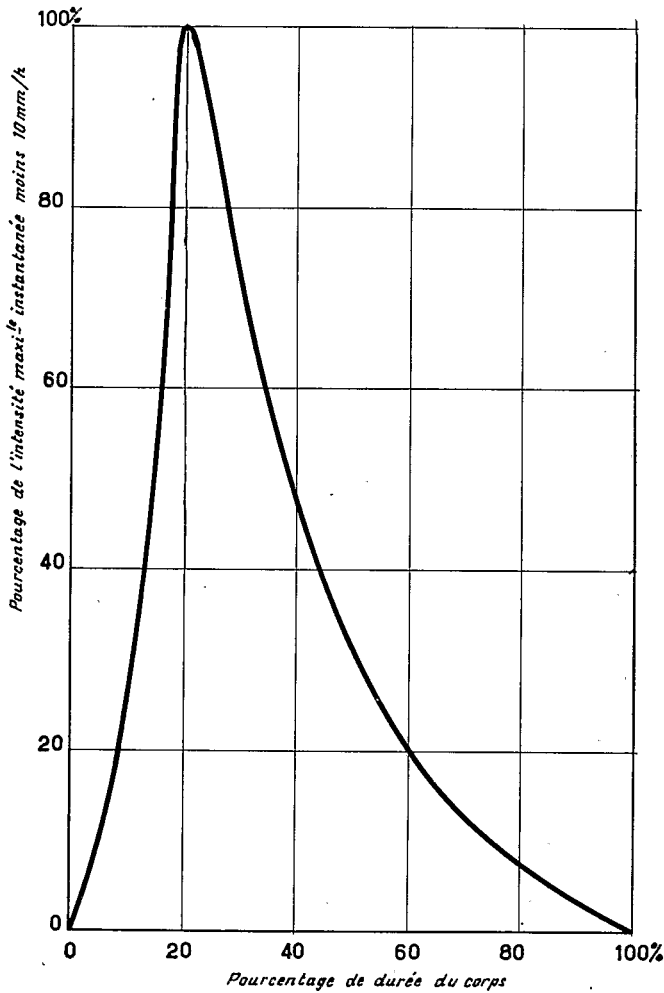


Diagramme 4

A l'aide de ces éléments, il est facile de déterminer par extrapolation toutes les caractéristiques correspondant au hyétogramme des averses de faible fréquence.

Cette méthode est applicable non seulement en MAURITANIE mais dans toute l'AFRIQUE de l'OUEST, au Nord de la courbe isohète 500 mm. Plus au Sud, pour des raisons qui découlent de l'ensemble du mécanisme de la « mousson », les averses de fréquence faible sont de formes différentes des averses courantes; elles présentent, en effet, une série de pointes de forte intensité et la méthode ne peut pas s'appliquer, tout au moins sans modifications très sensibles. Mais il existe d'autres régions de l'AFRIQUE où, sous la forme décrite plus haut, elle est applicable, par exemple au Sud du 3^me parallèle Sud et à l'Ouest du CONGO (littoral exclus). Il est fort probable que l'on trouverait d'autres régions du monde présentant des formes de hyétogrammes aussi simples et aussi homogènes. Il serait intéressant de le vérifier.

Hydro.

YVES BRUNET-MORET

MÉTHODE D'ANALYSE DE LA RÉPARTITION DES
PRÉCIPITATIONS DANS LE TEMPS ET DANS
L'ESPACE

EXTRAIT DE LA PUBLICATION N° 53

HELSINKI 1960

ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

B 12 659