

APPROCHE DE MODELISATION INTEGREE DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE AU SAHEL

Abdou ALI (1, 2), Abou AMANI (1) et Thierry LEBEL (2)

(1) Centre Régional AGRHYMET, Niamey, Niger (2) IRD, Niamey, Niger

Introduction

Les sorties pluviométriques des modèles de prévision du climat sont assez grossières par rapport aux échelles d'intérêt pour les hydrologues et les agronomes à cause des limites de la résolution. Les techniques utilisées pour désagréger ces sorties sont encore en développement. Par exemple, il n'existe pas encore, à notre connaissance, de méthodes permettant de désagréger les sorties mensuelles des modèles climatiques tout en restituant la structure spatiale observée. Dans ce contexte, la simulation stochastique des champs de pluie joue un rôle fondamental pour produire des scénarios permettant de tester l'impact hydrologique ou agronomique de la variabilité pluviométrique. La présente synthèse se place dans un contexte géostatistique en considérant l'événement pluvieux comme l'élément de base d'une modélisation stochastique intégrée au Sahel. Ce choix a un fondement climatologique important au Sahel. Plus que nulle part ailleurs, les événements pluvieux se présentent comme des objets individuels, facilement identifiables et dotés de caractéristiques stables dans le temps et dans l'espace ; le nombre d'événements étant, par ailleurs, le moteur essentiel de la variabilité pluviométrique.

Intérêt d'une modélisation intégrée des champs de pluie au Sahel

Contrairement à ce qui se passe dans le domaine minier, par exemple, plusieurs observations des champs de pluie sont disponibles pour un même pas de temps. Pour les besoins d'opérationnalité, de robustesse des inférences et souhaitant disposer d'une représentation la plus synthétique possible des champs de pluie au Sahel, les différentes observations d'un même pas de temps sont considérées comme des réalisations indépendantes d'une même fonction aléatoire. Ce choix exige que ces observations soient assez homogènes, car considérées comme issues de la même population. Cette hypothèse n'est acceptable qu'à l'échelle de l'événement pluvieux. Or ce sont les pas de temps fixes (généralement le pas de temps journalier, décadaire, mensuel ou saisonnier) qui sont utilisés par les services opérationnels. Ces échelles sont également celles des estimations de pluie par satellite et des modèles globaux ou régionaux. Les cumuls de pluie à ces pas de temps, cependant, ne sont ni homogènes dans le temps, ni stationnaires dans l'espace car ils sont constitués d'un nombre d'événements différent. Pour s'affranchir de cette inadéquation entre échelle appropriée pour la modélisation et celles utilisées par les services opérationnels, une modélisation multi-échelle ou intégrée (ces deux termes sont utilisés indifféremment) des champs de pluie au Sahel est proposée. Dans un premier temps, les éléments de base de cette modélisation sont inférés à l'échelle de l'événement. En plus de l'adéquation statistique et de la robustesse des inférences à cette échelle, cette approche a l'avantage de caractériser l'élément météorologique à la base de la pluie, à savoir l'événement pluvieux. Le passage de l'échelle de l'événement aux échelles supérieures (échelles multi-événementielles) est ensuite envisagé en considérant des relations d'invariance d'échelle.

Passage de l'échelle de l'événement aux échelles supérieures

Le fait de disposer d'un réseau densément instrumenté en zone sahélienne (l'observatoire EPSAT-Niger) a permis de bien documenter les champs de pluie sur une large gamme d'échelles temporelles. Des outils de simulation et de désagrégation des champs de pluie ont été développés à l'échelle de l'événement. Ces travaux ont été effectués dans le cadre gaussien. La technique de l'anamorphose gaussienne a été utilisée à cet effet. L'intérêt de la loi gaussienne en statistique est multiple. Notons simplement que pour simuler un champ de pluie en géostatistique dans le cadre gaussien la connaissance des fonctions de distribution monovariante et de la structure spatiale est suffisante. Ainsi pour capitaliser les travaux de l'échelle de l'événement aux échelles supérieures il suffit d'établir des relations permettant de déduire ces deux fonctions pour ces échelles supérieures.

i) Fonction de distribution multi-échelle : la loi des fuites

La relation permettant de connaître la fonction de distribution du cumul de pluie Z_T sur une période T supérieure au pas de temps de l'événement est la loi de fuite (Le Barbé and Lebel 1997). Elle est caractérisée par deux paramètres: m_e le cumul moyen de l'événement et N_T le nombre d'événements moyen sur la période T . Cette loi suppose une distribution exponentielle des cumuls événementiels et une loi de Poisson pour l'occurrence des événements. La fonction densité de probabilité de cette loi intégrée est la suivante :

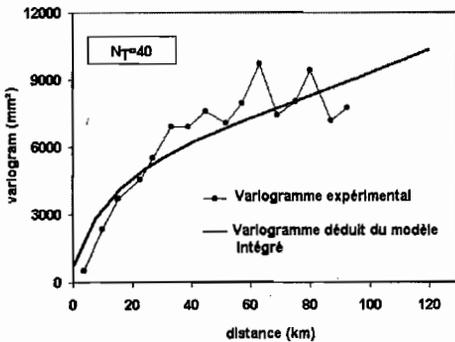
$$f(U_T) = e^{-N_T} N_T e^{-U_T} I_1(2\sqrt{N_T U_T}) / (\sqrt{N_T U_T})$$

où $U_T = Z_T/m_e$ et $I_1(2\sqrt{N_T U_T})$ est la fonction de premier ordre de Bessel modifiée. N_T est le facteur d'échelle de cette relation.

ii) Fonction de structure spatiale multi-échelle : le variogramme N-événements

Deux notions sont essentielles à ce niveau : variabilité interne et externe de l'événement. La variabilité interne caractérise la manière dont se répartit la pluie à l'intérieur de l'espace couvert par l'événement. La variabilité externe est celle indiquant s'il y a événement ou pas en un point de l'espace. Considérant une invariance climatologique de ces deux variabilités, le modèle intégré ci-dessous a été établi (Ali et al. 2003) et permet le calcul du variogramme du cumul de pluie pour un pas de temps quelconque :

$$\tilde{\gamma}_{z_T} = N_T \left\{ \frac{1}{2} [m_{i_1} + m_{i_2}] \tilde{\gamma}_e + [(\sigma_e)^2 + (m_e)^2] \tilde{\gamma}_l - \tilde{\gamma}_e \tilde{\gamma}_l \right\} + N_T (N_T - 1) \left\{ \frac{1}{2} (m_e)^2 (m_{i_2} - m_{i_1})^2 \right\}$$



$\tilde{\gamma}_{z_T}$ est le variogramme du cumul Z_T . m_e , σ_e et γ_e sont la moyenne, la variance et le variogramme de l'événement pluvieux, m_i et γ_i sont la moyenne et le variogramme de son indicatrice. N_T (le nombre d'événements) représente aussi le facteur d'échelle de cette relation. La Figure 1 ci-contre présente un exemple de validation de cette formulation intégrée sur la zone EPSAT-Niger.

Figure 1 : Comparaison du variogramme expérimental calculé à partir du cumul moyen de 40 événements (40 est à peu près le nombre moyen d'événements par an) et le variogramme théorique déduit du modèle intégré. L'adéquation est bonne.

Application

Disposant maintenant des relations permettant de déduire les fonctions de distribution et de structure spatiale des champs de pluie pour les pas de temps supérieurs à l'événement, nous pouvons envisager sans grande difficulté la simulation et la désagrégation des cumuls pluviométriques au Sahel. Une première application de ces relations a été de développer une fonction multi-échelle permettant de calculer l'erreur associée à l'estimation de la pluie moyenne spatiale (Ali et al. 2005a). Cette fonction d'erreur a ensuite été utilisée pour évaluer les réseaux pluviométriques des pays sahéliens et intercomparer des produits pluviométriques sur la région (Ali et al. 2005b)

Bibliographie

Ali, A., A. Amani, A. Diedhiou, T. Lebel, 2005: Rainfall Estimation in the Sahel. Part 2: Evaluation of Rain gauge Networks in the CILSS Countries and Objective Intercomparison of Rainfall Products. *Journal of Applied Meteorology*. A paraître.

Ali, A., T. Lebel, and A. Amani, 2005: Rainfall estimation in the Sahel. Part 1: Error Function. *Journal of Applied Meteorology*. A paraître

Ali, A., T. Lebel, and A. Amani, 2003. Invariance in the spatial structure of Sahelian rain fields at climatological scales. *Journal of Hydrometeorology*, **4(6)** 996-1011.

Le Barbé, L., and T. Lebel 1997: Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. *Journal of Hydrology*, **188-189**, 43-73.

Correspondance

Abdou ALI : BP 5040, Niamey, Niger - E-mail : a.ali@agrhytmet.ne

AN INTEGRATED MODELING APPROACH TO SAHELIAN RAINFALL VARIABILITY

This study concerns an integrated modeling approach to Sahelian rainfields by considering rain events as the basic elements of rainfall variability. Identifying the rain event characteristics (cumulative rain event, spatial structure) as climatological invariants and utilizing the concepts of internal and external variability of rain events, a geostatistical model allowing the characterization of the spatial variability of rainfields over a broad range of time scales is developed.

On the one hand, this model serves as a tool for diagnosing the different scales of the sahelian rainfall variability.

On the other hand, it allows extending an estimation error function initially established on the EPSAT-Niger experiment region to all the Sahelian region. This error function has been used to evaluate the rainfall networks in the Sahelian countries and to intercompare various satellite rainfall products for the region.

Correspondence

Abdou ALI, BP 5040, Niamey, Niger - Email : a.ali@agrhytmet.ne



Afrikaanse Moesson Multidisciplinaire Analyse
Afrikanske Monsun : Multidisplinaere Analyser
Analisi Multidisciplinare per il Monsone Africano
Analisis Multidisciplinar de los Monzones Africanos
Afrikanischer Monsun : Multidisziplinäre Analysen
Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine

African Monsoon Multidisciplinary Analyses

1st International Conference

Dakar, 28th November – 4th December 2005

Extended abstracts

Isabelle Genau, Sally Marsh, Jim McQuaid, Jean-Luc Redelsperger,
Christopher Thorncroft and Elisabeth van den Akker (Editors)

AMMA International

Conference organisation:

Bernard Bourles, Amadou Gaye, Jim McQuaid, Elisabeth van den Akker

English and French editing :

Jean-Luc Redelsperger , Chris Thorncroft, Isabelle Genau

Typesetting:

Sally Marsh, Isabelle Genau, Elisabeth van den Akker

Printing and binding:

Corlet Numérique
14110 Condé-sur-Noireau
France
numeric@corlet.fr

Copyright © AMMA International 2006

AMMA International Project Office

IPSL/UPMC
Post Box 100
4, Place Jussieu
75252 PARIS cedex 5

Web : <http://www.amma-international.org/>
Email amma.office@ipsl.jussieu.fr

Tel. +33 (0) 1 44 27 48 66
Fax +33 (0) 1 44 27 49 93

All rights reserved.

Back page photo: (Françoise Guichard, Laurent Kergoat)

Convective wind system with aerosols, named "haboob", Hombori in Mali, West Africa.