

Caractérisation de la variabilité spatiale des pluies aux échelles inférieures au kilomètre en région semi-aride (région de Niamey, Niger)

Characterization of rainfall spatial variability at a scale smaller than 1 km in a semiarid area (region of Niamey, Niger)

Jean-Denis Taupin

LITHE/ORSTOM, Domaine universitaire, BP 53, 38041 Grenoble cedex 9, France

RÉSUMÉ

Un réseau de 25 pluviographes disposés sur 1 km², dans la région de Niamey (Niger), a été suivi pendant les saisons des pluies 1994 et 1995. L'analyse statistique montre que près de la moitié des événements présentent une variabilité spatiale caractérisée. L'analyse géostatistique permet de différencier trois types principaux de structure spatiale caractérisant cette variabilité. A cette échelle, dans la plupart des cas, la mesure ponctuelle n'est plus représentative, et peut présenter, sur les pluies de plus de 10 mm, de 6 à 80 % de différence par rapport à la moyenne du champ.

Mots clés : Niger, Sahel, Précipitation, Réseau dense, Variabilité, Méthode géostatistique

ABSTRACT

A network of 25 rain gauges distributed over 1 km², in the Niamey region (Niger), was monitored during the 1994 and 1995 rainy seasons. The statistical analysis shows that about 50% of the events present a high spatial variability. Three spatial structures can be differentiated by the geostatistical analysis of the recorded rainfields. At this scale, a local measurement is not representative of the mean areal rainfall. The difference between the mean areal rainfall and point rainfall represents from 6 to 80% of the mean for the rainfall fields of more than 10 mm.

Keywords: Niger, Sahel, Rainfall, Dense network, Variability, Geostatistic method

Abridged version (see p. 255)

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : B* 11832 Ex: 1

I. Introduction

En Afrique sahélienne, et plus généralement en zone semi-aride, les précipitations sont essentiellement d'origine convective, ce qui conduit à une répartition spatiale très hétérogène de la pluie. Malheureusement, le plus souvent, il est difficile d'étudier cette variabilité, en raison de la faible densité des réseaux de mesures, voire de leur inexistence (moins de cinq pluviographes pour

10 000 km² en zone sahélienne). Cependant, quelques expériences de réseaux denses ont été menées en zone semi-aride américaine (Osborn et al., 1979 ; Goodrich et al., 1995) et au Sahel (Flitcroft et al., 1989 ; Carbone et al., 1990 et 1992 ; Lebel et al., 1992). Ces différentes études ont mis en évidence une très forte variabilité des précipitations à l'échelle de quelques kilomètres et une variabilité restant inférieure aux erreurs de mesures à l'échelle décimétrique. En revanche, on a très peu de

Note présentée par Georges Pédro

Note remise le 10 mars 1997, acceptée après révision le 20 mai 1997

* E-mail : jean-denis.taupin@img.fr



010011832

résultats sur la caractérisation de la variabilité aux échelles intermédiaires. L'expérience que nous avons réalisée se propose donc d'étudier, à l'aide d'un réseau dense disposé sur 1 km², la variabilité des champs précipitants à l'échelle de l'événement et leur caractérisation dans l'espace à l'aide de la géostatistique.

II. Cadre de l'étude

De 1989 à 1995, dans le cadre de l'expérimentation EPSAT-Niger, un suivi intensif des systèmes précipitants par pluviographes (entre 40 et 100 postes) et radar a été mis en place dans la région de Niamey (Niger) sur une surface de 16 000 km² (Lebel et al., 1992). Ce dispositif de base a été complété en 1994 par un sous-réseau très dense composé de 25 pluviographes disposés sur une surface d'environ 1 km². Ce réseau est pseudo-régulier, privilégiant fortement le centre où la maille de base est de l'ordre de 125 m (figure 1). Pour assurer une homogénéité des conditions sur l'ensemble des pluviographes, le site choisi est totalement plat et sans végétation (latérite en partie cuirassée). Les 25 pluviographes à auget basculeur, dont la surface de réception du cône est égale à 400 cm², sont situés à une hauteur de 1,50 m. L'information pluviométrique est stockée sur une cartouche à mémoire morte que l'on relève une fois par mois. Pour assurer la qualité des données enregistrées, la pluie tombée dans le pluviographe est recueillie dans une dame-jeanne enterrée qui est contrôlée tous les 15-21 jours.

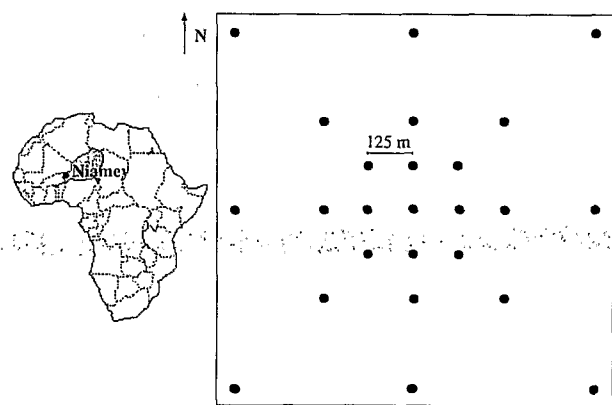


Figure 1. Localisation du site d'étude et structure du réseau.

Location of the research area and structure of the raingauge network.

III. Données

À l'échelle de la saison, l'écart pluviométrique maximal relevé sur le réseau est d'environ 15 % pour les 2 années (1994 : 549,1-642,3 ; 1995 : 439,1-513,8). Cette forte variabilité saisonnière va évidemment impliquer une forte variabilité aux échelles de temps inférieures.

Le choix du pas de temps de l'événement par rapport au pas de temps journalier, habituellement employé, paraît en fait plus judicieux pour l'étude de petites surfaces et permet ainsi de séparer des champs pluvieux distincts, au sein d'un événement de méso-échelle où l'intermittence peut être importante.

La détermination des événements, dits spatiaux, sur la surface qui nous intéresse est fondée sur trois seuils paramétriques :

- un critère de temps (deux événements spatiaux sont distincts, si plus de 30 minutes sans pluie sur la surface les séparent) ;
- un critère de nombre de stations touchées par la pluie (au moins 20 % de stations touchées pour éviter de créer des événements artificiels dus à des basculements parasites) ;
- un critère de seuil (une station au moins doit avoir reçu 1 mm, limite en dessous de laquelle la variabilité du champ est du même ordre de grandeur que l'erreur sur la mesure).

A partir de ces critères, on a recensé 68 événements spatiaux en 1994, (45 en 1995), dont 44 concernant l'ensemble du réseau (40 en 1995). Les événements qui ne couvrent pas totalement la zone représentent de très faibles hauteurs de pluie, environ 0,5 mm en moyenne arithmétique (écart maximal de 1 mm entre les pluviographes), et n'intéressent donc que peu notre étude sur la variabilité, compte tenu du seuil d'erreur sur la mesure du pluviographe.

IV. Résultats et discussion

En tenant compte de la totalité des événements (113 averse), les hauteurs moyennes de pluie sur le domaine se répartissent de 0,1 à 106,7 mm. La distribution des fréquences cumulées de la hauteur de pluie des événements (figure 2) pour les deux années, montre une répartition identique jusqu'à 30 mm (95.%). L'excédent de cumul en 1994 est principalement dû à un événement exceptionnel dont la moyenne sur le réseau est de 106,7 mm.

La durée des événements sur la zone varie de 5 à 375 minutes, mais il n'y a pas de corrélation entre hauteur de pluie et durée, cela étant lié à la structure des précipitations qui sont de type orageux, le plus souvent caractérisées par un front très pluvieux (30 % du temps moyen de l'averse pour environ 80 % du cumul moyen), suivies d'une traîne variable et peu pluvieuse. En revanche, la durée du passage du front sur la zone en fonction de son cumul montre une corrélation certaine (pour les événements supérieurs à 5 mm, on trouve un r^2 égal à 0,83 en 1994 et 0,53 en 1995). On note aussi de très bonnes corrélations entre la moyenne arithmétique du champ et les intensités maximales à différents pas de temps (en 1994, $r^2 = 0,60$ pour un pas de temps de 5 minutes et $r^2 = 0,91$ pour un pas de temps de 60 minutes ; en 1995, $r^2 = 0,70$ pour un pas de temps de 5 minutes et $r^2 = 0,91$ pour un pas de temps de 60 minutes).

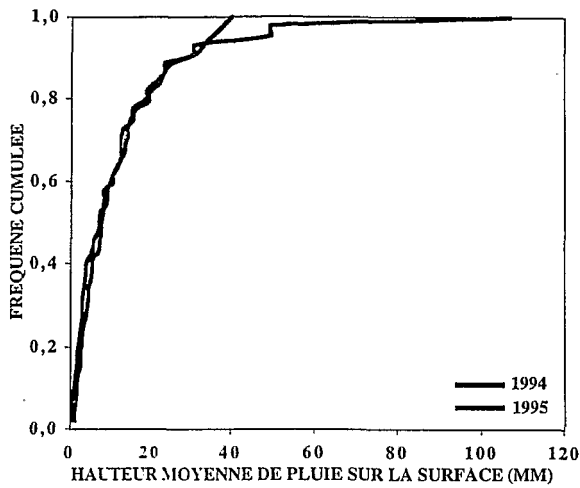


Figure 2. Fréquences cumulées des hauteurs moyennes des événements de 1994 et 1995.

Cumulative frequency of mean rainfall depth on the area in 1994 and 1995.

La variabilité du champ de pluie, à l'échelle de l'événement (figure 3a,b), peut être très importante sur notre échantillon. Il est bien sûr nécessaire de différencier la variabilité de la pluie liée à la dynamique du système pluvigène, de celle due aux erreurs de mesure sur le pluviographe (mécaniques : calibration du pluviographe, et environnementales : turbulence, position dans la pente, présence de végétation, évaporation à partir des augets, phénomène de splash). Osborn et Keppel (1966) et Goodrich et al. (1995) ont analysé l'ensemble de ces erreurs

affectant la mesure pluviographique sur de petites surfaces. Ils ont montré que le coefficient de variation du champ doit être supérieur à un seuil, différent selon la quantité de pluie, pour admettre une variabilité du champ trouvant son origine dans celle du système pluvigène. La courbe définissant ces seuils en fonction de la hauteur moyenne de pluie décroît exponentiellement de 15 à 5 % pour des pluies allant de 1 à 15 mm, et continue à décroître asymptotiquement jusqu'à 2,5 % pour les pluies supérieures. Compte tenu de ce critère, 25 événements sur les 84 couvrant entièrement la zone d'étude présentent une variabilité uniquement liée aux erreurs de mesure. Comme il est aussi difficile d'estimer l'existence d'une variabilité non liée à l'erreur de mesure sur les petites pluies, lors desquelles les pluviographes ont reçu entre 0,5 et 2,0 mm, nous avons considéré ces champs comme uniformes. Au total, 56 événements, répartis sur l'ensemble de la saison, présentent une variabilité avérée. Leur coefficient de variation est compris entre 13,8 et 60 % pour les pluies inférieures à 10 mm (21 événements) et entre 5 et 38,5 % pour les pluies supérieures à 10 mm (33 événements), près de la moitié de ces derniers ayant un coefficient de variation supérieur à 12 %. L'événement dont la variabilité du champ est la plus importante est la pluie du 22 juillet 1994 (moyenne : 12,3 mm ; min = 3,5 mm ; max = 21,0 mm).

La géostatistique permet d'étudier la structure spatiale d'un champ de pluie. Pour cela, ce champ est considéré comme une variable régionalisée $z(x)$, réalisation d'une fonction aléatoire $Z(x)$. Si cette fonction aléatoire est stationnaire d'ordre 2, ou intrinsèque (Delhomme, 1978), la fonction variogramme est alors définie par l'équation :

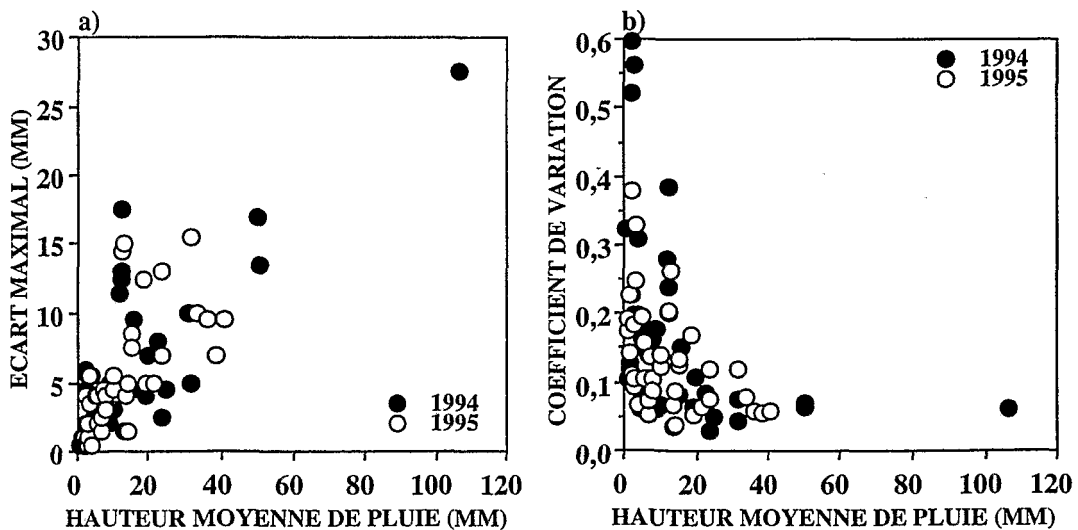


Figure 3. Comparaison de la hauteur moyenne de l'événement avec : a) l'écart maximal de son champ ; b) le coefficient de variation de son champ.

Comparison of the mean rainfall depth against: a) the maximum difference of point rainfall; b) the coefficient of variation of the field.

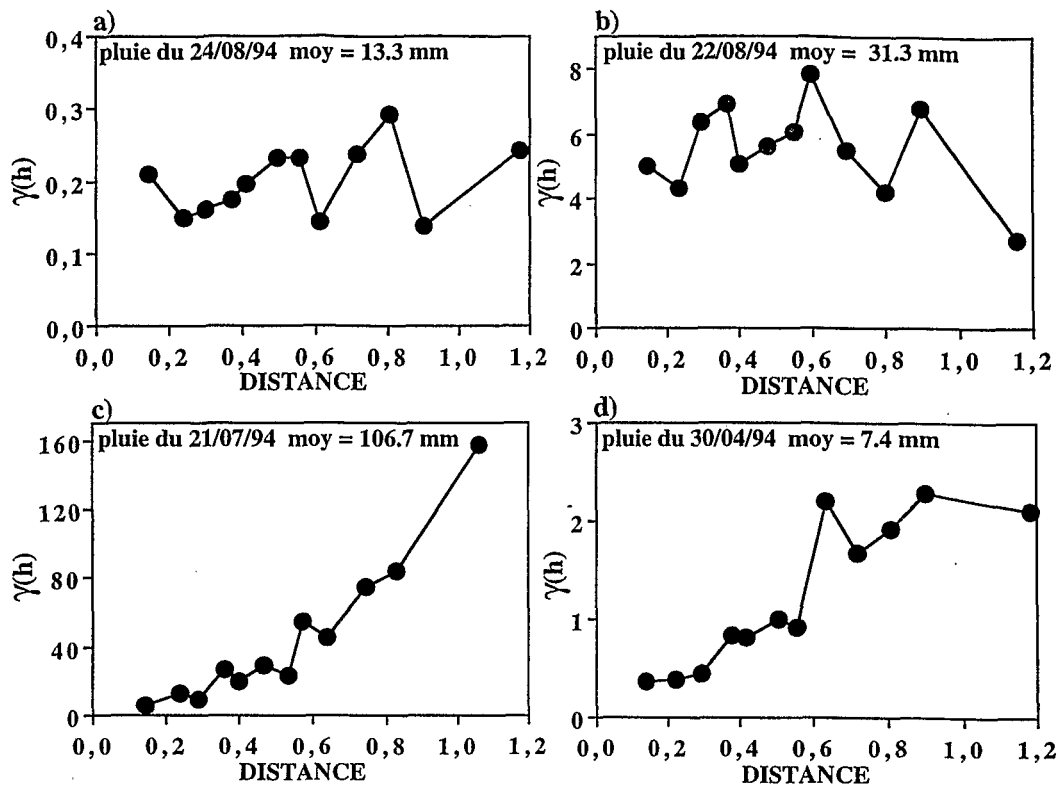


Figure 4. Différents types de fonction de structure caractérisant les événements sur la zone. a) Variogramme présentant un effet de pépite pur : champ uniforme ; b) variogramme présentant un effet de pépite pur : champ à variabilité non structurée ; c) champ modélisé par un variogramme de type puissance ; d) champ modélisé par un variogramme de type gaussien.

Variograms characterizing the events on the area. a) Variograms showing a pure nugget effect: uniform field; b) variograms showing a pure nugget effect: high variability of the field without spatial structure; c) variograms showing an unbounded function-power structure; d) variograms showing a bounded function-gaussian structure.

$$\gamma(h) = 1/2 \text{Var} [Z(x+h) - Z(x)] = E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\}$$

où $\gamma(h)$ est donc défini comme l'accroissement quadratique moyen entre les valeurs mesurées en deux points distants de h .

Le réseau privilégiant les interdistances entre 125 et 500 m, pour obtenir une analyse de la fonction de structure la plus robuste possible sur des distances jusqu'à 1 km, on a choisi un nombre de classes égal à 12. Ces classes n'ont pas la même amplitude, et chacune comporte environ 20 couples de points.

Les 84 événements couvrant toute la zone d'étude vont se répartir selon trois types de structure spatiale : variogramme présentant un effet de pépite pur ; variogramme non borné, ne présentant pas de palier (de type linéaire ou puissance) ; variogramme borné, présentant une portée et un palier (de type sphérique ou gaussien).

Le premier groupe concerne 25 champs précipitants répartis en deux sous-groupes :

- palier faible (figure 4a) : ce type de variogramme caractérise les pluies inférieures à 1 mm en moyenne surfacique, ainsi que la plupart des champs inférieurs à 5 mm, et

quatre champs compris entre 5 et 15 mm ; pour ces événements, le palier reste inférieur à $0,4 \text{ mm}^2$, mettant en évidence des champs uniformes aux erreurs de mesure près, donc sans réelle variabilité ; ces événements recouvrent bien évidemment l'ensemble des champs uniformes définis dans l'analyse statistique précédente ;

- palier élevé (figure 4b) : les fonctions de structure de quatre événements, tous supérieurs à 20 mm, montrent un unique palier supérieur à 4 mm^2 indiquant, dans ce cas, une variabilité du champ non organisée dans l'espace, exemple l'événement du 22 août 1994 (moyenne = 31,3 mm, $\text{ect} = 2,3 \text{ mm}$, $\text{min} = 19,0 \text{ mm}$, $\text{max} = 27,0 \text{ mm}$).

Le second groupe contient 38 événements. Leur structure spatiale est parfaitement modélisée à l'aide d'un variogramme de type linéaire ou puissance, sans effet de pépite marqué (figure 4c). Cependant, si on analyse ces champs pluvieux à des échelles supérieures au kilomètre, le variogramme présente alors un palier dont la portée, qui définit la distance minimum de décorrélation entre les stations, se situe entre 10 et 50 km, comme le montrent les

résultats obtenus avec le réseau du degré carré d'EPSAT-Niger (Taupin et al., 1995, 1996). Malgré la présence d'une fonction de structure bien marquée, certains événements ont un variogramme qui n'atteint pas $0,5 \text{ mm}^2$ (trois pluies), qui les rapproche des champs que l'on peut considérer comme uniformes.

Les événements du dernier groupe (21 champs) ont une fonction de structure comportant une portée et un palier (type gaussien ou sphérique) sans effet de pépité marqué (figure 4d). Quatre de ces champs ont un palier inférieur à $0,5 \text{ mm}^2$, et pour les mêmes raisons évoquées précédemment, sont à rapprocher des champs uniformes. Ce palier se situe entre 500 m et 1 km et pourrait matérialiser la trace au sol de cellules très actives au sein de la convection de grande échelle (Lafore et Mincrieff, 1989). L'analyse à des temps inférieurs à la durée totale de quelques-uns de ces événements montre que l'on retrouve le variogramme à palier uniquement dans le front de la convection, là où se situeraient ces cellules.

En dernier lieu, on s'est intéressé à l'anisotropie de la variabilité à l'échelle kilométrique suivant deux directions privilégiées : l'extension de la convection (nord-sud) et son déplacement (est-ouest). On constate que, dans la plupart des cas, la variabilité est isotrope, contrairement à ce que l'on trouve à grande échelle (Hubert et Carbonnel, 1988), sauf pour huit événements sans caractéristique particulière, où il y a une forte anisotropie mais sans direction privilégiée.

ABRIDGED VERSION

In Sahelian Africa and in semiarid areas rainfall originates generally from convective systems. This explains the variability of their cumulative sum. The raingauge networks in these regions are often very sparse. Some studies with dense networks have been carried out in an American semiarid zone (Osborn et al., 1979; Goodrich et al., 1995) and in the Sahel (Flitcroft et al., 1989; Carbonnel et al., 1990, 1992; Taupin et al., 1993). These studies show a high variability in rainfall depth at the scale of a kilometer and a variability that is smaller than the measurement errors at the decametric scale. Following the EPSAT-Niger Experiment, 1989–1995 (Lebel et al., 1991), where one radar and about 100 raingauges were used for an area of $10\,000 \text{ km}^2$, we have also installed a very dense network (25 raingauges on 1 km^2) near Niamey to study the rainfall variability at an intermediate scale. The density of this network increases from the edge to the center (figure 1) and it is situated on a flat homogeneous lateritic surface.

At the seasonal scale, the maximum difference in rainfall between raingauges on this network is about 15% over the 2 years (1994: 549.1–642.3; 1995: 439.1–513.8). This high seasonal variability induces also a high variability at a smaller scale.

A rainfall field is defined if three conditions are met:

- the time between two successive events is larger than 30 min ;
- the number of recorded raingauges is larger than 20%, to avoid artefacts due to interferences of tipping bucket;
- at least one of the raingauges must record at least 1 mm.

V. Conclusions

La variabilité pluviométrique des pluies sahéliennes s'avère être non négligeable à une échelle comprise entre la centaine de mètres et le kilomètre ; c'est donc une caractéristique qui doit être prise en compte lors de la modélisation hydrologique de petits bassins versants, surtout si le terrain n'est pas homogène (altitude, végétation...). Cette variabilité du champ pluvieux peut être faible, voire seulement due aux erreurs de mesures, mais dans ce cas elle ne concerne, le plus souvent, que les pluies inférieures à 5 mm. Pour les pluies plus importantes, trois types de fonction de structure, déterminés par la géostatistique, vont modéliser leur comportement spatial. La présence de champs à forte variabilité dont le variogramme présente un effet de pépité pur, bien que peu nombreux, est un résultat assez surprenant concernant de telles hauteurs de pluie (entre 23 et 36 mm), dans la mesure où, pour la plupart des événements concernés, il s'agit de convections de méso-échelle où l'on observe le plus souvent des structures organisées. Pour les événements restants, 30 % des champs sont modélisés par un variogramme borné dont la portée pourrait indiquer la délimitation de petites cellules actives d'ordre kilométrique qui seraient l'élément de base de la convection. La confirmation de cette hypothèse passe par l'analyse, à des pas de temps plus fins, de la trace au sol de ces structures et de leur évolution temporelle.

Sixty-eight events were recorded in 1994 (45 in 1995) among which 44 covered all the network (40 in 1995). The events that do not cover the network have weak rainfall depth (mean rainfall about 0.5 mm), and they will not be considered in the geostatistical analysis of the variability.

The mean rainfall depths of the 113 events are comprised between 0.1 and 106.7 mm. Their distribution for the 2 years (figure 2) shows a similar repartition until 30 mm (95%). The cumulative difference between the two rainy seasons comes from the event (21 July 1994) when a mean area rainfall of 106.7 mm was observed.

There is no relationship between rainfall depth and duration of the event, but when we consider only the front of the storm, rainfall depth and duration are significantly correlated. Good correlations also exist between mean field and maximum intensities at different time steps.

The rainfall variability at event scale (figure 3a,b) is very important. But a fraction of this variability is linked to different kinds of errors analysed by Osborn and Keppel (1966) and Goodrich et al. (1995). They pointed out that there is a true variability if the coefficient of variation of the field is above a threshold value (function of the rain depth) defined by the authors. Based on this criterion, 56 events out of the 84 events covering all the network present a real variability. Their coefficients of variation range between 13.8 and 60% for the mean areal rainfall depth smaller than 10 mm and between 5 and 38.5% for the higher rainfields.

The geostatistical analysis of the events is based on the variogram function defined by:

$$\gamma(h) = 1/2 \text{Var} [Z(x+h) - Z(x)] = E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\}$$

$Z(x)$ being the Z value for the x coordinate point. This is the mean quadratic increase of Z between two points with a distance h between each other.

To obtain the best analysis with regards to the irregular network, we have defined 12 classes of distances h with a comparable number of pairs in each class.

The 84 events are characterized by three spatial structures:

- variograms showing a pure nugget effect;
- variograms showing an unbounded function, linear or power-law;
- variograms showing a bounded function, spheric or gaussian.

Twenty-five events present variograms with a pure nugget effect. The events that have a sill lower than 0.5 mm^2 (figure 4a) have a variability due to the measurement errors (rainfall smaller than 5 mm). The other events (figure 4b) have

a sill of about 4 mm^2 and present a variability without spatial structure (four events higher than 20 mm are involved).

Thirty-eight events present a linear or power-law variogram without significant nugget (figure 4c). However, at a scale higher than 1 km, the variogram is bounded with a range between 10 and 50 km (Taupin et al., 1995, 1996).

Twenty-one events have a spheric or gaussian variogram without significant nugget (figure 4d). The range is between 500 and 1 000 m and could be associated with the scale of convective cells present in the squall line (Lafore and Minckieff, 1989). For these events, the geostatistical analysis at a time smaller than the duration of the event shows that the gaussian or spherical variogram is observed in the convective part of the rainy system, which agrees with the hypothesis of a link between the range and the scale of the convective cells.

Geostatistical analysis of the event in the two directions of convection E-W and S-N, shows that the majority of rainfall fields are isotropic, contrary to what is observed at a larger scale (Hubert and Carbonnel, 1988). Only 8 events show an anisotropy but with a changing direction.

REFERENCES

- Carbonnel J.P., Hubert P., Walbadet E., Mermoud A. et Bariac T., 1990. Variabilité spatiale des précipitations soudano-sahéliennes à l'échelle décimétrique, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 311, série II, 1425-1430.
- Carbonnel J.P., Hubert P., Baina S., et Bariac T., 1992. Analyse géostatistique à l'échelle kilométrique de champs de précipitations journalières en climat soudano-sahélien, Communications aux Rencontres hydrologiques franco-roumaines, Carbonnel et al., eds, SC/92/WS/48, UNESCO, Paris, 347-353.
- Delhomme J.P., 1978. Application de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau, *Bull. BRGM.*, III, 4, 341-375.
- Filtcroff I.D., Milford J.R. et Dugdale G., 1989. Relating point to area average rainfall in semiarid west Africa and the implications for rainfall estimates derived from satellite data, *J. Appl. Meteor.*, 28, 252-266.
- Goodrich D.C., Faures J.M., Woolhiser D.A., Lane L.J. et So-rooshian, S., 1995. Measurement and analysis of small-scale convective storm rainfall variability, *J. Hydrol.*, 173, 283-308.
- Lafore J.P. et Moncrieff M.W., 1989. A numerical investigation of the organization and interaction of the convection and stratiform regions of tropical squall lines, *J. Atmos. Sci.*, 46, 521-544.
- Hubert P. et Carbonnel J.P., 1988. Caractérisation fractale de la variabilité et de l'anisotropie des précipitations intertropicales, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, série II, 909-914.
- Lebel T., Sauvageot H., Hoepffner M., Desbols M., Guillot B. et Hubert P., 1992. Rainfall estimation in the Sahel: The EPSAT-NIGER experiment, *Hydrol. Sci. J.*, 37 (3), 201-215.
- Osborn H.B. et Keppel R.V., 1966. Dense rain gage network as a supplement to regional networks in semiarid region, *In: Symp. on Design of Hydrologic networks*, Quebec, Canada. IAHS, Publ. N° 68. University of Gent, Gentbrugge, 675-687.
- Osborn H.B., Renard K.G. et Simanton J.H., 1979. Dense networks to measure convective rainfall in the southwestern United States, *Water Resour. Res.*, 15 (6), 1701-1711.
- Taupin J.D., Bonef E. et Robin J., 1995. EPSAT-NIGER suivi à long terme, Rapport de campagne 1994, ORSTOM-DMN, 58 p + annexes.
- Taupin J.D., Laroche C. et Robin J., 1996. EPSAT-NIGER suivi à long terme, Rapport de campagne 1995, ORSTOM-DMN, 59 p + annexes.

COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

SCIENCES DE LA TERRE ET DES PLANÈTES *EARTH & PLANETARY SCIENCES*

1997 — Tome 325 — Série II a — N° 4

Géomatériaux (Pétrologie)

- Les enclaves mantelliques protogranulaires du Forez : témoins de l'érosion lithosphérique en bordure du panache du Massif central.
Xavier LENOIR, Jean-Marie DAUTRIA
et Jean-Louis BODINIER 235

Géomatériaux

- Un grand épisode érosionnel dans l'histoire ancienne du Piton de la Fournaise (île de la Réunion).
Philippe MAIRINE et Patrick BACHÈLERY 243

Géosciences de surface (Hydrologie)

- Caractérisation de la variabilité spatiale des pluies aux échelles inférieures au kilomètre en région semi-aride (région de Niamey, Niger).
Jean-Denis TAUPIN 251

Stratigraphie/Tectonique

- La structuration de la marge pacifique nord-américaine et du « terrane » Caborca : apports de la découverte d'une faune du Jurassique inférieur et moyen dans la série de Pozos de Serna (Sonora, Mexique).
Thierry CALMUS, Efrén PÉREZ SEGURA
et Wolfgang STINNESBECK 257

Tectonique

- Évolution tectono-sédimentaire des bassins flexuraux profonds et à taux de sédimentation réduit : exemple du bassin de flysch de Saint-Jean-de-Luz (Pyrénées-Atlantique, France) au Crétacé supérieur.
Stéphane BRUSSET, Joachim DÉRAMOND
et Pierre SOUQUET 265

Géodynamique

- Une preuve d'extension contemporaine de l'expansion océanique de la Téthys ligure en Briançonnais : les failles du Vallon Laugier.
Marie-Élisabeth CLAUDEL, Thierry DUMONT
et Pierre TRICART 273

Paléontologie (Paléontologie des invertébrés)

- Apparition d'une morphologie scaphitomorphe par miniaturisation chez une ammonite oxfordienne : *Scaphitodites scaphitoides* (Coquand, 1853).
Pascal NEIGE, Didier MARCHAND, Jacques ROSSI
et Jacques LANCE 281

(Paléontologie des vertébrés)

- Lower Miocene Suiformes from the northern Sperrgebiet, Namibia, including new evidence for the systematic position of the Sanitheriidae.
Martin PICKFORD 285

(Paléontologie humaine)

- Développement dentaire des hominidés du Plio-Pléistocène. Taux d'extension de l'émail chez les hominidés fossiles.
Fernando V. RAMIREZ ROZZI 293

Histoire des sciences

- Cassini a-t-il observé la chute d'une comète sur Jupiter ?
Suzanne DÉBARBAT 297