

LES POSTES PLUVIOMÉTRIQUES DÉCRIVENT-ILS BIEN LES RÉGIMES PLUVIOMÉTRIQUES ?

V. THAUVIN¹

RÉSUMÉ

Depuis la fin des années soixante, la pluviométrie de l'Afrique de l'ouest accuse de façon générale une tendance à la baisse. Si cette tendance est incontestable, sa caractérisation à partir des séries d'observations pluviométriques ponctuelles s'avère très difficile. On est donc amené à s'interroger sur la représentativité des mesures ponctuelles.

Au niveau d'un événement, la variabilité spatiale des pluies est très forte et ne peut être appréhendée par les données collectées sur les réseaux ouest Africains. En revanche, il est classiquement admis qu'au niveau des cumuls annuels, la variabilité spatiale s'estompe et que la densité des réseaux est suffisante pour une évaluation acceptable des champs pluviométriques. À partir des premiers résultats de l'expérience Epsat-Niger, l'auteur montre que cette hypothèse n'est pas réaliste.

En effet, les données collectées sur le réseau très dense (100 postes pour 10 000 km²) mis en place dans la région de Niamey dans le cadre de cette expérience, montrent que pour les cumuls annuels :

- la dispersion spatiale reste très forte et peut être très variable d'une année à l'autre (la distance de décorrélation entre deux postes était de 50 km en 1989, de 10 km en 1990) ;
- l'occurrence d'un seul événement de forte intensité peut avoir un poids considérable sur la structure spatiale des champs ;
- la densité des réseaux classiques ne permet pas une reconstitution acceptable des isohyètes ;
- l'erreur d'estimation des lames d'eau moyennes sur 10 000 km² est du même ordre de grandeur que l'écart-type de leur distribution temporelle.

¹Orstom, Montpellier.

INTRODUCTION

Dans toute la bande sahélienne et soudano-sahélienne, les hauteurs de pluie annuelle en un poste donné accusent une baisse constante depuis la fin des années soixante, d'autant plus accentuée que sa situation est plus septentrionale (MAHÉ, 1992). À quoi peut-on attribuer cette baisse ? BADER (1984) analysant les séries de 9 postes depuis le début des observations, ne parvient pas à dégager un paramètre unique. À partir de la série de Niamey (1905-1990), nous constatons que les moyennes avant et après la coupure de 1968, soit sur les périodes 1905-1968 et 1969-1990, ne sont pas significativement différentes.

Aussi nous sommes-nous interrogés sur la représentativité d'une valeur ponctuelle de pluie annuelle.

On considère en effet qu'un poste pluviométrique est représentatif de sa latitude et d'une certaine région. Or, à l'échelle d'une saison, de grandes disparités peuvent apparaître sur des postes situés sur un même parallèle, même proche (quelques dizaines de kilomètres, PUECH ((1984) - figure 1).

Les données du réseau dense d'Epsat-Niger conduisent aux mêmes conclusions pour l'année 1990. En outre, nous avons pu étudier l'impact d'un événement exceptionnel (orage de forte intensité) sur les cumuls saisonniers (THAUVIN, 1992).

PLUVIOMETRIE 1985 - PARALLELE 11.50° NORD - HAUTE VOLTA

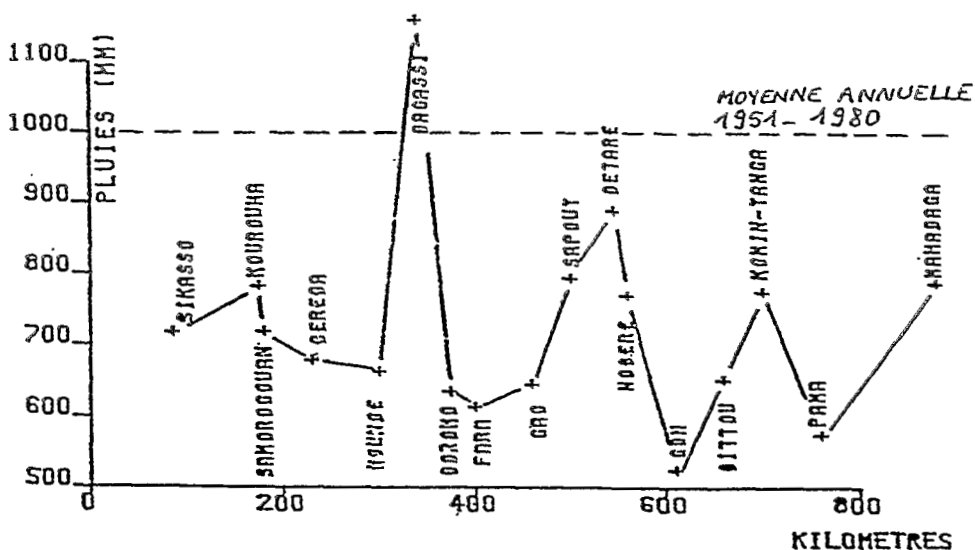


Figure 1

Variabilité des hauteurs de pluie saisonnière le long d'un parallèle (in PUECH, 1984)

LE RÉSEAU DENSE D'EPSAT-NIGER

Le réseau d'Epsat-Niger se situe à l'est de Niamey, entre les latitudes 13° et 14°N, et les longitudes 2° et 3°E. C'est le *degré carré de Niamey* qui sert également de cadre à l'expérience Hapex-Sahel.

95 pluviographes à mémoire statique y sont implantés, selon un maillage quasi-régulier de 1 poste tous les 12,5 km (figure 2), soit une densité moyenne de 1 poste pour 156 km². Ce maillage se resserre vers le centre où une surface de 150 km² contenant 16 postes constitue la *cible*, à l'intérieur de laquelle les distances varient de 1 à 10 km.

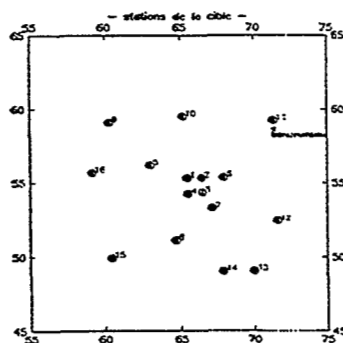
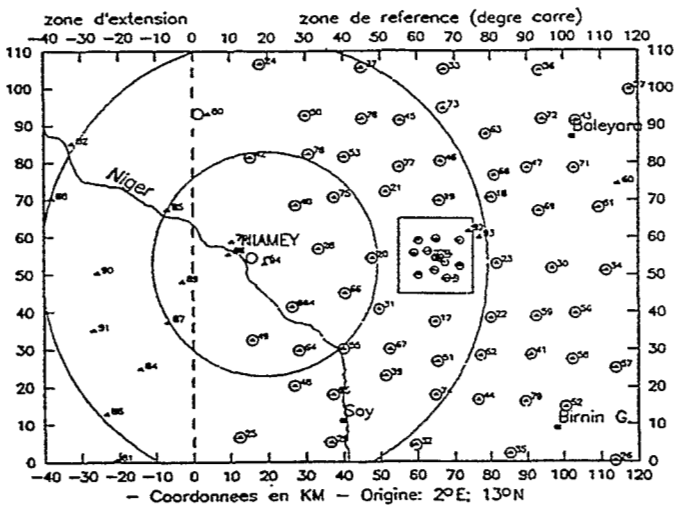


Figure 2

Le réseau de pluviographes d'Epsat-Niger. ● et ● : postes présents en 1989. ○ et ▲ : postes présents en 1990. À l'est du degré carré se trouve la zone d'extension, mise en place aux fins de calibration du radar, et contenant 10 postes (carte d'après LEBEL et al., 1991)

Une telle configuration est intéressante pour deux raisons principales. D'une part, lorsque l'on utilise une technique d'interpolation nécessitant de connaître la structure spatiale des champs de pluie, telle que le krigeage, elle autorise l'identification de la fonction de structure avec quasiment la même précision quelle que soit la classe de distance considérée. D'autre part, elle permet de faire un zoom sur la répartition des précipitations.

MÉTHODE ET DONNÉES UTILISÉES

MÉTHODE D'INTERPOLATION

L'interpolateur retenu est l'interpolateur de krigeage, qui est un interpolateur linéaire (la valeur interpolée est une combinaison linéaire des observations), optimal (il minimise la variance d'estimation), et sans biais (MATHERON, 1965, JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978, OBLÉD, 1986).

L'étape la plus importante est l'identification de la fonction de structure des données, ou variogramme. Connaissant ce variogramme, la résolution du système de krigeage permet de connaître les poids en chaque point de mesure.

Le variogramme (figure 3) représente la variabilité à toutes les classes de distances. Les paramètres décrivant sa forme (valeur à l'origine, portée) renseignent sur l'organisation spatiale du champ de pluie. Son palier, lorsqu'il existe, indique la variance du champ de pluie.

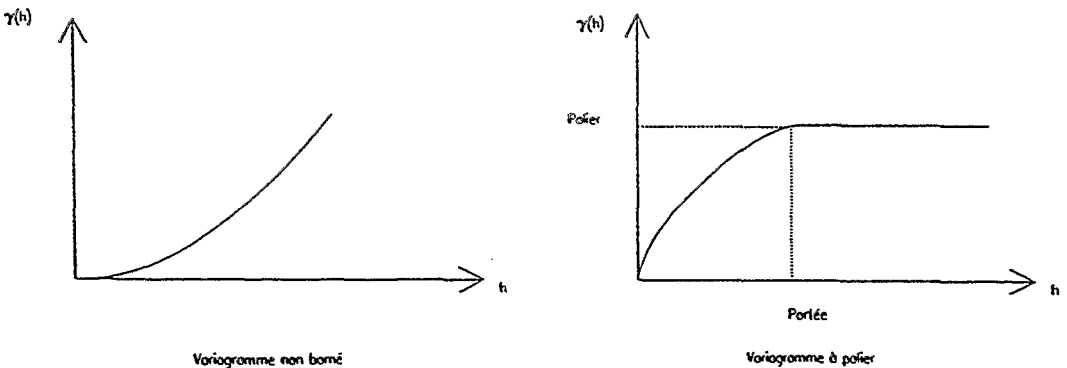


Figure 3
Schéma de deux types de variogrammes

DONNÉES UTILISÉES

Les hauteurs de pluie annuelle mesurées durant les saisons des pluies 1989 et 1990 sur le degré carré de Niamey ont été utilisées.

Le variogramme des résidus à la moyenne climatique* de la saison 1989 est donné figure 4.

Il indique une liaison entre les points de mesure jusqu'à une cinquantaine de kilomètres.

La variance du champ est de 7 500 mm², l'écart-type expérimental est donc de 87 millimètres.

La particularité de la saison 1989 est d'avoir enregistré un événement pluvieux exceptionnel en ce qui concerne sa durée de vie et son intensité.

La saison 1990 se caractérise par une non-corrélation entre les mesures de postes distants de plus d'une quinzaine de kilomètres, comme l'indique le variogramme des résidus à la moyenne climatique (figure 5).

Cette année-là, une valeur de pluie annuelle n'est donc représentative que d'une très petite surface.

La variance du champ est moins importante qu'en 1989 (variance de 4 500 mm² au *deuxième palier*, soit un écart-type de 67 millimètres), mais la variabilité à petite distance est plus forte.

INFLUENCE D'UN ÉVÉNEMENT EXCEPTIONNEL SUR LES CUMULS ANNUELS

Le 4 août 1989 a eu lieu sur le degré carré de Niamey le plus fort événement pluvieux observé en 1989. Il a débuté à 1h00 sur le poste le plus à l'est du réseau, et la fin de la pluie a été enregistrée à 1h30 sur un poste situé à 20 km au nord-est de Niamey. La moyenne de l'événement sur le degré carré est de 72,5 millimètres.

La carte des isohyètes (figure 6) indique que l'averse a atteint toute la zone d'étude et que les valeurs les plus fortes ont été mesurées au nord-ouest du degré carré. On constate également que 40 % des valeurs sont supérieures à 66 millimètres, valeur de la moyenne des pluies journalières maximales annuelles de la région (CADOT et PUECH, 1982).

* Les résidus à la moyenne climatique sont les valeurs observées auxquelles on a soustrait la moyenne interannuelle. Ils donnent une idée plus juste de la variabilité spatiale des cumuls, car le gradient nord-sud est gommé.

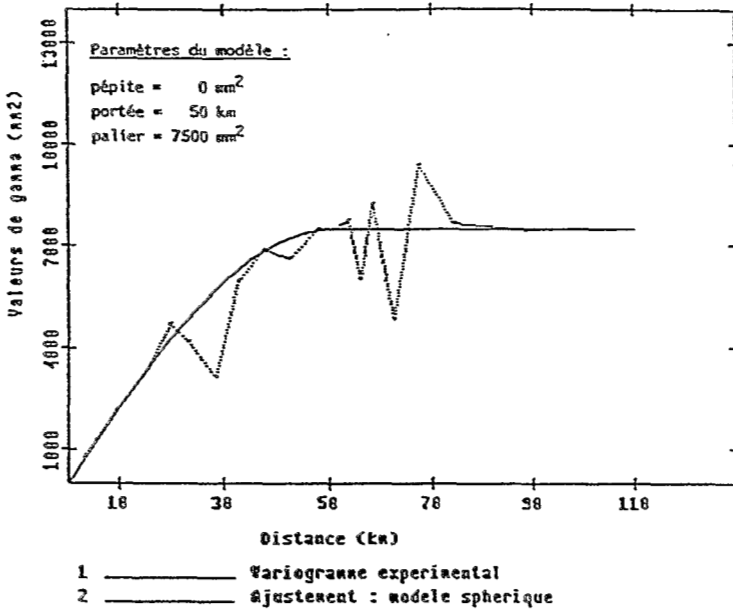


Figure 4
Variogramme des résidus à la moyenne climatique. Saison 1989

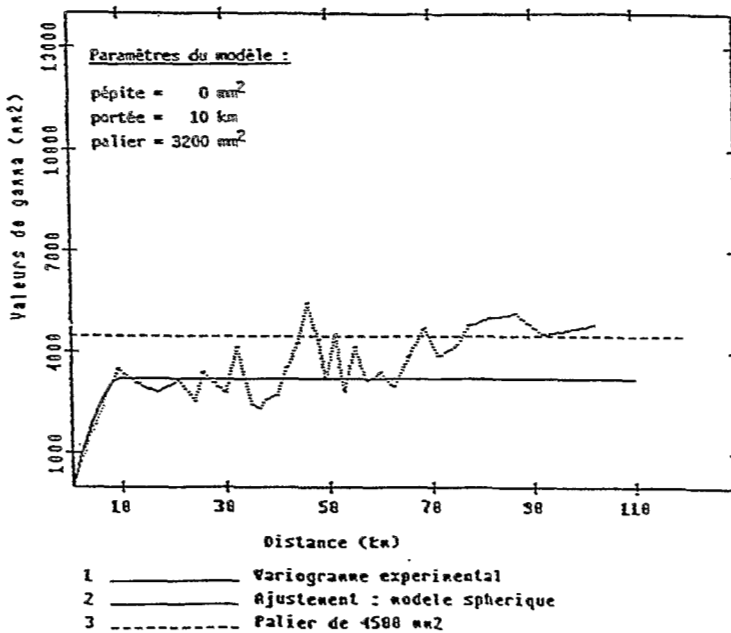


Figure 5
Variogramme des résidus à la moyenne climatique. Saison 1990

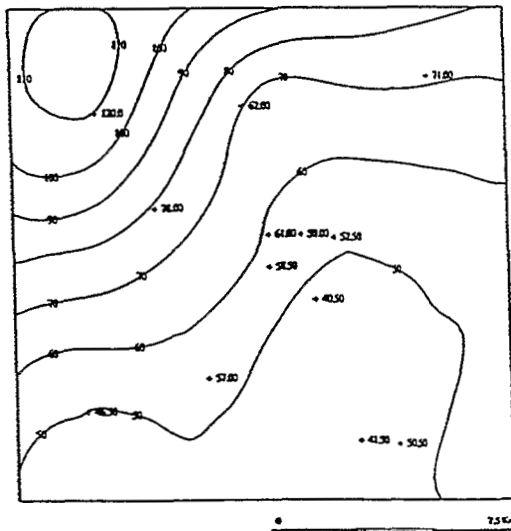
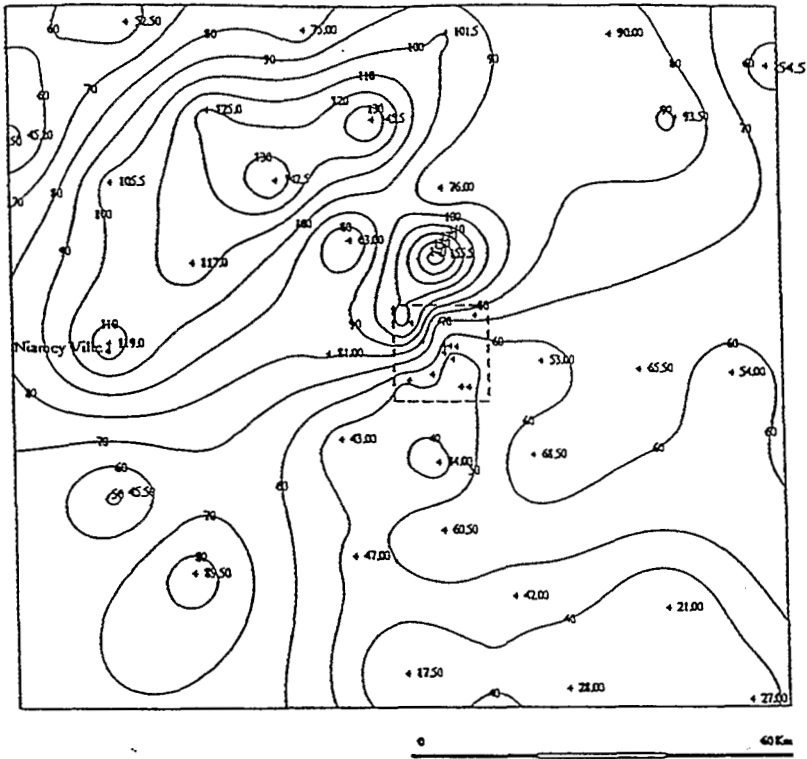


Figure 6

Hauteurs de pluie observées le 04/08/89 de 01h00 à 11h30 et isohyètes calculées par krigeage (millimètres). En bas : zoom sur la cible

ÉCARTS À LA MOYENNE INTERANNUELLE

La moyenne spatiale des pluies annuelles sur le degré carré de Niamey est de 550 millimètres pour la période 1950-1989 (RADJI, 1991, LEBEL *et al.*, 1991). Les valeurs au nord et au sud de la zone sont de respectivement 500 et 600 millimètres.

Pour l'année 1989 et sans considérer l'averse du 4 août, les valeurs équivalentes, multipliées par le facteur 1,05 pour tenir compte du fait que 5 % de la pluie annuelle tombe en-dehors de la période observée, sont de 484 (moyenne du degré carré), 415 (moyenne d'une bande latitudinale de 10' au nord) et 620 millimètres (moyenne d'une bande latitudinale de 10' au sud), soit un écart relatif aux moyennes interannuelles de -12 %, -17 % et +3,4 %. La saison apparaît comme déficitaire à la moyenne.

En tenant compte de l'averse du 4 août 1989, ces écarts sont de +1 %, +3 % et +12 %. On peut alors considérer la saison comme moyenne à excédentaire sur le degré carré.

STRUCTURE SPATIALE

Les variogrammes des observations et des résidus à la moyenne climatique sont montrés figure 7.

On peut déduire de la courbe expérimentale une valeur de la portée identique à celle du variogramme des cumuls totaux (50 km, figure 4).

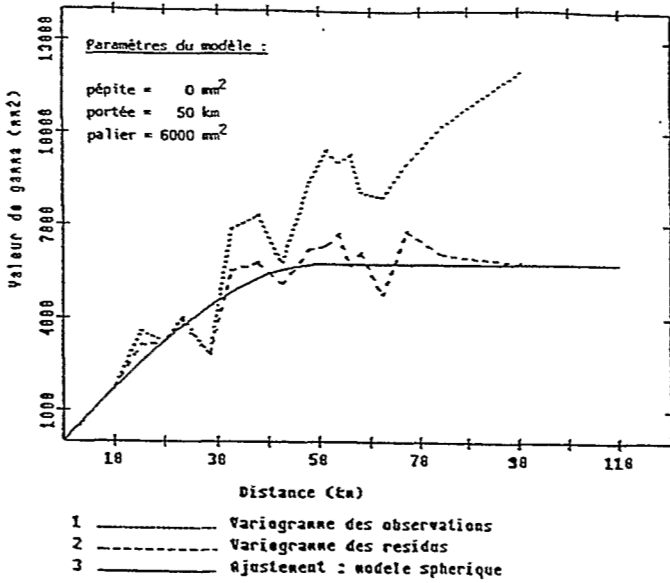
Par contre, le palier est de 6 000 mm² au lieu de 7 500, soit une diminution de 20 %.

ISOHYÈTES

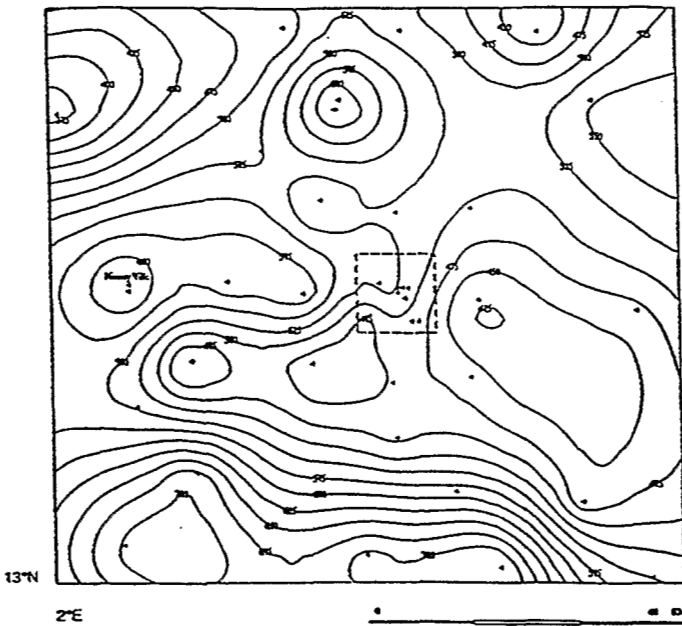
Les cartes d'isohyètes de la saison avec et sans prise en compte des observations du 4 août 1989 sont données figures 8 et 9.

Les isohyètes sont dans les deux cas organisées suivant les latitudes, conformément à la répartition des isohyètes interannuelles. La valeur du gradient observée en 1989 est plus forte que la moyenne interannuelle de 1 mm/km (LEBEL *et al.*, 1991) : on calcule respectivement 1,5 mm/km d'après la figure 8 et 2,0 mm/km d'après la figure 9.

Sur la carte figure 9, le gradient nord-sud apparaît plus nettement que sur celle de la figure 8, car la *dorsale* d'orientation nord-est/sud-ouest au nord de Niamey a disparu. La présence de cette *dorsale* était donc due à la seule averse du 04/08/89.

**Figure 7**

Hauteurs de pluie saisonnière sans les cumuls du 04/08/89 : variogramme expérimental des observations, variogramme expérimental des résidus à la moyenne climatique, et modèle ajusté

**Figure 8**

Isohyètes des hauteurs de pluie saisonnière de 1989

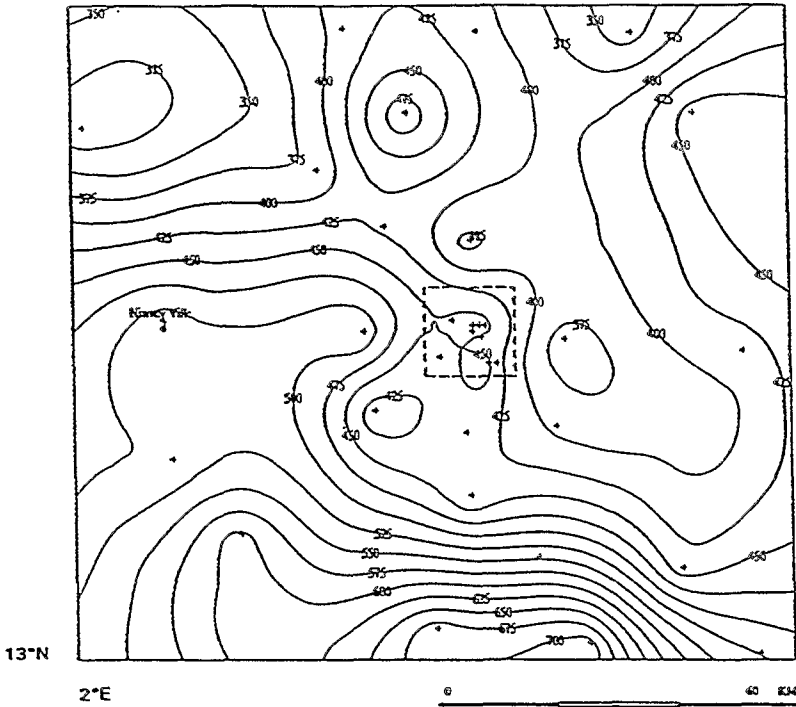


Figure 9

Isohyètes des hauteurs de pluie saisonnière de 1989 sans les observations du 04/08/89

CONCLUSIONS

En 1989, l'occurrence d'un événement de forte intensité sur le degré carré de Niamey a sensiblement modifié la valeur et la répartition des hauteurs de pluie saisonnière. La présence de cet événement :

- permet d'expliquer l'allure des isohyètes du quart de la zone d'étude (quart nord-ouest, où la seule pluie du 04/08/89 participe à 18 % du total saisonnier) ;
- fait augmenter la variance du champ de 20 % ;
- transforme une année globalement déficitaire à la moyenne en une année moyenne à excédentaire.

En outre, une telle averse ayant une très grande variabilité spatiale, cela entraîne que la moyenne spatiale de la saison peut être mal estimée à partir d'un petit nombre de postes.

INFLUENCE DU NOMBRE DE POSTES SUR LES ISOHYÈTES ET LA PRÉCISION DES MOYENNES SURFACIQUES

CALCUL DES ISOHYÈTES

Le réseau initial (figure 2) a été progressivement dégradé en choisissant des postes au hasard, pour obtenir des sous-réseaux de densité à peu près homogène, allant de 1 poste tous les 15 km à 1 poste tous les 70 km environ.

Les isohyètes ont été calculées à partir des observations aux points retenus, avec un variogramme sphérique de pépité nulle, de palier 4 500 mm² et de portée 100 km, ce qui permet d'interpoler en tenant compte de tous les points de mesures.

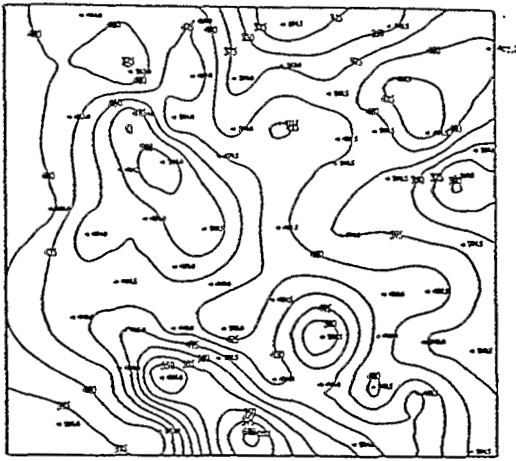
La complexité des isolignes qui apparaissait avec le réseau de base disparaît à mesure que la densité du réseau diminue (figure 10). Pour les sous-réseaux de 7 et 5 postes, on retrouve la forme lisse des isohyètes orientées selon les latitudes, résultats qui concordent avec ceux présentés pour les cumuls mensuels dans THAUVIN et LEBEL (1991). Toutefois, le sens du gradient dépend de l'échantillonnage. Il apparaît inversé sur la carte déduite du sous-réseau de 5 postes, les valeurs les plus faibles ayant été mesurées au sud du degré carré, dans un champ très peu contrasté (moyenne 396 millimètres, écart-type 22 millimètres).

CALCUL DES MOYENNES

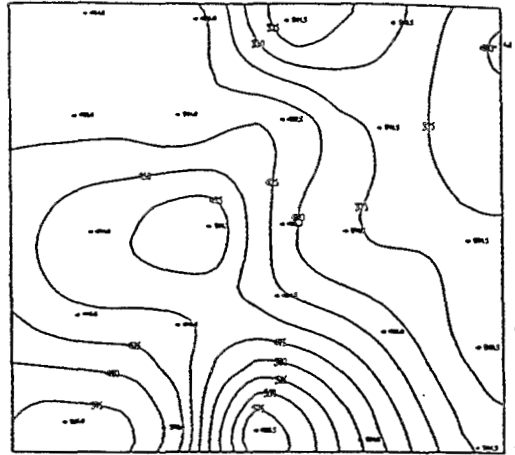
L'estimation des moyennes surfaciques (valeur et précision associée) est également affectée par la dégradation du réseau de mesures. Les sous-réseaux définis précédemment ont été utilisés pour calculer la moyenne sur la surface de 10 000 km² et l'écart-type d'estimation associé, en considérant successivement un variogramme de portée 10, 50, et 100 km.

Les résultats sont présentés figure 11, sous la forme de l'intervalle de confiance à 95 %, construit à ± 2 écarts-types de krigeage autour de la moyenne de référence (422 millimètres, calculée par krigeage), sous l'hypothèse d'une distribution normale des écarts à la moyenne. L'intervalle de confiance obtenu est donc un intervalle théorique, alors que les moyennes calculées sont des moyennes expérimentales qui dépendent fortement des valeurs mesurées.

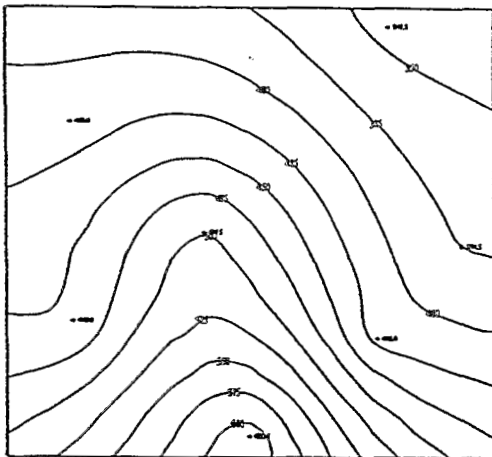
La figure 11 montre que les moyennes calculées à partir des sous-réseaux sont sensiblement égales, quelle que soit la valeur de la portée du variogramme, et proches de la moyenne de référence. Par contre, les écarts-types d'estimation augmentent quand la densité décroît, d'autant plus rapidement que la portée est faible.



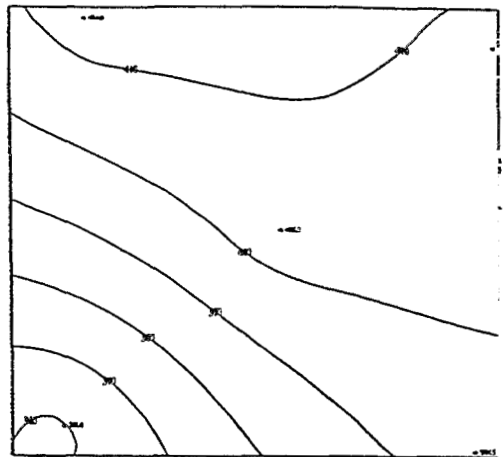
Reseau de 39 postes (tout postes autour la cité)



Reseau de 24 postes (1 poste pour 25 km)



Reseau de 7 postes (1 poste pour 40 km environ)



Reseau de 5 postes (1 poste pour 70 km)

Figure 10

Isohyètes des hauteurs de pluie saisonnière de 1990 sur le degré carré de Niamey, déterminées avec des sous-réseaux de différentes densités (millimètres)

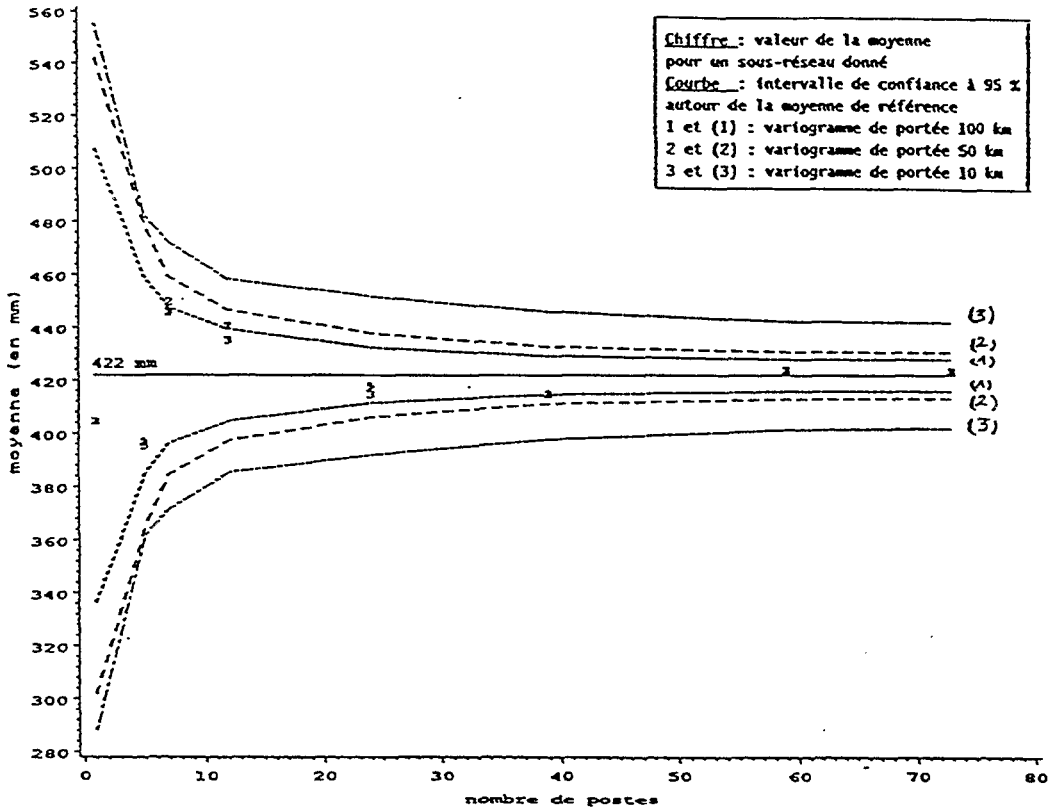


Figure 11

Évolution de la moyenne surfacique en fonction du nombre de postes. En de nombreux points, les moyennes calculées par les trois variogrammes sont confondues

Selon le variogramme pris en compte, un même réseau de postes ne permet donc pas d'obtenir la même précision sur les moyennes surfaciques. Or nous avons constaté que deux saisons des pluies pouvaient présenter des variogrammes de portée très différente (figures 4 et 5). Par conséquent, avec un même réseau de postes, les moyennes surfaciques ne seront pas obtenues avec la même précision selon l'année considérée.

Ainsi, si les hauteurs de pluie saisonnière présentent une faible distance de décorrélation (variogramme de portée de 10 km), et si l'on veut calculer une moyenne saisonnière avec un écart inférieur à 10 % de la moyenne de référence, il faudra utiliser un réseau de 10 postes environ (1 poste tous les 35 km) alors que moins de 7 postes (1 poste tous les 50 km) suffisent si les cumuls saisonniers sont organisés à plus grande échelle (variogramme de portée 50 km).

De même, si l'on se fixe un écart inférieur à 5 % de la moyenne de référence, ces valeurs seront de 50 contre 20 environ (c'est-à-dire 1 poste tous les 15 km contre 1 poste tous les 25 km).

CONCLUSIONS

Les réseaux météorologiques d'Afrique de l'ouest n'ont des densités supérieures à 1 poste/50 km que par endroits. Par conséquent, à l'échelle du degré carré, les cartes d'isohyètes que l'on construit à partir de tels réseaux ne permettent pas de rendre le détail de la variabilité spatiale des cumuls saisonniers.

En outre, ils peuvent donner une information totalement différente sur la saison des pluies selon les hasards de l'échantillonnage.

Pour ce qui concerne la moyenne saisonnière sur une surface de 10 000 km², un réseau de 1 poste tous les 35 km permet son estimation avec une marge d'erreur de 8 à 10 %, en fonction de la variabilité propre à la saison considérée. Avec un réseau de 1 poste pour 50 km, cette marge d'erreur serait de 10 à 12 %, ce qui signifierait 422 ± 50 millimètres dans le cas de la saison 1990.

CONCLUSION

L'étude de l'impact d'un événement pluvieux à forte moyenne montre son importance sur la répartition et la valeur des hauteurs de pluie saisonnière. Tout le total pluviométrique de la saison peut être marqué de son empreinte, bien que dans cette région, le montant d'un événement « exceptionnel » reste bien inférieur à la moyenne annuelle saisonnière. De même, la trace de cet événement se retrouvera sur les isohyètes saisonnières. Cette étude met en évidence toute la difficulté d'analyser une variable (une hauteur de pluie saisonnière) qui ne représente pas un événement météorologique, mais une somme d'événements météorologiques, vraisemblablement non homogènes.

L'analyse de la répartition spatiale des hauteurs de pluie de deux saisons consécutives a en outre montré que l'on pouvait observer des structures spatiales très différentes. Cela entraîne que, selon l'année considérée, les isohyètes n'auront pas la même allure (formes plus ou moins douces) et ne seront pas connues avec la même précision. Par contre, l'estimation de la moyenne surfacique sur 10 000 km² dépend beaucoup plus du nombre de postes que de la structure du champ de pluie, étant donné que la dimension caractéristique de cette structure (10 à 50 km) est généralement plus faible que celle de la zone étudiée (carré de 110 km de côté environ). En outre, si la répartition des isohyètes moyennes interannuelles est latitudinale, au niveau d'une saison des pluies, cette répartition est beaucoup plus contrastée. Il faut, sur une fenêtre de 110 x 110 km², disposer d'un grand nombre de postes pour identifier un gradient croissant du nord vers le sud.

La variabilité interannuelle des cumuls annuels des pluies sahéliennes a été observée et décrite au niveau ponctuel. Le réseau dense du degré carré de Niamey a permis de constater que cette variabilité se retrouvait pour une année donnée au niveau spatial. Ce constat nous fait nous interroger sur la représentativité d'une hauteur de pluie annuelle en un poste pluviométrique, et sur la validité d'une série ponctuelle.

On peut toutefois supposer que la variabilité temporelle des mesures est équivalente à leur variabilité spatiale. Ce point reste à étudier, en considérant d'une part, une série ponctuelle temporelle, d'autre part, une « série spatiale » pour en comparer les distributions. Les données de l'hivernage 1991 sur le degré carré de Niamey autorise une telle étude.

BIBLIOGRAPHIE

- BADER J.C., 1984. Étude relative à l'évaluation du changement possible des pluies intenses sur la saison pluvieuse au Sahel. DEA de l'Université de Paris Sud.
- CADOT D., PUECH C., 1982. Étude des pluies journalières de fréquence rare au Niger. Publication CIEH, série hydrologie, 95 p. avec annexes.
- JOURNAL A., HUIJBREGTS C., 1978. Mining geostatistics. Academic Press, London, New York, San Francisco, 1978, 600 p.
- LEBEL T., CAZENAVE F., GATHELIER R., GREARD M., GUALDE R., KONG J., VALERO T., 1991. Epsat-Niger campagne 1990, rapport de campagne Orstom/DMN.
- MAHÉ G., 1992. Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Étude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. Thèse de docteur de l'Université Paris XI Orsay, juillet 1992, 385 p. + annexes.
- MATHERON, 1965. Les variables régionalisées et leur estimation. Ed. Masson et Cie, Paris, 305 p.

- OBLÉD C., 1986. Introduction au krigeage à l'usage des hydrologues. Deuxièmes journées hydrologiques de l'Orstom à Montpellier, 16-17 sept. 1986, Colloques et séminaires Orstom : 174-222.
- PUECH C., 1984. Opération pluie provoquée. Ouagadougou 1983. Synthèse finale. Rapport CIEH, série hydrologie, 161 p. + annexes.
- RADI G., 1991. Étude des régimes pluviométriques du Niger : caractéristiques des distributions mensuelles et variations observées au cours des 40 dernières années. Mémoire de fin d'études d'ingénieur d'application en hydrologie, Centre régional de formation et d'application en agrométéorologie et hydrologie opérationnelle, Niamey, 53 p. + annexes.
- THAUVIN V. et LEBEL T. (1991). Epsat-Niger : study of rainfall over the sahel at small time steps using a dense network of recording raingauges. Hydrological processes, vol.5, n° 1 : 251-260.
- THAUVIN V., 1992. Étude de la répartition spatiale des précipitations en milieu sahélien à l'aide du réseau dense de pluviographes de l'expérience Epsat-Niger. Application à la détermination de la précision des moyennes surfaciques au pas de temps de l'événement pluvieux. Thèse de docteur de l'Université de Montpellier II, à paraître.