

# L'abattement des précipitations journalières en Afrique intertropicale : variabilité et précision de calcul

G. VUILLAUME

Chargé de Recherches  
au Bureau Central d'Hydrologie, Paris

## RÉSUMÉ

Après avoir brièvement rappelé le but et le principe du calcul de l'abattement des précipitations journalières, dressé l'inventaire de ses facteurs de variation tels que l'expérience climatologique les a enseignés ou pressentis. l'auteur présente les cinq bassins représentatifs de l'ORSTOM qu'il a sélectionnés, suivant des critères stricts, afin d'effectuer une investigation informatique très approfondie de ce phénomène.

Les résultats les plus significatifs obtenus sur ces bassins, tous situés sous des climats différents de l'Afrique intertropicale, sont analysés et les principales causes de variabilité de l'abattement sont mises en évidence à l'aide de nombreux exemples (influence de la loi de distribution de la station de longue-durée, du nombre de postes à surface donnée, du relief, de l'exposition et de la forme du bassin, de la masse de l'échantillonnage à densité et durée constantes, de la longueur des études et aussi, naturellement, de la superficie du bassin).

L'auteur s'attache alors à établir une équation généralisée permettant d'estimer une fourchette de la valeur probable du coefficient d'abattement sur la plupart des bassins de moins de 5 000 km<sup>2</sup> de ce sous-continent, soumis à des pluviosités annuelles comprises entre 250 et 3 000 mm, en fonction de paramètres physiques et climatiques simples, pour des précipitations de récurrence variant de 2 à 50 ans. Cette équation généralisée montre que, dans ces limites, le coefficient d'abattement varie en sens inverse du logarithme de la surface considérée, du logarithme de la récurrence de la pluie journalière pour une surface donnée, du paramètre d'échelle  $s$  (loi exponentielle fictive des pluies journalières à la station de longue-durée), pour une récurrence et une superficie données ; il varie dans le même sens que la hauteur annuelle de précipitation pour une superficie donnée.

En concluant sur la nécessité d'intensifier la collecte de l'information pluviométrique afin de poursuivre cette étude dans le but de corroborer les résultats obtenus et d'élucider certains points restés obscurs, sur l'opportunité d'en étendre le cadre géographique, l'auteur donne quelques consignes à respecter pour la conduite d'une étude isolée de l'abattement dans le cas où le bassin considéré se situerait marginalement par rapport aux conditions d'application de l'équation généralisée.

## Mots-clés

Abattement de la pluie - Afrique intertropicale - Distribution des pluies journalières - Loi de Pearson III - Précipitations exceptionnelles - Formule empirique - Recommandations.

## ABSTRACT

The author presented first, a brief review concerning the purpose and the computation procedure for the daily precipitation "areal averaging", investigated its variation factors such have been created and originated, by climatological experience. He proposes the five ORSTOM representative basins selected following strict requirements for a complete and informatic investigation of that event.

He analysed the most significative results obtained about these basins, all of them submitted at different climates in Intertropical Africa, and pointed out the main causes of variability of the areal averaging through some examples (influence of the distribution law of the long term station, number of sites measurement with known area, shape, wind orientation, exposition and basin frame, mass of sample with constant density and live, duration of studies and also, naturally, drainage area).

The author efforts to establish a generalized equation allowing an estimation interval of probable value of the areal averaging coefficient over the most of basins less than 5000 km<sup>2</sup> of that sub-continent submitted at annual rainfall between 250 and 3000 mm following simple physic and climatic parameters for recurrence precipitations between 2 and 50 years. In that interval, the equation shows that the coefficient of areal averaging varies in the inverse as the

*logarithm of the area considered, logarithm of daily rainfall for a known area, scale parameter (exponential fictive law of the daily rainfalls at the long duration station), for known recurrency and area; that coefficient varies in the same way as the annual rainfall height for a known area.*

*As a conclusion to intensify the collect of the rainfall information, to proceed that study for an ajustment of the obtained results and to clarify some dark points concerning the extension of geographical area, the author gives some advices for a separated study of the areal averaging where the basin in question will located marginally respect the available conditions of the generalized equation.*

Key-words

*Rainfall areal averaging – Intertropical Africa – Daily rainfalls repartition – Third Pearson Law – Exceptional Precipitations – Empirical formula – Recommendations.*

SOMMAIRE

1. Principe de la méthode
2. Bases de l'étude
3. Les ensembles et sous-ensembles sélectionnés
  - 3.1. Le bassin du Risso
  - 3.2. Le bassin du Ghorfa
  - 3.3. Le bassin du Bam-Bam
  - 3.4. Le bassin de l'Amitioro
  - 3.5. Le bassin de Boulsa
4. Analyse des résultats
  - 4.1. Bassin du Risso
  - 4.2. Autres bassins
  - 4.3. Autres singularités
5. Essai de synthèse  
Conclusion

Depuis la publication de l'article de Y. BRUNET-MORET et M. ROCHE [1], tout rapport définitif consacré à un bassin représentatif ou expérimental (BRE) a naturellement inclus dans ses développements le calcul de l'abattement des précipitations, ceci afin d'estimer au mieux les événements de fréquences rares, notamment les crues d'ordre décennal.

Après plusieurs années de pratique de la méthode, il est apparu nécessaire d'effectuer une étude systématique rigoureuse de l'abattement, et plus précisément de la signification et de la variabilité du coefficient d'abattement calculé sur des échantillons restreints. Pour cela, on cherche les interactions des divers paramètres qui président certainement — ou que l'on imagine intuitivement présider — à l'apparition de l'abattement, tels que la surface du bassin, son hétérogénéité orographique, la densité de l'appareillage, etc. Il est bien évident que si l'existence de tels paramètres se vérifiait, il ne fallait pas se contenter de la constater, mais tenter d'établir des règles d'évaluation de l'abattement, valables à l'échelle régionale à partir d'un bassin donné et si possible à l'échelle globale à l'aide de tous les bassins étudiés. De telles extrapolations pourraient constituer un outil de valeur pour l'hydrologue, surtout pour l'approche directe du phénomène dans le cas d'opérations ponctuelles ne bénéficiant pas d'une quantité d'information suffisante. A la limite, leur utilité pourrait être de vérifier « a posteriori » la validité des résultats obtenus sur une étude classique de BRE, l'expérience personnelle de l'auteur prouvant qu'il est très facile d'obtenir des résultats erronés mais vraisemblables, par conduite des calculs de façon non totalement automatique, lors même que toutes les précautions sont prises (utilisation de machine à calculer, emploi sensé des arrondis, etc.), en raison de la longueur du travail, du passage par des nombres très longs (calcul des moments) et de l'obligation d'user de valeurs tabulées.

Un autre but de l'opération, qui n'a été reconnu comme tel qu'après que l'étude en ait démontré l'importance, a été de préciser les limites de la méthode, notamment pour ce qui concerne l'échantillonnage minimal à utiliser; ces limites, ajoutées aux précautions prises « a priori » pour rendre l'étude cohérente, ont conduit à établir une liste des critères à respecter pour obtenir la moins mauvaise estimation de l'abattement sur un bassin donné.

Il aurait pu être tentant d'effectuer une synthèse des résultats obtenus à ce jour sur ce sujet de l'abattement des pluies. Mais outre que ces travaux sont très dispersés et donc de recensement ardu, ils ne donnent quasiment jamais le détail des calculs qu'il est par conséquent impossible de vérifier; de plus, en l'absence de consignes nettement arrêtées, certains d'entre eux, bien que non aberrants, n'ont pas été menés avec toute la rigueur souhaitable pour une étude systématique.

Dans de telles conditions, l'optimum était de faire le bilan des informations pluviométriques enregistrées sur tous les bassins étudiés jusqu'à présent, d'opérer une sélection rigoureuse (basée sur des critères impératifs que nous développerons plus loin) parmi tous ces bassins, de former avec ceux-ci un grand nombre de sous-bassins fictifs, ou « figures » et d'en étudier l'abattement au moyen du seul outil efficace dans ce cas, l'ordinateur.

## 1. PRINCIPE DE LA MÉTHODE

Nous ne nous attarderons pas sur l'aspect tant théorique que pratique du problème qui a été parfaitement exposé dans l'article [1] cité plus haut ; mais il n'est pas inutile d'en rappeler l'objet et d'en décrire brièvement le processus.

### 1.1. LE CONCEPT DE L'ABATTEMENT

L'abattement n'est pas une fin, mais un moyen, celui de rechercher la pluie moyenne  $P_m$  sur une surface  $S$ , de même probabilité que la pluie ponctuelle  $P$  en un point arbitraire de cette surface  $S$ , en supposant vérifiée l'isotropie de la précipitation, c'est-à-dire en supposant que la pluie en chaque point de la surface  $S$  suit, dans le temps, la même loi de répartition statistique.

Le coefficient d'abattement est le rapport  $K = P_m/P$ , normalement inférieur à 1 ; l'abattement est la réduction subie par la pluie ponctuelle quand on passe à la surface ; donc l'abattement croît lorsque le coefficient d'abattement décroît.

Cette définition est rigoureuse quel que soit l'intervalle de temps choisi pour définir la hauteur précipitée. Pratiquement, sur bassin représentatif, comme la cadence d'observation des événements est généralement de l'ordre de la journée, l'abattement calculé sera relatif aux pluies journalières.

### 1.2. LE PROCESSUS DE CALCUL MANUEL

Pour le décompte des observations, on établit une grille comportant, par tranches de 10 mm, les pluies ponctuelles en abscisses et les pluies moyennes en ordonnées.

L'idéal serait de disposer, pour un bassin donné, d'une très grande densité d'appareils observés pendant très longtemps, ce qui donnerait directement la distribution statistique de la pluie moyenne. Dans la pratique, si l'impératif de densité est généralement bien respecté, celui de répartition spatiale l'est assez peu et celui de pérennité des observations l'est encore moins.

En conséquence, pour pallier cette carence d'information de longue durée, on convient de l'étendre statistiquement en admettant que la loi marginale de la pluie ponctuelle  $P$  est la même (principe d'isotropie) que la loi de répartition obtenue à partir d'observations de longue durée à une station proche appartenant au réseau.

La distribution adoptée est une loi gamma incomplète, dite Pearson III tronquée, dont la fonction de répartition est, au non dépassement [2] :

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^u u^{\gamma-1} e^{-u} du \quad \text{avec} \quad u = \frac{x - x_0}{s}$$

$x_0$  paramètre de position, borne inférieure de l'intervalle de définition de la variable réduite  $u$ ,  
 $s$  paramètre d'échelle, positif, de même dimension que  $x$  et  $x_0$ ,  
 $\gamma$  paramètre de forme, positif.

Cette loi tronquée est utilisée avec une troncature de 10 mm nécessitée par l'absence de connaissance exacte des précipitations dans la tranche 0 — 10 mm : en effet, au voisinage de zéro, les événements peuvent être comptabilisés par excès (rosée) ou par défaut (évaporation).

Le rapport, pour une tranche donnée de pluie ponctuelle, entre le nombre d'événements qui auraient dû théoriquement être observés (si la répartition statistique de la pluie ponctuelle avait été la même que durant la période de longue-durée) et le nombre d'événements réellement observés, donne un coefficient de correction de la tranche. Les coefficients obtenus, chacun d'entre eux étant relatif à une tranche de pluie ponctuelle, appliqués à la grille de décompte, engendrent une nouvelle grille, corrigée, qui représente un plan probabilisé. Pour une ligne donnée  $P_m$ , la probabilité au dépassement se traduit par la masse de la partie du plan située au-dessus de cette ligne, c'est-à-dire à une certaine échelle, par la somme des chiffres figurant sur la grille au-dessus de cette ligne  $P_m$ .

### 1.3. LE PROGRAMME DE CALCUL SUR ORDINATEUR

Application de la méthodologie développée dans l'article [1] cité, ce programme (PØH 116) a fait l'objet d'une précédente publication [3] dans laquelle figurent l'ordinogramme synthétique et un exemple d'application.

Pour des considérations d'ordre informatique, les fréquences de dépassement observées ont été ajustées à une loi de répartition tronquée de forme exponentielle :

$$\Phi(P_m) = e^{-\frac{P_m - B}{A}}$$

où  $P_m$  est la pluie moyenne, A et B des paramètres d'ajustement ; l'intérêt de l'adoption de cette méthode était de pouvoir expliciter la fonction inverse sous une forme linéaire :

$$P_m = -A \cdot \text{Log } \Phi + B.$$

Les paramètres d'ajustement A et B sont déterminés par approximations successives en donnant initialement, à B une valeur nulle et à A celle qui correspond à une pluie moyenne  $P_m$  de 40 mm. Nous verrons plus loin (paragr. 4.3.2.) que l'on peut, sans porter préjudice au résultat final, calculer la valeur initiale de A en l'appuyant sur une fréquence observée correspondant à une pluie moyenne différente de 40 mm.

Le programme comporte deux boucles d'itérations imbriquées qui évitent tout problème de convergence dans l'optimisation de A et B. Celle-ci repose sur la minimisation de la somme des écarts absolus pondérés entre les logarithmes des fréquences calculées et des fréquences observées ; la pondération tient compte du nombre d'observations sur lequel s'appuie chaque point (représentatif d'une tranche — ou ligne — de 10 mm) affecté d'un exposant inférieur à 1 pour ne pas donner un poids excessif aux petites pluies moyennes, généralement très nombreuses, par rapport aux pluies de fréquence rare qui nous intéressent plus. Après plusieurs essais, cet exposant a été fixé à 0,5 ; contrairement à la valeur initiale de la pluie moyenne, une modification de l'exposant pourrait entraîner des variations notables quant aux résultats, notamment dans le cas (cf. paragr. 4.3.2.) d'un échantillon présentant un événement exceptionnel parmi une quasi-totalité d'averses de faible importance.

### 1.4. AMÉNAGEMENT DU PROGRAMME POUR NOTRE ÉTUDE

Le programme, dans sa version originale, traitait les observations pluviométriques d'un seul bassin et ne faisait intervenir les données que d'une seule station de longue durée, les calculs s'effectuant sur un nombre entier de mois. Afin d'accroître son rendement, en raison du nombre important de sous-bassins fictifs constitués et en fonction de notre désir de traiter le problème avec plusieurs stations de référence, il a été aménagé de façon à pouvoir traiter successivement 9 sous-bassins couplés à 9 stations de longue durée différentes.

Sous réserve que le premier sous-bassin présenté utilise tous les postes pluviométriques figurant dans les autres sous-bassins, il était théoriquement possible d'obtenir 81 résultats à chaque passage d'ordinateur pour la même masse d'information pluviométrique. Le maximum de capacité utilisée a été de 36 résultats ; cette extension d'efficacité nous a permis de multiplier l'expérimentation, condition indispensable à la systématisation de l'étude.

De plus, puisque le commencement des observations de saison des pluies coïncide rarement avec un début de mois, une autre modification du programme a permis la prise en compte d'un nombre quelconque de jours dans l'année ; naturellement, pour un ensemble donné, le début et la fin des observations ont lieu à dates fixes quelle soit l'année. Afin que les données d'entrée soient homogènes, il convient également que les paramètres d'ajustement relatifs à chaque station de longue durée soient déterminés pour la même période que celle de l'ensemble auquel elle se rapporte.

## 2. BASES DE L'ÉTUDE

### 2.1. FACTEURS DE VARIATION DE L'ABATTEMENT

Ecartons dès l'abord l'une des causes d'hétérogénéité possibles pour satisfaire parfaitement à la définition déjà exposée (paragr. 1.1.) : il s'agit de la notion de fréquence ; pour être comparables, les résultats obtenus doivent être des abattements à même fréquence de pluie ponctuelle. Il va de soi que, pour un sous-bassin donné, l'abattement varie dans le même sens que la fréquence, c'est-à-dire que lorsque la pluie ponctuelle augmente (ce qui diminue sa fréquence), la pluie moyenne qui lui est afférente — et nécessairement inférieure — voit diminuer sa probabilité de lui être égale ; le coefficient d'abattement, qui est le rapport de la pluie moyenne à la pluie ponctuelle tend donc à diminuer.

Ceci étant établi, nous considérerons donc les facteurs de variation pour une probabilité donnée. Eu égard, d'une part à la longueur d'observation des stations de longue-durée (de l'ordre de 20 à 50 ans) et d'autre part, à la récurrence la plus souvent utilisée pour l'estimation des événements exceptionnels (10 ans), nous nous attacherons

en priorité à la mise en évidence des facteurs de variation correspondant à des précipitations de fréquence décennale. Toutefois, s'il s'avérait qu'il existe une relation simple entre l'abattement d'une averse décennale et ceux d'averses d'autres fréquences, nous essaierons d'établir une loi plus universelle qui permette, en particulier, d'obtenir l'abattement des précipitations de récurrence 2 et 50 ans qui sont des périodes de retour intéressantes.

Nous l'avons dit, la plupart des facteurs sont intuitivement admis ; nous pouvons à présent les exposer, en les classant en deux catégories générales selon qu'ils sont d'ordre géographique ou statistique.

### 2.1.1. Facteurs d'ordre géographique

Ce sont eux que l'on « sent » intuitivement le mieux parce qu'ils peuvent correspondre à des faits d'expérience ; il s'agit de la superficie, de la forme et du relief des bassins :

a) *Influence de la superficie.* C'est la notion la plus facilement admise ; il est facile de constater que, s'il pleut en un endroit déterminé, la pluie moyenne affectant un bassin imaginaire circulaire autour de ce point, tend statistiquement à diminuer lorsque le rayon de ce bassin imaginaire augmente. Cette notion a néanmoins des limites, conditionnées par l'objet même de cette étude : il s'agit de précipitations journalières. En conséquence, il serait peu prudent d'extrapoler au-delà de quelques milliers de km<sup>2</sup>, superficies pour lesquelles il conviendrait plutôt d'étudier le phénomène d'abattement sur des séquences plus longues, de l'ordre de la décade ou du mois. Il est nécessaire également de vérifier que les événements pluviométriques sont contenus dans cette limite journalière fixée, ce qui n'est pas le cas du régime moussonnier pur où la durée des événements pluvieux excède largement la journée ; il ne semblerait pas y avoir d'inconvénient à étudier un bassin de régime moussonnier peu marqué (de transition avec le régime à averses complexes), ce léger manque de rigueur étant analogue à celui par lequel nous nous autorisons à tenir compte, en climat tropical, de précipitations journalières qui ne sont pas toujours dues à une seule averse simple.

b) *Influence de la forme.* Elle découle du point précédent puisque si l'on étire le bassin dans un sens sans en changer la superficie, cela revient à augmenter le rayon du bassin imaginaire que nous avons évoqué.

c) *Influence du relief.* Bien que d'ordre géomorphologique, ce facteur ressortirait plutôt à la deuxième catégorie générale ; en effet ce paramètre n'agit sans doute surtout que parce qu'il introduit des différences entre chacune des lois statistiques attachées aux points considérés du bassin, la condition d'isotropisme ne se vérifiant pas. Pour cette raison, nous avons dû éliminer, lors de notre sélection, tous les ensembles présentant de trop grands risques de distorsion dans les lois marginales de l'échantillonnage. Liée à cette influence, nous pouvons aussi citer celle de l'orientation aux vents dominants générateurs de précipitations ; elle est plus délicate à établir, car on possède rarement des informations suffisantes pour cela.

### 2.1.2. Facteurs d'ordre statistique

En fait, il ne s'agit pas à proprement parler de facteurs, mais de limites d'exploitation de la méthode ; ils conditionnent plus la validité des résultats que les résultats eux-mêmes. Ce sont la densité des pluviomètres, la quantité d'information, la présence d'événements exceptionnels dans cet échantillon restreint et le choix de la station de référence :

a) *Influence du nombre de postes.* Nous avons vu (paragr. 1.2.) que parmi les conditions d'optimisation d'une telle étude, figurait la plus forte densité possible d'appareils ; mais on peut très bien concevoir qu'il est possible de diminuer le nombre d'observations ponctuelles simultanées jusqu'à un certain seuil sans modifier les résultats ; en-deçà, la rarefaction de l'échantillonnage risque d'entraîner de graves distorsions ; à la limite, l'utilisation d'un seul appareil donne naturellement un abattement constant, égal à 1,

b) *Influence de l'abondance de l'échantillonnage.* La deuxième condition d'optimisation (paragr. 1.2.) est la durée maximale possible des observations ; il s'agit là d'un point important car si l'on a toujours admis qu'il était illusoire de vouloir déterminer l'abattement après la première année d'étude, on n'a jamais bien précisé quel était le délai minimal pour obtenir des résultats acceptables,

c) *Influence des pluies de fréquence rare.* Ce problème rejoint celui exposé au point b) du présent paragraphe ; en effet, une telle pluie, partie d'un échantillon insuffisant, peut modifier le résultat dans des proportions sensibles jusqu'à le rendre totalement aberrant ainsi que nous le verrons. Dans ce cas, il existe deux possibilités :

- supprimer cet événement, mais cela interdit une extrapolation vers les fréquences très faibles,
- modifier l'exposant de pondération (paragr. 1.3.) du nombre d'observations relatives à chaque point, mais c'est alors introduire une variable supplémentaire dont il est difficile d'appréhender l'influence mathématique,

d) *Influence du choix de la station de référence.* Nous touchons là à un point sensible de la méthode, puisqu'elle pose comme condition nécessaire l'isotropie de la station longue-durée par rapport au bassin étudié. C'est une hypothèse qu'il n'est pas possible de vérifier, puisque les observations ponctuelles sur le bassin ne sont pas suffisantes ; même avec un maximum de précautions — par comparaison des régimes pluviométriques notamment et en tenant compte de la fiabilité des observations de la station de référence — il n'est pas absolument certain que l'on puisse s'affranchir de cette hypothèse.

Une étude intensive [4] portant sur 236 stations du réseau pluviométrique d'Afrique intertropicale à l'est du méridien 14° W a mis en évidence une influence quasi-absolue, à quelques exceptions admissibles près, de la présence de relief à proximité de la station sur la valeur du paramètre de forme  $\gamma$ . Une extension de cette étude, portant sur environ 600 stations, mais dont les résultats n'ont pas encore été publiés, a permis de quantifier cette influence, tant en distance qu'en position géographique. De la totalité des stations du réseau prises en compte, l'auteur a pu tirer un facteur de correction, annulant l'effet du relief, qui ramène le paramètre de forme  $\gamma$  à la valeur de 0,70. Celle-ci est voisine de la valeur médiane et de la valeur moyenne des  $\gamma$  réels pondérés par le nombre d'années d'observations.

Puisque les bassins considérés dans notre étude sont de relief peu marqué, qu'ils sont tous situés à l'est du méridien 14° W, nous pouvons admettre que le paramètre de forme  $\gamma$  le plus proche de la réalité, est égal à 0,70. Cette uniformisation est bénéfique puisqu'elle élimine un paramètre lors de la comparaison inter-ensembles.

Ces stations, à paramètre de forme fictif  $\gamma_f = 0,70$  seront dites « fictives ». Puisque, dans une loi de Pearson III tronquée [2], la moyenne est égale à :

$$x_0 + \gamma s$$

nous en déduisons un paramètre d'échelle fictif  $s_f = \frac{\gamma}{\gamma_f} \cdot s$  (avec  $x_0 = 0$ ).

Le paramètre de tronquage  $F_0$  ne change pas, mais lorsque le paramètre de forme  $\gamma$  diminue, la hauteur ponctuelle journalière augmente, à récurrence et pluviométrie moyenne annuelle constantes ; c'est, en particulier, le cas de l'averse décennale qui nous intéresse pour les comparaisons inter-ensembles.

Toute l'étude et ses conclusions seront donc basées sur l'utilisation de stations fictives de longue-durée, sauf si le paramètre de forme réel est proche de la valeur fictive 0,70. Néanmoins, nous mentionnerons parfois les résultats obtenus avec les paramètres réels afin de déterminer l'influence de la loi de distribution statistique de la station de longue-durée.

## 2.2. SÉLECTION DES ENSEMBLES ÉTUDIÉS

Le principal obstacle à la synthétisation des études d'abattement effectuées jusqu'à présent est le fait, nous l'avons exposé en introduction, du manque de rigueur dans la conduite de ces travaux partiels, de l'absence de critères de base les autorisant. Il était donc nécessaire de les établir, ce qui est aisé, et de s'y conformer, ce qui est plus ardu comme nous le verrons, afin d'homogénéiser les données d'entrée et d'éliminer certains facteurs secondaires.

### 2.2.1. Critères de sélection

a) *Longueur des études.* La condition primordiale à l'obtention de résultats fiables dans toute étude statistique tient naturellement à la taille de l'échantillon. Nous avons retenu une durée minimale de 3 années complètes, ce terme d'année étant pris au sens large de partie d'année ou de plus grande partie d'année possible soumise à précipitations (saison des pluies),

b) *Continuité et qualité des observations.* La qualité peut paraître d'une estimation subjective, mais il est généralement possible, avec un peu d'habitude, d'attribuer un « coefficient de fiabilité » à des données pluviométriques, la faible valeur de celui-ci éliminant systématiquement un ensemble séduisant sous l'angle de tous les autres critères. Quant à la continuité, élément indispensable à la mise en œuvre de la méthode, elle est de deux sortes :

- la continuité dans l'espace ; le déplacement d'un poste pluviométrique interdit son utilisation en tant que générateur de données de base,
- la continuité dans le temps ; aucune absence d'observation pendant la période étudiée n'est tolérée ; d'ailleurs en tel cas, le programme est conçu de telle manière que les calculs ne puissent être effectués. De même, on ne peut accepter de cumul de précipitation, ce qui obère singulièrement le recensement des postes utilisables sur les grands bassins où la tournée complète des appareils ne peut pas toujours être effectuée quotidiennement.

Si le premier point (absence de continuité dans l'espace) est réhibitoire, le deuxième peut être compensé par l'estimation des lacunes et la répartition des données cumulées par le procédé des isohyètes, tracées avec soin. Ce palliatif doit être utilisé avec modération et d'autant plus de prudence qu'il s'adresse à des précipitations importantes.

La continuité dans le temps est un écueil important, car il impose pratiquement toujours l'abandon de la première année d'étude d'un ensemble : généralement, les travaux d'installation commencent tardivement, le nombre des appareils varie au cours de cette année de rodage et l'effectif n'est rarement complet et stable qu'au début de la deuxième campagne.

c) *Appareillage minimal et représentativité.* Déjà effleurée (paragr. 2.1.2. a) , la première partie de ce critère

serait facile à satisfaire s'il n'avait été jugé raisonnable de fixer une limite à la représentativité d'un poste par rapport aux autres ; par représentativité, nous entendons le pourcentage de la zone d'influence de ce poste dans l'application de la méthode de Thiessen pour le calcul des pluies moyennes. Il a été décidé que l'aire d'influence du plus « petit » poste ne devait pas être inférieure à la moitié de celle du plus « grand » poste, soit un rapport de 1 à 2. Quant au nombre minimal d'appareils à prendre en compte, il a été décidé qu'il serait de 10. Beaucoup de grands bassins présentent des effectifs nettement supérieurs, mais la densité d'implantation diminue en même temps que s'accroît la taille des sous-bassins constituant l'ensemble ; pour cette raison, tous les autres critères étant satisfaits, il n'a jamais été possible de retenir plus de 15 appareils,

d) *Caractères physiques des sous-bassins.* Le premier concerne la superficie dans ses valeurs minimale et maximale ; lors de l'énoncé du problème, il avait été décidé de ne pas se préoccuper des bassins n'atteignant pas 15 km<sup>2</sup> parce qu'on peut considérer principalement :

- que pour une superficie d'environ 3 km<sup>2</sup> (bassin fictif de rayon 1 km) l'abattement est sensiblement égal à 1,
- que pour les valeurs intermédiaires de 3 à 15 km<sup>2</sup>, il serait facile d'interpoler.

Pour ce qui concerne la limite maximale, point n'était besoin de s'en inquiéter puisque au-delà de 2 000 km<sup>2</sup>, la plus grande partie de l'appareillage était généralement constituée de pluviomètres totalisateurs, ce qui résolvait le problème par élimination.

Le deuxième caractère physique est la forme du bassin (paragr. 2.1.1. b) qui se devait d'être aussi régulière que possible aux fins de comparaison ; nous ne citerons que pour mémoire un troisième caractère, le relief (paragr. 2.1.1. c).

### 2.2.2. *Déroulement de l'étude*

Les critères étant arrêtés, la masse d'information paraissant importante (au moins 120 ensembles étudiés par l'ORSTOM de 1951 à 1972), il restait, avant d'appliquer les premiers à la seconde, à définir une méthodologie opérationnelle et à préciser quelques points de détail :

a) *La méthodologie.* Sans innover dans le domaine, nous avons adopté le processus suivant :

- étude intensive sur un ensemble de référence, sélectionné avec la plus grande rigueur ; maximisation sur cet ensemble du nombre de sous-bassins afin de couvrir toute la gamme possible des facteurs de variation de l'abattement, avec pour conséquence, la confirmation ou l'infirmité de l'influence de ceux-ci,
- étude extensive sur plusieurs autres ensembles dans le but de préciser les notions déjà dégagées et éventuellement de renforcer les convictions acquises ; en principe, cette deuxième partie aurait dû se contenter d'un nombre limité de sous-bassins ; il n'en fut rien, en raison de la grande diversité des résultats enregistrés.

b) *Les points secondaires :*

- limites géographiques des ensembles et des sous-bassins : nous n'avons pas retenu le concept de bassin dans son sens hydrologique, nettement délimité par la ligne de crête ; si ce tracé est impératif lorsqu'il s'agit d'étudier des faits de ruissellement, il ne s'impose absolument pas dans notre cas, puisque le phénomène averse peut être considéré comme indépendant des limites du bassin, pour autant que le relief ne soit pas nettement marqué ; le tracé adopté est une succession de lignes brisées constituant une ceinture de côtés de polygones de Thiessen. Cela peut paraître quelque peu subjectif, mais il ne semble pas que l'on doive enregistrer de grandes différences selon l'opérateur. D'ailleurs, si nous n'avions pu user de cet artifice, il aurait été très difficile de respecter le rapport maximal de 1 à 2 entre les « poids » des appareils : en effet, sur les grands bassins et sur les bassins d'accès difficile, les appareils sont généralement disposés en bordure des routes et pistes, lesquelles empruntent souvent les lignes de partage des eaux. Lorsque, pour un ensemble donné, nous avons voulu modifier le nombre des postes ou utiliser d'autres postes, nous avons essayé de conserver le même tracé extérieur, ce qui explique que certaines délimitations paraissent peu orthodoxes (cf. paragr. 3.1.3. a).
- densité de l'appareillage : ce n'est un point secondaire que parce qu'il est dépendant du nombre de postes exploitables et que la recherche du maximum de postes entraîne « ipso facto » l'obtention de la meilleure densité possible ; il y a toujours une liaison linéaire entre le nombre d'appareils (donc la densité) et la superficie de l'ensemble, liaison pas toujours consciente de la part de l'installateur, mais bien vérifiée dans notre étude : pour les 5 ensembles étudiés, ainsi que pour les 2 sous-ensembles adjoints (chap. 3), la représentativité moyenne  $S_i$  de chaque poste, c'est-à-dire l'aire moyenne d'influence, vérifie l'équation :

$$S_i = 6,65 \cdot \frac{S}{100}$$

$S$  étant la superficie de l'ensemble ou du sous-ensemble. Cela veut dire que l'aire moyenne d'influence d'un poste sera par exemple de 6,65 km<sup>2</sup> sur un bassin de 100 km<sup>2</sup>, de 66,5 km<sup>2</sup> sur un bassin de 1 000 km<sup>2</sup>, etc.

### 3. LES ENSEMBLES ET SOUS-ENSEMBLES SÉLECTIONNÉS

L'application des critères de sélection aux bassins représentatifs de l'ORSTOM déjà analysés, a permis de retenir 5 d'entre eux assez heureusement répartis dans tous les climats de l'Afrique intertropicale.

#### 3.1. LE BASSIN DU RISSO

C'est ce bassin qui a été retenu pour servir de support à l'étude intensive en raison de sa taille moyenne, de son excellent réseau à densité variée d'observations pluviométriques, de la présence d'un relief moyennement accidenté, toutes qualités autorisant une étude détaillée.

##### 3.1.1. Fiche signalétique (fig. 1)

*Situation :*

Bassin hydrographique du Logone, sous-bassin de la Vina du Nord, au Cameroun.  
Coordonnées moyennes : 7° 55' N - 14° 45' E.

*Caractères physiques :*

Superficie du bassin : 126 km<sup>2</sup>.  
Altitudes : 590-900 m.  
Indice de pente global : 11,2 m/km.  
Classe de relief : R 5.

*Caractères pluviométriques :*

Climat tropical de transition.  
Hauteur moyenne annuelle : 1 420 m.  
Pluies journalières : annuelle 85 mm ; décennale 130 mm, maximum de précipitations d'avril à octobre.

##### 3.1.2. Informations pluviométriques

Cet ensemble a été suivi pendant quatre campagnes, de 1966 à 1970, avec une interruption en 1969 et un relâchement des observations en 1968. La densité d'appareillage est très variable, de très forte en amont (au nord-ouest) à moyenne pour le reste du bassin ; cette particularité a permis de considérer, en plus de l'ensemble lui-même — 18 postes — (fig. 2), un sous ensemble nord-ouest (fig. 3) de 23 postes, d'autant plus que cette partie nord-ouest est comprise dans la zone étudiée en 1968, ce qui représente quatre campagnes d'observations.

A part quelques lacunes comblées par le tracé des isohyètes, les relevés sont complets du 9 mai au 31 octobre de chaque année.

##### 3.1.3. Sous-bassins de l'ensemble

Celui-ci comporte 18 appareils répartis de façon sensiblement équilibrée sur une superficie de 145 km<sup>2</sup>, ce qui donne une densité approximative de 1 pluviomètre pour 8 km<sup>2</sup> ; nous n'indiquerons pas la représentativité exacte de chaque poste puisqu'il est aisé d'en avoir l'ordre de grandeur à l'aide de la figure 2.

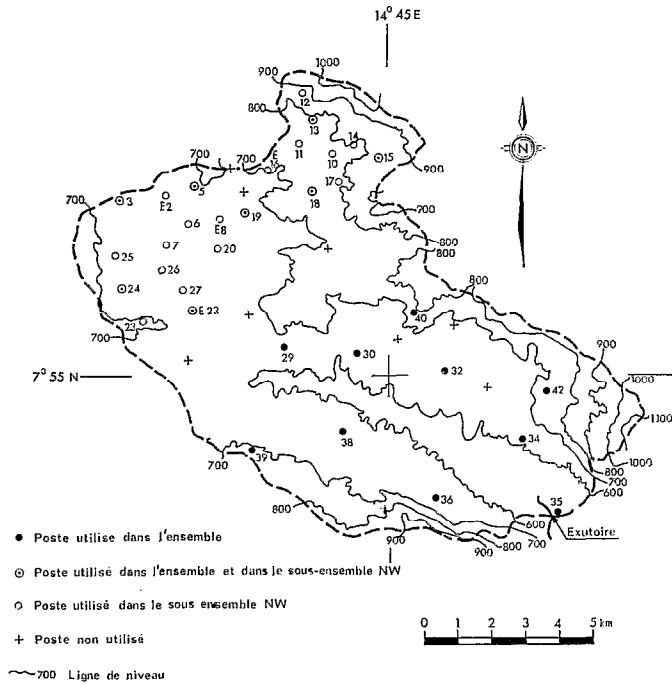
Sur cet ensemble, il a été possible de faire des recherches sur 46 cas de figures. Plutôt que de reproduire autant de dessins, ce qui serait fastidieux, nous préférons indiquer la particularité de chaque groupe de figures et les postes intéressés dans chaque cas :

a) Variation du nombre de postes sur l'ensemble de 145 km<sup>2</sup> : sans modifier le tracé extérieur dû à l'utilisation de 18 postes (fig. 2), nous avons fait des essais avec 13, 10 et 8 postes. Cette dernière valeur est incompatible avec notre critère « nombre de postes », mais il était intéressant de tester ce paramètre (tableau I, séries A et D),

b) Découpage de l'ensemble en sous-bassins de 9 postes : légère dérogation également au critère nombre de postes, mais cet effectif nous permettait de couper l'ensemble en deux parties sensiblement égales de la façon suivante :

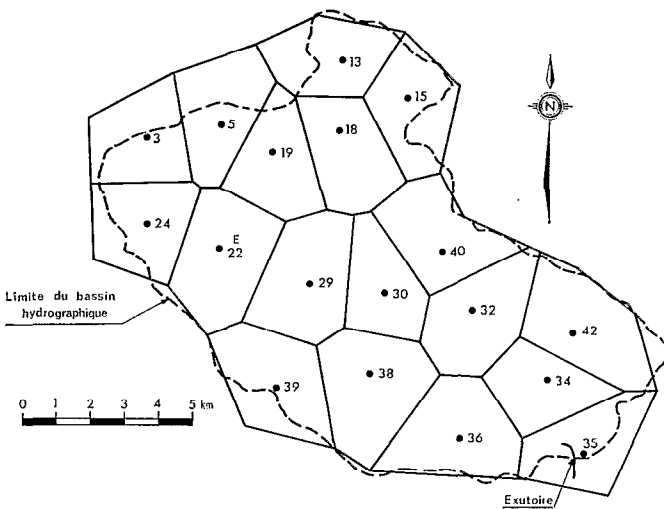
- ligne de coupe approximativement orientée dans le sens sud-sud-ouest-nord-nord-est, donc perpendiculaire au thalweg principal, avec obtention d'une partie aval et d'une partie amont (tableau I, série B),
- ligne de coupe orthogonale à la précédente donc sensiblement parallèle au thalweg, avec obtention d'une partie rive gauche assez accidentée et une partie rive droite moins tourmentée (tableau I, série C). La forme des sous-bassins constituant cette série n'est pas très satisfaisante, puisque la ligne de coupe partage l'ensemble dans le sens de sa plus grande dimension.





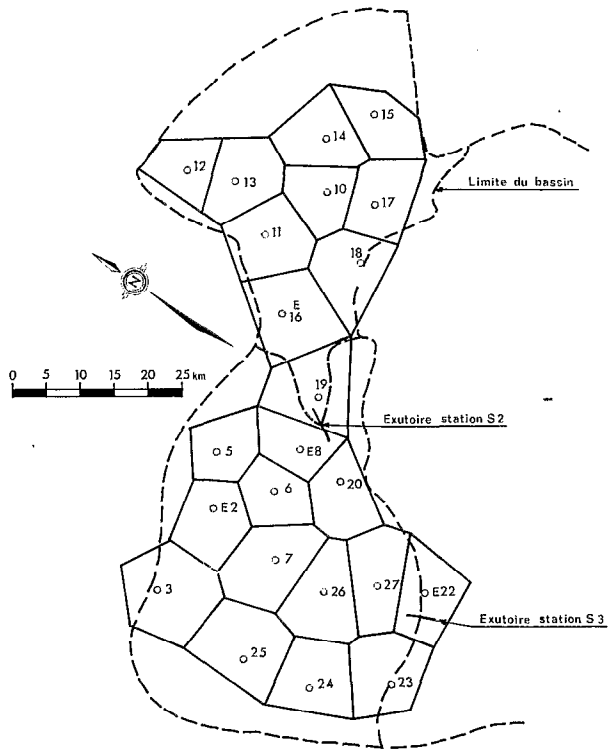
Bassin du Risso

Fig. 1. — Relief et réseau pluviométrique



Bassin du Risso

Fig. 2. — Découpage de l'ensemble A (18 postes)



Bassin du Risso

Fig. 3. — Découpage du sous-ensemble nord-ouest (23 postes)

TABLEAU I  
CAS DE FIGURE CONSTITUÉS DANS LE BASSIN DU RISSO

Caractéristique	Cas de figure		S km <sup>2</sup>	Postes pluviométriques																					
	Série	N°		3	5	13	15	18	19	E			22	24	29	30	32	34	35	36	38	39	40	42	
Surface constante	A			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	D	1 (10 p)	145	×	×				×	×		×		×					×	×	×		×	×	
		2 (8 p)								×	×		×	×						×	×	×		×	×
3 (13 p)				×		×			×	×		×		×	×				×	×	×		×	×	
9 postes		1	71	×	×	×	×	×	×	×	×	×													
		2	74												×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	B	3	73	×	×	×		×	×	×	×	×											×		
		4	72				×								×	×	×	×	×	×	×		×	×	
		5	70	×	×	×	×	×	×	×	×													×	
		6	75											×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		1	77	×	×				×	×	×	×								×	×	×			
		2	68			×	×	×							×	×	×	×					×	×	
	C	3	78								×	×	×				×	×	×	×	×	×	×	×	×
		4	67	×	×	×	×	×	×					×	×								×		
		5	76	×							×	×	×				×	×	×	×	×	×	×	×	×
		6	69		×	×	×	×	×					×	×									×	×
E	1	75						×	×	×		×	×	×						×	×	×			
	2	74						×	×	×		×	×	×							×	×	×		
	3	70		×	×	×	×	×	×	×		×	×	×								×	×	×	
	4	71	×	×			×	×	×	×		×	×	×									×		
	5	71			×	×	×	×	×	×		×	×	×		×							×		
	6	74	×	×			×	×	×	×		×	×	×								×	×		
	7	70	×	×	×		×	×	×	×		×	×	×									×	×	
	8	74					×	×				×	×	×					×	×	×	×	×	×	
	9	75										×	×	×	×				×	×	×	×	×	×	
	10	69		×	×	×	×	×				×	×	×	×								×	×	
	11	73				×	×	×	×			×	×	×								×	×	×	
	12	73				×	×	×	×			×	×	×					×	×		×	×	×	

TABLEAU I  
(suite)

## CAS DE FIGURE CONSTITUÉS DANS LE BASSIN DU RISSO

Caractéristique	Cas de figure		Postes pluviométriques																							
	Série	N°	S km <sup>2</sup>	3	5	13	15	18	19	E					22	24	29	30	32	34	35	36	38	39	40	42
13 postes	F	1	104	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×								×	×	×		
		2	105	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×								×	×	×		
		3	103	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×										×	×
		4	103	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×								×		×	
		5	103	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×									×		×
	G	1	107					×	×	×	×			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		2	105				×	×	×	×	×			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		3	107					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		4	108	×								×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	H	1	103			×	×	×	×				×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	
		2	105			×	×	×	×				×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		3	100	×	×	×	×	×	×				×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	
		4	102		×	×	×	×	×				×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	
	J	1	106		×	×	×	×	×				×	×	×	×					×	×		×	×	
		2	106		×	×	×	×	×	×			×	×	×	×						×	×	×	×	
		3	107	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×							×	×	×	×	
		4	102		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×							×	×	
		5	102	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×							×	×	

Avec le même effectif de 9 postes, nous avons également constitué une série de sous-bassins aussi compacts qu'il était faisable et épuisant toutes les possibilités de l'ensemble (tableau I, série E).

c) Délimitation de sous-bassins de 13 postes, imposée par les résultats contradictoires obtenus avec des effectifs de 9 postes (tableau I); sous-bassins formés à l'amont (série F), à l'aval (série G) ou indifféremment (séries H et J).

On remarquera que, souvent, les différences entre sous-bassins d'une même série sont minimes et ne se manifestent que par l'addition d'un poste au détriment de l'un des 9 ou 13. Cet effectif de 46 cas de figure peut sembler pléthorique, et il l'est peut-être, mais, comme en statistique, nous avons voulu gonfler l'échantillonnage au maximum.

#### 3.1.4. Les sous-bassins du sous-ensemble nord-ouest (tableau II)

Malgré sa forme peu compatible avec le critère fixé, ce sous-ensemble de 26,3 km<sup>2</sup> présente des avantages importants :

- Quatre années d'observation — toujours du 9 mai au 31 octobre — (paragr. 3.1.2.).
- Sa forme couvre assez bien le bassin S 3, partie du bassin général, de superficie 32,6 km<sup>2</sup>, de classe de relief R 5, et d'indice de pente global 23,4 m/km,
- Il peut être décomposé en une partie orientale de 9 postes (nombre intéressant, voir paragr. 3.1.3. b), qui couvre également un bassin, appelé S 2, de superficie 14 km<sup>2</sup>, de même classe de relief et d'indice de pente global 41,8 m/km,
- Il peut aussi générer, dans sa partie occidentale, un sous-bassin de 13 postes (voir paragr. 3.1.3. c) et plusieurs sous-bassins de 9 postes,

TABLEAU II  
CAS DE FIGURE CONSTITUÉS DANS LE BASSIN DU RISSO  
SOUS-ENSEMBLE NW

Caractéristique	N°	S km <sup>2</sup>	Postes pluviométriques																							
			E 2	3	5	6	7	E 8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	E 22	23	24	25	26	27	
Sous-ensemble	23 p	NW 1	26,3	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
Partie Est	9 p	NW 2	9,7						×	×	×	×	×	×	×	×	×									
Partie Ouest	13 p	NW 4	15,3	×	×	×	×	×	×											×	×	×	×	×	×	
		9 p	NW 3	9,6	×		×	×	×	×											×	×				×
			NW 5	11,7	×	×			×	×											×	×	×	×	×	×
			NW 6	10,4	×	×	×	×	×	×											×	×	×	×	×	×
			NW 7	10,8				×	×	×											×	×	×	×	×	×
			NW 8	11,2	×	×		×	×	×											×		×	×	×	×
8 p	NW (A)	62		×	×						×		×				×	×		×						

e) En raison de son effectif important et de sa petite taille, ce sous-ensemble présente une densité remarquable : 1 appareil pour 1,15 km<sup>2</sup>.

En utilisant les postes du sous-ensemble nord-ouest appartenant également à l'ensemble A, nous avons constitué un sous-bassin de 8 postes, intitulé nord-ouest (A) et qui a, par l'artifice des polygones de Thiessen, une superficie de 62 km<sup>2</sup>. Bien que classé dans le sous-ensemble nord-ouest, il s'apparente plus à l'ensemble A puisqu'il est analogue aux sous-bassins B 1 et B 5 à un poste près.

### 3.2. LE BASSIN DU GHORFA

Intéressant parce que très étendu — plus de 1 000 km<sup>2</sup> — et présentant, comme le bassin du Risso, la possibilité de former un sous-ensemble.

#### 3.2.1. Fiche signalétique (fig. 4)

*Situation :*

Bassin hydrographique du Sénégal, sous-bassin du Ghorfa, en Mauritanie.  
Coordonnées : 15° 38'-16° 02' N — 12° 08'-12° 41' W.

*Caractères physiques :*

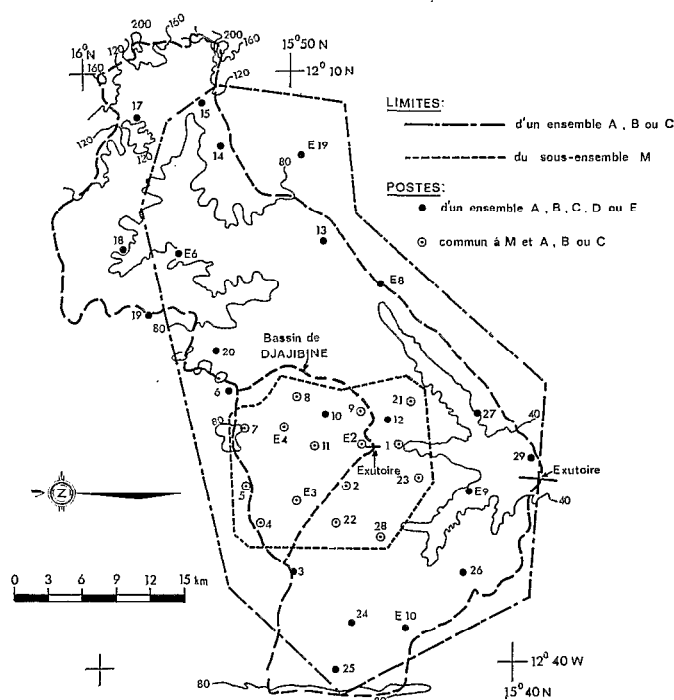
Superficie du bassin : 1 125 km<sup>2</sup>.  
Altitude moyenne : 70 m.  
Indice de pente global : 1,10 m/km.  
Classe de relief R 2.

*Caractères pluviométriques :*

Climat tropical semi-aride.  
Hauteur moyenne annuelle : 475 mm.  
Pluies journalières : annuelle 46 mm, décennale 80 mm ; précipitations de juin à septembre.

#### 3.2.2. Informations pluviométriques

Les études sur cet ensemble se sont poursuivies de 1964 à 1967, mais les résultats de la première campagne sont



Bassin du Ghorfa  
Fig. 4. — Relief et réseau pluviométrique

inexploitables : installation progressive au cours de 1964, effectif complet seulement au début de la saison des pluies 1965.

Sur un bassin de cette taille, il est toujours aléatoire de vouloir exploiter des résultats pluviométriques, car les relevés présentent souvent des lacunes ou sont offerts sous la forme de cumuls. Néanmoins, moyennant quelques estimations par isohyètes, nous avons pu retenir 36 postes, observés durant trois campagnes, du 1<sup>er</sup> juillet au 30 septembre de chaque année.

### 3.2.3. Les sous-bassins de l'ensemble (tableau III)

En réalité, cet ensemble est multiple, en raison de la variété de combinaisons que l'on peut obtenir avec un effectif global de 36 postes.

a) Trois ensembles de même graphisme extérieur (cf. fig. 4), donc de même superficie (1 264 km<sup>2</sup>), ne se différenciant que par les postes internes : séries A, B et C. À partir de ces ensembles, des sous-bassins de 12 et 10 postes ont été créés ; quelques-uns d'entre eux sont présentés dans le tableau III,

b) Trois ensembles de 12 postes (série D) et trois ensembles de 10 postes (série E). Les limites n'en sont pas représentées sur la figure 4 car elles varient d'un ensemble à l'autre, ce qui pourrait prêter à confusion ; d'ailleurs, la technique de construction est maintenant bien connue.

Il aurait été souhaitable de pouvoir former un ensemble de 18 postes, couvrant tout le bassin hydrographique, comme sur le bassin du Risso, mais l'impératif de rapport maximal de « poids » des postes nous l'a interdit, l'implantation des postes étant insuffisante entre les parties centrale et orientale.

TABLEAU III  
CAS DE FIGURE CONSTITUÉS DANS LE BASSIN DU GHORFA

Série	S km <sup>2</sup>	N <sup>o</sup>	Nombre de postes	Postes pluviométriques																										
				2	3	4	5	6	10	13	14	15	17	18	20	21	24	25	26	27	28	29	E 2	E 4	E 6	E 8	E 9	E 19		
	1 264	A	15		×		×		×	×	×					×	×	×									×	×	×	×
A	1 018	12.1	12		×		×		×	×					×	×	×			×	×	×						×	×	×
	1 013	12.2	12		×		×		×	×	×				×	×	×											×	×	×
	1 027	12.3	12		×		×		×	×	×				×	×	×											×	×	×
	870	10.1	10				×		×	×	×				×	×												×	×	×
	830	10.2	10		×		×		×	×	×				×	×												×	×	×
	846	10.4	10		×		×		×	×	×				×	×												×	×	×
B (*)	1 264	B	15	×	×		×			×	×				×		×	×									×	×	×	×
C (*)	1 264	C	15		×		×			×	×				×		×	×									×	×	×	×
D	1 413	12.A	12		×					×					×	×					×	×	×				×	×	×	×
	1 432	12.B	12		×					×					×	×					×	×	×				×	×	×	×
	1 464	12.C	12		×					×					×	×					×	×	×				×	×	×	×
E	1 595	10.A	10			×			×							×	×	×			×						×	×	×	×
	1 602	10.B	10			×			×							×	×	×			×						×	×	×	×
	1 621	10.C	10			×		×								×	×	×			×						×	×	×	×

(\*) Plus postes 8 et 12.

### 3.2.4. Les sous-bassins du sous-ensemble M (tableau IV)

Comme pour le bassin du Risso, une partie du bassin du Ghorfa a été couverte d'un réseau serré, correspondant au bassin de Djajibine (148 km<sup>2</sup>, classe de relief R 2 (R 3), indice de pente global 4,18 m/km) ; à partir de ce réseau dense, nous avons créé un sous-ensemble M de 15 postes (243 km<sup>2</sup>), décomposé en sous-bassins de 12 à 10 postes et dont quelques-uns figurent dans le tableau IV.

TABLEAU IV  
CAS DE FIGURE CONSTITUÉS DANS LE BASSIN DU GHORFA - SOUS-ENSEMBLE M

N <sup>o</sup>	Nombre de postes	S km <sup>2</sup>	Postes pluviométriques																										
			1	2	4	5	7	8	9	11	21	22	23	28	E 2	E 3	E 4												
M	15	243	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
M 12.1	12	195	×	×					×	×	×	×			×	×	×			×	×					×	×		
M 12.3	12	197	×	×	×	×	×	×		×	×	×			×	×	×			×	×					×	×	×	×
M 12.4	12	197		×	×	×	×	×	×	×	×	×			×	×	×			×	×					×	×	×	×
M 10.1	10	163	×	×						×	×	×	×	×	×	×	×			×	×					×	×		
M 10.7	10	164		×	×	×	×	×	×	×	×	×									×	×				×	×	×	×

### 3.3. LE BASSIN DU BAM-BAM

C'est aussi un grand bassin qui présente la particularité très importante d'avoir été étudié pendant quatre campagnes successives (1963 à 1966).

#### 3.3.1. Fiche signalétique (fig. 5)

*Situation :*

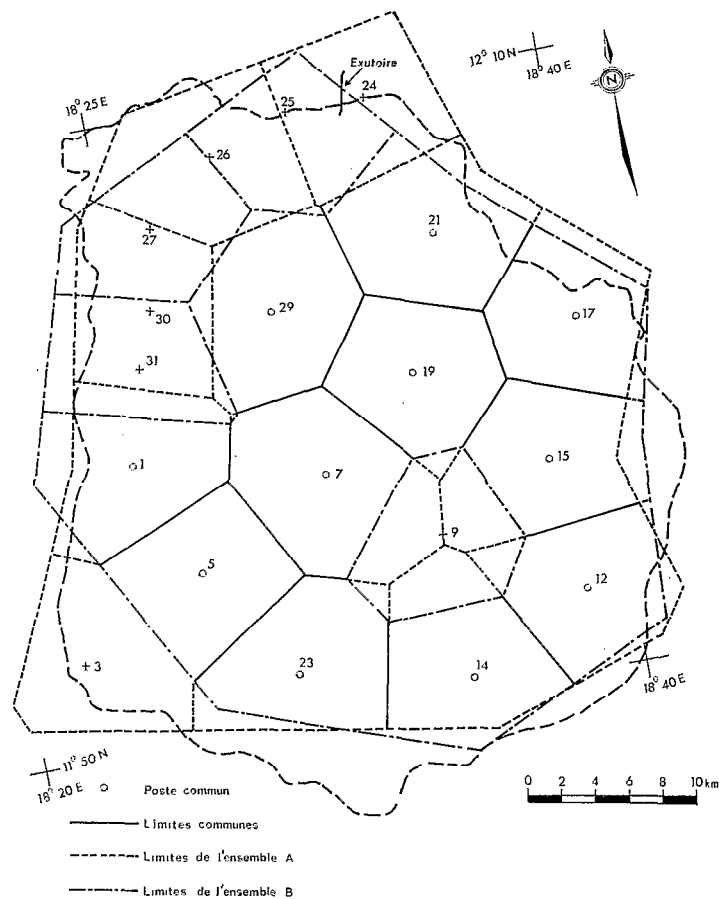
Bassin hydrographique du lac Fitri, sous-bassin du Bam-Bam, au Tchad.  
Coordonnées :  $11^{\circ} 48' - 12^{\circ} 10' N$  —  $18^{\circ} 19' - 18^{\circ} 42' E$ .

*Caractères physiques :*

Superficie du bassin : 1 200 km<sup>2</sup>.  
Altitude moyenne : 480 m.  
Indice de pente global : 3,4 m/km.  
Classe de relief R 5.

*Caractères pluviométriques :*

Climat tropical pur.  
Hauteur moyenne annuelle : 835 mm.  
Pluies journalières : annuelle 60 mm, décennale 101 mm ; précipitations de juin à septembre.



Bassin du Bam-Bam  
Fig. 5. — Découpage des ensembles A et B

### 3.3.2. Informations pluviométriques

Malgré la superficie importante du bassin, les observations sont bien suivies, mais la période concernée ne s'étend que du 16 juillet au 30 septembre, ceci afin de pouvoir prendre en compte la première campagne. Le réseau est d'une densité satisfaisante et il a été possible de retenir 19 postes pluviométriques. Il n'y a pas, comme dans les bassins précédents du Risso et du Ghorfa, de zone à surdensité, ce qui élimine la possibilité de créer un sous-ensemble.

### 3.3.3. Les sous-bassins de l'ensemble.

Les 19 postes sélectionnés ont permis, comme pour le bassin du Ghorfa, mais à un degré moindre, d'envisager la formation de plusieurs ensembles. Nous en avons retenu 2, de 15 postes chacun, de 1 225 et 1 100 km<sup>2</sup>, qui ont aussi donné des sous-bassins de 12 et 10 postes ; quelques-uns, parmi eux, sont présentés dans le tableau V.

TABLEAU V  
CAS DE FIGURE - BASSIN DU BAM-BAM

N°	Nombre de postes	S km <sup>2</sup>	Postes pluviométriques																		
			1	3	5	7	9	12	14	15	17	19	21	23	24	25	26	27	29	30	31
A	15	1 225	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×		×		×	×	×	
12.01	12	990	×	×	×	×		×	×	×		×	×	×		×		×	×	×	
12.02	12	990	×	×	×	×		×	×			×	×	×	×		×		×	×	
12.03	12	980	×		×	×		×	×	×		×	×	×					×	×	
10.01	10	825	×	×	×	×			×			×	×	×					×	×	
10.05	10	820	×		×	×						×	×	×					×	×	
B	15	1 100	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×			×	×	×

## 3.4. LE BASSIN DE L'AMITIORO

### 3.4.1. Fiche signalétique (fig. 6)

#### Situation :

Bassin hydrographique du Bandama, sous-bassin de l'Amitioro, en Côte d'Ivoire.  
Coordonnées moyennes : 5° 53' N — 4° 57' W.

#### Caractères physiques :

Superficie du bassin : 170 km<sup>2</sup>.  
Altitude moyenne : 65 m.  
Indice de pente global : 3,3 m/km.  
Classe de relief R 3.

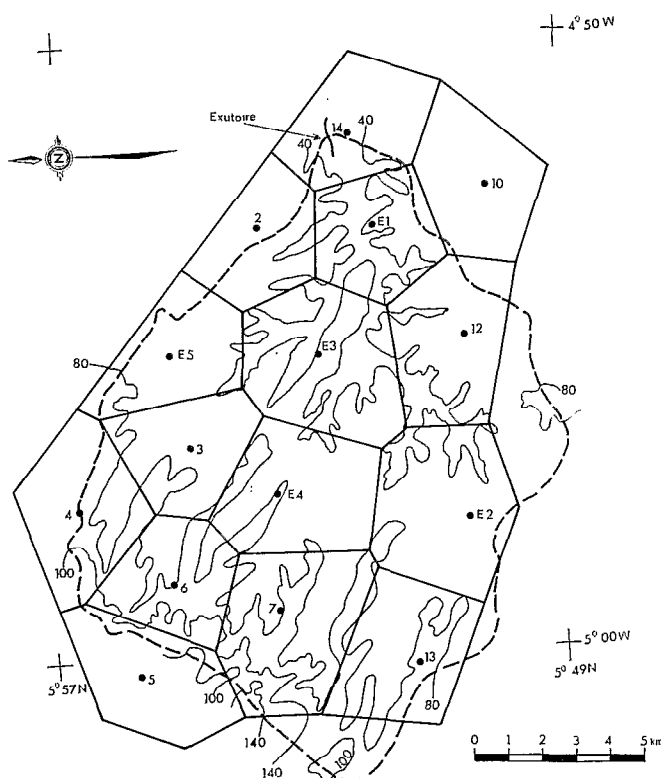
#### Caractères pluviométriques :

Climat équatorial de transition.  
Hauteur moyenne annuelle : 1 325 mm.  
Pluies journalières : annuelle 74 mm, décennale 114 mm ; maximum de précipitations de mars à novembre.

### 3.4.2. Informations pluviométriques

Trois années d'observations (1964 à 1966) légèrement tronquées en raison de l'absence de relevés en janvier 1964 ; la période prise en compte s'étale donc du 1<sup>er</sup> février au 31 décembre de chaque année. Tous les postes





Bassin de l'Amitioro  
 Fig. 6. — Relief, réseau pluviométrique et découpage

auraient pu être retenus, mais nous en avons éliminé quelques-uns afin de satisfaire à la condition de représentativité et d'obtenir un effectif standard de 15 appareils.

3.4.3. *Sous-bassins de l'ensemble*

Le tableau VI présente quelques-uns des sous-bassins de 12 et 10 postes formés à partir de l'ensemble unique de 15 postes (206 km<sup>2</sup>).

TABLEAU VI  
 CAS DE FIGURE - BASSIN DE L'AMITIORO

N°	Nombre de postes	S km <sup>2</sup>	Postes pluviométriques															
			2	3	4	5	6	7	10	12	13	14	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	
A	15	206	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
12.01	12	162	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
12.03	12	168	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
10.01	10	138	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
10.03	10	145	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
10.04	10	143	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

### 3.5. LE BASSIN DE BOULSA

Ce n'est pas exactement le bassin de Boulsa (1 000 km<sup>2</sup>), équipé surtout de pluviomètres totalisateurs, mais le bassin de Kogho qui en fait partie, dont l'étude est retenue.

#### 3.5.1. Fiche signalétique (fig. 7)

*Situation :*

Bassin hydrographique du Niger, sous-bassin de la Sirba-Koulouoko.  
Coordonnées moyennes : 12° 42' N — 0° 40' W.

*Caractères physiques :*

Superficie du bassin : 84,7 km<sup>2</sup>.  
Altitude moyenne : 330 m.  
Indice de pente global : 2,3 m/km.  
Classe de relief R 3 (R 2).

*Caractères pluviométriques :*

Climat tropical pur.  
Hauteur moyenne annuelle : 775 mm.  
Pluies journalières : annuelle 58 mm, décennale 95 mm ; précipitations de mai à septembre.

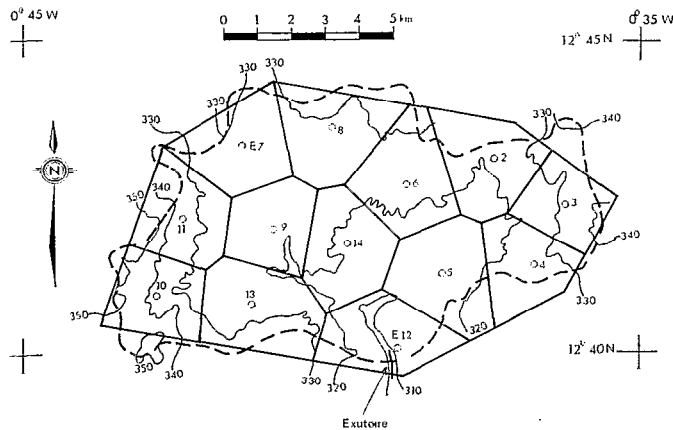


Fig. 7. — Bassin de Boulsa

#### 3.5.2. Informations pluviométriques

Il n'a été possible de retenir que 13 postes observés du 1<sup>er</sup> juillet au 30 septembre au cours de trois campagnes (1960 à 1962).

#### 3.5.3. Les sous-bassins de l'ensemble

Le faible effectif de postes pluviométriques a naturellement restreint le domaine des possibilités de formation de sous-bassins à partir de l'ensemble unique de 13 postes (91,4 km<sup>2</sup>). Deux d'entre eux sont présentés dans le tableau VII.

TABLEAU VII  
CAS DE FIGURE - BASSIN DE BOULSA

No	Nombre de postes	S km <sup>2</sup>	Postes pluviométriques													
			2	3	4	5	6	E 7	8	9	10	11	E 12	13	14	
A	13	91,4	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
C1	10	71,7			×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	
C3	10	73,3	×		×	×	×	×	×	×			×	×	×	

### 3.6. LES STATIONS DE LONGUE-DURÉE

Nous avons déjà précisé (paragr. 1.2.) qu'il convenait d'assurer l'extension statistique de l'échantillon par l'intermédiaire de stations climatologiques du réseau observées pendant une longue période et appelées, de ce fait, stations de longue-durée.

Pour ces stations, l'ajustement des paramètres à une loi de Pearson III tronquée a été obtenue par le PØH 019, légèrement modifié, pour couvrir exactement, au jour près, la même période que celle relative à l'étude des ensembles.

Afin de normaliser les lois de distribution de ces stations de longue durée, nous avons eu recours à l'artifice (2.1.2. c) de création de lois fictives par uniformisation à 0,7 du paramètre de forme  $\gamma$ .

Nous avons en général, utilisé pour chaque bassin, une seule station sélectionnée en raison de la proximité géographique et de la concordance du régime des précipitations. A deux exceptions près :

— pour le bassin du Risso, il a été fait appel à la station de Baïbokoum dont les observations semblent plus fiables que celles de Tcholliré,

— nous n'avons pas pu utiliser la station de Tiassalé dont la distribution serait plutôt assurée en loi de Goodrich, puisque son paramètre de forme  $\gamma$  n'est que de 0,33. En conséquence, nous avons retenu les stations de Divo et d'Agboville; les paramètres de forme de ces stations étant respectivement de 0,75 et 0,65, on peut s'affranchir de l'obligation d'emploi des lois fictives en considérant suffisamment exacte la moyenne des résultats.

Toutes les informations concernant les stations de longue durée figurent dans le tableau VIII.

TABLEAU VIII  
LES STATIONS DE RÉFÉRENCE DE LONGUE DURÉE

Bassin	Station	Durée des observations	Précipitations			Paramètres		
			annuelle	journalières		de forme $\gamma$	d'échelle s	de tronquage $F_0$
				1 an	10 ans			
Risso	Baïbokoum	22	1 255	87	128	0,9095	18,0952	0,5834
	Baïbokoum fictif							
	Tcholliré	18	1 300	101	153	0,6403	23,8310	0,5186
Tcholliré fictif	144							
Ghorfa	M'Bout	24	330	46	80	1,0800	14,3962	0,7682
	M'Bout fictif							
Bam-Bam	Mongo	24	623	60	101	0,6640	19,1532	0,4600
	Mongo fictif							
Amitioro	Divo	21	1 520	74	114	0,7495	18,0132	0,6676
	Agboville	42	1 390	69	106	0,6503	17,4822	0,6338
Boulsa	Koupela	49	567	57	95	0,9791	16,3604	0,6238
	Koupela fictif							

#### 4. ANALYSE DES RÉSULTATS

Afin de conserver une certaine homogénéité nous adopterons le même plan que celui qui a été appliqué à la conduite de l'étude :

- dégagement des tendances à partir des résultats obtenus sur le bassin du RISSO (étude intensive),
- confirmation de ces tendances et mise en évidence d'autres points particuliers avec les résultats de l'étude extensive menée sur les quatre autres bassins.

Les résultats sont présentés sous la forme  $K(P)$ , c'est-à-dire coefficient d'abattement en fonction de pluie ponctuelle. Sur chaque courbe est pointée la précipitation décennale, relative à la station de longue durée utilisée dans sa forme réelle ou fictive. Rappelons (cf. 2.1.2. d) que le passage en loi fictive ( $\gamma = 0,7$ ) entraîne, à pluviosité moyenne annuelle égale, une variation de l'averse décennale en sens inverse de celle du coefficient de forme. C'est toujours la valeur du coefficient d'abattement relatif à l'averse décennale ponctuelle que nous citerons dans nos commentaires.

Pour ne pas alourdir cet article, seules les courbes significatives, utiles aux diverses démonstrations, seront présentées. Pour la même raison, ne figureront pas les tableaux de résultats, c'est-à-dire les valeurs du coefficient d'abattement de 10 en 10 mm ; les résultats intéressants qui ne seraient pas cités dans le texte peuvent être obtenus par la lecture directe des graphiques.

##### 4.1. BASSIN DU RISSO (tableaux I et II, fig. 1 à 3)

###### 4.1.1. Influence de la loi de distribution de la station de longue-durée (fig. 8)

Cette analyse est faite sur les résultats relatifs à l'ensemble A de 145 km<sup>2</sup>, dont les données propres ont été étendues par les lois réelles et fictives des stations longue-durée de Baïbokoum et de Tcholliré. La densité de l'appareillage est telle (18 postes) que les résultats peuvent être considérés comme significatifs malgré la longueur restreinte des observations (trois campagnes). En comparant les résultats obtenus pour une précipitation ponctuelle donnée (150 mm par exemple), donc sans tenir compte de la notion d'égalité des fréquences, deux constatations s'imposent :

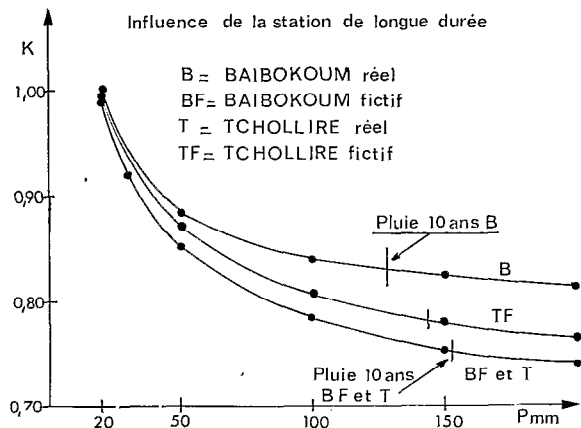
- le coefficient d'abattement est d'autant plus élevé que le paramètre de forme  $\gamma$  est fort : il s'accroît de 0,025 lorsque  $\gamma$  passe de 0,64 à 0,70 (Tcholliré) et de 0,045 lorsque  $\gamma$  varie de 0,70 à 0,91 (Baïbokoum),
- ce même coefficient d'abattement varie en sens inverse du paramètre échelle  $s$ .

Il semblerait d'ailleurs, à première vue, que la position de chaque courbe du graphique soit directement liée à la valeur du paramètre d'échelle  $s$  qui lui est afférent ; en effet, les courbes relatives à Tcholliré et à Baïbokoum fictif sont pratiquement confondues, pour des paramètres d'échelle de même ordre de grandeur (respectivement 23,8 et 23,5). Les points  $K(s)$  à précipitation donnée s'alignent sensiblement sur une droite de pente négative ; nous nous abstenons d'en tirer une conclusion définitive puisque ce tracé ne s'appuie que sur quatre points liés deux à deux (cf. 2.1.2. d) et qu'il aurait fallu pouvoir le corroborer par deux autres points obtenus par une troisième station de longue-durée et le confirmer suivant le même processus sur d'autres bassins.

Rappelons que ces observations sont faites à précipitation ponctuelle donnée. A fréquence donnée, les disparités sont aggravées puisqu'au fait précédemment constaté (diminution du coefficient d'abattement dans le même sens que le paramètre de forme  $\gamma$ , à précipitation donnée) s'ajoute celui de l'augmentation de la précipitation à fréquence donnée, donc d'une nouvelle diminution du coefficient d'abattement.

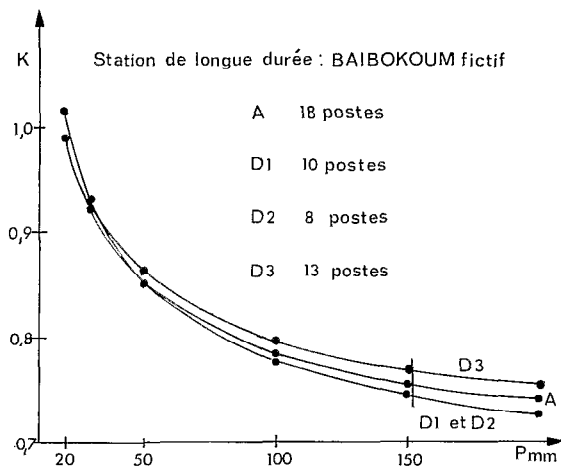
###### 4.1.2. Influence du nombre de postes à surface donnée (fig. 9)

A partir de l'ensemble A de 18 postes et en utilisant exclusivement des postes pris parmi l'effectif initial, par conséquent sans introduire de population étrangère à l'échantillon de base, nous avons constitué trois ensembles de même tracé périphérique (donc de même superficie, 145 km<sup>2</sup>), mais à effectif différent, respectant le rapport limite des aires d'influence. Le nombre de postes a donc varié de 18 (ensemble A, densité 1 poste pour 8 km<sup>2</sup>), à 8 (D 2, 1/18 km<sup>2</sup>), en passant par 10 (D 1, 1/14,5 km<sup>2</sup>) et par 13 (D 3, 1/11 km<sup>2</sup>). Quelle que soit la station de longue-durée utilisée, la valeur obtenue sur les quatre ensembles est remarquablement stable, puisqu'elle n'oscille que de  $\pm 1,5\%$  autour de celle due à l'emploi de l'effectif maximal. Rappelons que, théoriquement, le coefficient d'abattement devrait croître en même temps que diminue le nombre de postes, puisqu'à la limite, il doit être égal à 1 lorsque l'effectif est réduit à 1 poste ; dans cette optique, et si l'on ne juge que les positions relatives des courbes, D 3 a un comportement normal par rapport à A, mais D 1 et D 2 ont des coefficients d'abattement sous-estimés, de 0,03 ou 0,04 à fréquence décennale. Nous verrons d'ailleurs qu'avec de tels effectifs de 8 et 10 postes, les courbes induites auraient pu se situer dans une fourchette de 0,10 à 0,15, sans que cela soit explicable autrement que par l'insuffisance de l'échantillon.



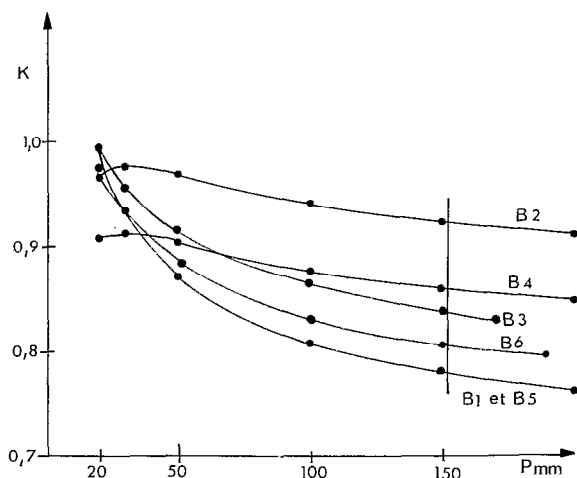
Bassin du Risso

Fig. 8. — Ensemble A (18 postes)



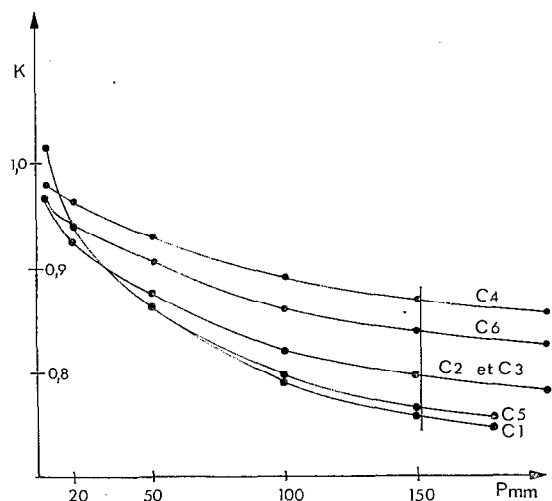
Bassin du Risso

Fig. 9. — Influence du nombre de postes à surface donnée



Bassin du Risso

Fig. 10. — Série B (9 postes)



Bassin du Risso

Fig. 11. — Série C (9 postes)

#### 4.1.3. Influence du relief, de l'exposition et de la forme (fig. 10 et 11)

Nous avons exposé (3.1.3. b) le principe de formation des séries B et C de sous-bassins du Risso (superficies de 67 à 77 km<sup>2</sup>) ; rappelons que la série B est relative à la différenciation amont (numéros impairs), aval (numéros pairs) et la série C à l'opposition rive droite (relief modéré, numéros impairs), rive gauche (relief accidenté, numéros pairs). En première analyse, on constate que le coefficient d'abattement est plus faible à l'amont (0,78 pour B 1 et B 5) et en rive droite (0,76 pour C 1 et C 5), qu'en aval (0,92 pour B 2) et qu'en rive gauche (0,84 pour C 6). Pour des résultats semblables, il y a donc mélange de forme et de relief ; l'explication la plus correcte de cette confusion nous semble être l'exposition aux vents dominants de saison des pluies qui, en cette région, sont principalement de nord-est. En conséquence, les bassins abrités de plaine et les bassins sous le vent, bénéficieraient d'un régime pluviométrique plus stable et abattraient donc moins que les bassins d'amont balayés latéralement et

que les bassins au vent. Mais cette prépondérance combinée de l'exposition et du relief n'est pas systématiquement confirmée sur tous les sous-bassins ; on assiste, en fait, à une grande dispersion des résultats (de l'ordre de 0,14) due sans doute principalement au facteur exposition-relief, mais aussi à la faiblesse de l'échantillon. Cette dispersion se retrouve dans la série E (fig. 12) de 12 sous-bassins constitués de 9 postes, à superficies semblables. E 9 et E 12 représentent la fourchette des résultats obtenus avec cette série ; la tendance à l'accroissement du coefficient d'abattement avec la protection aux vents dominants est confirmée par E 9 qui s'apparente à B 2, approximative pour E 3 analogue à C 4, et infirmée (différence de 0,10) pour E 12 qui ressemble à B 4.

L'influence de la forme des sous-bassins n'a pas pu être mise en évidence malgré la complexité de certains tracés (en série C en particulier) en raison de ce que nous croyons être la prépondérance du facteur exposition-relief ; cette pseudo-absence d'influence, valable pour des bassins de cet ordre de grandeur (environ 70 km<sup>2</sup>) ne serait peut-être pas vérifiée pour de plus grands bassins.

#### 4.1.4. Influence de la masse de l'échantillonnage, à densité et durée constantes (fig. 13)

Ce point a été ébauché dans le paragraphe précédent lorsque nous n'avons pu expliquer certaines dispersions ou disparités des résultats que par la faiblesse de l'échantillonnage, les sous-bassins n'étant que de 9 postes. Ici, nous considérons les quatre séries F, G, H, J ayant formé 18 sous-bassins de 13 postes et de superficies 100 à 108 km<sup>2</sup>, représentant naturellement toutes les possibilités de relief et d'exposition. On constate un resserrement très net de la fourchette des résultats puisque 16 des 18 sous-bassins ont un coefficient d'abattement variant de 0,75 à 0,80 pour la précipitation de fréquence décennale ; seuls deux bassins de la série F (F 3 et F 5) se situent au-dessus de la branche supérieure de la fourchette, confirmant pour l'un (F 3 analogue à C 4) et infirmant pour l'autre (F 5 semblable à B 1) l'hypothèse de l'influence relief-exposition ; nous ne considérerons cette information isolée que comme une exception à la règle. Ce laminage important des résultats résulte sans doute pour une part de l'atténuation des caractéristiques de relief et d'exposition ; en effet, s'il est aisé, sur un ensemble donné de 18 postes, de former des sous-bassins de 9 postes totalement sous le vent ou totalement au vent, il est plus difficile d'en constituer de 13 postes à caractère aussi marqué. Mais l'expérience future, sur des ensembles sans relief, nous prouvera qu'il s'agit en fait d'une amélioration provenant de l'accroissement de la population.

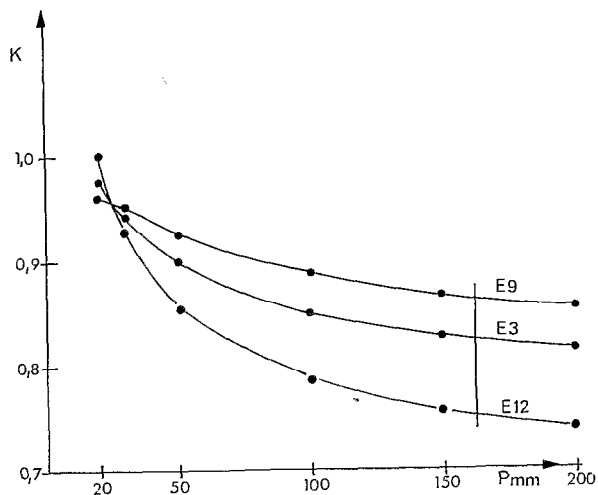
#### 4.1.5. Influence du nombre d'années

Les influences relief-exposition, forme, masse d'échantillonnage peuvent être de nouveau mises en évidence à l'aide des résultats obtenus sur la partie nord-ouest du bassin du Risso où les observations ont été effectuées pendant 4 campagnes. La figure 14 présente quelques courbes relatives à des sous-bassins de ce sous-ensemble nord-ouest. Rappelons que :

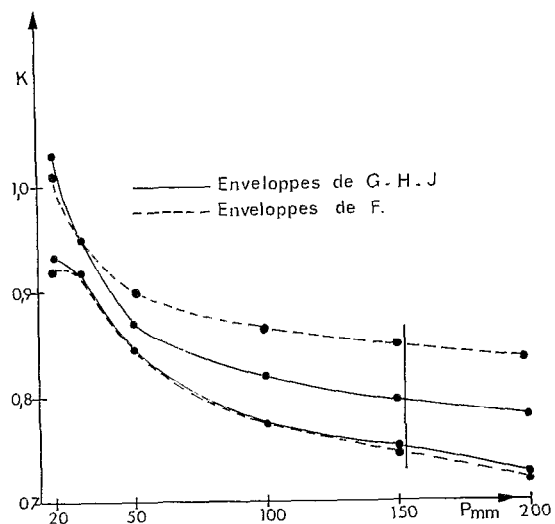
- nord-ouest 1 est le sous-ensemble de 23 postes (26,3 km<sup>2</sup>), de forme très allongée, parallèlement aux vents dominants et couvrant le bassin hydrologique S 3,
- nord-ouest 2 est la partie orientale (9 postes, 9,7 km<sup>2</sup>), située sous le vent et correspondant au bassin S 2,
- nord-ouest 4 est la partie occidentale (13 postes, 15,3 km<sup>2</sup>), située au vent,
- nord-ouest 3 (9 postes, 9,6 km<sup>2</sup>) fait partie de nord-ouest 4,
- nord-ouest A est formé à partir de 8 postes (62 km<sup>2</sup>) appartenant conjointement à l'ensemble A et au sous-ensemble nord-ouest, et s'apparente aux sous-bassins B 1 et B 5 de l'ensemble A.

En suivant l'ordre de croissance de l'abattement obtenu avec les quatre années d'observation, on vérifie l'influence de l'exposition (entre nord-ouest 2 et nord-ouest 3) bien qu'atténuée par le fait qu'ils se situent tous deux à l'amont de l'ensemble A. On constate également une influence de la forme, nord-ouest 1 abattant plus que nord-ouest (A), bien que de superficie nettement inférieure ; la courbe de nord-ouest (A) peut être considérée comme significative, la durée des observations compensant le faible nombre de postes.

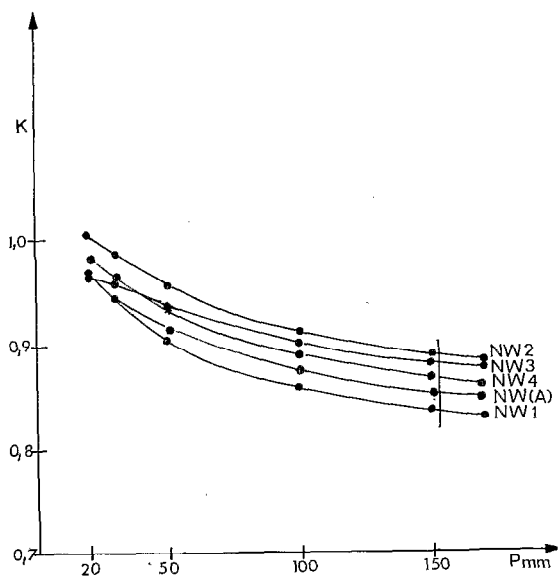
Cette durée des études est d'ailleurs un facteur de stabilité important ainsi que l'indique le faisceau des courbes relatives à nord-ouest 4 (fig. 15) ; la fourchette de 0,06 à fréquence décennale ne semble pas importante, mais il ne faut pas perdre de vue qu'elle concerne un bassin à très forte densité (1 poste pour 1,2 km<sup>2</sup>) donc à variabilité inter-postes « a priori » réduite, et surtout de très faible superficie (15,3 km<sup>2</sup>) où les valeurs du coefficient d'abattement devraient être très proches de l'unité. Si au lieu de prendre en compte le résultat obtenu sur quatre ans (K = 0,87) nous retenions le résultat K = 0,83 tiré des trois années communes à l'ensemble A ayant servi aux démonstrations précédentes (4.1.2. à 4.1.4.), l'écart à l'unité aurait été accru de 30%, ce qui constitue une marge d'erreur inacceptable. Sur les autres sous-bassins, la dispersion est d'autant plus grande que l'effectif est faible : écart maximal de 0,02 sur nord-ouest 1 (23 postes), de 0,06 à 0,10 sur les sous-bassins de 9 postes.



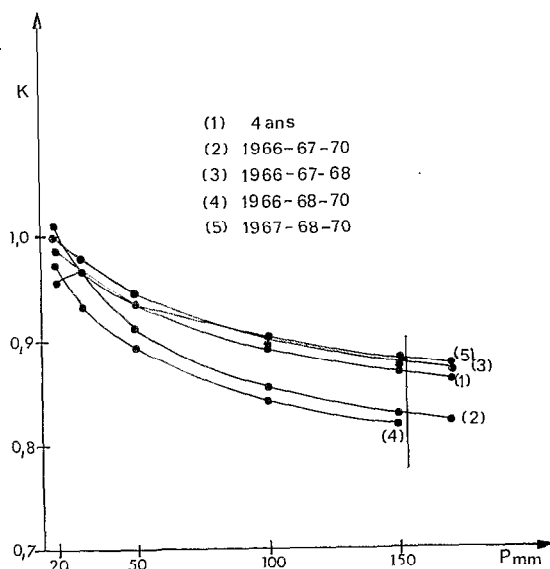
Bassin du Risso  
Fig. 12. — Série E (9 postes)



Bassin du Risso  
Fig. 13. — Séries F - G - H - J (13 postes)



Bassin du Risso  
Fig. 14. — Série nord-ouest (4 ans)



Bassin du Risso  
Fig. 15. — Sous-bassin nord-ouest 4 (13 postes)

## 4.2. AUTRES BASSINS

Reprenons, point par point, les influences relatées, lors de l'analyse de l'étude intensive menée sur le bassin du Risso.

4.2.1. *Influence de la loi de distribution de la station de longue-durée*

Tous les résultats confirment la variation du coefficient d'abattement dans le même sens que celle du paramètre de forme  $\gamma$  : ceci est particulièrement net pour le bassin du Ghorfa (fig. 16) où une précipitation de 100 mm sur l'ensemble A (15 postes, 1 264 km<sup>2</sup>) présente un coefficient d'abattement de 0,70 lorsqu'on utilise la loi réelle de distribution de M'Bout ( $\gamma = 1,08$ ) et de 0,61 avec la loi fictive ( $\gamma = 0,7$ ) de cette même station de longue durée. Cette grande différence des paramètres de forme entraînant une variation concomitante de la précipitation de fréquence donnée, les coefficients d'abattement correspondant à l'averse décennale deviennent respectivement 0,72 et 0,58 ; cette différence de 0,14 se traduit par un accroissement de 50% de l'écart à l'unité.

Par ailleurs, on constate (fig. 20 et 21) que l'utilisation de la loi de distribution fictive, non seulement conduit à l'obtention de résultats plausibles, mais encore tend à resserrer le faisceau des courbes des sous-bassins comparables ; avec la loi réelle, on observe une grande dispersion pouvant aller jusqu'à l'inversion du phénomène : croissance du coefficient d'abattement en même temps que la pluie ponctuelle avec dépassement de la valeur unité, ce qui est tout à fait incohérent.

4.2.2. *Influence du nombre de postes à surface donnée*

Cette influence n'a pas été recherchée sur des bassins autres que celui du Risso, les conditions d'effectif minimal n'ayant pas été réunies. En effet, devant la dispersion enregistrée avec des bassins de 10 postes, il aurait fallu, pour que l'expérience fut probante, posséder un réseau d'au moins 20 postes pour constituer des effectifs de 20, 18, 15 et 13 postes. Avec des effectifs plus faibles, nous avions autant de chances d'obtenir des résultats cohérents (comme sur le bassin du Risso) que des résultats totalement dépourvus de signification. En conséquence, nous ne pouvons que recommander l'utilisation de l'effectif maximal compatible avec la densité du réseau.

4.2.3. *Influence du relief, de l'exposition et de la forme*

La recherche de l'influence du relief et de l'exposition n'a pas d'objet, puisque sur aucun des bassins, nous n'avons de relief, aussi marqué que sur le bassin du Risso et qu'en terrain non accidenté, le terme d'exposition n'a pas de signification. Par ailleurs, nous avons évité de constituer des sous-bassins de forme irrégulière, la dispersion des résultats étant suffisamment importante pour ne pas introduire un facteur supplémentaire de trouble.

4.2.4. *Influence de la masse de l'échantillonnage, à densité et durée constantes*

Toutes nos expérimentations confirment un des points fondamentaux mis en évidence au cours de l'étude intensive : quelle que soit la durée des études, mais surtout si elles ne couvrent que trois campagnes d'observation, il est illusoire d'entreprendre une étude d'abattement avec un effectif de 10 postes, et peu indiqué de le faire avec un effectif de 12 postes ; nous pensons que la valeur optimale pourrait se situer à 15 postes et plus, comme le prouvent les exemples suivants :

— figure 16, remarquable stabilité (écart de 0,02) pour les trois ensembles A, B et C du bassin du Ghorfa (15 postes, 1 264 km<sup>2</sup>),

— figure 18, augmentation de la zone d'incertitude (écart de 0,05) pour les ensembles de la série D (12 postes, environ 1 400 km<sup>2</sup>),

— figure 19, très grande dispersion (écart de 0,14) pour les ensembles de la série E (10 postes, environ 1 600 km<sup>2</sup>),

— figure 17, parmi les sous-bassins formés à partir de l'ensemble A de 1 264 km<sup>2</sup>, dispersion de 0,05 pour les sous-bassins de 12 postes (environ 1 000 km<sup>2</sup>) et de 0,15 pour les sous-bassins de 10 postes (environ 860 km<sup>2</sup>),

— figure 24 (bassin du Bam-Bam) et figure 25 (bassin de l'Amitioro), on constate l'élargissement considérable de l'éventail des résultats (de 0,03 à près de 0,20) lorsque l'on diminue l'effectif de 12 à 10 postes.

4.2.5. *Influence du nombre d'années*

Parmi les bassins sélectionnés pour l'étude extensive, seul celui du Bam-Bam a été observé pendant quatre campagnes. Le paramètre de forme  $\gamma$  étant de 0,664, seuls l'ensemble A (1 225 km<sup>2</sup>, 15 postes), 3 sous-bassins de 12 postes (environ 1 000 km<sup>2</sup>) et 5 sous-bassins de 10 postes (environ 820 km<sup>2</sup>) ont été traités avec une loi de distribution fictive ( $\gamma = 0,7$ ), et ceci exclusivement pour la période globale des quatre années. Nous n'utiliserons donc



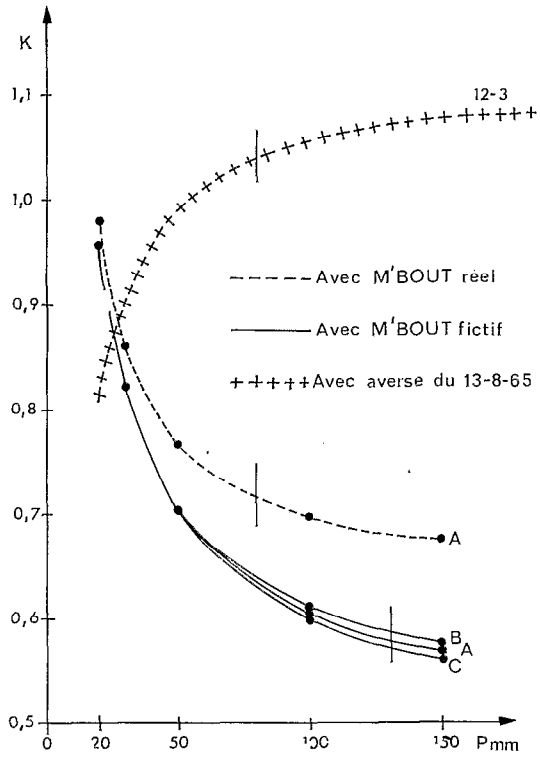


Fig. 16. — Bassin du Ghorfa

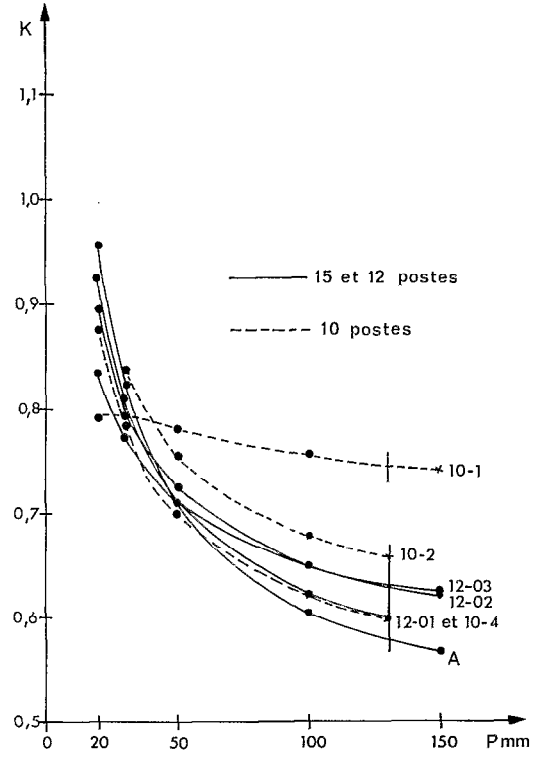
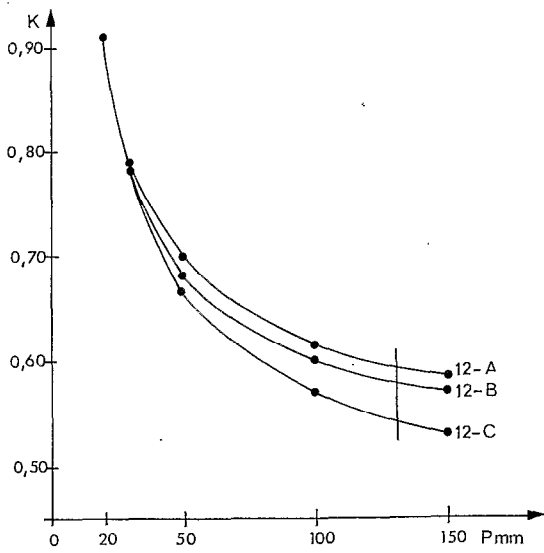
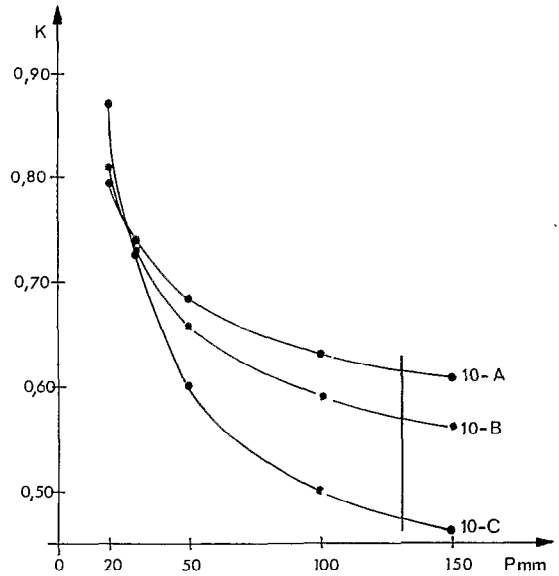


Fig. 17. — Bassin du Ghorfa



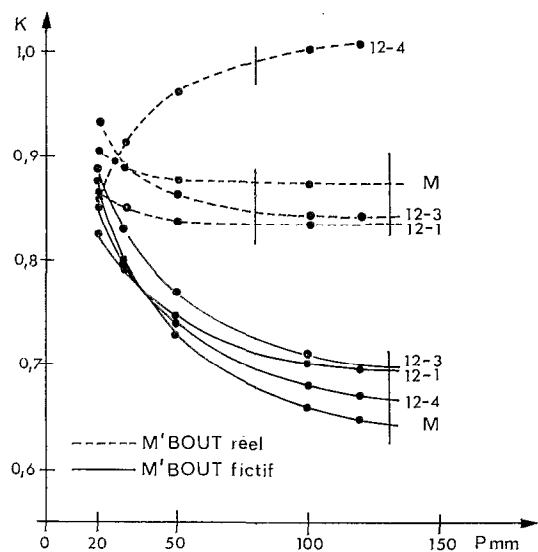
Bassin du Ghorfa  
Fig. 18. — Série D (12 postes)



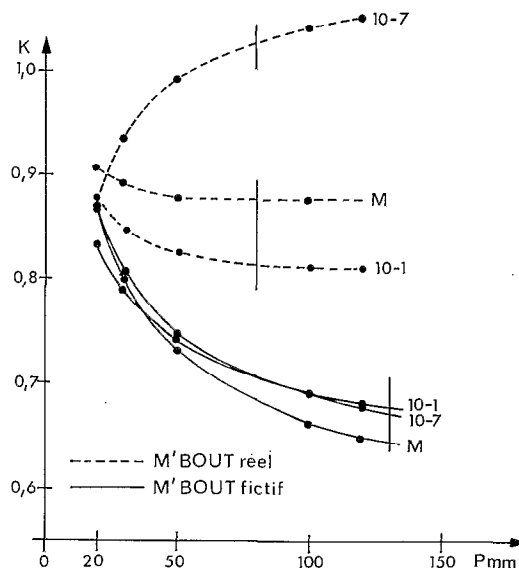
Bassin du Ghorfa  
Fig. 19. — Série E (10 postes)

que les résultats en loi réelle pour les comparaisons par groupe de trois ans ; l'écart entre les paramètres de forme  $\gamma$  réel et fictif étant faible (0,036), une distorsion analogue à celle observée sur le bassin du Ghorfa (où l'écart était de 0,38) n'est pas à craindre, ainsi qu'on peut le voir figure 22. On remarquera sur cette même figure que la zone de variabilité pour les divers groupes de trois années est de 0,10 à précipitation décennale, soit à environ  $\pm 0,05$  autour de la courbe représentative de l'étude de quatre ans.

Cette variation de 0,10, somme toute assez faible, eu égard à la superficie de l'ensemble, est à comparer à celle obtenue (0,06) sur un sous-bassin du Risso, de très faible superficie (cf. 4.1.5.). Mais ce résultat très favorable est hasardeux ; en effet, l'ensemble B de ce même bassin du Ghorfa (15 postes dont 11 communs à l'ensemble A, 1 100 km<sup>2</sup>) présente un faisceau beaucoup plus large, avec un écart de 0,15 à même fréquence (fig. 23). Tout ce qui précède concerne des ensembles de 15 postes ; lorsque l'effectif décroît, la dispersion se réduit considérablement pour les sous-bassins de 12 postes lorsque l'on prend en compte les quatre années d'observation, mais elle reste très importante pour les sous-bassins de 10 postes (fig. 24) ; ce qui conforte nos conclusions tirées de l'étude intensive, à ce sujet, incitant à prendre en compte un minimum de quatre années d'étude pour entreprendre la recherche de l'abattement sur un bassin, quels qu'en soient la superficie et la densité de l'appareillage.



Bassin du Ghorfa  
Fig. 20. — Série M (15 et 12 postes)



Bassin du Ghorfa  
Fig. 21. — Série M (15 et 10 postes)

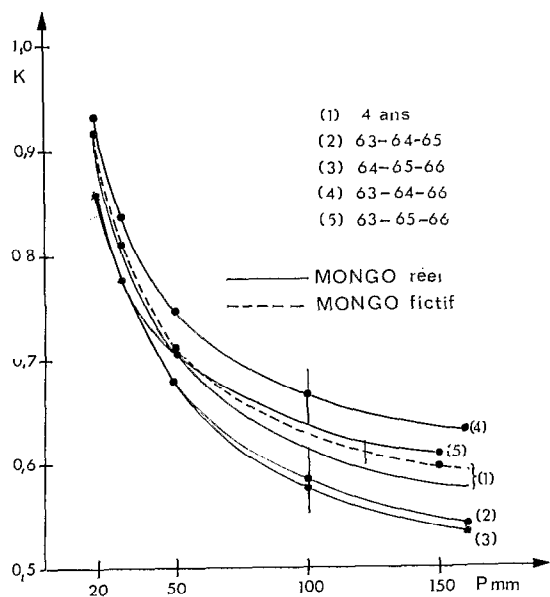
#### 4.3. AUTRES SINGULARITÉS

Deux autres causes de variation du coefficient d'abattement à fréquence donnée n'ont été mises en évidence qu'au cours de l'étude extensive, parce que la nature des données du bassin du Risso ne permettait pas de les distinguer plus tôt.

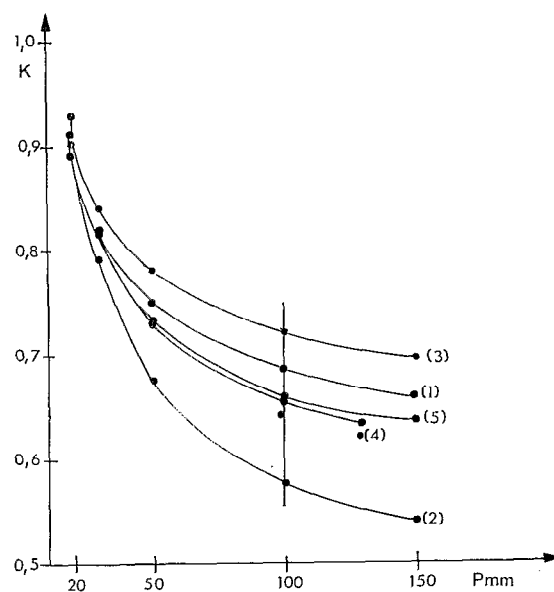
##### 4.3.1. Influence du choix des postes

Le choix des postes est généralement restreint sur un bassin, la sélection de l'effectif minimal étant liée à la représentativité (aire d'influence) des appareils et à la qualité de l'information, mais aussi à la quantité disponible. Lorsque celle-ci est suffisante, il est toujours possible d'utiliser tel poste plutôt que tel autre situé à proximité ; théoriquement, de telles permutations ne devraient pas modifier sensiblement les résultats, pour autant qu'elles ne soient pas trop nombreuses, et que l'effectif du réseau d'observation soit suffisamment important. C'est ce que nous avons généralement constaté en pratique :

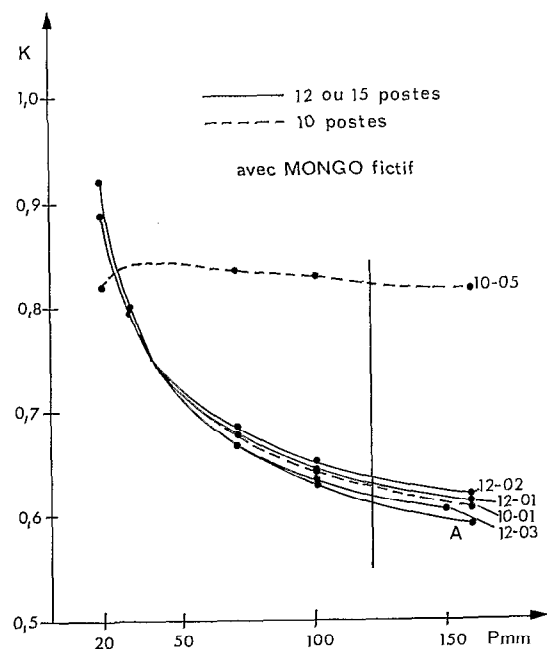
— la variabilité est insignifiante (0,020) sur le bassin du Ghorfa (15 postes, 1 264 km<sup>2</sup>), en ne jouant que sur 3 postes de l'intérieur (fig. 16),



Bassin du Bam-Bam  
Fig. 22. — Ensemble A (15 postes)



Bassin du Bam-Bam  
Fig. 23. — Ensemble B (15 postes)



Bassin du Bam-Bam  
Fig. 24. — Série A (15 postes) 4 ans

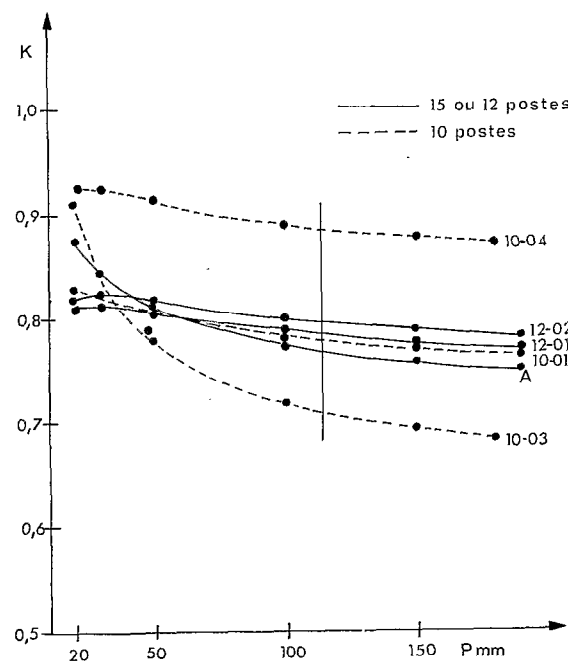


Fig. 25. — Bassin de l'Amitiéro

— la dispersion augmente (0,05) sur le même bassin, en conservant 10 postes communs sur 12 (superficie d'environ 1 400 km<sup>2</sup>), en 3 essais dans la série D (fig. 18),

— la dispersion est considérable (0,14) sur le même bassin (superficie d'environ 1 600 km<sup>2</sup>), équipé de 10 postes dont 6 communs à 3 essais dans la série E (fig. 19).

En première analyse, on peut considérer que l'instabilité tient encore plus au nombre de postes qu'à leur permutation, c'est-à-dire à leur choix, surtout dans le cas d'un bassin tel que celui du Ghorfa, observé seulement trois ans.

Par contre, si l'on observe les résultats obtenus sur les ensembles A (1 225 km<sup>2</sup>, fig. 22) et B (1 100 km<sup>2</sup>, fig. 23), du bassin du Bam-Bam, équipés de 15 postes dont 11 sont communs aux deux ensembles, on constate que les différences sont assez marquées, largement supérieures à ce qu'autorise la modification de superficie, ceci même après quatre années d'observation (écart de 0,07) ; comparés deux à deux, les résultats relatifs aux groupes de trois années présentent un écart variant de zéro (années 1963-1964-1965) à 0,15 (années 1964-1965-1966) ; cette variabilité pourrait s'expliquer par le fait qu'en 1966, les quatre postes introduits dans B ont reçu des précipitations nettement plus élevées que les quatre postes enlevés de A, et que nous avons dû estimer plusieurs événements importants sur ces 4 postes de l'ensemble B. Ces estimations, bien qu'effectuées rigoureusement, sont donc, à notre avis, susceptibles d'introduire des distorsions dans le résultat final.

#### 4.3.2. Influence des averses de fréquence rare

La présence parmi les données d'une précipitation de fréquence faible peut provoquer l'obtention de résultats ambigus ou totalement erronés de par le poids de cette averse dans l'ajustement ; les résultats sont d'autant plus incohérents que cette averse rare est très nettement supérieure à toutes les autres précipitations enregistrées et qu'il n'existe aucune averse de moyenne importance pouvant servir de support intermédiaire à l'ajustement. C'est le cas, notamment :

— du bassin de Boulsa (91,4 km<sup>2</sup>) ; une averse moyenne d'environ 180 mm (alors que l'averse centennale est de 132 mm à Koupela), enregistrée le 18 août 1962, a été éliminée des données car elle induisait un coefficient d'abattement supérieur à l'unité sur les sous-bassins les plus arrosés, et logique sur les autres sous-bassins,

— du bassin du Ghorfa (1 264 km<sup>2</sup>) ; l'averse du 13 août 1965 (de 50 à 147 mm, alors que l'averse centennale est de 113 mm à M'Bout) a été écartée pour la même raison (fig. 16).

Cette suppression a nécessité une légère modification du programme automatique de traitement : la valeur initiale de la pluie moyenne pour l'ajustement des paramètres de la loi exponentielle fixée à 40 mm (cf. 1.3.) était, après élimination de l'averse rare, supérieure à la pluie moyenne maximale enregistrée sur certains sous-bassins ; en conséquence, nous avons abaissé cette valeur initiale à 30 mm. Pour les sous-bassins qui, eux, avaient dépassé cette valeur fatidique de 40 mm, nous avons calculé l'abattement avec les deux valeurs initiales de 40 et 30 mm ; les résultats obtenus sont identiques, ce qui est réconfortant.

Les averses de faible fréquence auraient pu être conservées en modifiant l'exposant de pondération (paragr. 1.3.) pour donner moins de poids à celles-ci, mais cela nous aurait entraîné dans une digression inutile et compliquée.

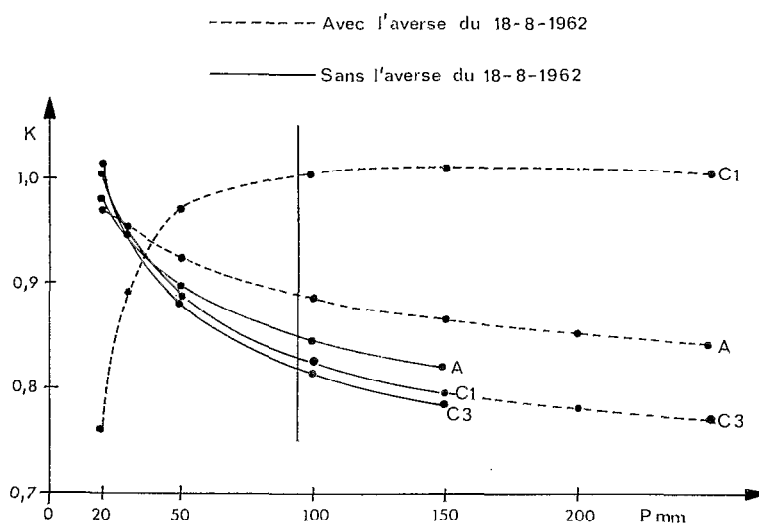


Fig. 26. — Bassin de Boulsa

## 5. ESSAI DE SYNTHÈSE

Parmi les facteurs de variation du coefficient d'abattement, le premier que nous ayons cité (paragr. 2.1.1.) comme étant intuitivement admis est la superficie. En conséquence, dans le développement du chapitre 4 consacré à l'analyse des résultats, nous avons évité de quantifier les résultats obtenus, nous limitant à indiquer des écarts à superficies égales ou comparables.

À présent que nous sommes en possession de tous les résultats précédemment exposés, nous pouvons tenter de dégager graphiquement des lois de variation applicables à toute l'Afrique intertropicale, caractéristiques de l'averse décennale au moins, et au mieux propres à toute récurrence comprise entre 2 et 50 ans.

Pour mener à bien cette synthèse, il convenait auparavant de sélectionner tous les résultats présentant un degré certain de fiabilité. L'idéal eût été de ne retenir que les résultats relatifs à des bassins présentant un effectif minimal de 15 postes ; dans ce cas, l'éventail aurait été trop restreint, et nous aurait interdit de conclure avec sûreté. En conséquence, si nous avons écarté catégoriquement les bassins de 10 postes, nous avons dû utiliser ceux de 12 ou 13 postes ; pour une superficie et un ensemble donnés, le nombre de sous-bassins de 12 ou 13 postes est toujours suffisamment important pour nous permettre d'utiliser la valeur médiane des résultats relatifs à ces sous-bassins.

Ainsi que nous l'avons indiqué au cours de l'étude (paragr. 2.1.2. d), nous ne tiendrons compte que des résultats obtenus avec les lois fictives de distribution des stations de longue-durée, afin d'éliminer un paramètre d'une part, mais aussi parce que l'exploitation des résultats induits des lois réelles est inextricable. Par contre, les chiffres retenus pour le bassin de l'Amitioro sont les moyennes des résultats provenant des lois réelles de Divo ( $\gamma = 0,75$ ,  $s = 18,0$ ) et d'Agboville ( $\gamma = 0,65$ ,  $s = 17,5$ ) ; ces moyennes peuvent être considérées comme équivalentes aux résultats moyens que nous aurions obtenus avec des lois fictives ( $\gamma = 0,7$  et  $s$  égale respectivement 19,3 et 15,5).

L'ensemble des résultats sélectionnés est présenté dans le tableau IX, résultats relatifs aux précipitations ponctuelles de fréquences décennale (où la fourchette est indiquée si elle existe), biennale et cinquanteennale.

TABLEAU IX  
SÉLECTION DES RÉSULTATS POUR L'ESSAI DE SYNTHÈSE

Bassin	Ensembles et sous-bassin	Surface (S) km <sup>2</sup>	N°	Récurrence 10 ans			2 ans		50 ans	
				Averse mm	K	Fourchette	Averse mm	K	Averse mm	K
Risso	A	145	1	152	0,755		116	0,773	188	0,741
	G H J	103	2		0,765	0,743-0,795		0,781		0,748
	NW 1	26,3	3		0,835			0,850		0,825
	NW 4	15,3	4		0,868			0,881		0,854
Ghorfa	A B C	1 264	5	131	0,580	0,573-0,589	97	0,609	166	0,563
	D	1 425	6		0,586			0,611		0,565
	M	243	7		0,642			0,664		0,630
	12 postes	195	8		0,670	0,636-0,694		0,690		0,661
Bam-Bam	A	1 224	9	122	0,611		94	0,631	150	0,595
	12 postes	988	10		0,630	0,620-0,637		0,648		0,616
Amitioro	A	206	11	110	0,775		83	0,790	138	0,765
	12 postes	166	12		0,803	0,790-0,813		0,812		0,796
Boulsa	A	91,4	13	146	0,822		112	0,830	181	0,812

A l'issue de nos recherches, nous avons pu constater qu'il n'existe pas de relation universelle directe, linéaire ou autre, entre le coefficient d'abattement et la superficie, que celle-ci soit exprimée directement ou par l'intermédiaire du rayon du cercle équivalent, en échelle arithmétique ou logarithmique. Par contre, il est possible d'établir une relation simple pour chaque bassin, puis d'établir une liaison entre les paramètres de chaque relation simple par l'intermédiaire de caractéristiques de chaque bassin.

Plutôt que de déterminer les relations multiples entre le coefficient d'abattement à fréquence décennale et la superficie (exprimée en une quelconque échelle), puis d'établir une première fonction de passage à la fréquence biennale et une deuxième à la fréquence cinquantennale, il s'est avéré beaucoup plus simple de traiter le problème globalement.

Le processus a été le suivant :

### 5.1. RECHERCHE DU FACTEUR PRINCIPAL DE VARIATION A FRÉQUENCE DÉCENNALE

Il s'agit incontestablement de  $\log S$ . Nous avons donc pointé sur un graphique  $K$  ( $\log S$ ) les 13 événements sélectionnés (fig. 27) ; pour chaque bassin, nous avons tracé la droite enveloppe et la droite moyenne. On remarquera que toutes ces droites convergent à  $S = 1 \text{ km}^2$  et  $K = 1$  ; la convergence en ce point peut paraître subjective, mais d'une part, nous n'en avons pas trouvé de meilleure, et d'autre part, cela nous conduisait à une relation simple pour un bassin donné :

$$K = (a + \varepsilon) \log S + 1.$$

Pour une fréquence donnée, ce qui est le cas de la figure 27, on constate immédiatement que chaque bassin peut être caractérisé par un seul paramètre, la pente  $a$ . Plutôt que d'établir aussitôt une relation entre les pentes relatives à chaque bassin à cette fréquence, nous avons préféré examiner d'abord le facteur récurrence ; pour cela, nous avons établi les mêmes graphiques (droites enveloppes et moyennes) pour les récurrences 2 et 50 ans. Nous ne présentons pas ces graphiques qui sont identiques au précédent, aux pentes des droites près, celles-ci augmentant naturellement en valeur absolue en même temps que la récurrence.

### 5.2. RECHERCHE D'UN FACTEUR SECONDAIRE LIÉ A LA RÉCURRENCE

C'est tout simplement le logarithme de la récurrence elle-même (fig. 28). Les points sur lesquels s'appuient les différentes droites de ce graphique  $K$  ( $\log r$ ) sont les coefficients d'abattement extraits des trois graphiques  $K$  ( $\log S$ ) pour les récurrences 2, 10 et 50 ans par l'intermédiaire des droites moyennes de chaque bassin, ceci pour des surfaces de 10, 100 et 1 000  $\text{km}^2$ . Les points représentatifs du bassin de Boulsa n'ont pas été portés parce qu'ils sont pratiquement confondus avec ceux de l'Amitioro. On voit immédiatement qu'entre les récurrences 2 et 50 ans, les points de chaque bassin s'alignent presque parfaitement à surface donnée ; en réalité, il ne s'agit pas d'une droite, mais d'une courbe à faible concavité tournée vers le bas, ainsi que l'indiquent les points du bassin du Ghorfa, pour  $S = 1\,000 \text{ km}^2$ , aux récurrences 1 et 100 (voir fig. 28) ; en conséquence, nous n'extrapolerons pas en-deçà de 2 ans et au-delà de 50 ans. On remarque aussi qu'à surface donnée, la pente des droites est variable suivant les bassins et que pour un bassin donné cette pente diminue (en valeur absolue) avec la surface. Sur ce même graphique  $K$  ( $\log r$ ), on peut retrouver la relation précédemment établie  $K$  ( $\log S$ ) en suivant sur une verticale (donc pour une récurrence donnée) la succession des points d'un même bassin à 1 000, 100 et 10  $\text{km}^2$  (et même à 1  $\text{km}^2$ ,  $K = 1$ ) et en constatant que les écarts entre les points successifs sont égaux.

Nous avons donc établi (fig. 27) :

$$K = (a \pm \varepsilon) \log S + 1 \quad a = \text{paramètre de bassin.}$$

Nous négligerons provisoirement  $\varepsilon$  (nous avons utilisé les droites moyennes), mais nous le réintroduirons ultérieurement.

Les écarts successifs que nous avons constatés égaux à récurrence donnée, sont représentatifs de la pente  $a$  (les logarithmes des surfaces 1, 10, 100 et 1 000  $\text{km}^2$  étant respectivement 0, 1, 2 et 3). Le fait que nous assimilions la courbe d'un bassin donné à une droite entre les récurrences 2 et 50 ans pour une surface et un bassin donnés, nous autorise à écrire :

$$a = \alpha \log r + \beta$$

$\alpha$  et  $\beta$  sont deux paramètres de bassin plus généraux que le paramètre  $a$ , puisque ce dernier varie avec la fréquence.

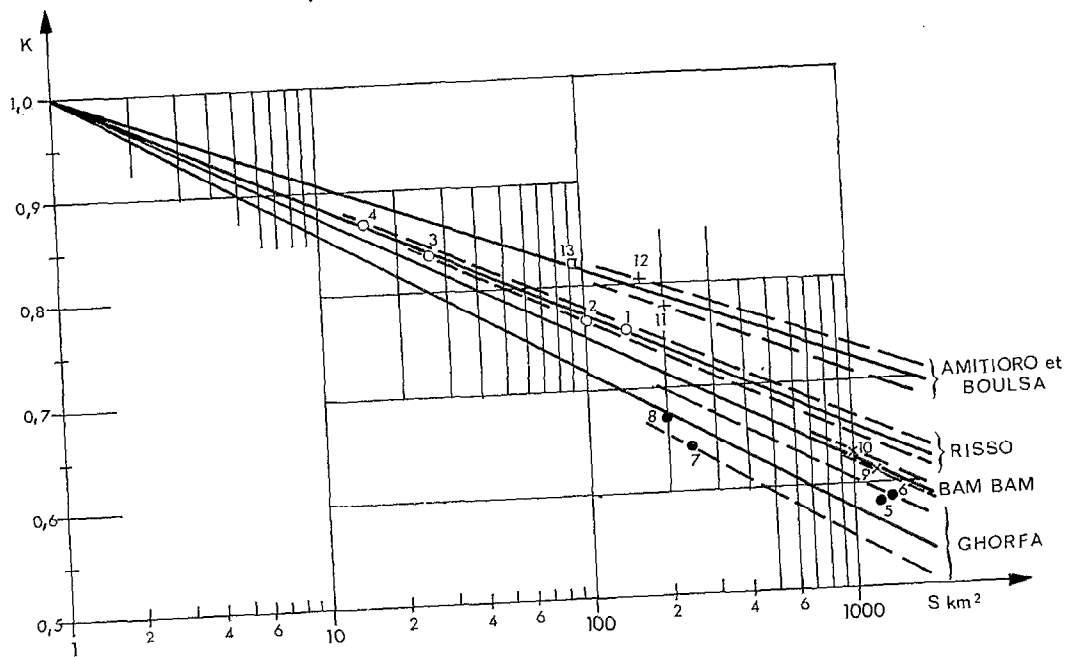


Fig. 27. — Variation du coefficient d'abattement avec la surface sur les précipitations de fréquence décennale

- RISSO
- GHORFA
- × BAM BAM
- + AMITIORO
- BOULSA

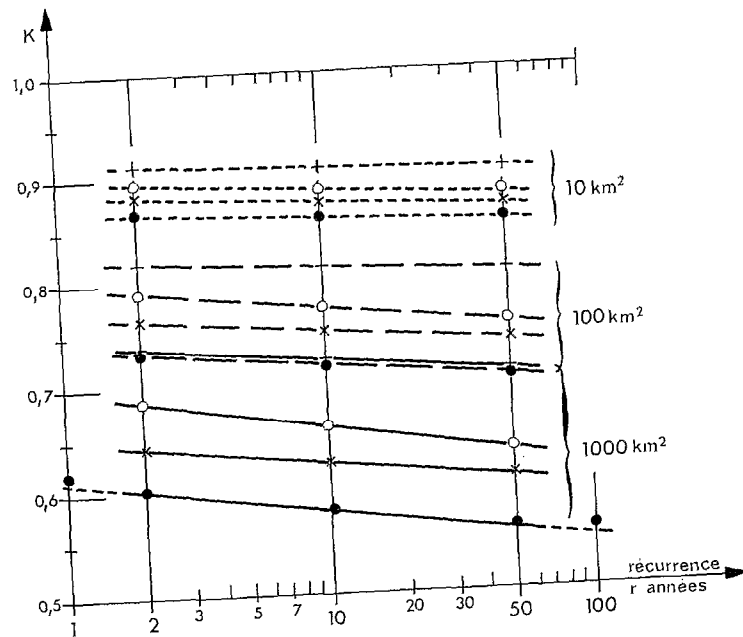


Fig. 28. — Variation du coefficient d'abattement avec la récurrence pour différentes surfaces

## 5.3. RECHERCHE DES RELATIONS LIANT LES PARAMÈTRES DE BASSIN

Nous avons donc la relation des droites moyennes :

$$K = 1 + (\alpha \log r + \beta) \log S.$$

Le coefficient d'abattement étant normalement inférieur à l'unité, nous avons modifié le signe du deuxième terme de sa fonction pour qu'elle apparaisse plus rationnelle :

$$K = 1 - (\alpha \log r + \beta) \log S.$$

Les points ayant servi à établir l'abaque  $K (\log r)$  pour différentes surfaces, nous permettent de calculer les valeurs des paramètres et caractéristiques de chaque bassin. Nous avons pu établir deux relations linéaires :

- d'une part, entre  $\alpha$  et le paramètre d'échelle fictif  $s$  de la station de longue durée du bassin,
- d'autre part, entre  $\beta$  et la pluie moyenne interannuelle  $P$  que l'on suppose raisonnablement affecter le bassin.

Les quatre données relatives à chaque bassin sont présentées dans le tableau X, les graphiques de correspondance  $\alpha (s)$  en figure 29 et  $\beta (P)$  en figure 30.

TABLEAU X  
LES PARAMÈTRES DE BASSIN ET LEURS COMPOSANTES

Bassin	$\alpha$	$s$	$\beta$	$P$ mm
Risso	0,0129	23,3	0,101	1 420
Ghorfa	0,0105	22,2	0,130	475
Bam-Bam	0,0081	18,2	0,117	835
Amitioro	0,0062	18,0	0,087	1 325
Boulsa	0,0066	22,9	0,085	775

La constante  $\varepsilon$  que nous avons négligée précédemment, réapparaît dans  $\beta (P)$ , figure 30. En effet, pour autant que notre faible échantillon nous permette de l'affirmer, il apparaît que la constante  $\varepsilon$  est indépendante de la récurrence  $r$ , c'est-à-dire que les droites-enveloppes que nous n'avons pas portées sur le graphique  $K (\log r)$ , figure 28, sont parallèles aux droites moyennes afférentes. En conséquence, pour un bassin et une surface donnés, les pentes des trois droites (enveloppes et moyenne) sont constantes et égales à  $\alpha$ ; et la variation n'apparaît que dans le deuxième terme  $\beta$ , de l'équation. Les intervalles de variation, reportés sur le graphique  $\beta (P)$ , permettent de tracer une droite moyenne et deux droites-enveloppes qu'en l'absence d'expérimentation plus importante, nous nous autoriserons à présumer parallèles.

Les équations des deux droites de régression sont les suivantes :

$$\alpha = (0,95 s - 10) \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = (-0,042 P + 152) \cdot 10^{-3}.$$

L'introduction de la constante  $\varepsilon$  d'indétermination sur  $\beta$  donne :

$$\beta = (-0,042 P + 152 \pm 10) \cdot 10^{-3}.$$

## 5.4. ÉTABLISSEMENT DE L'ÉQUATION GÉNÉRALISÉE

L'imbrication des relations établies nous donne :

$$K = 1 - [(0,95 s - 10) \log r - 42 \cdot 10^{-3} P + 152 \pm 10] 10^{-3} \log S$$



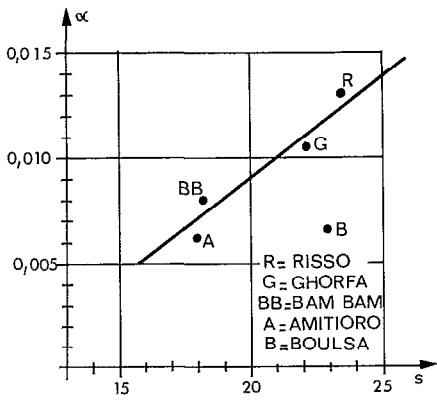


Fig. 29. — Variation du paramètre  $\alpha$  en fonction du paramètre d'échelle  $s$

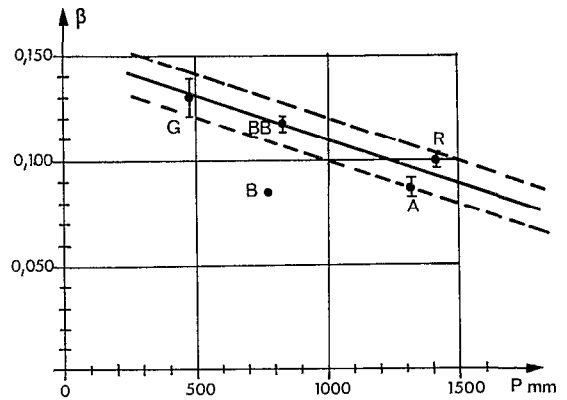


Fig. 30. — Variation du paramètre  $\beta$  en fonction de la pluviométrie moyenne interannuelle

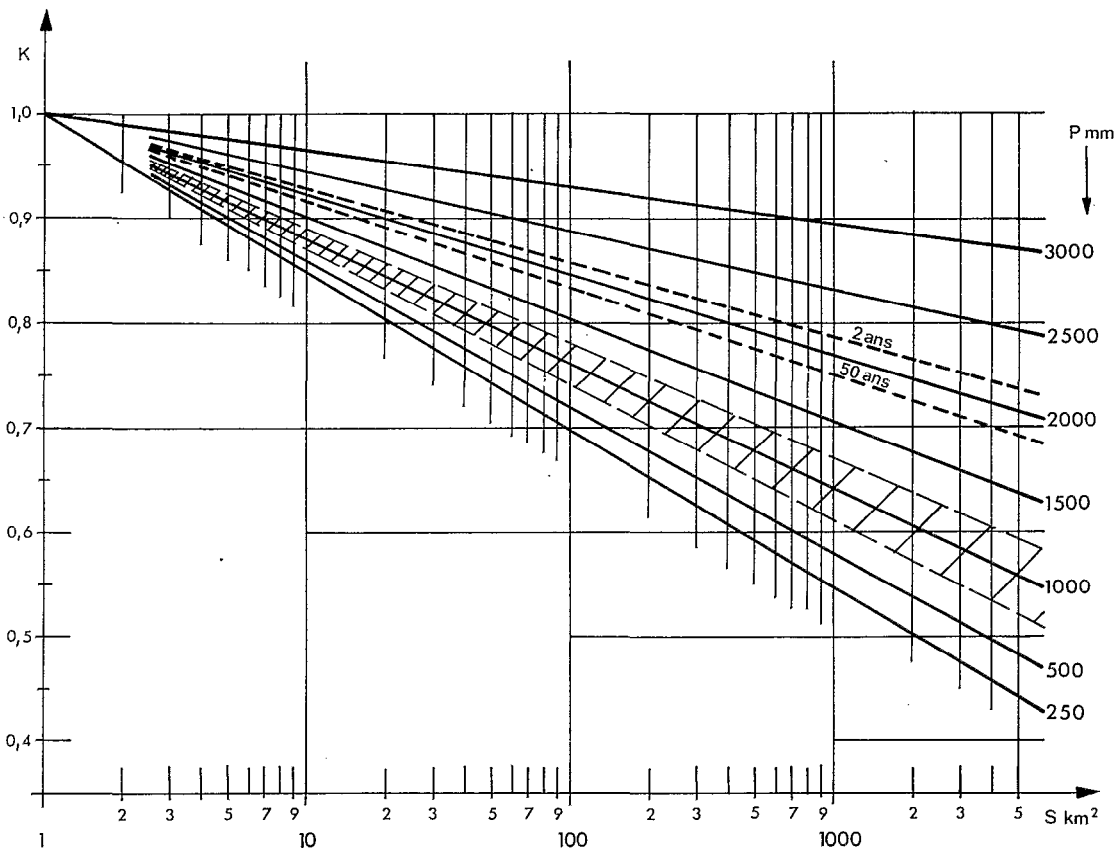


Fig. 31. — Variation du coefficient d'abattement avec la surface pour différentes pluviométries interannuelles (pour un paramètre d'échelle  $s = 20$ )

- K coefficient d'abattement, sans dimension, inférieur à 1,  
 s paramètre d'échelle fictif de la station de longue durée, sans dimension,  
 r récurrence de l'événement pour lequel K est calculé, en années,  
 P pluviométrie moyenne interannuelle du bassin, en mm,  
 S superficie du bassin, en km<sup>2</sup>.

En matière de conclusion, on a donc abouti à une équation générale de la forme :

$$K = 1 - [(bs + c) \log r - dP + e] f \cdot \log S$$

dans laquelle les paramètres b, c, d, e et f ont été estimés numériquement ci-dessus pour l'Afrique intertropicale.

Le coefficient d'abattement varie en sens inverse :

- du logarithme de la superficie considérée,
- du logarithme de la récurrence de la pluie journalière pour une superficie donnée,
- du paramètre d'échelle s (loi exponentielle des pluies journalières à la station de longue durée), pour une récurrence et une superficie données.

Le coefficient d'abattement varie dans le même sens que :

- la hauteur annuelle de précipitation pour une superficie donnée.

#### 5.4.1. Limites de l'équation généralisée

Tout ce qui vient d'être exposé serait excellent si les régressions s'appliquaient à tous les bassins étudiés sans aucune exception ; ce n'est malheureusement pas le cas, puisque le bassin de Boulsa semble aberrant (cf. fig. 29 et 30) sans que nous puissions donner d'explication satisfaisante. Peut-être pourrions-nous invoquer la faiblesse de l'échantillon (13 postes), mais ce facteur de distorsion ne peut pas avoir provoqué seul cette déviation ; en effet, l'emploi de la relation donnerait un résultat contenu dans la fourchette 0,72-0,76 à fréquence décennale, au lieu de 0,84, c'est-à-dire dans la bande du bassin du Ghorfa (cf. fig. 27). La suppression de l'averse moyenne de 180 mm (cf. 4.3.2.) n'est pas non plus une explication, puisqu'au contraire, elle a tiré vers le bas (cf. fig. 26), la courbe de variation K (P) ; à moins que cette suppression ne perturbe l'échantillon, mais alors, il faudrait aussi mettre en doute les résultats du bassin du Ghorfa et, par conséquent, retirer toute valeur à cette étude.

Par prudence, nous avons limité la variation de la récurrence aux bornes 2 et 50 ans (cf. 5.2.) parce qu'une régression linéaire ne pouvait s'appliquer en-deçà et au-delà ; néanmoins, et pour ce qui concerne les récurrences 1 et 100 ans, il est possible de faire une approximation acceptable en majorant de 0,01 les résultats obtenus par l'équation généralisée. C'est du moins ce qu'il ressort de notre expérimentation sur les cinq bassins étudiés ; il convient toutefois d'être prudent au niveau de ces récurrences, l'averse de fréquence annuelle s'appliquant à une zone de variation relativement rapide de la courbe K (P) et celle de fréquence centennale se situant à un endroit où nous avons dû extrapoler parfois fortement certaines courbes ; d'ailleurs, nous avons déjà précisé (paragr. 2.1.2. c) que l'élimination des averses exceptionnelles nous interdisait d'extrapoler vers les fréquences rares.

L'éventail des surfaces concernées par notre étude intéresse des bassins compris entre 15 et 1 425 km<sup>2</sup>. En l'absence d'expérimentation sur des superficies inférieures, on peut provisoirement admettre l'exactitude de la relation linéaire entre K et log S depuis le point de convergence des droites propres à chaque bassin, aux coordonnées (K = 1), (S = 1). Il est possible que l'abscisse de ce point de convergence soit différente (l'ordonnée restant logiquement K = 1) si, comme il l'a toujours été supposé, le coefficient d'abattement reste égal à l'unité pour des superficies inférieures à  $\pi$  km<sup>2</sup> (rayon équivalent 1 km). Il est possible aussi qu'il existe plusieurs points de convergence, la valeur respective de leurs abscisses pouvant dépendre des conditions climatiques, forme et intensité des précipitations en particulier. En dessous de 10 km<sup>2</sup>, il faudra donc estimer que les résultats de la relation universelle sont sous-estimés, d'autant plus que la superficie tend vers l'unité.

Au-delà de 1 425 km<sup>2</sup>, s'il est aisé d'extrapoler (et tentant de le faire en échelle logarithmique), il convient néanmoins d'être prudent. En effet, il ne faut pas perdre de vue le phénomène physique qu'est une précipitation, en particulier pour ce qui concerne l'instantanéité ; il est bien évident qu'une averse affectant un point d'un petit bassin aura statistiquement beaucoup de chances de frapper n'importe quel autre point de ce bassin ; il est non moins évident que cette espérance statistique diminuera en fonction de l'accroissement de la taille du bassin, mais aussi qu'il sera de plus en plus aléatoire qu'un même phénomène respecte l'unité de temps imposée, c'est-à-dire la journée. Au-delà d'une certaine superficie, il conviendrait plutôt de travailler en phases pluvieuses pluri-journalières (l'amplitude des phases variant avec les surfaces concernées), ainsi que cela a été fait par P. DUBREUIL sur les pays de La Plata [5]. Cette étude, menée sur une zone couvrant 185 000 km<sup>2</sup> a permis d'établir, avec des phases de 10 et 30 jours, une relation linéaire, propre à chaque phase, entre le coefficient d'abattement et le rayon équivalent de la surface ; la convergence étant obtenue à K = 1 et R = 40 km (S = 5 000 km<sup>2</sup>), le coefficient d'abattement atteindrait 0,50 pour R = 200 km (S = 126 000 km<sup>2</sup>) avec des séquences décennales et pour R = 230 km (S = environ 150 000 km<sup>2</sup>) avec des séquences mensuelles. L'étude journalière et l'étude pluri-journalière présentant une certaine complémentarité, bien qu'intéressant des continents différents, nous avons adopté comme limite à notre extrapolation, la superficie d'apparition de l'abattement en séquences 10 et 30 jours, soit 5 000 km<sup>2</sup>.

Une autre limite importante concerne la zone d'application de la relation  $\beta$  (P). En effet, à partir de quatre des cinq points (cf. 5.2.), nous avons décidé de considérer cette relation comme étant linéaire, alors que nous ignorons ce qu'il se passe aux limites. Dans notre hypothèse, et dans l'absurde, la pente maximale de la droite moyenne  $K$  ( $\log S$ ) serait de  $-0,16$  à fréquence décennale, pour une pluviométrie interannuelle nulle, en supposant que le paramètre d'échelle soit égal à 20 (valeur moyenne); pour un bassin de  $1\ 000\text{ km}^2$ , le coefficient d'abattement d'une précipitation de fréquence décennale sera donc supérieur à 0,52. La zone d'incertitude s'étendant jusqu'à 480 mm (bassin du Ghorfa), nous supposons arbitrairement que la relation  $\beta$  (P) n'est valable qu'à partir de  $P = 250\text{ mm}$ . Pour les pluviométries supérieures, la relation linéaire conduirait à l'obtention d'un coefficient d'abattement supérieur à l'unité, en fréquence décennale et toujours avec  $s = 20$ , sur des bassins arrosés annuellement par plus de 3 800 mm; il faut plutôt admettre que la droite  $\beta$  (P) n'est que la partie d'une courbe, à concavité tournée vers le bas, et tendant asymptotiquement vers l'abscisse pour les fortes valeurs de P. A titre documentaire, signalons que, pour les besoins d'une étude particulière, nous avons dû calculer l'abattement des précipitations journalières sur le bassin de la crique Grégoire situé en Guyanne française; cette étude, menée avec toute la rigueur imposée à notre étude (sauf pour ce qui concerne le nombre de postes, 11 seulement ayant pu être retenus, pour un bassin de  $16,2\text{ km}^2$ ), nous a donné un résultat parfaitement cohérent avec ceux de la présente étude. Le paramètre  $\alpha$  a la valeur 0,071 pour  $s = 17,9$  alors que la relation  $\alpha$  (s) indique justement  $\alpha = 0,071$ ; le paramètre  $\beta$  est de 0,020 pour une valeur de P égale à 2 740 mm (régime équatorial de transition) alors que la relation  $\alpha$  (P) indique  $0,027 < \beta < 0,047$ , ce qui n'en est pas tellement éloigné. Pour l'Afrique intertropicale, nous supposons provisoirement que la limite supérieure peut se fixer à  $P = 3\ 000\text{ mm}$ .

Un autre point, qui n'est pas exactement une limite, concerne l'affinement de l'estimation à l'intérieur de la fourchette introduite dans  $\beta$  (P) (cf. fig. 30). On peut constater que les points (ou plutôt les bandes de  $\beta$ ) représentatifs des bassins du Risso et de l'Amitioro sont situés de part et d'autre de la courbe moyenne et en donner l'explication suivante sous toutes réserves :

- le bassin du Risso est situé dans une région relativement montagneuse et les conditions orographiques ont tendance à accentuer l'abattement par l'intermédiaire de l'irrégularité pluviométrique ( $\beta$  plus fort que la moyenne),
- le bassin de l'Amitioro a un caractère moussonnier légèrement marqué qui tend à obérer le caractère journalier des précipitations et à diminuer l'abattement ( $\beta$  plus faible que la moyenne).

La bande du paramètre  $\beta$  relatif au bassin du Ghorfa est très large, sa partie supérieure correspond au sous-ensemble M de  $243\text{ km}^2$  qui est la partie de l'ensemble général où l'on constate la plus grande irrégularité au niveau des précipitations journalières; ceci confirme l'hypothèse émise pour le bassin du Risso.

#### 5.4.2. Simplification de l'équation généralisée et abaque

Cette équation de la forme  $K = 1 - (\alpha \log r + \beta) \log S$  possède un terme  $\alpha$ , fonction du paramètre d'échelle  $s$  de la station fictive de longue durée, qui interdit le tracé d'un abaque  $K$  ( $\log S$ ) pour différentes valeurs de la pluviométrie interannuelle. Si on admet un paramètre d'échelle moyen de 20, on obtient une valeur de 9 pour le paramètre  $\alpha$  et la relation devient :

$$K = 1 - (9 \log r - 42 \cdot 10^{-3} P + 152 \pm 10) 10^{-3} \log S.$$

Cette simplification est une tolérance qui n'a pas d'influence pour les faibles valeurs de P, mais qu'il est préférable d'écarter dès lors que la droite  $K$  ( $\log S$ ) tend vers l'horizontale, donc que le coefficient d'abattement tend vers l'unité, c'est-à-dire pour les pluviométries annuelles élevées. Néanmoins, nous avons établi un abaque pour les précipitations d'ordre décennal (fig. 31), acceptant cette approximation; celui-ci couvre toute la zone (250 à 3 000 mm) où nous estimons applicable l'équation généralisée, avec une droite tous les 500 mm de pluviosité annuelle. Autour de la droite moyenne correspondant à  $P = 1\ 000\text{ mm}$ , figure la zone d'incertitude telle qu'elle a été définie; cette zone aura toujours la même amplitude, à surface et récurrence données, quelle que soit la valeur de P; les limites de cette zone sont confondues (pure coïncidence) avec les droites moyennes correspondant à  $P \pm 250\text{ mm}$ . De part et d'autre de la droite moyenne relative à  $P = 2\ 000\text{ mm}$  sont représentées les droites moyennes propres aux récurrences 2 et 50 ans.

## CONCLUSION

Des études d'abattement telles que celles que nous avons menées sont encore nécessaires évidemment hors de l'Afrique intertropicale où presque rien n'est connu et même dans celle-ci afin de s'assurer que la relation proposée au paragraphe 5.3. est valable et peut s'appliquer du sud du Sahara à la côte atlantique. Une plus grande expérimentation permettra, en tout cas, de préciser les facteurs de variation autres que la superficie, en particulier le paramètre climatique ici représenté par la pluviosité moyenne interannuelle et que l'on pourrait peut-être avantageusement remplacer par un paramètre lié à la forme et à la durée des averses; quoi qu'il en soit, il existe nécessairement un paramètre que nous n'avons pas pu, ou pas su, mettre en évidence, facteur de distorsion des

résultats obtenus sur l'un des cinq bassins. Avec la multiplication des exemples, il sera sans doute possible de préciser également les conditions aux limites : déclenchement de l'abatement, abatement minimal et maximal à surface et récurrence données, influence des conditions orographiques locales, régionales ou à l'échelle du continent, forme des bassins et exposition. C'est un programme ambitieux qui ne pourra pas être appliqué dans l'immédiat, mais pour lequel il est impératif de lui donner dès à présent, les outils qui lui sont indispensables, c'est-à-dire le maximum d'informations sur un maximum de temps et dans un maximum d'espace.

Dans l'état actuel de nos connaissances, on peut considérer la relation établie comme étant utilisable dès maintenant en Afrique intertropicale, sans grand risque d'erreur d'estimation.

Dans le doute, il est toujours possible d'utiliser la méthodologie ponctuelle classique [1], en respectant quelques consignes simples, afin d'éviter une dispersion exagérée due à l'échantillonnage :

- ne jamais utiliser moins de quatre années d'observation,
- employer un effectif minimal de 12 postes, et optimal à partir de 15 postes, avec des rapports d'aires d'influence aussi proches que possible,
- étendre les données-surface par un loi fictive de station de longue-durée pour autant que les conditions orographiques le permettent (cf. 2.1.2. d).

Dans la mesure du possible, c'est-à-dire si l'effectif le permet, il n'est pas interdit d'effectuer l'étude sur plusieurs cas de figure, de périmètres semblables, mais différents par les postes qui les composent, afin d'obtenir une fourchette de résultats qui représentera la meilleure estimation possible.

Enfin, il est certainement très important de s'assurer de l'homogénéité inter-postes des données ponctuelles journalières ; cela peut paraître secondaire, mais il n'est pas impossible qu'il s'agisse en réalité du facteur principal de distorsion d'un cas de figure à l'autre.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Mai 1966 – Etude théorique et méthodologique de l'abatement des pluies. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrologie*, n° 4.
- [2] BRUNET-MORET (Y.) – 1969 – Etude de quelques lois statistiques utilisées en Hydrologie. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrologie*, vol. VI, n° 3.
- [3] TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY (P.) – 1970 – Calcul automatique de l'abatement des pluies. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrologie*, vol. VII, n° 1.
- [4] BRUNET-MORET (Y.) – Avril 1968 – Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale. Rapport de synthèse. *ORSTOM* et *CIEH*, édition provisoire.
- [5] DUBREUIL (P.) – L'emploi du réseau pluviométrique de base pour étudier la variabilité des précipitations dans l'espace. L'exemple des chutes de pluie à grande extension sur les pays de La Plata. Communication au Congrès de Berkeley, in *AIHS*, n° 65.