

**L'EMPLOI DU RÉSEAU PLUVIOMÉTRIQUE  
DE BASE POUR ÉTUDIER LA VARIABILITÉ  
DES PRÉCIPITATIONS DANS L'ESPACE.  
L'EXEMPLE DES CHÛTES DE PLUIE  
A GRANDE EXTENSION SUR LES PAYS DE LA PLATA**

**Pierre DUBREUIL**

**RÉSUMÉ**

Après un bref tour d'horizon des nécessités en équipement pluviométrique pour étudier la variation dans l'espace des précipitations de divers types, on montre que le réseau pluviométrique de base classique permet de résoudre ce problème dans le cas des phases pluvieuses à grande extension en régions physiquement et climatiquement homogènes.

La méthode employée, dite des «intensités-durées-surfaces», est analysée dans ses possibilités et ses limites, à partir d'un exemple pris en Uruguay. Différents abaques établis pour des superficies de 10 à 80.000 km<sup>2</sup> permettent de répondre à tous les problèmes de variation dans l'espace des précipitations de 10 à 30 jours en Uruguay. Cet exemple apporte une contribution importante à la connaissance des pluies dans ce secteur d'Amérique Latine.

L'étude de la répartition spatiale des précipitations exige l'existence d'un réseau pluviométrique suffisamment dense pour que les pluies de caractère orageux ne puissent glisser en quelque sorte à travers les mailles du réseau sans être observées. Ce réseau devrait, en outre, conserver l'homogénéité de sa densité sur une vaste surface telle que puisse s'y inscrire la totalité des précipitations d'une même phase pluvieuse.

Il est bien évident que peu, ou pas, de pays disposent d'un réseau pluviométrique satisfaisant à toutes ces conditions et surtout à la première. La densité des réseaux est loin d'atteindre l'appareil pour 1.000 km<sup>2</sup> dans beaucoup de pays. Or, les précipitations orageuses ne couvrent souvent pas une superficie bien supérieure. La connaissance fine de ces orages exigerait une densité de pluviomètres d'environ 1 appareil pour 30 à 50 km<sup>2</sup>. Un tel réseau est hors du domaine et des possibilités d'un Service Météorologique National. On rencontre parfois un réseau de cette densité sur un bassin versant dont l'aménagement hydraulique est en projet; dans ce cas, le réseau est d'installation récente et ne survit généralement pas au-delà des quelques années d'études précédant la réalisation de l'aménagement.

Dans ces conditions, l'absence d'observations de longue durée ne permet pas l'analyse statistique directe de la variabilité des précipitations dans l'espace. L'obstacle peut être tourné en adoptant la démarche suivante :

— Étude «fréquences-hauteurs» des précipitations ponctuelles, par exemple à partir d'un pluviomètre du réseau de base situé dans le bassin étudié — ou à proximité et dans des conditions climatiques comparables — pour lequel on possède une longue période de relevés.

— Étude de l'abattement des précipitations ponctuelles en fonction de la distance en procédant par corrélation entre couples de pluviomètres du bassin.

— Passage de l'abattement linéaire à l'abattement en fonction de la surface. Une approche de ce problème délicat a été entreprise par notre collègue Marcel Roche et fait l'objet d'une autre communication à ce congrès.

L'analyse statistique directe reste cependant encore la méthode la plus simple d'analyse de la répartition spatiale des orages à faible extension. Un réseau pluviométrique très dense est impensable à l'échelle nationale; mais il est possible d'installer

**O. R. S. T. O. M.**

19 DEC. 1963

**Collection de Référence**

n° B/2658

un tel téseau sur des surfaces réduites (1.000 à 5.000 km<sup>2</sup>) judicieusement réparties dans le pays. On pourrait élire pour ce faire des bassins-échantillons représentatifs des diverses régions naturelles. Ils seraient alors, de façon permanente, dotés de l'équipement de mesures dont jouissait temporairement le bassin en cours d'aménagement cité précédemment. L'intérêt d'un tel dispositif déborderait largement du cadre de la stricte analyse pluviométrique. En effet, à l'issue des bassins d'environ 1.000 km<sup>2</sup>, la détermination des caractéristiques de la crue exceptionnelle (débit maximal et volume écoulé) ne peut généralement se faire que par l'hydrologie analytique et déductive, c'est-à-dire en appliquant les relations pluies-écoulement intrinsèques au bassin, l'analyse «*fréquence-intensité-durée*» des précipitations étant réalisée pour la région à partir des données du bassin-échantillon.

Puisque ces bassins-échantillons font encore actuellement défaut dans la plupart des pays, les réseaux pluviométriques de base existants ne permettent pas l'étude de la variabilité spatiale des orages localisés. Ils sont, par contre, parfaitement adaptés pour cette étude sur les précipitations de grande extension, comme les pluies océaniques qui affectent l'Europe Occidentale. A ces précipitations l'analyse statistique directe n'est applicable que si elles conservent leur homogénéité sur l'étendue de leur domaine. Il suffit pour cela que la situation météorologique reste le principal facteur causal de la hauteur de pluie, ceci implique l'absence d'obstacles perturbateurs généralement dus au relief. Les pays de La Plata répondent parfaitement à cette condition. L'est et le nord-est de l'Argentine, l'Uruguay et l'extrême sud du Brésil, constituent une vaste région plate ou faiblement ondulée sur laquelle règnent les mêmes situations météorologiques. Si elle n'est pas exempte d'orages localisés, cette région subit aussi des phases pluvieuses intenses et à grand rayon d'action. Ces phases pluvieuses sont le fait de dépressions thermiques qui se forment sur le nord de l'Argentine et qui se meuvent dans le quadrant sud-est. Elles sont responsables des principales crues des fleuves de la région. On constate que ces phases pluvieuses durent 3 à 5 jours environ et que plusieurs d'entre elles — jusqu'à 3 et 4 — peuvent se succéder sur la même région pendant 3 à 4 semaines. Elles intéressent couramment des surfaces de 30 à 80.000 km<sup>2</sup>. L'épisode le plus intense connu de nos jours, celui d'avril 1959, eut une extension considérable, couvrant plus du double de la superficie de l'Uruguay, laquelle est voisine de 200.000 km<sup>2</sup>.

Appelés à étudier du point de vue hydrologique l'importance des crues exceptionnelles ayant dévasté l'Uruguay en avril 1959, nous avons tout de suite pensé que la clef du problème résidait dans la recherche de la fréquence d'apparition des phases pluvieuses responsables de ces crues.

L'étude de la variabilité dans l'espace de ce type de précipitations a donc retenu notre attention. Nous avons pu en donner un bon aperçu à partir du seul réseau pluviométrique de base de l'Uruguay et en employant la méthode classique dite des «*intensités-durées-surfaces*» dont la description figure dans de nombreux ouvrages. Rappelons brièvement qu'il s'agit de rechercher et de classer les précipitations dont la hauteur a égalé ou dépassé plusieurs valeurs croissantes pendant diverses durées choisies. Cette recherche s'effectue, pour une même période d'observations, sur une série de pluviomètres du réseau sélectionnés de telle sorte que chaque appareil intéresse la même surface-unité.

Pour chaque groupe de «*hauteur-durée*», les précipitations ayant affecté des pluviomètres adjacents sont regroupées et leur nombre décompté pour chaque aire égale ou multiple de la surface-unité. On obtient finalement, pour chaque précipitation de «*hauteur-durée*» considérée, les valeurs de la fréquence d'apparition de phénomènes égaux ou supérieurs pour des surfaces correspondant à la surface unité et à ses multiples.

Si la méthode est simple, son application est très longue et pratiquement à la limite des possibilités humaines si l'on veut tenir un délai raisonnable.

Si nous avons voulu être scientifiquement complets, notre étude avait dû porter

sur tous les pays de La Plata et y procéder au recensement des phases pluvieuses durant, par exemple, 5 puis 10, 15, 20 et 30 jours, à partir d'une hauteur de 50 mm. Un tel travail n'aurait été possible qu'avec des machines comptables. Remarquons d'ailleurs que le processus d'application de la méthode des «intensités-durées-surfaces» doit pouvoir aisément être adapté aux machines comptables; le report des relevés pluviométriques journaliers sur fiches perforées constituerait un préalable. Seule, peut-être, la recherche des stations adjacentes intéressées par une même phase pluvieuse serait délicate à programmer, bien que le problème paraisse soluble si les stations sont dotées d'un numérotage tenant compte de leur position géographique et possèdent un indice commun pour celles qui sont voisines.

Nos moyens ne nous permettaient pas d'adopter cette solution. Nous avons dû procéder à une réduction du programme d'étude complet, en fonction de nos besoins. Notre but pratique était la détermination des caractéristiques (et tout particulièrement du volume écoulé) des crues exceptionnelles de fleuves uruguayens drainant 15 à 60.000 km<sup>2</sup>. En outre, les relevés pluviométriques de l'Uruguay étaient les seuls dont nous disposions aisément; les hauteurs totales par décades y étaient déjà calculées sur les feuilles de base du Service Météorologique. Nous avons donc limité notre étude aux phases pluvieuses de 10 et 30 jours ayant respectivement dépassé 100 et 200 mm; ces hauteurs semblaient correspondre au phénomène de récurrence annuelle, ce qui devait laisser un matériau suffisamment ample mais non démesuré pour analyser et préciser les phénomènes de récurrence plus rares.

Ce matériau a été extrait pour la période de 47 ans allant de 1914 à 1960 des relevés de 56 pluviomètres du réseau de base uruguayen. Cet ensemble représentait au départ près de 95.000 valeurs de hauteurs d'eau; son dépouillement a demandé environ 4 mois de spécialistes.

Chaque pluviomètre intéressait une aire de 3.300 km<sup>2</sup>. Le quadrillage s'est révélé tout à fait suffisant pour l'analyse fine des phases pluvieuses observées.

Les résultats de cette étude sont concrétisés par le graphique classique donnant la fréquence d'apparition en fonction de la surface couverte des précipitations de diverses hauteurs. Le graphique 1 a trait aux phases pluvieuses de 10 jours atteignant 100, 150, 200, 250 et 300 mm; le graphique 2 représente les phases pluvieuses de 30 jours dont les hauteurs s'étagent de 200 à 450 mm. Tels qu'ils sont, ces graphiques rendent complètement compte de l'analyse statistique effectuée et suffisent pour répondre aux diverses questions que l'on pourrait se poser sur ces phases pluvieuses de l'Uruguay, leur extension et leur fréquence d'apparition. Pour représenter totalement le phénomène, on utilise 4 variables dont l'une, la durée, est pratiquement éliminée puisque seules en sont examinées les valeurs 10 et 30 jours. Il reste donc 2 variables entre lesquelles, à partir des premiers graphiques, peuvent être dressées deux autres séries d'abaques suivant que l'on envisage la superficie ou la fréquence comme variable discontinue en remplacement de la hauteur d'eau. Ces nouveaux abaques, s'ils n'apportent rien de nouveau, permettent cependant de représenter plus clairement chaque aspect de la variabilité du phénomène et sont d'une meilleure facilité d'emploi pour les applications pratiques.

Le graphique n° 3 est l'abaque «fréquences-hauteurs» pour des superficies de 10 à 80.000 km<sup>2</sup>. Son titre montre déjà les limites pratiques d'utilisation des résultats de l'analyse dans le domaine des surfaces intéressées par une même phase pluvieuse. En effet, avec le quadrillage initial de 3.300 km<sup>2</sup>, on couvre au maximum  $56 \times 3.300$ , soit 184.800 km<sup>2</sup>. En dessous de 10.000 km<sup>2</sup>, la précision de l'étude diminue puisqu'elle ne porte pas sur plus de 3 appareils; au-delà de 80.000 km<sup>2</sup>, le nombre de phases pluvieuses relevées durant la période d'observations est un peu trop faible pour que le tracé des courbes reste sûr.

Dans l'intervalle de 10 à 80.000 km<sup>2</sup>, on vérifie que la relation entre récurrence (l'inverse de la fréquence) et hauteur de précipitations est linéaire si l'on prend soin de faire figurer la récurrence par son logarithme. Autrement dit, la récurrence du phé-

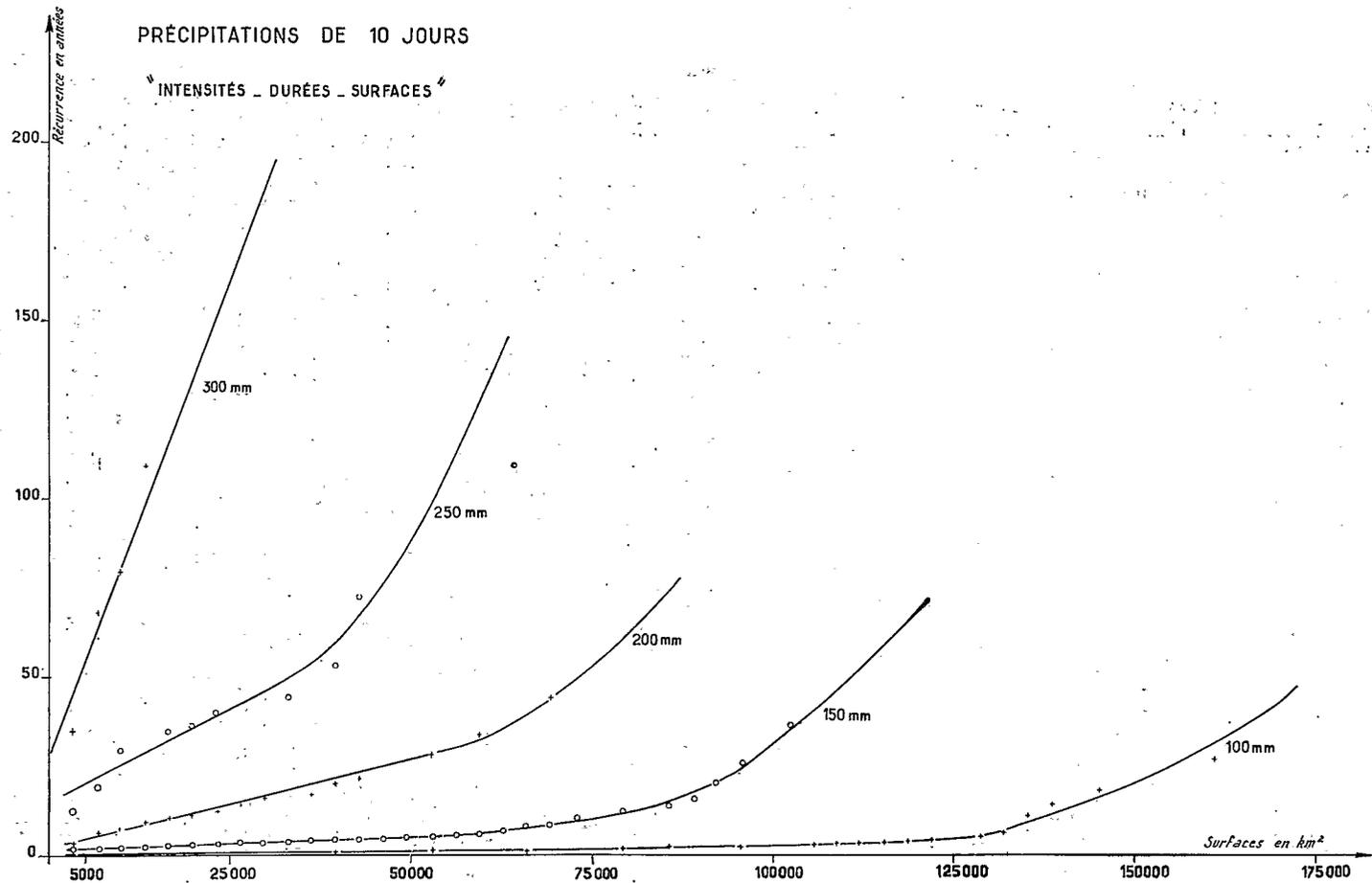


Fig. 1

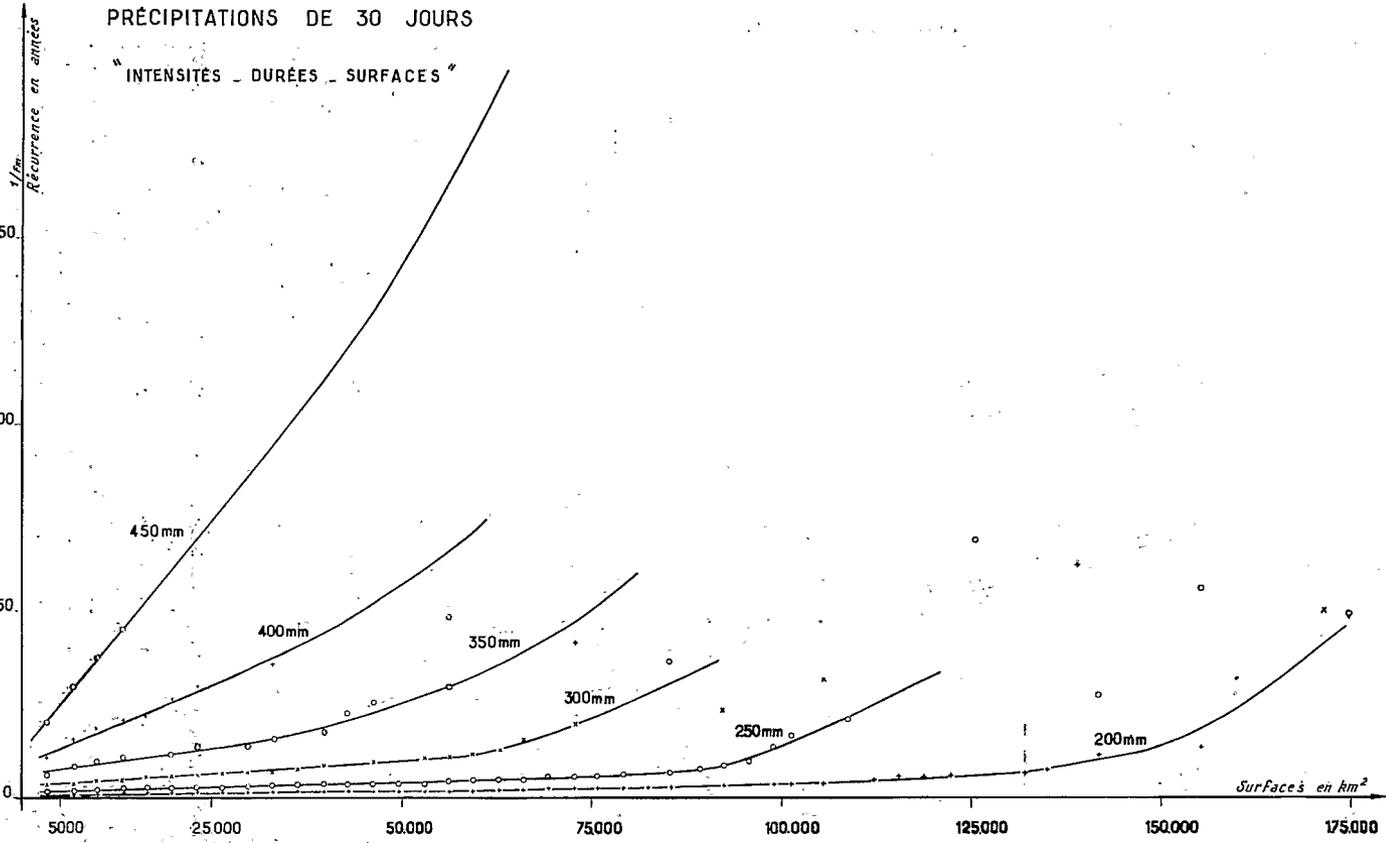


Fig. 2

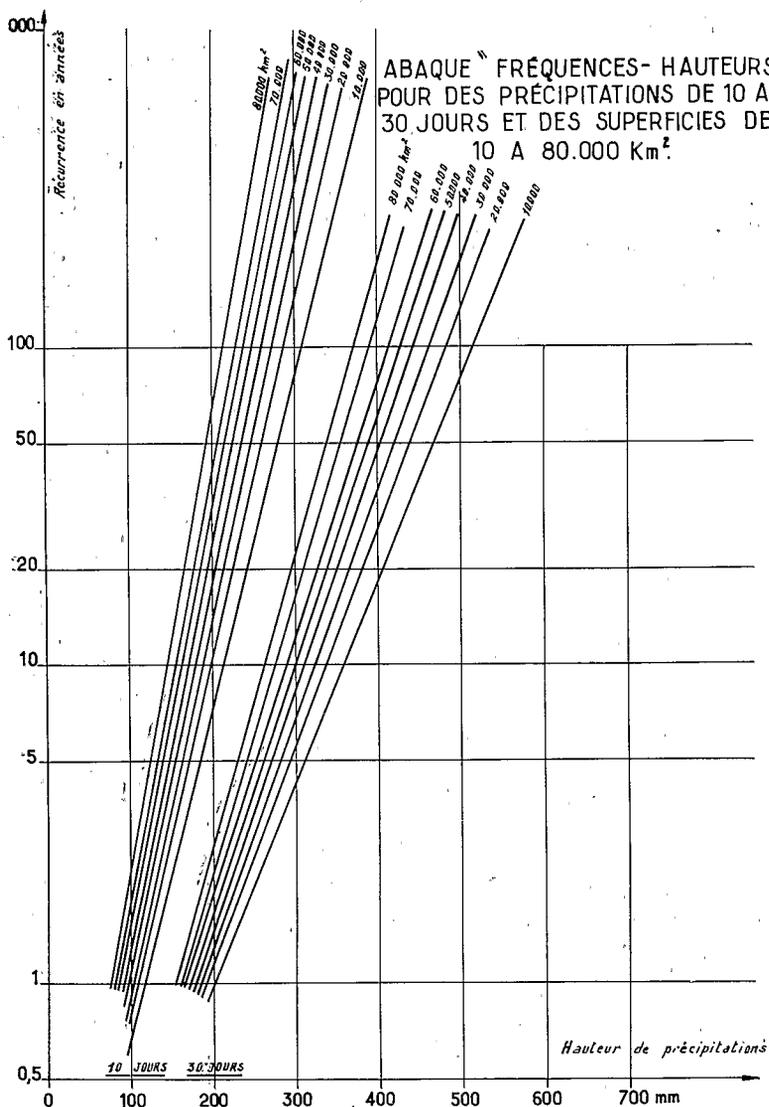


Fig. 3

nomène pluvieux est exponentiellement proportionnelle à la hauteur d'eau tombée. Les faisceaux de droite du graphique n° 3 ont, en outre, des limites au-delà desquelles rien ne permet d'affirmer que la relation récurrence-hauteur suit la même loi. En dessous de la limite inférieure, qui correspond à peu près à la fréquence annuelle et que nous nous étions imposée au début de l'analyse comme palier inférieur des hauteurs, il est vraisemblable que la relation linéaire s'applique. Ceci n'est pas du tout prouvé pour ce qui se passe au-delà de la limite supérieure, c'est-à-dire pour des récurrences de plus de 200 à 300 ans, limite que notre échantillon sur 47 ans ne permet

pas de franchir. La dualité des causes responsables des phénomènes pluviaux ordinaires et exceptionnels, semble vraisemblable en Uruguay; elle a déjà été envisagée comme possible dans d'autres parties du monde. On serait ainsi conduit à envisager un changement de la relation «récurrence-hauteur» et une inclinaison plus prononcée sur l'axe des hauteurs pour des récurrences très grandes. En effet, l'extrapolation linéaire donnerait pour le phénomène millénaire des hauteurs qui furent nettement dépassées lors du cataclysme d'avril 1959, lequel, pour diverses raisons, nous estimons devoir être d'une récurrence tout au plus millénaire et plus vraisemblablement bi ou tricenténaire.

Cette hypothèque ne peut pas être levée aujourd'hui. Tel qu'il est, le domaine validité de l'abaque n° 3 reste un vaste champ pour de multiples applications pratiques.

Les graphiques n° 4 et 5 représentent les abaques «hauteurs-surfaces» pour des récurrences de 1, 5, 10, 20, 50 et 100 ans. On y retrouve, et pour les mêmes raisons, les limites de validité du graphique n° 3 relatives aux fréquences et aux surfaces. Les courbes hauteurs-surfaces de ces abaques traduisent clairement le phénomène d'abattement de la hauteur moyenne de précipitations à mesure que croît la surface considérée. La décroissance est rapide en dessous de 25.000 km<sup>2</sup>, s'atténue et devient presque linéaire au-delà; les diverses droites ont des pentes assez voisines qui vont cependant en croissant avec les récurrences. L'étude complète aurait permis, tout au moins pour des récurrences de 1 à 20 ans, de vérifier si cet abattement se poursuivait régulièrement au-delà de 150.000 km<sup>2</sup>.

Nous avons essayé de concrétiser cet abattement en faisant ressortir sa valeur  $K = P/PM$  rapport de la hauteur moyenne sur une surface donnée à la hauteur maximale observée dans la même surface. Évidemment, nous ne pouvons ici prétendre connaître exactement la hauteur maximale ponctuelle puisque nous n'avons qu'un pluviomètre pour 3.300 km<sup>2</sup>. Malgré tout, étant donné le caractère de ces phases pluvieuses à grande extension, nous considérerons que la hauteur maximale ponctuelle est celle du pluviomètre du secteur de 3.300 km<sup>2</sup> le plus arrosé. L'approximation n'est peut-être pas très satisfaisante si l'on s'attache à la valeur absolue de la hauteur d'eau tombée; mais si l'on tient uniquement compte du volume de la précipitation, l'erreur sera négligeable.

Pour travailler sur des chiffres ronds et à partir des abaques n° 4 et 5, on a admis que la pluie maximale à partir de laquelle était calculé l'abattement était celle qui affectait 5.000 km<sup>2</sup>.

Nous avons tracé sur le graphique n° 6 la variation du coefficient d'abattement  $K$  en fonction de la superficie couverte par des phases pluvieuses de 10 et 30 jours. Pour une surface donnée, l'abattement est légèrement plus rapide pour une phase de 10 jours que pour une phase de 30 jours, ce qui semble confirmer l'importance de la zone influencée par chaque dépression thermique et le faible écart de cheminement entre des dépressions successives responsables d'une même période pluvieuse.

Si l'on suppose — ce qui est purement théorique — que la surface couverte par une phase pluvieuse est assimilable à un cercle, on peut calculer le rayon de celui-ci que nous qualifierons de «rayon du cercle équivalent» en superficie à la surface couverte considérée. Ce rayon offre une image pratique plus suggestive de l'abattement; il varie d'ailleurs linéairement en fonction du coefficient d'abattement. Cette relation linéaire, pour une phase pluvieuse de 10 jours, peut s'exprimer par  $R = 360 - 320 K$  avec  $K$  compris entre 0,5 et 1. Par insuffisance du matériel analysé, nous ne pouvons, ici non plus, être sûrs que la relation continue à s'appliquer pour des abattements inférieurs à 0,5. S'il en était ainsi, cela voudrait dire que l'extension maximale de ce type de précipitation se limiterait à 360 km de rayon équivalent, soit à une surface d'environ 400.000 km<sup>2</sup>. Nous n'avons pas la certitude qu'il s'agisse là d'une limite infranchissable pour des paroxysmes pluviaux comme celui d'avril 1959.

L'utilisation de ces abaques pour des précipitations quelconques tombées sur un bassin versant déterminé nécessite deux remarques préalables :

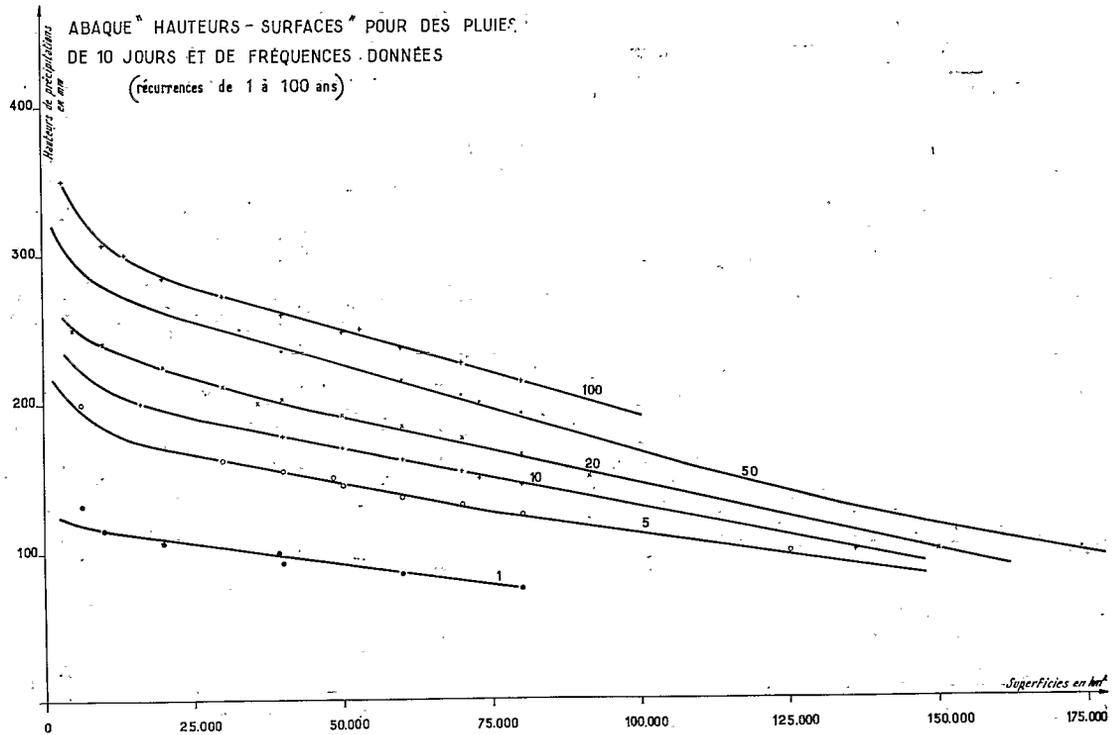


Fig. 4

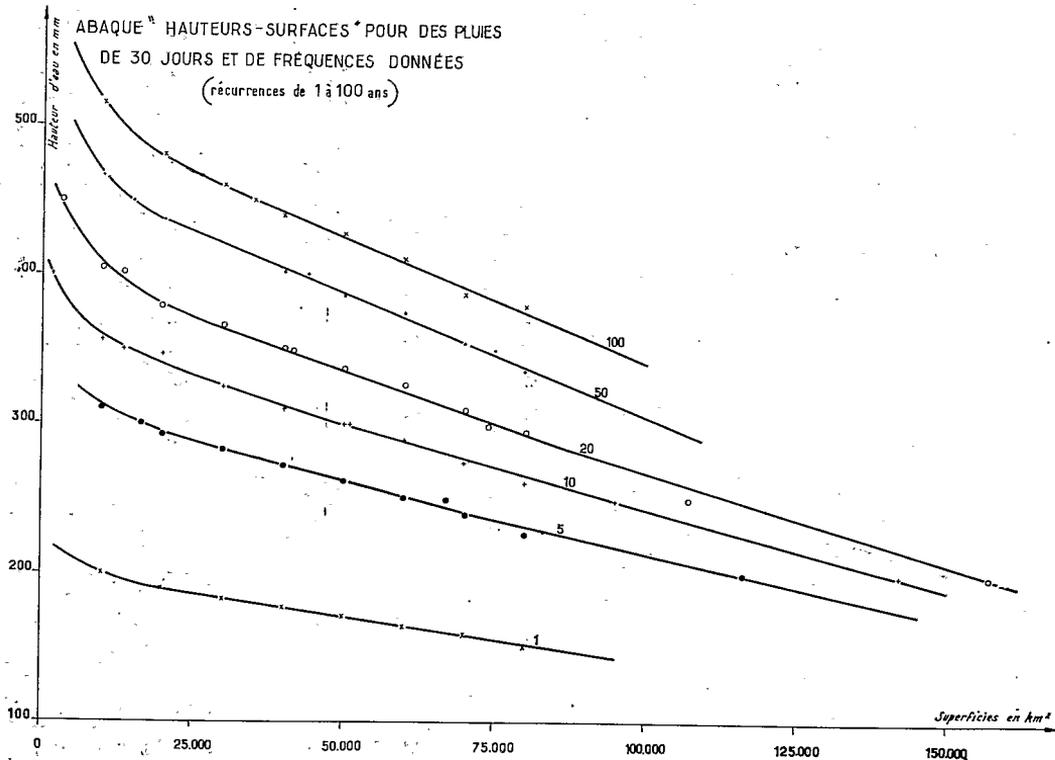


Fig. 5

### ABATTEMENT DES PRÉCIPITATIONS DE 10 ET 30 JOURS

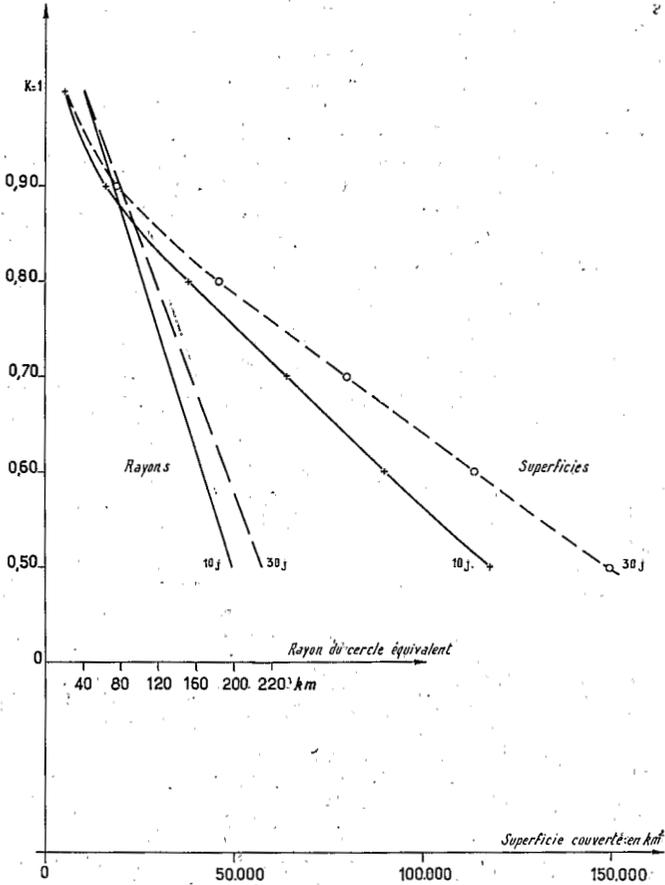


Fig. 6

1. Si la phase pluvieuse considérée est d'une durée comprise entre 10 et 40 jours par exemple, nous conseillons d'en extraire la fraction la plus intense calculée pendant une période de 10 ou 30 jours suivant que le phénomène naturel s'approche davantage de l'une ou l'autre durée.

2. Si le bassin versant étudié a une superficie  $S$ , on l'introduira dans les abaques avec une superficie supérieure. En effet notre étude a été menée dans l'espace sans tenir compte des limites de bassins naturels. Or, par exemple, la phase pluvieuse de fréquence décennale qui représente 150 mm de hauteur moyenne en 10 jours sur 75.000 km<sup>2</sup> a certainement intéressé plusieurs bassins contigus et non un seul. Pour retrouver la hauteur moyenne de même récurrence ayant affecté un bassin déterminé de 75.000 km<sup>2</sup>, on augmente de 50% cette superficie si le bassin est homogène et de forme ramassée, on trouve alors seulement 120 mm. Ce coefficient d'augmentation de la surface est arbitraire, il peut atteindre 100 et 200% si le bassin est très allongé et perpendiculaire au trajet privilégié des précipitations.

Tels qu'ils sont, nos abaques, malgré leurs imperfections originelles et si l'on s'en tient aux limites de validité, constituent un instrument de travail satisfaisant pour les applications pratiques. Ils permettent, en Uruguay et dans les pays limitrophes du Rio de La Plata, de répondre à toutes les questions relatives à la variation dans l'espace des pluies à grande extension temporelle. Les conclusions obtenues viennent renforcer d'une manière non négligeable la connaissance actuelle des précipitations dans cette région d'Amérique Latine. Dans cette optique, une étude comparable, aussi complète que possible, devrait être entreprise dans les pays où le réseau pluviométrique de base approche ou dépasse 50 ans d'existence et si les types de précipitations y sont d'une extension suffisante pour être analysables avec une faible densité d'appareils. Bien souvent, comme pour la région de La Plata, la collaboration internationale s'impose scientifiquement; elle devrait alors permettre de vaincre les obstacles matériels auxquels se heurte cette entreprise.