



**HAL**  
open science

# Désagrégation d'estimations pluviométriques obtenues sur des grandes mailles et utilisation en entrée d'un modèle hydrologique événementiel adapté aux particularités de l'environnement sahélien

T. Lebel, F. Delclaux, G. Guillot, B. Cappelaere, C. Peugeot, Jan Polcher

## ► To cite this version:

T. Lebel, F. Delclaux, G. Guillot, B. Cappelaere, C. Peugeot, et al.. Désagrégation d'estimations pluviométriques obtenues sur des grandes mailles et utilisation en entrée d'un modèle hydrologique événementiel adapté aux particularités de l'environnement sahélien. Colloque PNRH 2000, May 2000, Nice, France. hal-02769958

**HAL Id: hal-02769958**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02769958>**

Submitted on 4 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# DESAGREGATION D'ESTIMATIONS PLUVIOMETRIQUES OBTENUES SUR DES GRANDES MAILLES ET UTILISATION EN ENTREE D'UN MODELE HYDROLOGIQUE EVENEMENTIEL ADAPTE AUX PARTICULARITES DE L'ENVIRONNEMENT SAHELIEEN.

T. Lebel<sup>1</sup>, F. Delclaux<sup>2</sup>, G. Guillot<sup>1,4</sup>, B. Cappelaere<sup>2</sup>, C. Peugeot<sup>2</sup>, J. Polcher<sup>3</sup>

<sup>1</sup> LTHE, UMR 5564, BP 53, 38041 Grenoble cedex 9

<sup>2</sup> HSM, UMR 5569, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1

<sup>3</sup> LMD, UPR 1211, Université de Jussieu, BP 99, 75252 Paris cedex 05

<sup>4</sup> INRA, Département de biométrie, Domaine St Paul, Site AGROPARC, 84914 Avignon cedex 9

## 1. INTRODUCTION

Ce projet, démarré en 1997, avait pour objectif d'apporter des éléments sur l'utilisation qui peut-être faite des sorties de Modèles de Circulation Générale Atmosphérique (MCGA) pour étudier la sensibilité de la réponse hydrologique continentale aux fluctuations climatiques d'échelle interannuelle à décennale en région sahélienne.

Les systèmes convectifs de méso-échelle (SCM) représentent l'essentiel de l'apport en précipitation sur l'Afrique de l'Ouest. Sur la zone sahélienne on a pu établir, grâce aux données de l'expérience EPSAT-Niger, qu'ils sont responsables de 95% environ de la pluie annuelle. La forme la plus développée prise par ces systèmes sont les complexes convectifs de méso-échelle (MCC). Sur la zone sahélienne on estime que les MCC représentent environ la moitié des SCM, mais qu'ils contribuent pour 75% environ à la pluie annuelle (D'Amato et Lebel 1998). Ces systèmes ont fait l'objet de différents travaux, qui ont permis de se faire une première idée sur quelques grandes caractéristiques des SCM d'Afrique de l'Ouest.

On sait ainsi que leur forme développée, les MCC, est plus fréquente sur le Sahel que sur la région soudanienne (Laurent, 1996), que l'orographie peut servir de déclencheur à leur formation (Machado et al., 1992) et que les facteurs environnementaux de la circulation générale ont un rôle important dans leur maturation (Viltard et al., 1990). Ces MCC sont repérables dans les sorties de MCGA (Polcher, 1995), mais avec des caractéristiques (durée de vie, vitesse de déplacement et pluviosité) différentes de celles qui sont établies à partir des satellites et des données sol. A partir d'une combinaison de différents types de données, Le Barbé et Lebel (1997) et Laurent et al (1997) ont montré que les fluctuations pluviométriques interannuelles étaient liées avant tout aux fluctuations d'occurrence des SCM, plus qu'à la variation de leur efficacité pluviométrique.

Alors que les modélisateurs du climat s'intéressent à la représentation des MCC dans les MCGA en liaison avec des études de sensibilité à la modification des conditions de surface (e.g. Le Roux et al., 1994 ; Polcher, 1995), les hydrologues se préoccupent avant tout de comprendre comment les fluctuations de régimes pluviométrique liées à d'éventuels changements dans le cycle de vie des systèmes convectifs pourraient affecter les ressources en eau dans la région. Notre projet visait, en prenant appui sur les données pluviométriques haute résolution acquises lors des expériences HAPEx-Sahel et EPSAT-Niger, à favoriser un rapprochement entre ces deux approches complémentaires en développant un modèle permettant de passer de l'échelle des MCGA, dont l'utilisation est incontournable pour les simulations climatiques, à l'échelle des systèmes hydrologiques de la région.

En cherchant à relier les fluctuations pluviométriques interannuelles et décennales aux modifications constatées, ou possibles, du cycle hydrologique sahélien, ce travail, s'inscrit dans le cadre du projet CATCH dont un des objectifs est d'améliorer notre compréhension de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest.

## 2. MATERIELS ET METHODES

Les seules simulations de possibles fluctuations climatiques dont l'amplitude dépasserait celle des observations récentes sont actuellement les simulations produites par les MCGA. Ces simulations sont obtenues avec une résolution spatiale qui est bien trop grossière pour les études hydrologiques. Ceci pose à la fois le problème du réalisme du climat ainsi simulé et celui de l'utilisation des MCGA pour les études de l'impact des fluctuations climatiques sur les différents termes du bilan hydrologique continental. Il est donc nécessaire : i) d'évaluer dans quelle mesure les MCGA fournissent une vision suffisamment exacte du climat

actuel par rapport au climat observé ; ii) de développer et tester des méthodes permettant de passer de l'échelle MCGA aux échelles hydrologiquement pertinentes pour les études d'impact.

Le MCGA utilisé dans cette étude est la version 6 du MCGA-LMD ( voir entre autres Sadourny and Laval, 1984 et Polcher and Laval, 1994 pour des détails sur ce MCGA), avec lequel des simulations ont été effectuées sur la période 1960-1994. Ce sont les sorties pluviométriques de ces simulations, constituées par des moyennes spatiales sur des pavés de  $3,75^\circ$  (en longitude) par  $1,6^\circ$  (en latitude), qui ont été comparées aux observations fournies par les réseaux nationaux sur la même période.

Ces observations ont été rassemblées à partir de la base de données CIEH-ORSTOM, actualisée avec l'aide de l'AGRHYMET pour les années postérieures à 1980. On notera que la plus petite échelle temporelle accessible à partir de cette base de données est la journée, plus grande que l'échelle temporelle du système convectif. Cependant, il existe une certaine durée entre épisodes pluvieux (2 ou 3 jours en moyenne en cœur de saison des pluies). En première approximation la pluie journalière pourra donc être assimilée à la pluie produite par un système convectif (avec la possibilité toutefois que celle-ci soit répartie sur deux journées consécutives).

La comparaison entre sorties du MCGA et observations a porté sur les mailles sahéniennes du modèle, une attention particulière étant portée à la maille contenant le degré carré de Niamey - centrée sur le point de coordonnées  $\{1.9^\circ\text{E} ; 13.7^\circ\text{N}\}$  - où nous disposons des données hydro-pluviométriques fines.

Le développement et la validation du modèle *GTL* permettant de désagréger dans le temps et dans l'espace des champs de pluie grande échelle (sorties de MCGA, mais aussi estimations satellitaires), s'appuient sur la base de données EPSAT-Niger qui contient des mesures fines (résolution spatiale localement égale au kilomètre) pour 258 systèmes convectifs observés sur la période 1990-1995. L'approche utilisée est celle des champs méta-gaussiens (Lebel et al., 1998 ; Guillot, 1999 ; Guillot et Lebel, 1999a). Il est à noter que le suivi pluviométrique du degré carré de Niamey se poursuivant dans le cadre de CATCH, un travail récent (Patoux, 1999) a permis de montrer que les propriétés statistiques des champs pluvieux produits par les SCM sur la zone d'étude étaient restés semblables lors des années récentes (1996-1998). Ces propriétés ayant servi de base au développement et à la validation du modèle, on peut considérer que ce dernier est doté d'une certaine robustesse.

Par ailleurs, une étude est en cours actuellement pour caractériser la distribution des intensités à pas de temps fin à l'intérieur des événements, sur la série longue de pluviogrammes de Niamey (1952 -1995). En ce qui concerne le passage à l'hydrologie, qui reste un point à développer au cours de l'année qui vient, le modèle utilisé sera le modèle *r.water.fea* (Vieux et Gauer, 1994), dont la mise au point repose sur les données recueillies durant HAPEX-Sahel (1991-1993) et la période de surveillance à long terme qui a suivi (1994-1999).

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Pour des raisons de disponibilité des différents jeux de données et modèles mentionnés ci-dessus, la première composante du projet à avoir été menée à son terme est le développement et la validation du modèle *GTL*. On a ensuite procédé à l'évaluation des sorties du MCGA. L'utilisation dans le modèle hydrologique n'a pas véritablement débuté.

#### 3.1 Modèle de désagrégation

Le modèle *GTL* est un modèle de simulation conceptuel à base stochastique. La version initiale du modèle (Lebel et al., 1998) a été reprise dans un cadre mathématique - approche gaussienne anamorphosée, ou approche méta-gaussienne- qui permet de maintenir une cohérence entre les propriétés observées à différentes échelles (Guillot, 1998, 1999).

Une validation systématique de chacune des trois composantes du modèle - représentation géostatistique des cumuls événementiels, modèle de cinématique, modèle de hétérogramme- a été réalisée en s'appuyant sur les données EPSAT-Niger. Le modèle reproduit correctement les propriétés spatiales du processus sur des supports allant de 1 à 10000 km<sup>2</sup> pour les variances et de 1 à 1000 km<sup>2</sup> pour l'intermittence (Guillot and Lebel, 1999a). Ce dernier point est intéressant dans la mesure où le modèle est conditionné par une distribution et une covariance ponctuelles, ce qui ne garantit pas le respect de l'intermittence du processus agrégé sur des échelles aussi grandes. On a également montré (Guillot and Lebel, 1999b) i) que la distribution fréquentielle des intensités maximales en 5 minutes était bien approchée par le modèle (Fig. 1) et ii) que les aires fractionnaires calculées pour différents seuils (toujours au pas de temps de 5 minutes) étaient réalistes. Ces deux derniers points sont encourageants pour les applications hydrologiques. En effet, du fait de la petite taille des systèmes endoréiques sahéniens (Desconnets et al., 1997, Peugeot et al. 1997), les intensités aux faibles pas de temps jouent un rôle important dans la formation du ruissellement.

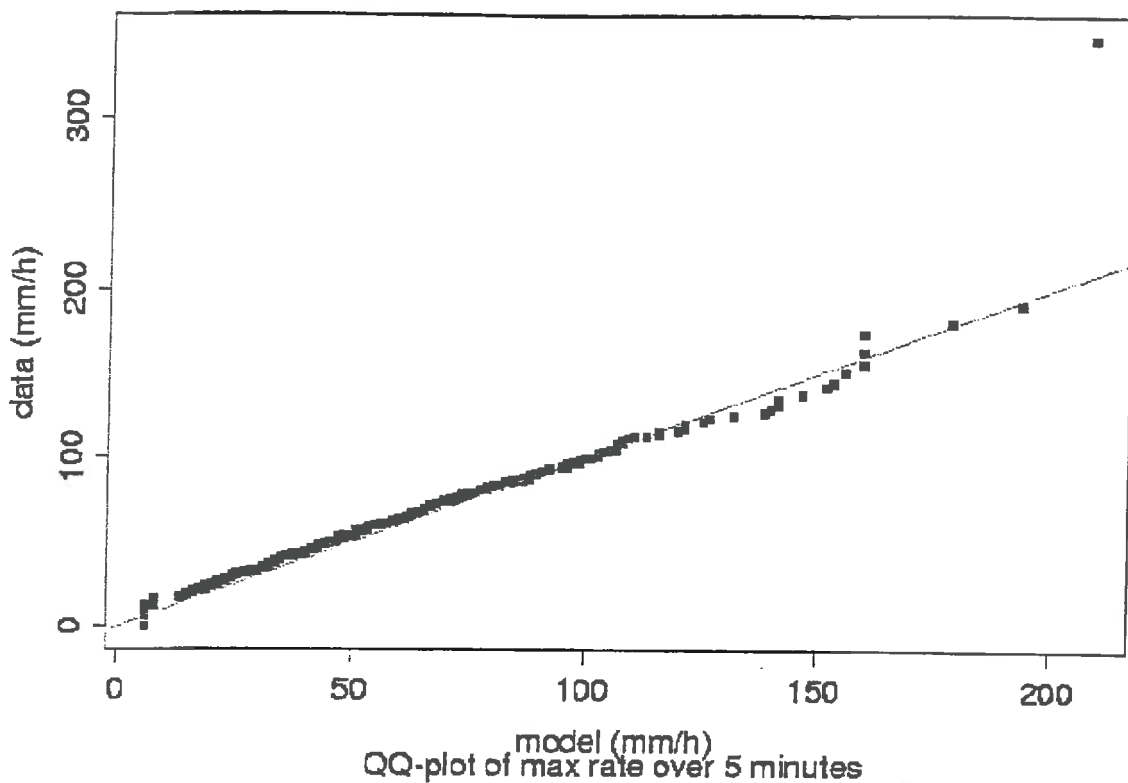


Fig. 1. Représentation quantile-quantile des distributions observée et simulée (modèle GTL) pour les intensités maximales en 5 minutes.

### 3.2 Validation des sorties pluviométriques du MCGA du LMD

Plusieurs échelles temporelles ont été considérées pour cette comparaison. Il y a d'abord le cycle saisonnier qui consiste en une saison des pluies unique s'étendant en moyenne de la mi-avril à la mi-octobre, comme on peut le voir sur la Figure 2. Ce cycle a été peu altéré lors des années sèches (Le Barbé et Lebel (1997)). Il y a ensuite la variabilité décennale, qui s'est traduite par une série d'années sèches entre 1968 et 1990, succédant à une période humide. Même lors de la période sèche une variabilité interannuelle importante a existé. Cette variabilité a des conséquences importantes sur le cycle hydrologique et sur les ressources en eau. Il est donc souhaitable que les MCG qui seraient utilisés pour forcer des modèles hydrologiques régionaux en mode de simulation la reproduisent correctement. Enfin, on s'est intéressé à la distribution fréquentielle des pluies journalières, puisqu'il s'agit de l'échelle temporelle la plus proche de celle à laquelle on force le modèle de désagrégation. Les résultats principaux - dont on peut trouver le détail dans Delclaux et al., 1998, Lebel et al., 2000, Delclaux et al., 2000- sont les suivants :

- Le cycle saisonnier du modèle présente un démarrage beaucoup trop précoce de la saison des pluies, qui s'achève aussi trop tard (Fig. 3). Ceci génère un surcroît de pluie de 50 mm environ par an.
- Le modèle détecte le passage d'une période plus humide durant les années 60 à une période plus sèche durant les décennies 70 et 80, avec une assez bonne fidélité (12% de surplus de pluie sur la période 1960-1969 contre 15% dans les observations).
- Par contre, la variabilité interannuelle, notamment durant la période sèche, est assez mal reproduite par le modèle.
- Enfin, on constate que, pour un run isolé, l'essentiel du biais du MCGA provient de la génération d'un nombre excessif de pluies fortes (quatre fois trop de pluies journalières supérieures à 20 mm). Par contre, lorsque l'on fait la moyenne de 5 runs et du fait de la forte variabilité interne du modèle, ces pluies fortes sont lissées car elles ne se produisent pas le même jour. Les classes de pluie forte (10-20 mm/jour, 20-30 mm/j, plus de 30 mm/j) sont alors bien représentées et le biais est alors transféré sur la classe des pluies intermédiaires (1-10 mm/j)

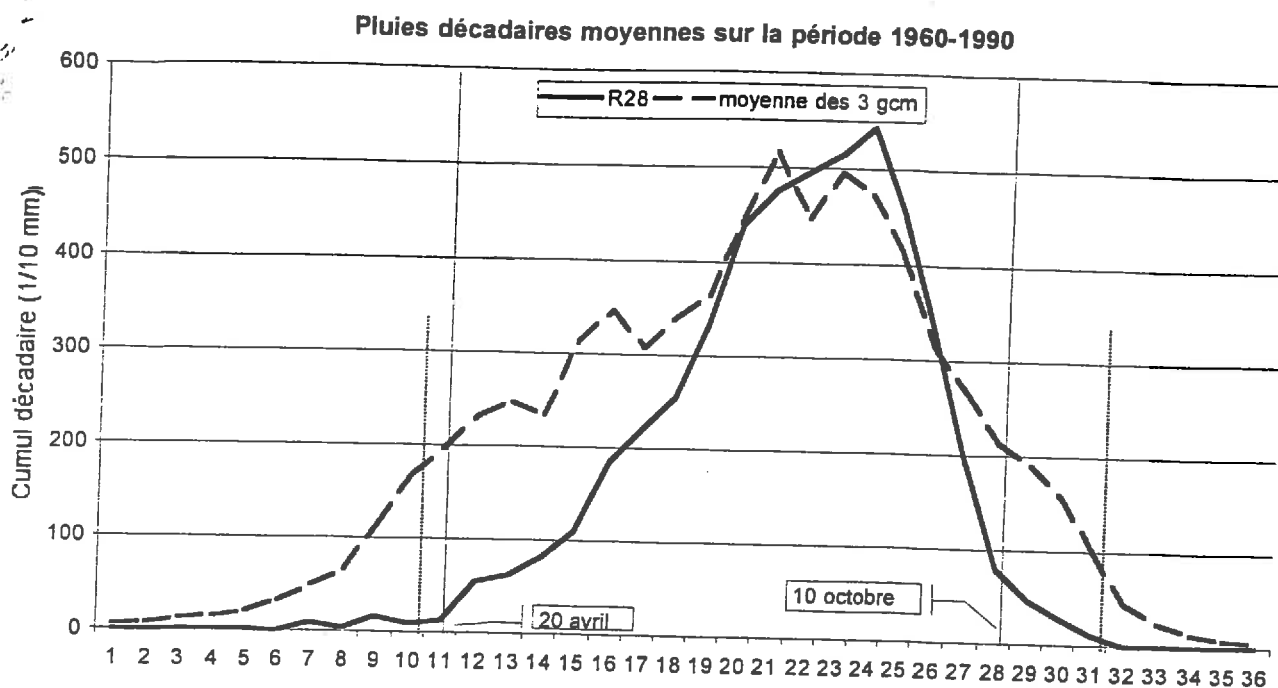


Fig. 3. Comparaison des cycles saisonniers observé et simulé par le MCGA-LMD sur la maille "Niamey". (moyennes sur la période 1960-1990). Le cycle observé (trait plein) été calculé à partir des données de 28 stations et le cycle du modèle à partir de la moyenne de trois runs du MCGA.

### 3.3 Couplage au modèle hydrologique

Le couplage envisagé dans l'étude concerne le bassin versant de Wankama (2 km<sup>2</sup>) suivi intensivement pendant la période 1993-1999. Le modèle r.water.fea utilisé à fait l'objet d'une adaptation au contexte sahélien (Vieux et al., 1998a), cependant, les travaux de mise au point finale sur le bassin étudié accusent un retard de plusieurs mois suite à la découverte d'une grave erreur dans les données servant au calage. Ce retard sera rattrapé dans les prochaines semaines. Les études de sensibilité déjà réalisées montrent cependant que les crues simulées sont sensibles à la distribution des intensités à l'intérieur de l'événement. La procédure de désagrégation temporelle doit donc être ajustée pour représenter les hyétogrammes de manière adaptée au modèle. Par ailleurs, les gros événements (> 35 mm) issus de systèmes convectifs bien organisés produisent les écoulements les plus importants (coefficient de ruissellement de l'ordre de 20 %). Leur contribution à l'écoulement annuel est dominante (Vieux et al., 1998b), et il importe donc que le MCGA en restitue le nombre de manière réaliste. Il convient d'estimer dans quelle mesure il faudra représenter dans la chaîne MCGA-désagrégateur les événements de taille moyenne et petite, plus nombreux mais qui contribuent également à l'écoulement annuel. Ces résultats préliminaires seront confirmés et développés dans l'année qui vient.

## 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'approche développée présente un réel potentiel. Le modèle de désagrégation a révélé une bonne robustesse et un réalisme certain, notamment pour reproduire les intermittences qui jouent un rôle déterminant dans la réponse des systèmes hydrologiques. La capacité du MCGA à détecter la fluctuation pluviométrique majeure de la fin des années 60 est également un signe encourageant : le couplage MCGA/modèle de désagrégation devrait effectivement conduire à la production de scénarios de régimes pluviométriques, *possibles* à défaut d'être *garantis*. C'est pourquoi nous nous proposons de poursuivre nos recherches, tant pour résoudre certains problèmes de méthode apparus en cours de route (par exemple le conditionnement du modèle de désagrégation) que pour étudier la réponse des systèmes hydrologiques sahéliens à différents types de forçage climatique, ce qui constituait l'objectif ultime du projet proposé.

## 5. REFERENCES (En gras, les publications réalisées dans le cadre du travail soutenu par le PNRH)

- Cappelaere B., Peugeot C., Maia A., Vieux B.E., Colas E. 1998. Compared sensitivity study of a fully-distributed and of a semi-distributed hydrological model for a sahelian watershed. European Geophysical Society Meeting, Nice, April 1998
- D'Amato, N. et Lebel, T. 1998. On the characteristics of the rainfall events in the sahel with a view to the analysis of climatic variability, *International Journal of Climatology*, 18, 955-974
- Delclaux, F., J. Polcher and T. Lebel, 1998. Rainfall event climatology in West-Africa : comparison from in situ and GCM outputs. EGS Meeting, Nice, April 1998.
- Delclaux, F., T. Lebel et J. Polcher, 2000. Analyse des sorties pluviométriques d'un MCGA en région Sahélienne et comparaison aux observations. A soumettre.
- Desconnets J.C., J.-D. Taupin, T. Lebel, and C. Leduc, 1997. Hydrology of the HAPEX-Sahel central Super-Site: surface water drainage and aquifer recharge through the pool systems. *Journal of Hydrology*, 188-189(1-4), 155-178.
- Guillot, G. 1998. Modélisation statistique des champs de pluie sahéliens. Application à leur désagrégation spatiale et temporelle. *Thèse d'Université Joseph Fourier*. 145 p.
- Guillot, G., 1999. Approximation of Sahelian rainfall fields with Meta-Gaussian random functions. 1: definition and methodology. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 13, 1/2, 100-112.
- Guillot, G. and T. Lebel, 1999a. Approximation of Sahelian rainfall fields with Meta-Gaussian random functions. 2: parameter estimation and comparison to data. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 13, (1/2), 113-130.
- Guillot, G. and T. Lebel, 1999b. Disaggregation of Sahelian mesoscale convective systems rainfields : Further developments and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104, D24, 31533-31551.
- Laurent, H., 1996. Life distribution of mesoscale convective clouds over Africa. Preprints, *Seventh conference on mesoscale processes (AMS, RMS)*, 9-13 Septembre 1996, Reading, UK, 178-180
- Laurent, H., T. Lebel and J. Polcher, 1997 : Rainfall variability in Soudano-Sahelian Africa studied from raingauges, satellite and GCM. Preprints, *13th conference on hydrology of the 77th AMS Annual meeting*, 2-7 Février 1997, Long Beach, USA, 17-20
- Le Barbé, L. and T. Lebel, 1997. Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. *J. Hydrol*, 188-189, 1-4, 43-73.
- Lebel, T., Braud, I. et Creutin, J.-D. 1998. A space-time rainfall disaggregation model adapted to sahelian mesoscale convective complexes. *Water Resour. Res.*, 34, 1711-1726
- Lebel, T., F. Delclaux, L. Le Barbé and J. Polcher, 2000. From GCM Scales to Hydrological Scales: Rainfall Variability in West Africa. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Submitted.
- Le Roux, X., J. Polcher, G. Dedieu, J.-C. Menaut and B. Monteny, 1994 : Radiation exchanges above West African moist savannas: Seasonal patterns and comparison with a GCM simulation. *J. Geophys. Res.*, 99, D12, 25,857-25,868.
- Machado, L.A.T., M. Desbois and J.-P. Duvel, 1992. Structural characteristics of deep convective systems over tropical Africa. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 392-406.
- Peugeot, C., M. Estèves, S. Galle, J.L. Rajot and J.-P. Vandervaere, 1997 : Runoff generation processes: results and analysis of field data collected at the East Central Supersite of the HAPEX-Sahel experiment. *J. Hydrol.*, 188-189(1-4), 179-202.
- Patoux, C., 1999. Analyse de la stationnarité des cumuls pluvieux associés aux systèmes convectifs sahéliens sur la période 1990-1998. Rapport de stage d'Ingénieur. ENSHMG, 45 p. + annexes.
- Polcher, J. and K. Laval, 1994. A statistical study of regional impact of deforestation on climate of the LMD-GCM. *Clim Dyn.*, 10, 205-219
- Polcher, J., 1995. Sensitivity of tropical convection to land surface processes. *J. Atmos. Sci.*, 52, 3143-3161.
- Sadourny, R. and K. Laval, 1984. January and July performance of the LMD-GCM. New perspective in climate modelling, A.L. Berger and C. Nicolis, Eds, pp. 173-197. Elsevier, Amsterdam.
- Vieux, B.E. et Gauer, N., 1994. Finite-element modeling of stormwater runoff using GRASS GIS. *Microcomputers in civil engineering*, 9, pp. 263-270.
- Vieux B.E, Cappelaere B., Peugeot C.. 1998a. Influence of channel losses on spatially distributed rainfall-runoff simulation in a small endoreic catchment in the Sahel region, Niger, Africa. European Geophysical Society Meeting, Nice, April 1998.
- Vieux B., Looper P., Cappelaere B., Peugeot C., Maia A. 1998b. Exploring climatic impacts on water resources in West Niger (Africa). Conférence AISH sur la " Variabilité des ressources en eau en Afrique au XXe siècle ", Abidjan, Nov.1998., AISH Publ. n°252, pp. 347-355
- Viltard, A.H., H. Laurent and P. De Felice, 1990. Lower tropospheric cyclonic vortices in Northern Africa in summer. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 818-823.

07 11 11 11 050

INSU

BRGM

CEMAGREF

CIRAD

CNES

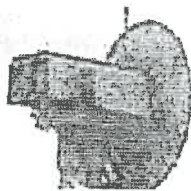
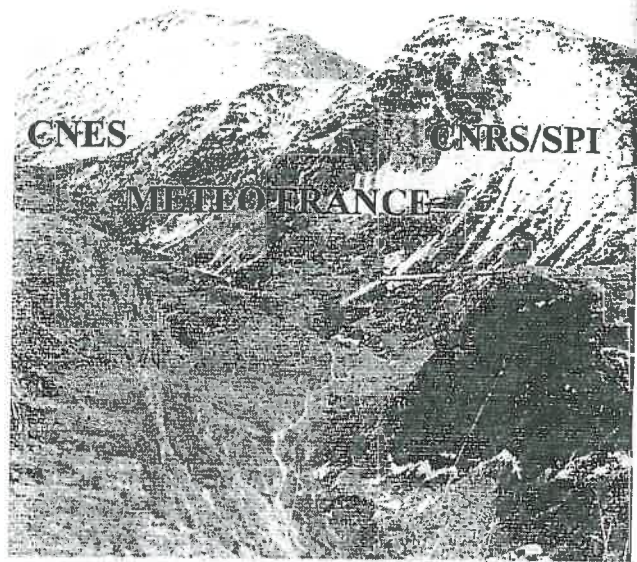
CNRS/SPI

INRA

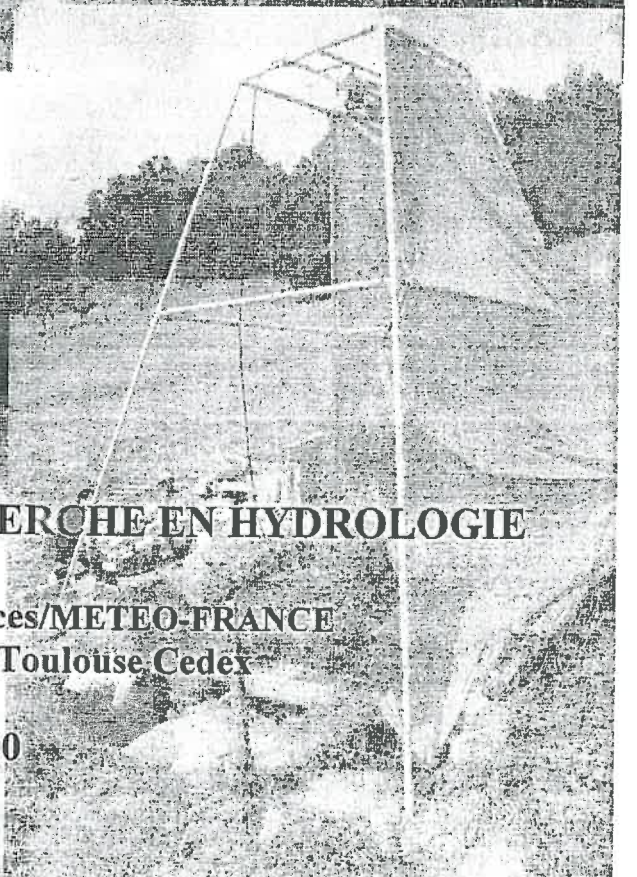
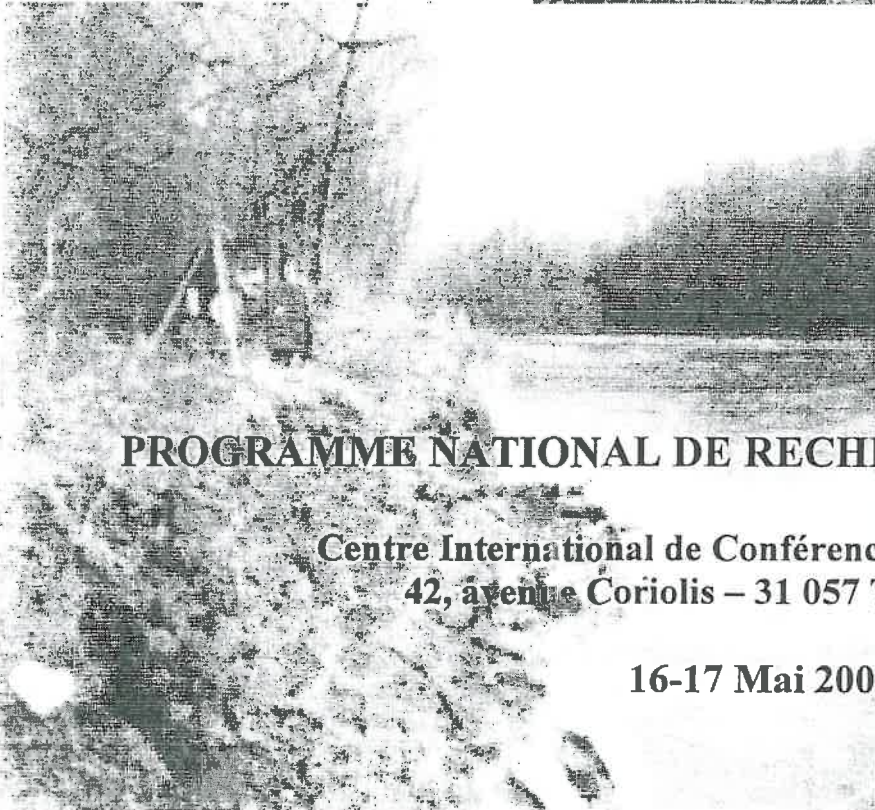
IRD

LCPC

METEO-FRANCE



*Colloque  
PNRH 2000*



**PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE EN HYDROLOGIE**

**Centre International de Conférences/METEO-FRANCE  
42, avenue Coriolis - 31 057 Toulouse Cedex**

**16-17 Mai 2000**