

Influence de la densité du réseau sur l'estimation de la pluie moyenne journalière : un exemple au Cameroun

Daniel SICHOMNOU (1), Nkamdjou SIGHA (1), Jean-Claude NTONGA (1), Emmanuel NAAH (1)

RÉSUMÉ

La détermination de la lame d'eau moyenne sur un bassin versant avec un degré requis de précision se fait en général à l'aide d'un réseau dense de pluviomètres répartis de la manière la plus équitable possible sur le bassin. Ce souci de la précision peut conduire à l'installation d'un nombre élevé d'appareils de mesures, qui peuvent poser des problèmes de gestion et d'exploitation considérables.

Sur la base des données enregistrées sur des bassins versants couverts par un nombre élevé de pluviomètres, la pluie moyenne sur le bassin a été calculée en faisant varier la densité des appareils, et l'effet de cette variation sur la précision de la pluie moyenne analysé.

Les résultats obtenus ont mis en évidence la redondance de l'information pluviométrique, et fourni une indication sur la densité requise pour établir un réseau optimum.

On montre également que la notion de densité optimale varie avec la taille du bassin, les petits bassins versants nécessitant une densité d'appareils plus élevée que les grands bassins, pour conduire à une précision comparable.

MOTS CLÉS : Densité optimale — Pluie moyenne — Afrique tropicale — Cameroun.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF RAINGAUGE DENSITY ON THE ESTIMATION OF DAILY RAINFALL: A CASE STUDY.

In general, the accurate estimation of average rainfall depth over a drainage basin is assured with a dense raingauge network uniformly distributed over the entire basin. The search for precision can result in the installation of a large number of raingauges which could pose considerable problems of management and exploitation.

With rainfall data obtained from basins with a dense network of raingauges, the mean rainfall was calculated from a varying number of raingauges. The effect of this variation on the accuracy of the result was analysed.

The results clearly show the redundancy of available rainfall information and give some insight into the required density of an optimal network. The results further show that the optimal density varies with the size of the basin, smaller basins requiring a higher density than larger ones.

KEY WORDS : Optimal network — Mean rainfall — Tropical Africa — Cameroon.

INTRODUCTION

La majeure partie des études hydrologiques est basée sur une analyse du couple pluie-débit ou du bilan hydrique des bassins versants. Le volume de la pluie incidente responsable des écoulements est déterminé à partir des observations relevées en un certain nombre de sites de mesure répartis sur le bassin versant. Dans le souci d'obtenir des résultats fiables, l'hydrologue a souvent tendance à installer un nombre important de postes de mesure.

Ce problème est particulièrement préoccupant en Afrique tropicale, où les averses d'origine convective sont caractérisées par une forte variabilité dans l'espace. Sur un bassin versant 10 km², des différences dépassant 90 % ont été observées pour une averse dont le maximum enregistré sur le bassin (83,6 mm), est voisin de la hauteur de la

(1) Hydrologues, CRH (IRGHM) BP 4110, Yaoundé, Cameroun.

pluie journalière semestrielle (SIGHOMNOU D., 1986). Dans le même ordre d'idée, sur le petit bassin de Mouda (3 000 m² pour 4 postes de mesure), un des bassins objet de notre étude, des différences dépassant 25 % ont été relevées, même sur des pluies journalières dépassant 25 mm de moyenne. Tout ceci porte à croire qu'une forte densité de stations de mesure est requise dans la région pour conduire à des résultats satisfaisants, même pour de petits bassins. Il est évident, lorsqu'on exploite un réseau de mesure, que la redondance permet le lissage qui atténue l'effet des erreurs accidentelles, mais ceci suppose des investissements considérables pour l'équipement et l'exploitation des données.

A partir d'un certain nombre de résultats de mesure de la pluie journalière avec une forte densité d'appareils sur des bassins versants camerounais, nous proposons ici une étude de la précision sur les résultats de calcul de la pluie moyenne sur le bassin, en fonction de la densité des appareils.

Pour mieux situer la question, nous aborderons les problèmes que pose la mesure de la pluie ponctuelle dans une première partie, avant de procéder à la présentation des bassins et des données. Nous exposerons ensuite la méthodologie de travail et nous terminerons par l'analyse des résultats.

1. ANALYSE DE LA PRÉCISION SUR LA MESURE DE LA PLUIE PONCTUELLE

La précision sur la mesure de la pluie ponctuelle dépend de la méthode d'observation, du type d'appareil utilisé, des caractéristiques du site de mesure, de la nature et de l'intensité des averses, ainsi que d'autres facteurs concomitants, notamment le vent. C'est ainsi que des différences dépassant 20 % (CHEVALLIER P. et al. 1985, THEBE B., 1987) ont été enregistrées entre des pluies mesurées au niveau du sol (pluviomètre enterré) et celles mesurées à la même station au moyen des pluviomètres ordinaires. De même, des différences d'un ordre de grandeur équivalent (LAHAYE J.-P. et al., 1980) ont été enregistrées sur des pluies mesurées sur des sites voisins par deux pluviomètres identiques.

Ces différences tiennent probablement à l'action du vent qui s'exerce au niveau de chaque poste de mesure.

La hauteur de la pluie moyenne sur le bassin sera déterminée à partir de ces mesures, au moyen de techniques diverses telles que les méthodes de Thiessen et des isohyètes, les méthodes d'interpolation optimale, etc., qui comportent elles-mêmes des incertitudes inhérentes à leur mise en œuvre. On peut dire, dans ces conditions, que la fiabilité actuelle des mesures de pluie ne permet pas d'accroître démesurément le nombre de postes de mesure sur un bassin dans le souci d'une amélioration, difficilement appréciable, de la précision.

2. PRÉSENTATION DES BASSINS VERSANTS ET DES DONNÉES

2.1. BASSINS DE MOUDA

Situés dans la région de l'extrême nord Cameroun, entre le 10° et le 11° parallèle, les bassins expérimentaux de Mouda se trouvent au sud de Maroua, à 30 km sur la route de Garoua. Ils font l'objet d'un programme de recherche pluridisciplinaire mené par des hydrologues, des pédologues, des agronomes et des phyto-écologues. La qualité des données collectées est garantie par l'étroitesse du suivi dont bénéficient les bassins versants.

Le climat de la région est de type soudanien à tendance sèche, avec une saison sèche qui dure sept mois. La pluviométrie moyenne annuelle est de 877 mm (THEBE B., 1987).

Le terrain expérimental se situe dans la vaste plaine du Diamare, à la surface sub-horizontale (420 m d'altitude moyenne), d'où émergent quelques rares inselbergs. Il peut être considéré comme suffisamment représentatif de cette région du nord Cameroun dont l'anthropisation très poussée la rapproche beaucoup plus des régions sahéliennes (Rapport conjoint MESIRES-CNRS, 1988).

Les bassins étudiés sont au nombre de trois. Un grand bassin de 18,1 km² (bassin n° 1) couvert par 13 appareils (1 poste/1,4 km²) la première année et 12 (1 poste/1,5 km²) la deuxième année (le poste n° 12 ayant été supprimé); un petit bassin de 3 000 m² (bassin n° 2) couvert par 4 appareils (1 poste/750 m²), et un dernier bassin (bassin n° 3) de 5,87 ha couvert par 7 postes de mesure (1 poste/0,84 ha) (fig. 1).

Les données utilisées couvrent une période de deux ans (1985-1986). Pour la fiabilité des résultats, il était nécessaire de disposer de séries de données sans lacune et sans reconstitution. Ceci a conduit à exclure les données de l'année 1984, où l'équipement pluviométrique des bassins était incomplet.

L'étude a porté sur les hauteurs de pluie journalières. La précision de la pluie moyenne décroissant avec le pas de temps, il aurait été intéressant de poursuivre les calculs pour des pas de temps plus faibles. Nous ne disposons

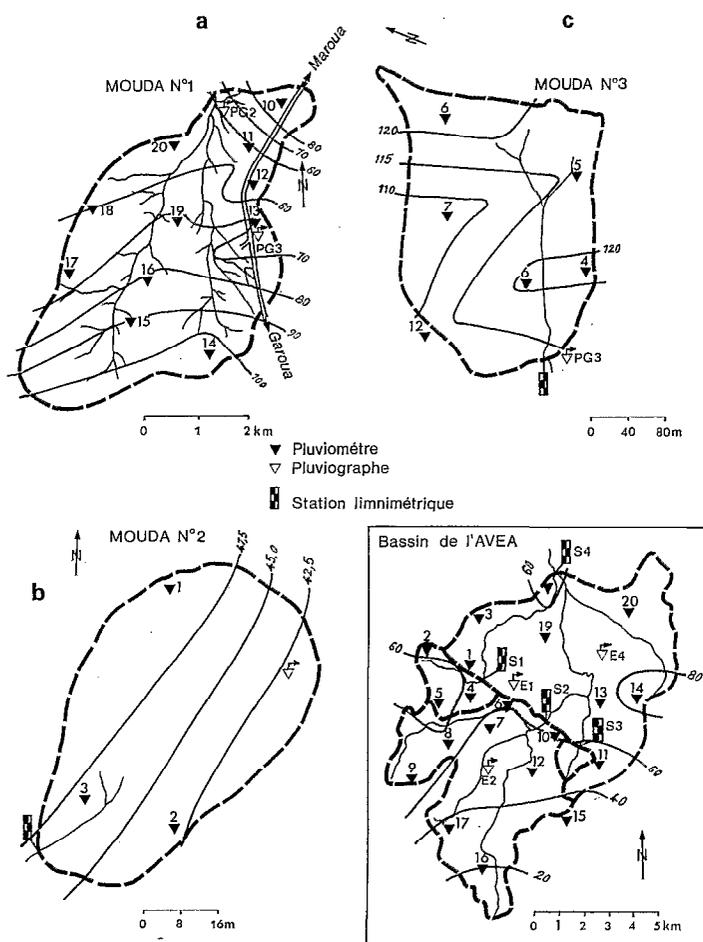


FIG. 1. — Bassins versants de Mouda et isohyètes pour l'averse du 16/8/85 (a), du 26/6/85 (b), 31/7/85 (c).

FIG. 2. — Bassin de l'AVEA et isohyètes pour l'averse du 3/9/63.

malheureusement pas d'un nombre de pluviographes suffisant (1 à 2 maximum par bassin). Les pluies journalières sont en général constituées d'une seule averse dans cette région. Dans ces conditions, les résultats obtenus ici devraient être assez proches de ceux que l'on obtiendrait en étudiant les averses individualisées.

2.2. BASSIN DE L'AVÉA

Situé à 40 km à l'est de Nanga Eboko, le bassin de l'Avéa se trouve à la limite de la zone forestière du sud Cameroun et la savane du nord. Étudié dans le cadre des travaux de construction du chemin de fer transcamerounais, ce bassin a également fait l'objet d'un suivi assez étroit, par un technicien hydrologue installé sur place.

Le climat de la région est de type équatorial de transition, avec deux saisons des pluies. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 573 mm sur 31 ans (LEFEVRE R., 1963).

Situé à 650 m d'altitude, le bassin a un relief assez homogène (740 m d'altitude maximale et 600 m d'altitude minimale). L'équipement pluviométrique compte 20 pluviomètres et 4 pluviographes pour une superficie de 96 km², soit une densité moyenne de 1 poste/4 km² (fig. 2).

Les données utilisées pour l'étude couvrent une période d'un an, sans lacune dans les observations.

3. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

La méthode adoptée comporte les opérations suivantes :

- choix des configurations ;
- calcul des coefficients de Thiessen correspondants ;
- calcul de la pluie moyenne.

3.1. CHOIX DES CONFIGURATIONS

Les différentes densités d'appareils sur les bassins sont obtenues en choisissant successivement un nombre croissant de postes de mesure, suivant des configurations différentes. Les postes retenus pour chaque configuration sont tels que leur répartition sur le bassin versant soit le plus équitable possible. Les configurations sont choisies indépendamment les unes des autres. Pour chaque bassin, la configuration de référence (celle fournissant la meilleure pluie moyenne) est celle comportant tous les pluviomètres du bassin. Le poste situé le plus proche du centre du bassin est retenu dans chaque cas, pour la « configuration » à poste unique (poste n° 19 pour le bassin n° 1, poste n° 3 pour le bassin n° 2 et poste n° 8 pour le bassin n° 3 à Mouda ; poste E1 pour le bassin de l'Avéa), de sorte que la valeur enregistrée reflète le mieux possible la pluie moyenne sur le bassin.

Les différentes configurations ainsi que les densités correspondantes sont reportées sur le tableau I.

TABLEAU I
Configurations et densités correspondantes

N° Conf.	Bassin Avéa (96 km ²)		Mouda N° 1 (18.1 km ²)		Mouda N° 2 (3000 m ²)		Mouda N° 3 (5.87 ha)	
	Nbre poste	Densité au km ²	Nbre poste	Densité au km ²	Nbre poste	Densité au km ²	Nbre poste	Densité au km ²
Réf.	24	.25	13/12	.72/66	4	1533	7	119
2	19	.20	10	.55	3	1000	6	102
3	17	.18	9	.50	2	667	5	85
4	14	.15	8	.44	1	333	4	68
5	12	.13	7	.39			3	51
6	10	.10	6	.33			2	34
7	9	.09	5	.28			1	17
8	8	.08	4	.22				
9	7	.07	3	.17				
10	6	.06	2	.11				
11	5	.05	1	.06				
12	4	.04						
13	3	.03						
14	2	.02						
15	1	.01						

La taille des échantillons, identique pour toutes les configurations est la suivante :

- Bassins de Mouda : n° 1 61 valeurs
n° 2 62 valeurs
n° 3 60 valeurs
- Bassins de l'Avéa 68 valeurs.

Ces valeurs paraissent suffisantes pour espérer des résultats précis.

Soulignons que seules les pluies dont le maximum journalier a atteint 10 mm ont été retenues sur chaque bassin, pour se limiter aux seuls cas des averses ayant pu raisonnablement provoquer un ruissellement sur le bassin. Ceci évite par ailleurs d'avoir des différences (en valeur relative) très élevées, dans le cas de très faibles valeurs journalières, sans rapport réel avec le problème étudié.

3.2. CALCUL DE LA PLUIE MOYENNE. COMPARAISON DES RÉSULTATS

Le calcul de la pluie moyenne sur un bassin versant se fait au moyen de diverses techniques d'interpolation telles que le krigeage, l'interpolation spline, les méthodes de Thiessen et des isohyètes etc. Plusieurs travaux (CREUTIN D.

et *al.*, 1980 ; LEBEL T., 1984, etc.) ont montré la supériorité des méthodes d'interpolation optimale sur celles des isohyètes et de Thiessen. Cependant, lorsqu'on dispose d'un réseau de stations de mesures redondant comme tel est le cas pour notre réseau de référence, toutes ces méthodes fournissent des estimations de la pluie moyenne sensiblement équivalentes. Dans ces conditions, et compte tenu de certains critères tels que les difficultés de mise en œuvre et les limites d'utilisation machine, notre choix s'est porté sur la méthode de Thiessen qui, bien que moins précise pour les configurations de densité moyenne, souligne bien l'influence de la densité sur la précision de la pluie moyenne, objet de notre propos ici.

Les pluies moyennes ont été calculées par cette méthode pour les différents jours de pluie et dans chacune des configurations. Les valeurs moyennes des configurations de même date sont ensuite comparées à la pluie moyenne de référence correspondante. Les différences ou écarts ainsi obtenus pour chaque configuration ou densité constituent un échantillon de valeurs qui sont classées, puis les probabilités de non dépassement sont calculées et les courbes écart-densité-probabilité (EDP) sont tracées (fig. 3, 4, 5, 6).

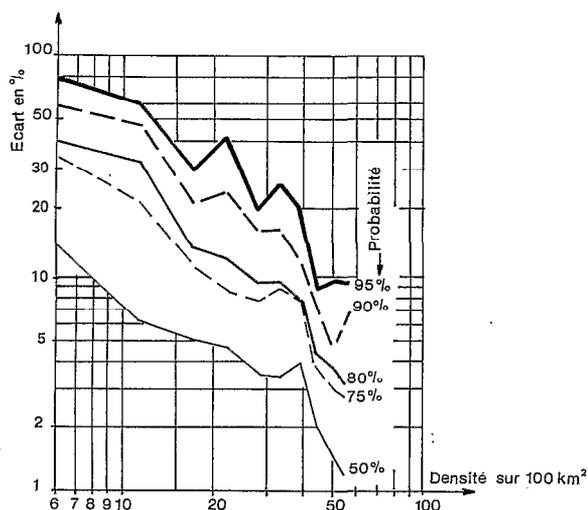


FIG. 3. — Bassin n° 1 Mouda ; évolution de la précision sur la pluie moyenne en fonction de la densité des postes de mesure.

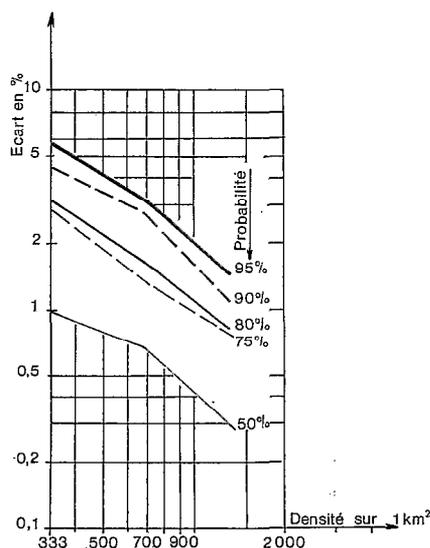


FIG. 4. — Bassin n° 2 Mouda ; évolution de la précision sur la pluie moyenne en fonction de la densité des postes de mesure.

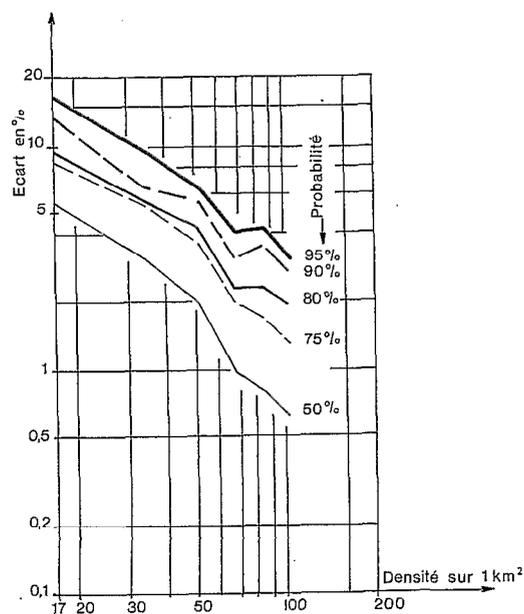


FIG 5. — Bassin n° 3 Mouda ; évolution de la précision sur la pluie moyenne en fonction de la densité des postes de mesure.

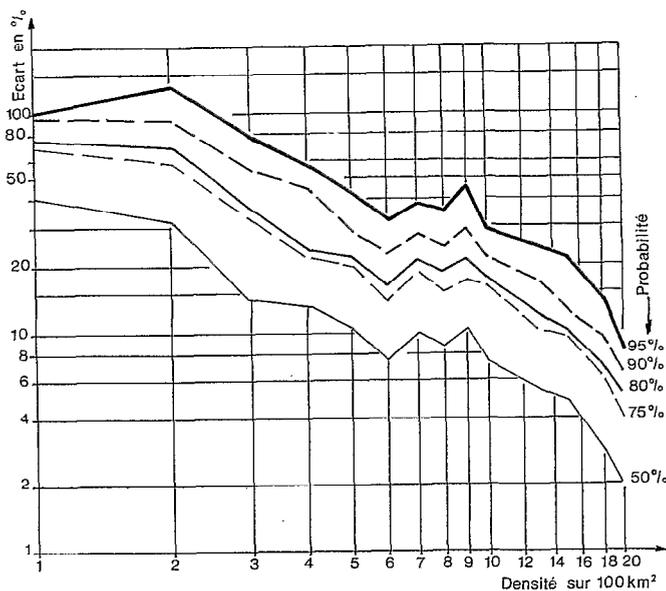


FIG 6. — Bassin de l'Avéa ; évolution de la précision sur la pluie moyenne en fonction de la densité des postes de mesure.

Il est évident que la pluie moyenne calculée avec les densités prises ici comme références comporte des erreurs, comparativement à la pluie moyenne réelle à laquelle correspondrait à une densité infinie. Pour passer des écarts observés dans notre étude aux erreurs, il conviendrait donc d'ajouter cette erreur.

4. ANALYSE DES RÉSULTATS

Pour l'ensemble des bassins, les courbes EDP sont relativement parallèles en coordonnées bilogarithmiques. Elles montrent, et notamment pour les deux grands bassins, que les écarts à la moyenne de référence baissent rapidement à mesure que la densité des postes de mesure augmente, jusqu'à une densité à partir de laquelle la décroissance devient faible ou même nulle. En effet, pour le bassin n° 1 de Mouda (18,1 km²) par exemple, si on considère la courbe à 90 %, l'écart diminue de 25 % quand le nombre de poste de mesure passe de 2 à 3, et de 2 % seulement quand ce nombre passe de 8 à 9. De même, pour le bassin de l'Avéa (96 km²), l'écart diminue de 37 % quand le nombre de poste passe de 2 à 3, contre 2 % seulement quand il passe de 18 à 20. Ceci montre qu'à défaut d'une densité infinie pouvant permettre de déterminer la pluie moyenne exacte sur le bassin versant, on gagne très peu en précision au-delà d'un seuil de densité qui permet de limiter la marge d'erreur à un niveau acceptable.

Si l'on admet qu'un écart de 10 % dans 90 % des cas est acceptable, le nombre optimum de postes de mesure pour les différents bassins étudiés serait le suivant :

- Bassin de l'Avéa 17 postes, soit une densité de 0,18 poste/km² ;
- Bassin de Mouda n° 1, 7 postes, soit 0,39 poste/km² ;
- n° 2, 1 poste, soit 333 postes/km² ;
- n° 3, 2 postes, soit 34 postes/km².

D'autre part, il arrive qu'une configuration correspondant à une densité supérieure donne une moins bonne précision qu'une autre dont la densité est inférieure. Pour les trois grands bassins de notre étude, ceci est apparu chaque fois que la densité des postes était telle que chaque appareil couvrait en moyenne 20 % de la superficie totale du bassin. La situation persiste ensuite tant que la densité des appareils n'a pas atteint une valeur au moins deux fois supérieure, valeur à partir de laquelle, les écarts décroissent à nouveau régulièrement à mesure que la densité augmente, mais dans des proportions relativement plus faibles.

Dans une étude similaire entreprise par B. LAFOSSE (1980) sur le bassin de l'Orgeval (105 km²) en France, une situation comparable a été également observée à partir de la configuration de 5 postes de mesure, soit en moyenne 1 poste/21 km², (donc 20 % de la superficie du bassin versant).

Il pourrait s'agir ici d'un phénomène d'origine aléatoire, mais une explication physique (la géométrie du réseau par exemple) est également probable. Des études supplémentaires pourraient nous permettre de déterminer si le phénomène est significatif.

Par ailleurs, les résultats obtenus sur les différents bassins ont été comparés entre eux. A Mouda, les écarts obtenus sur le bassin n° 3 avec une densité de 17 postes/km² sont comparables à ceux obtenus sur le bassin n° 1 avec une densité de 0,22 poste/km², près de 100 fois inférieure. On en déduit que la densité requise pour avoir une bonne précision de calcul de la pluie moyenne croît quand la taille du bassin diminue. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que sur les grands bassins, l'existence d'un nombre important de points de mesure conduit à un lissage qui atténue les erreurs.

La situation du bassin de l'Avéa en zone équatoriale laisse augurer une différence de comportement par rapport aux bassins de Mouda situés en zone sahélienne. En effet, les pluies de mousson caractérisées par une grande homogénéité dans l'espace sont plus nombreuses en zone équatoriale, alors qu'en zone sahélienne, les pluies d'origine convective généralement plus circonscrites dans l'espace, sont dominantes. On pense alors intuitivement qu'à densité égale, la précision obtenue en région équatoriale, et notamment en saison de mousson, sera meilleure que celle obtenue en région sahélienne. La taille assez réduite de notre échantillon ne nous a malheureusement pas permis d'analyser les données par saison afin d'en dégager les influences. On note cependant, que les configurations n° 3, 6 et 10 du bassin de l'Avéa qui ont des densités respectivement voisines ou égales à celles des configurations n° 9, 10 et 11 du bassin n° 1 de Mouda (cf. tableau I), conduisent à de meilleures précisions. Les écarts observés pour la probabilité de 90 % par exemple, sont respectivement de 9,6, 22,2 et 23,6 % pour Avéa, contre 20,8, 47,9 et 58,9 % pour Mouda, soit une différence du simple au double. Compte tenu de la différence de taille entre les deux bassins, nous ne saurions conclure que ces différences sont imputables aux seules situations géographiques. La question mérite d'être réexaminée à la lumière de nouvelles études.

CONCLUSION

Pour obtenir une précision acceptable sur le calcul de la pluie moyenne, il convient de disposer d'un nombre de postes de mesure optimum en-deça duquel cette précision reste mauvaise. Cet optimum dépend de la bonne répartition des appareils sur le bassin. Au-delà de cette densité, le gain en précision reste très faible, donc proche du « bruit » de la mesure. C'est ainsi que les densités optimales pour les bassins étudiés sont de 0,18 poste/km² (soit 17 au total)

pour Avéa, 0,39 poste/km² (soit 7 au total) pour le bassin n° 1 de Mouda, 333 postes/km² (soit 1 au total) pour le n° 2 et 34 postes/km² (soit 2 au total) pour le n° 3.

L'étude a également mis en évidence, la notion de densité relative, à savoir que 10 postes de mesure sur 10 km² donneront une précision meilleure qu'un poste sur 1 km².

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 18 juin 1990

BIBLIOGRAPHIE

- CHEVALLIER (P.), CLAUDE (J.), POUYAUD (B.), BERNARD (A.), 1985. — Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la mare d'Oursi (Burkina Faso) ; 1976-1981, *Trav. et doc. ORSTOM* n° 190, 252 pp.
- CREUTIN (D.), OBLED (C.), TOURASSE (P.), 1980. — Analyse spatiale et temporelle des épisodes pluvieux Cevenols. In *La Météorologie*, VI^e série n° 20-21, Paris, 233-242.
- DUBAND (D.), 1980. — Rationalisation d'un réseau de mesure de la précipitation. In *La Météorologie* VI^e Série, n° 20-21, 219-231.
- LAFOSSE (B.), 1980. — Pluie moyenne sur le bassin. Etude expérimentale de la précision des résultats suivant la densité des pluviomètres. In *La Météorologie*, VI^e Série, n° 20-21, Paris, 243-253.
- LAHAYE (J.-P.), MEUNIER (M.), TARTES (M.), 1980. — Méthode d'étude des pluies de courte durée. In *La Météorologie*, VI^e Série, n° 20-21, Paris : 73-90.
- LEFEVRE (R.), 1963. — Etude hydrologique de la moyenne Sanaga. Bassin expérimental de l'Avéa. Campagne 1963. Rapport n° H 41, ORSTOM, *multigr.*
- LEBEL (T.), 1984. — Moyenne spatiale de la pluie sur un bassin versant : estimation optimale, génération stochastique et gradex des valeurs extrêmes. Thèse de Docteur-ingénieur, USMC-INPG, Grenoble, 339 p.
- LEBEL (T.), BASTIN (G.), OBLED (C.), CREUTIN (J.D.), 1987. — On the accuracy of areal rainfall estimation : a Case study. In : *Water Resources Research*, Vol. 23, n° 11, p. 2123-2134.
- SIGHOMNOU (D.), 1986. — Assainissement pluvial en zone urbaine en Afrique Tropicale. Cas de Yopougon (Côte-d'Ivoire). Thèse de Doctorat 3^e cycle, USTL, Montpellier, 245 p.
- THEREBE (B.), 1987. — Hydrodynamique de quelques sols du Nord Cameroun. Bassins versants de Mouda Contribution à l'étude des Transferts d'échelle. Pub. MESRES — ORSTOM, 306 pp.
- Rapport conjoint MESIRES-CNRS, 1988. — Utilisation et Conservation des ressources en sol et en eau (Nord Cameroun). Rapport final.