

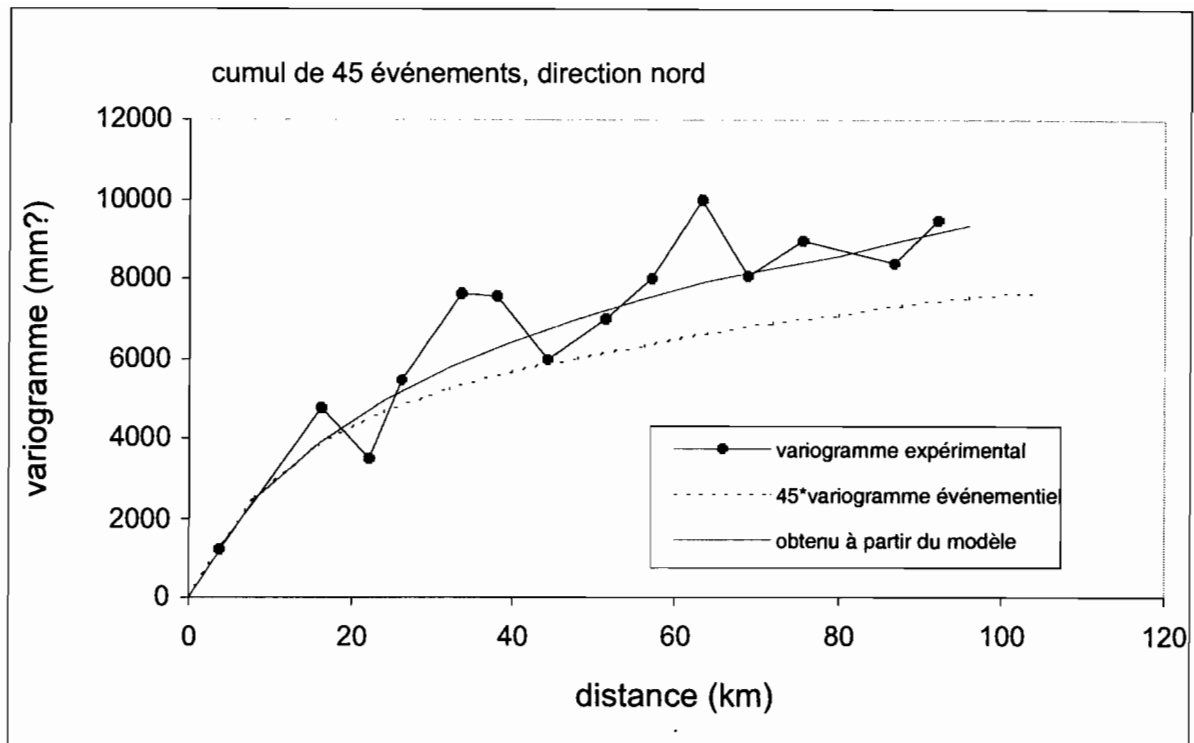
Invariance d'échelle dans la structure des champs de pluie sahéliens.

A. Ali^{1,2}, T. Lebel¹, A. Amani²

1: IRD - LTHE, UMR 5564, Grenoble - France.

2: AGRHYMET, Centre régional de formation et d'application en agrométéorologie, hydrologie et météorologie, Niamey - Niger.

La pluie au Sahel est réputée pour sa grande variabilité sur une large gamme d'échelles temporelles : variabilité décennale associée à la sécheresse 1970-1997 ; variabilité interannuelle incarnée par l'année 1994, seule année humide au sein de la période précédente ; variabilité intrasaisonnière (break de mousson de l'année 2000) et enfin intermittence au sein des événements pluvieux. L'expérience EPSAT-Niger et son prolongement ont permis de démontrer, grâce à un réseau dense de pluviographes et ayant fonctionné depuis 1990, que cette variabilité temporelle est associée à une variabilité spatiale dont l'impact hydrologique est extrêmement important. Sur la base d'un modèle proposé antérieurement par Lebel et Le Barbé (1997), on présente ici une approche intégrée qui rend compte de ces différentes échelles de variabilité dans un contexte cohérent. Ce modèle permet d'identifier la structure spatiale des champs de pluie aux pas de temps plus grands que la journée, à partir de la structure des champs de pluie événementiels. Pour ce faire, on prend explicitement en compte les caractéristiques internes et externes des champs événementiels et on dérive analytiquement l'expression de la structure du cumul de N événements. L'étude de ces caractéristiques est basée sur l'identification des trois éléments suivants : i) la structure spatiale des événements que nous modélisons en tenant compte des emboîtements d'échelle et des anisotropies, caractéristiques des systèmes pluvieux de cette région, ii) l'intermittence spatiale, qui est modélisée via le variogramme des indicatrices et iii) le paramètre relatif à la taille des événements, seule inconnue restant du modèle, que l'on obtient alors par résolution numérique. Une fois ces éléments bien identifiés, ils constitueront les invariants du modèle. Les données EPSAT-Niger, du fait de leur haute résolution spatio-temporelle, ont permis dans un premier temps de bien documenter la variabilité spatiale depuis l'échelle convective jusqu'à la méso-échelle, fournissant ainsi une inférence robuste du variogramme moyen événementiel. Dans un deuxième temps, on a mené une étude expérimentale des champs composés par combinaison aléatoire de N événements, en montrant que la structure de ces champs est bien conforme à celle obtenue pour les champs des cumuls à pas de temps fixe. Le modèle est ensuite mis en œuvre en combinant les éléments invariants identifiés au cours des deux premières étapes. Par ailleurs, la relation analytique qui lie ces éléments invariants permet de quantifier l'importance relative de chacun selon l'échelle d'espace et de temps considérée. Pour certaines échelles on peut négliger un ou plusieurs éléments, car une structure est dominante. Pour d'autres au contraire, il y a une contribution significative de chaque structure et la totalité du modèle doit être prise en compte. Ce travail débouche sur une double conclusion. Tout d'abord, la validation du modèle confirme que la seule connaissance de la structure des champs événementiels et du nombre d'événements N donne accès à la structure des champs N -événementiels, c'est à dire notamment à la structure des champs de pluie décennales ou mensuels qui sont utilisés en entrée des modèles de bilan hydrique ou hydrologiques régionaux. La caractérisation des champs de pluie par invariance d'échelle est donc pertinente dans le cas sahélien, pour les échelles considérées ici. Ensuite, on va pouvoir proposer de nouveaux algorithmes pour combiner données sol et satellitaires aux fins d'estimation de pluie par satellite sur la région.

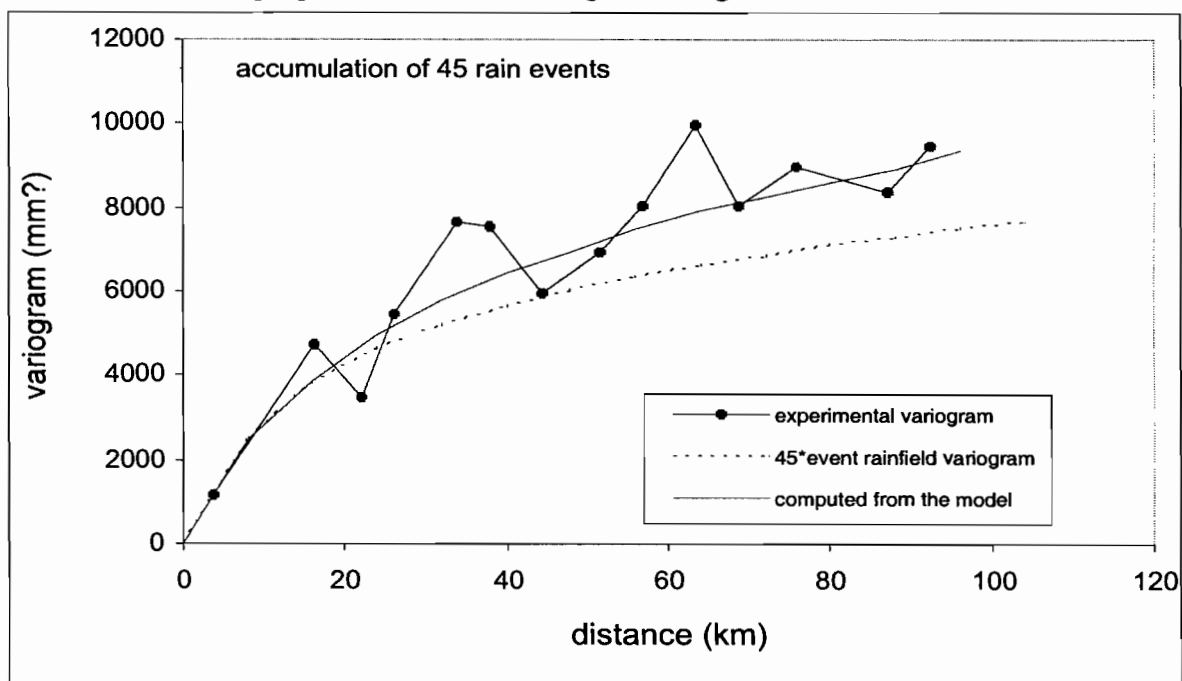


Variogramme expérimental directionnel du cumul de 45 événements pluvieux (correspondant approximativement au cumul saisonnier en année moyenne) et ajustement d'un modèle théorique déduit du variogramme événementiel tracé en pointillés. Les données du variogramme expérimental n'ont pas été utilisées pour le calage du modèle théorique γ_{Ne} , qui est de la forme : $\gamma_{Ne} = \alpha\gamma_e + \varphi(\gamma_N)$, où γ_e est le variogramme événementiel, α est un paramètre relatif à la taille des événements et γ_N est le variogramme du nombre d'événements.

Abstract

Rainfall in the Sahel is notoriously unreliable and characterised by a great variability over a large spectrum of scales: decadal variability associated to the continuous drought that struck the region from 1970 to 1997, interannual variability (for instance the year 1994 was the only markedly wet year during the dry period), intraseasonal variability and internal intermittency of the rainfields at the scale of the convective systems. The EPSAT-Niger experiment, running from 1990 onwards, provided the recording raingauge data required to document the space variability of the Sahelian rainfields. This space variability was shown to be as significant as the time variability from an hydrologic point of view. On the basis of a model proposed by Lebel et Le Barbé (1997), an integrated approach is presented here, accounting for these various scales of variability in a coherent theoretical framework. This model allows the identification of the spatial structure of rainfields at time steps greater than one day, bases on the structure of event rainfields, taking into account that the cumulative rainfall over a period of several days is the accumulation of the rain produced by a number N of events, N being a random variate. In this approach, the internal and external characteristics of the event rainfields are specified and the structure of the N -event rainfields are analytically derived. These characteristics are associated to three elements: i) a model for the spatial structure of the event rainfields, taking into account the nesting and anisotropy displayed by the rainy systems of this region; ii) the space intermittency, which is modelled via the indicator

variogram; iii) a parameter related to the size of the convective systems, which is a remaining unknown, calculated numerically. Once these elements are identified they constitute the invariants of the model. Thanks to the high space-time resolution of the EPSAT-Niger data, it has been possible to adequately document the space variability from the convective scale up to the mesoscale, thus providing a robust inference of the average event rainfield variogram. In a second step, an experimental study of the rainfields associated to the random combination of N -events was carried out. It is shown that the structure of these N -event rainfields is indeed similar to the structure of 10-day, monthly or seasonal rainfields, depending on the value considered for N . The model is then implemented by combining the invariant elements identified as a result of the two first steps. The analytical relationship between these invariant elements allows the quantification of how important is each element depending on the space and time scales considered. For certain scales, one or two elements may be neglected, since one structure is dominant. For other scales each structure contributes significantly to the overall structure and the model is to be used in its entirety. This work leads to a double conclusion. First, the validation of the model confirms that the sole knowledge of the average event rainfield structure and of the number of events N is needed to determine the structure of the N -event rainfields. This gives access to the structure of 10-day and monthly rainfields, which are used as inputs to water balance or hydrologic models at the regional scale. The characterisation of the Sahelian rainfields by a scaling approach is thus relevant, at least for the scales considered here. Secondly, new algorithms could be derived, combining ground and satellite data for the purpose of rain monitoring in the region.



Experimental variogram in the North-South direction for the accumulation of 45 rain events (corresponding approximately to the seasonal total of an average year). A theoretical model was computed from the event rainfield variogram drawn as a dashed line. The data of the experimental variogram were not used to fit the theoretical model γ_{Ne} , which is of the following form: $\gamma_{Ne} = \alpha\gamma_e + \varphi(\gamma_N)$, where γ_e is the event rainfield variogram, α is a parameter linked to the size of the events and γ_N is the variogram of the number of events.

Références

Lebel, T., and L. Le Barbé, 1997: Rainfall monitoring during HAPEX-Sahel: 2. Point and areal estimation at the event and seasonal scales. *J. Hydrol.*, **188-189**, 97-122.