

## Variabilité comparée du régime pluviométrique aux échelles régionale et locale sur la Haute Vallée de l'Ouémé au Bénin

EMMANUEL A. LAWIN<sup>1,2</sup>, ABEL AFOUDA<sup>1</sup>, MARIEL GOSSET<sup>2</sup> & THIERRY LABEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Modélisation et d'Hydrodynamique Appliquée (LAMHYA - Université d'Abomey-Calavi), Bénin  
[ewaari@yahoo.fr](mailto:ewaari@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Laboratoire d'Etude des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE), Grenoble, France

**Résumé** Deux échelles spatiales ont été considérées pour analyser la variabilité du régime pluviométrique dans la région de la Haute vallée de l'Ouémé, notamment l'échelle régionale et l'échelle locale. A ces deux échelles, une analyse du cycle saisonnier des précipitations a été faite à l'aide des données d'observations journalières directes ou des données régionalisées sur 1950–2005. L'analyse des composites sec et humide du signal pluviométrique montre que le déficit pluviométrique des années sèches est surtout marqué après le «saut de mousson». De même, les années sèches se caractérisent par un retrait précoce de la mousson qui semble avoir débuté à partir de 1970. Par ailleurs, les années après 1970 connaissent un décalage des pics de précipitations dont la longueur dépend de l'échelle spatiale considérée; ces pics étant atteints précocement. Le retrait précoce de la mousson et le décalage des pics de précipitation mis en évidence peuvent avoir des conséquences graves sur la production agricole, notamment en ce qui concerne les rendements de certaines cultures.

**Mots clés** mousson; variabilité; cycle saisonnier; précipitation

### Comparison of rainfall variability at regional and local scales in the Upper Valley of Ouémé in Bénin

**Abstract** Two spatial scales have been considered to assess the rainfall pattern variability in the region of the Ouémé Upper valley: the regional and local scales. A seasonal rainfall analysis has been made with observed or regionalized daily rainfall data for 1950–2005. Dry and humid composite analysis of the rainfall signal shows that the pluviometric shortage of dry years is amplified after the “monsoon onset”. In the same way, dry years are characterized by early monsoon withdrawal, which may have started in 1970. Furthermore, the years after 1970 show a shift lag in rainfalls. The length of these lags depends on spatial scale. The early monsoon withdrawal and the shift lag in rainfall revealed may have several consequences on agricultural production, especially on the yield of some crops.

**Key words** monsoon; variability; seasonal cycle; rainfall

### INTRODUCTION

Plusieurs études de la variabilité du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest (Le Barbé & Lebel, 1997; Paturel *et al.*, 1997; Lebel *et al.*, 2000; Le Barbé *et al.*, 2002) ont montré qu'à cette échelle, le régime pluviométrique est marqué par une grande variabilité interannuelle doublée d'un signal décennal. Mais, quelques préoccupations subsistent, quant aux caractéristiques du régime pluviométrique et du cycle saisonnier des précipitations dans des régions de quelques milliers de kilomètres carrés et à l'échelle locale. Cette étude propose donc de revisiter la variabilité du régime pluviométrique de l'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé (OHHVO) qui couvre une superficie de 15000 km<sup>2</sup> environ. Le climat de la région est de type soudanien avec une saison des pluies allant de mi-mars à fin octobre et un cumul annuel moyen de 1200 mm sur la période 1954–2005 (Le Lay & Galle, 2005; Lawin, 2007).

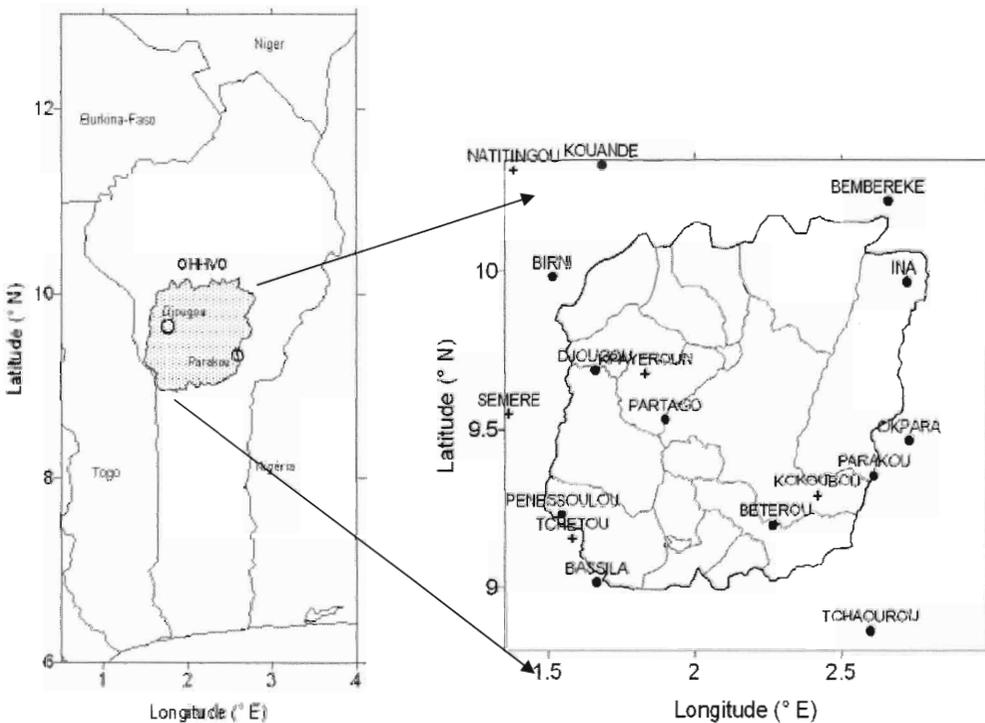
Cette étude se focalise sur l'analyse de la variabilité du régime pluviométrique aux échelles régionale et locale puis compare les résultats des deux échelles afin de mettre en relief les questions d'échelles à considérer lorsqu'on s'intéresse à la variabilité pluviométrique dans une région donnée. Dans un premier temps, la variabilité interannuelle du régime pluviométrique est analysée. Ensuite, les modifications du cycle saisonnier moyen des précipitations aux deux échelles spatiales considérées sont étudiées, en distinguant les périodes avant puis après 1970.

## DONNEES ET METHODES

### Cadre physique et données de l'étude

Le présent travail concerne une région dénommée Observatoire Hydrométéorologique de la Haute vallée de l'Ouémé (OHHVO). Cette région est située au Bénin, entre les latitudes 9°N et 10°N et les longitudes 1.5°E et 2.8°E (Fig. 1 à gauche).

Le réseau synoptique installé dans cette région appartient au réseau opérationnel national géré par le Service de la Météorologie Nationale (SMN) et dispose de données pluviométriques historiques qui permettent d'étudier la variabilité pluviométrique aux échelles régionale et locale. Ce réseau comporte dix sept stations pluviométriques dont douze sont considérées dans la présente étude (Fig. 1 à droite). Les données utilisées sont des données de pluie journalière sur la période 1954–2005 pour déterminer les pluies moyennes spatiales sur la région d'étude. Pour l'analyse de la variabilité à l'échelle locale, deux stations ont été choisies: la station de Parakou l'Est de la zone et la station de Djougou à l'Ouest.



**Fig. 1** Localisation de la région d'étude (à gauche) puis du réseau d'observation pluviométrique (à droite). Les ronds pleins représentent les stations utilisées.

### Analyse des données

A partir des séries ponctuelles de pluie journalière, les pluies moyennes journalières sur la région d'étude sont déterminées par krigeage. La détermination de ces moyennes spatiales nécessite la modélisation de la structure spatiale des précipitations. Cette structure a été modélisée par un variogramme climatologique de type exponentiel à trois paramètres ( $\gamma(h) = C_0 + (C - C_0)[1 - \exp(-h/a)]$ ) avec  $C_0 = 0.3$ ;  $C = 1.11$  et  $a = 25$  km (Lawin, 2007), respectivement la pépité, le palier et le paramètre de forme du variogramme. La variabilité du cycle saisonnier est analysée à partir des moyennes glissantes sur une fenêtre de 11 jours.

Dès que les moyennes spatiales journalières sont déterminées, le cumul annuel de la région est déterminé par sommation des moyennes journalières. La discrimination des années excédentaires et des années déficitaires est alors faite grâce à l'indice pluviométrique normalisé:  $I(i) = (P(i) - \bar{P}) / \sigma$ ,

avec  $P(i)$ , le cumul moyen annuel obtenu par krigeage sur la zone d'étude pour l'année  $i$ ,  $\bar{P}$  et  $\sigma$  correspondant respectivement à la moyenne et l'écart type de la série. Ainsi, une année sera considérée comme normale si son indice est compris entre  $-0.1$  et  $+0.1$ . Elle sera humide ou excédentaire si son indice est supérieur à  $+0.1$  et sèche ou déficitaire en deçà de  $-0.1$ . Cet intervalle reste critiquable puisqu'il est relativement faible. Mais, il permet de bien discriminer les années sèches des années humides. L'indice pluviométrique normalisé permet aussi d'analyser la variabilité interannuelle du régime pluviométrique aux échelles spatiales considérées.

Pour analyser plus finement la variabilité du régime pluviométrique, nous avons mis en œuvre la méthodologie proposée par Le Lay & Galle (2005) en rééchantillonnant chaque série pluviométrique en quatre composites: P1H et P2H, respectivement l'ensemble des 7 années les plus humides des périodes 1954–1969 et 1970–2005; P1S et P2S respectivement l'ensemble des 7 années les plus sèches des périodes 1954–1969 et 1970–2005.

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

### Variabilité interannuelle

Le régime pluviométrique régional est marqué par une forte fluctuation interannuelle qui se superpose à la variabilité décennale (Fig. 2). Toutefois, une période particulièrement sèche (1970–1987) et deux périodes humides (1954–1969 puis 1988–1999) sont observées. Les années 2000 semblent être le début d'une phase sèche car depuis 2000, en dehors de l'année 2003 humide, toutes les autres années sont déficitaires.

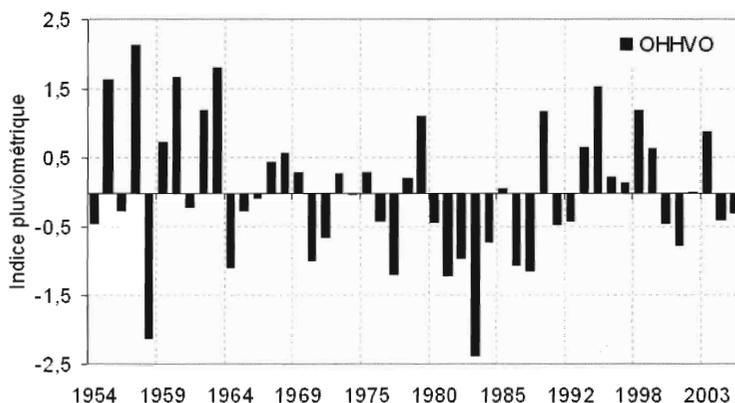
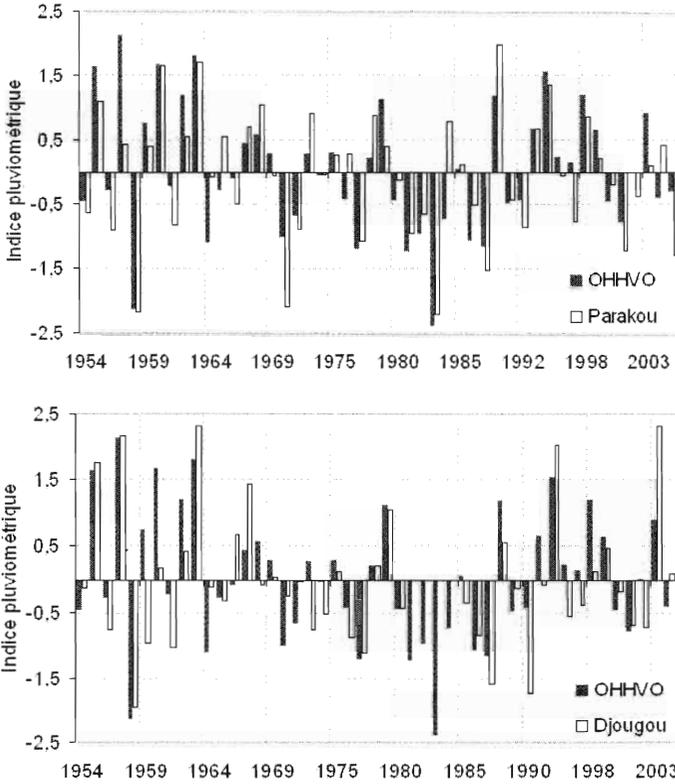


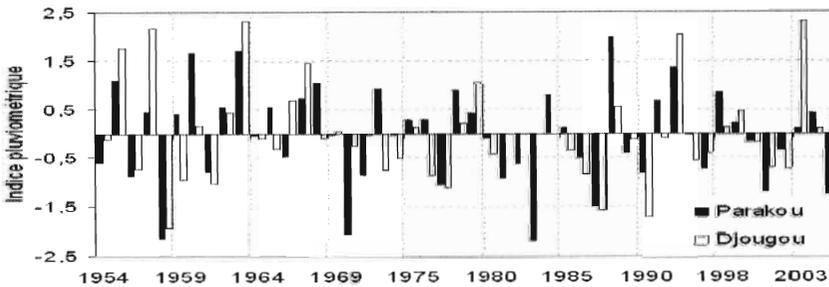
Fig. 2 Variabilité du régime pluviométrique régional.

A l'échelle locale, le régime pluviométrique est également marqué par une forte fluctuation interannuelle (Fig. 3) qui semble suivre la même dynamique qu'à l'échelle régionale du point de vue décennale. Mais, quelques particularités marquent la différence entre le régime local et le régime régional. En effet, une année excédentaire à l'échelle de la zone peut se révéler déficitaire à l'échelle locale et vice-versa. Par exemple comme l'indique la figure 3, durant les deux dernières décennies, l'année 1984, déficitaire à l'échelle de la région, est fortement excédentaire à la station de Parakou (si un seuil de significativité de  $\pm 0.5$  est considéré). Par contre, la saison 1997, moyennement humide sur l'OHHVO, est très déficitaire à Parakou. De même, les saisons

1959, 1973, 1996 et 1997, excédentaires à l'échelle de l'OHHVO, sont déficitaires à la station de Djougou tandis que les saisons 2004 et 2005, déficitaires à l'échelle du domaine d'étude, sont excédentaires à la station de Djougou.



**Fig. 3** Comparaison de la variabilité interannuelle du régime pluviométrique régional avec celle du régime local à Parakou (en haut) puis à Djougou (en bas).



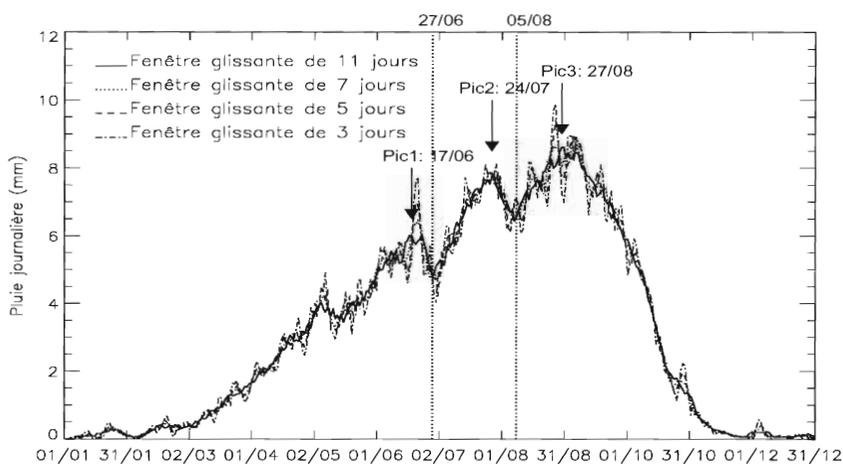
**Fig. 4** comparaison de la variabilité du régime pluviométrique local à deux stations.

Ces observations mettent en évidence les questions d'échelle et d'échantillonnage à considérer en quantifiant la variabilité des précipitations d'une région donnée. Même à l'échelle locale uniquement, la comparaison entre deux localités montre qu'il peut apparaître des différences notables.

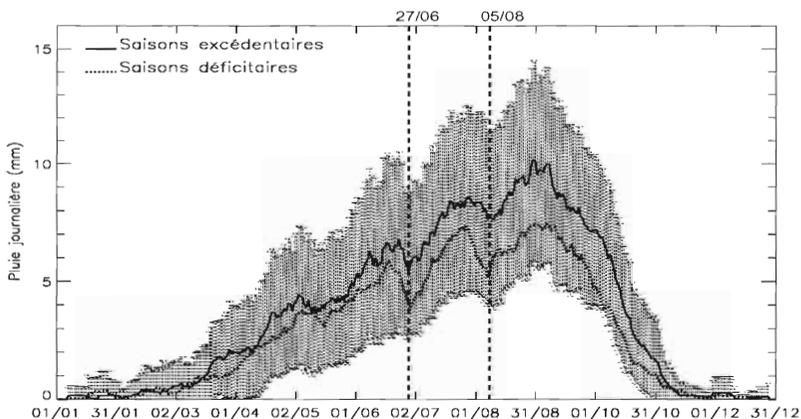
En effet, comme le montre la figure 4 qui compare la variabilité du régime pluviométrique local à la station de Parakou à celle de la station de Djougou, en 1990 (année déficitaire à l'échelle de la région d'étude), le déficit est de 8% à la station de Parakou tandis qu'il est de 29% à la station de Djougou. En revanche, en 2003 (année excédentaire à l'échelle régionale), l'excédent n'est que de 2% à Parakou contre un excédent de 39% à la station de Djougou.

### Variabilité du cycle saisonnier des précipitations

Sur la région, à l'échelle intrasaisonnière, la distribution des précipitations (Fig. 5), concordante avec les travaux de Le Lay & Galle (2005) sur la période 1954–2002, confirme que les précipitations s'installent sur la région à partir de Mars et se retirent en fin Octobre avec trois pics. Le premier pic s'observe mi-juin. Le deuxième renforcement des précipitations commence fin juin (27 juin) et correspond à ce qui a été décrit comme le saut de mousson ou "onset" (Sultan & Janicot 2003). Le maximum de précipitation (Pic3) est atteint fin Août (le 27 Août).



**Fig. 5** Cycle saisonnier moyen des pluies observées sur l'OHHVO de 1954 à 2005 pour quatre fenêtres glissantes. Pic1, Pic2 et Pic3 représentent les trois pics de précipitation.



**Fig. 6** Comparaison des cycles saisonniers moyens des saisons excédentaires puis des saisons déficitaires pour la période 1954–2005. Les moyennes sont calculées sur des fenêtres glissantes de 11 jours. Les barres verticales en pointillés représentent les écarts types du composite des saisons excédentaires.

L'analyse de la modification du cycle saisonnier entre les années excédentaires et les années déficitaires de la période 1954–2005 montre que la dynamique des saisons excédentaires est pratiquement identique à celle des années déficitaires (Fig. 6). Toutefois, la différence est que les années déficitaires se caractérisent par: i) un déficit pluviométrique marqué surtout dans la seconde phase de la mousson (c'est – à – dire après le saut de mousson) où il atteint 25% au maximum de précipitation et (ii) un retrait précoce de la mousson se traduisant par une chute brutale des précipitations.

Ce phénomène a été signalé plus au Nord, sur les pluies en région sahélienne par Balme (2004) qui, en analysant la variabilité interannuelle du régime pluviométrique sahélien sur la période 1950–1990, a montré que les saisons déficitaires se distinguent des saisons excédentaires par un déficit marqué au cœur de la saison et un retrait plus rapide de la mousson.

La décomposition du signal pluviométrique en quatre composites a permis de mettre en évidence certaines modifications du cycle saisonnier (Fig. 7). Il en ressort que:

- concernant les composites humides (P1H et P2H), le premier pic de précipitation est décalé de 9 jours et est atteint plus tôt sur la période après 1970 (le 08 juin au lieu du 17 juin). Le deuxième et le troisième pic de précipitation sont aussi atteints environ 10 jours précocement sur la période après 1970. Ainsi, le troisième pic est atteint le 25 Août au lieu du 04 Septembre;

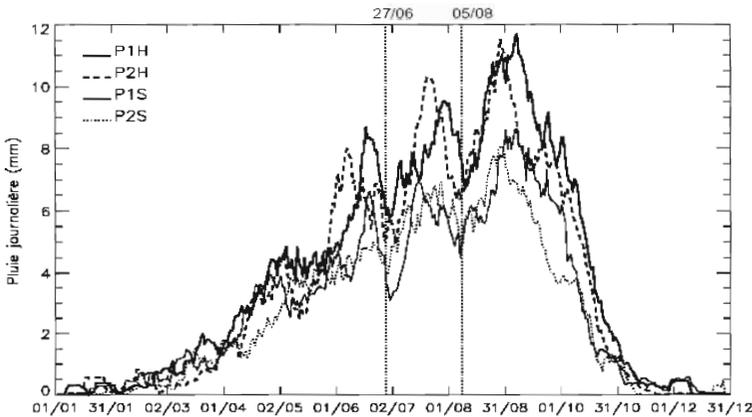


Fig. 7 Cycle saisonnier moyen des précipitations des composites d'années humides (P1H: avant 1970 et P2H: après 1970) puis d'années sèches (P1S: avant 1970 et P2S: après 1970).

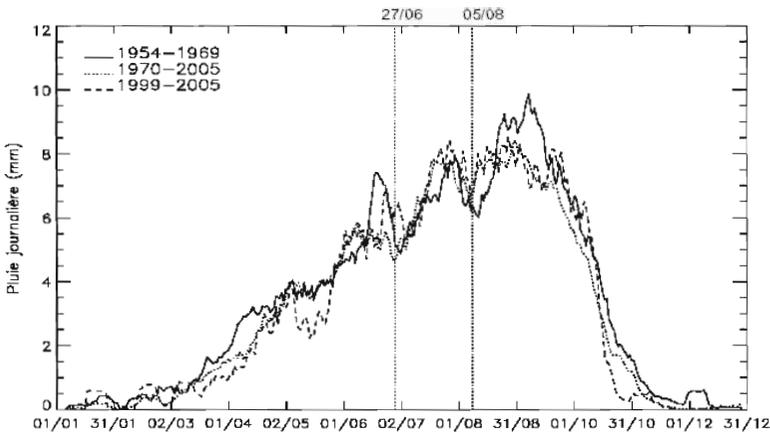


Fig. 8 Variabilité du cycle saisonnier moyen de la région OHHVO sur les périodes avant et après 1970.

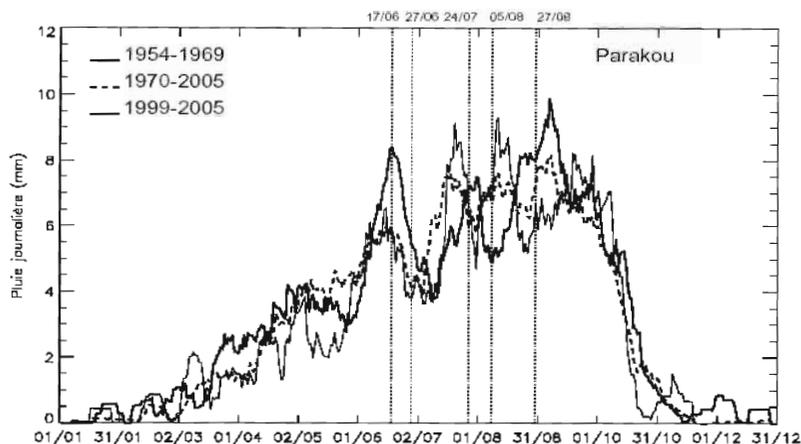


Fig. 9 Modification du cycle saisonnier local entre les périodes avant et après 1970 à Parakou.

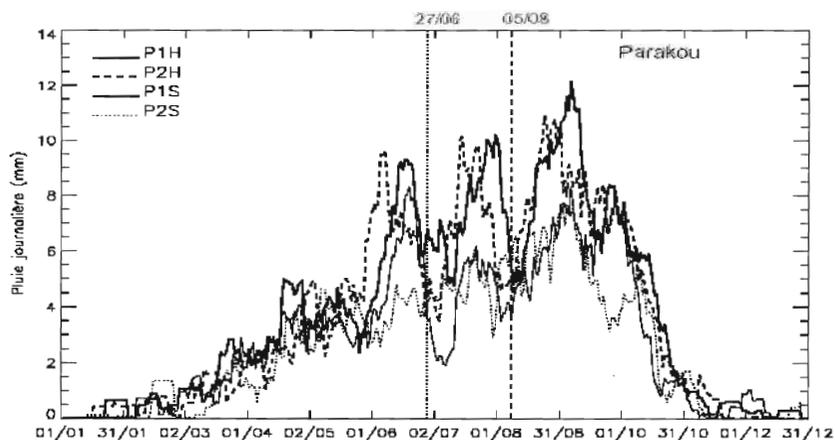


Fig. 10 Variabilité du cycle saisonnier à l'échelle locale à Parakou pour les composites des saisons excédentaires et déficitaires sur 1954-2005 (en haut) puis pour des composites de 7 années excédentaires puis déficitaires avant et après 1970 (en bas).

- pour les composites secs (P1S et P2S), la date du premier pic est la même mais avec une baisse notable du pic du composite P2S. Le deuxième et le troisième pic de précipitation sont systématiquement décalés de 8 jours environ entre P1S et P2S;
- le retrait de la mousson est plus précoce à partir de 1970, et semble se poursuivre sur la dernière décennie comme le montre la figure 8, que le composite soit sec ou humide. Mais ce retrait précoce est plus marqué pour le composite sec.
- l'installation de la saison des pluies est tardive après 1970, surtout pour le composite humide; ce qui tend à raccourcir la saison des pluies, vu le retrait précoce de la mousson en fin de saison.

Ainsi, le régime pluviométrique régional se caractérise par une installation tardive des précipitations, un décalage du maximum de précipitation qui est atteint précocement et un retrait précoce des pluies sur la période après 1970.

A l'échelle locale, des modifications du cycle saisonnier, similaires à celles observées à l'échelle régionale, comme le montrent les figures 9 et 10 pour la station de Parakou, sont observées. En effet, la figure 9 montre que le premier pic de précipitation est moins marqué sur les périodes après 1970 (il présente un déficit de 30% environ). Les deux derniers pics de précipitations sont décalés et atteints plus tôt sur la période 1999–2005. De même, la chute brutale des précipitations est marquée sur cette période récente.

La figure 10 confirme qu'aussi bien à l'échelle régionale qu'à l'échelle locale, le composite des saisons déficitaires se distingue de celui des saisons excédentaires par un déficit bien marqué après le saut de mousson puis, par le retrait précoce des précipitations sur la période après 1970 et qui est plus prononcé pour les saisons déficitaires. Cette figure met également en évidence, un décalage de 12 jours environ des pics de précipitations pour le composite humide P2H et un déficit de 8% environ du maximum de précipitation du composite P2H par rapport à celui du composite P1H.

## CONCLUSION

Les données historiques de pluviométrie journalière du réseau opérationnel géré par le Service de la Météorologie Nationale sur la haute vallée de l'Ouémé ont permis d'analyser la variabilité du régime pluviométrique aux échelles régionale et locale. Il en ressort que le régime pluviométrique est caractérisé par une forte variabilité interannuelle qui se superpose à la variabilité décennale tant à l'échelle régionale qu'à l'échelle locale. De même, à ces deux échelles spatiales, le cycle saisonnier moyen se caractérise par une installation tardive et un retrait précoce des précipitations avec pour conséquence, la réduction de la durée de la saison des pluies. Par ailleurs on note un décalage des pics de précipitation qui sont atteints précocement sur la période post 1970 qui, par ailleurs, est marquée par une augmentation de la fréquence des années déficitaires. La longueur du décalage des pics de précipitation dépend de l'échelle spatiale considérée.

## REFERENCES

- Balme, M. (2004) Analyse du régime pluviométrique Sahélien dans une perspective hydrologique et agronomique. Etude de l'impact de sa variabilité sur la culture du mil. Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble, France.
- Lawin, A. E. (2007). Analyse climatologique et statistique du régime pluviométrique de la Haute Vallée de l'Ouémé à partir des données pluviographiques AMMA-CATCH Bénin. PhD. Institut National Polytechnique de Grenoble, France.
- Le Barbé, L. & Lebel, T. (1997) Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950–1990. *J. Hydrol.* **188**, 43–73.
- Le Barbé, L., Lebel, T. & Tapsoba, D. (2002) Rainfall variability in West Africa during the years 1950–1990. *J. Climate* **15**, 187–202.
- Le Lay, M. & Galle, S. (2005) Variabilité interannuelle et intra-saisonnière des pluies aux échelles hydrologiques. La mousson ouest-africaine en climat soudanien. *J. Sci. Hydrologiques* **50**, 509–524.
- Lebel, T., Declaux, F., Le Barbé, L. & Polcher, J. (2000) From GCM scales to hydrological scales: rainfall variability in West Africa. *Stochastic Env. Res. and Risk Assessment* **14**, 275–295.
- Paturel, J. E., Servat, E., Kouame, B., Lubes, H., Ouédraogo, M. & Masson, J. (1997) Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part 2: an integrated regional approach. *J. Hydrol.* **191**, 1–15.
- Sultan, B. & Janicot, S. (2003) The West African monsoon dynamics. Part 2: The 'preonset' and 'onset' of the summer monsoon. *J. Climate* **16**, 3407–3427.

IAHS Publication 340  
ISSN 0144-7815

 friend 2010



# Global Change: *Facing Risks and Threats to Water Resources*

Edited by:

*Eric Servat*

*Siegfried Demuth*

*Alain Dezetter*

*Trevor Daniell*

Co-editors: *Ennio Ferrari, Mustapha Ijjaali, Raouf Jabrane,  
Henny van Lanen & Yan Huang*



# Global Change: *Facing Risks and Threats to Water Resources*

Edited by:

**ERIC SERVAT**

*UMR HydroSciences Montpellier (HSM),  
Université Montpellier 2, France*

**SIEGFRIED DEMUTH**

*Hydrological Processes and Climate Section, Division of Water Sciences,  
Natural Sciences Sector, UNESCO, Paris, France*

**ALAIN DEZETTER**

*UMR HydroSciences Montpellier (HSM),  
Université Montpellier 2, France*

**TREVOR DANIELL**

*School of Civil and Environmental Engineering,  
University of Adelaide, Australia*

Co-edited by: ENNIO FERRARI, MUSTAPHA IJJAALI,  
RAOUF JABRANE, HENNY VAN LANEN & YAN HUANG

Proceedings of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco,  
25–29 October 2010.

**IAHS Publication 340**

in the IAHS Series of Proceedings and Reports

Published by the International Association of Hydrological Sciences 2010

IAHS Publication 340

ISBN 978-1-907161-13-1

British Library Cataloguing-in-Publication Data.

A catalogue record for this book is available from the British Library.

**©IAHS Press 2010**

*This publication may be reproduced as hard copy, in whole or in part, for educational or nonprofit use, without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. No part of this publication may be electronically reproduced, transmitted or stored in a retrieval system, and no use of this publication may be made for electronic publishing, resale or other commercial purposes without specific written permission from IAHS Press.*

The papers included in this volume have been reviewed and some were extensively revised by the Editors, in collaboration with the authors, prior to publication.

IAHS is indebted to the employers of the Editors for the invaluable support and services provided that enabled them to carry out their task effectively and efficiently.

The information, data and formulae provided in this volume are reproduced by IAHS Press in good faith and as finally checked by the author(s); IAHS Press does not guarantee their accuracy, completeness, or fitness for a given purpose. The reader is responsible for taking appropriate professional advice on any hydrological project and IAHS Press does not accept responsibility for the reader's use of the content of this volume. To the fullest extent permitted by the applicable law, IAHS Press shall not be liable for any damages arising out of the use of, or inability to use, the content.

The designations employed and the presentation of material throughout the publication do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of IAHS concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries.

The use of trade, firm, or corporate names in the publication is for the information and convenience of the reader. Such use does not constitute an official endorsement or approval by IAHS of any product or service to the exclusion of others that may be suitable.

Publications in the series of Proceedings and Reports are available from:  
IAHS Press, Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, Oxfordshire OX10 8BB, UK  
tel.: +44 1491 692442; fax: +44 1491 692448; e-mail: [jilly@iahs.demon.co.uk](mailto:jilly@iahs.demon.co.uk)

Printed by Information Press

---

Cover picture: Southern Morocco by Eric Servat