

Etude de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne

J. E. PATUREL, E. SERVAT, M. O. DELATTRE

ORSTOM, Programme FRIEND AOC, 06 BP 1203 Cidex 1, Abidjan 06, Côte d'Ivoire

H. LUBES & J. M. FRITSCH

ORSTOM, Programme FRIEND AOC, BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex, France

Résumé Dans les zones arides et semi-arides d'Afrique de l'ouest et centrale, la notion de précarité de la ressource en eau n'est pas récente. Cependant, la sécheresse qui affecte les régions tropicales africaines depuis les deux dernières décennies présente tout à la fois une sévérité, une persistance et une extension remarquables. Les séries pluviométriques annuelles enregistrées sur de longues durées sur un ensemble de stations couvrant l'Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne (du Sénégal à la Centrafrique) ont permis d'étudier l'évolution spatio-temporelle de la pluviométrie dans cette région. Les résultats montrent l'alternance de périodes sèches et humides depuis le début du XX^{ème} siècle. La sécheresse actuelle n'a pas connu d'équivalent, ni en durée, ni en intensité, sur l'ensemble de la période étudiée. Une étude statistique, confirmée par des représentations cartographiques de ces différentes périodes, met, cependant, en évidence le caractère fortement hétérogène du phénomène dans l'espace.

INTRODUCTION

Le programme ICCARE (Identification et Conséquences d'une variabilité du Climat en AfRique de l'ouest non sahélienne) s'inscrit dans le thème "Variabilité climatique et des ressources en eau", du projet FRIEND-AOC du PHI de l'UNESCO (Servat, 1994). Il a permis d'identifier une éventuelle fluctuation climatique en Afrique non sahélienne vers la fin des années 1960 et le début des années 1970. Cette évolution du climat se traduit par des changements notables au sein des séries chronologiques pluviométriques.

Il est cependant intéressant de chercher à situer la diminution de la pluviométrie observée depuis 25 ans dans la chronologie pluviométrique de ce siècle (Delattre, 1996).

La zone étudiée couvre 16 pays qui sont, de l'Afrique de l'ouest vers l'Afrique centrale, le Sénégal, la Gambie, la Guinée Bissau, la Guinée Conakry, la Sierra Leone, le Liberia, le Mali, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo, le Bénin, le Nigeria, le Cameroun, le Tchad et la Centrafrique. Nous n'avons, cependant, considéré que la partie non sahélienne de cette zone, et notre étude s'est donc limitée au sud du 14^{ème} parallèle.

L'analyse de longues séries chronologiques de pluviométries annuelles disponibles dans cette région a permis de resituer la sécheresse actuelle dans une perspective historique.

DONNEES ET METHODES

Données

Un grand nombre de postes pluviométriques ont été retenus afin de constituer une base de données annuelles pluviométriques la plus complète et la plus représentative possible de la zone d'étude du programme ICCARE. Les postes retenus, relevant de la gestion des différents services nationaux des pays concernés, obéissent à des critères de durée de l'information et de qualité des données. Le choix des postes s'est également effectué de manière à permettre une bonne couverture de la zone d'étude. Ont ainsi été retenus une centaine de postes avec des séries chronologiques qui remontent à plus de 60 ans de mesures annuelles. L'information la plus longue concerne les pays anglophones et remonte, parfois, au siècle dernier.

Méthodes

Nous avons traité la totalité de l'information contenue dans les séries chronologiques retenues. L'étude a été menée par l'application de tests statistiques de détection de "rupture" en moyenne des séries chronologiques de pluviométrie annuelle. "Rupture" doit être compris, ici, comme un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné (Lubès *et al.*, 1994). Seuls les résultats du test de Pettitt (Pettitt, 1979) seront présentés dans cette étude.

Test de Pettitt Le test de Pettitt est non-paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney. L'absence d'une rupture dans la série (x_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. Pettitt définit la variable $U_{t,N}$:

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

où $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$ avec $\text{sgn}(Z) = 1$ si $Z > 0$, 0 si $Z = 0$ et -1 si $Z < 0$.

Il propose de tester l'Hypothèse nulle en utilisant la statistique K_N définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t,N}$ pour t variant de 1 à $N - 1$.

A partir de la théorie des rangs, Pettitt montre que si k désigne la valeur de K_N prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur k est donnée approximativement par:

$$\text{prob}(K_N > k) \approx 2 \exp\left(\frac{-6k^2}{N^3 + N^2}\right)$$

Pour un risque α de première espèce donné, si la probabilité de dépassement estimée est inférieure à α , l'hypothèse nulle est rejetée. La série comporte alors une rupture localisée au moment τ où est observé K_N .

RESULTATS

Analyse statistique

Les résultats du test montrent qu'une rupture (équivalente à une diminution de la

pluviométrie annuelle dans le cas présent) au sein de la série chronologique s'observe majoritairement entre 1960 et 1979 avec un niveau de signification qui varie d'un poste à un autre. Le niveau de signification traduit ici l'importance réelle ou non d'un changement de la moyenne au sein de la série pluviométrique. On constate que, dans cinq cas uniquement, la rupture n'a pas été signalée durant cette période mais autour des années 1940. Il faut noter, également, que, pour six postes pluviométriques, le test révèle une augmentation de la pluviométrie annuelle. Ces six postes sont, cependant, isolés les uns des autres et leurs résultats ne traduisent donc en rien un comportement régional. Ils ne sont probablement que l'expression de sites dont les mesures sont peu fiables et qui ont été sélectionnés malgré les tests de qualité des données effectués.

Le Tableau 1 présente la probabilité associée à la statistique du test calculé pour chacun des postes. Un classement qualitatif a été effectué en tenant compte des valeurs de cette probabilité. Celles-ci ont été reportées sur une carte de la région étudiée (Fig. 1): le phénomène de déficit pluviométrique y apparaît plus marqué à l'ouest du cinquième méridien ouest et au nord des 8-10èmes parallèles nord. Ailleurs, ce phénomène est moins accentué.

Tableau 1 Probabilité associée au test de Pettitt—Rupture entre 1960 et 1979.

Probabilité associée	Classe	Dénombrement
< 1%	Rupture très significative	32
entre 1 et 5%	Rupture significative	10
entre 5 et 20%	Rupture peu significative	11
> 20%	Série homogène	32
< 5%	Excédent pluviométrique	6
< 1%	Rupture très significative en dehors de la période 1960-1979	5

Représentations graphiques et analyse cartographique

Sur la période 1925 (± 5 ans)–1990, retenue comme période de référence car commune à tous les postes étudiés et présentant une forte densité d'information, nous avons, en outre, procédé à une étude cartographique. Pour chacun des postes pluviométriques, un indice pluviométrique a été calculé, défini comme une variable centrée réduite (Lamb, 1982):

$$(X_i - \bar{X}) / S$$

avec X_i : pluviométrie de l'année i ; \bar{X} : pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence; S : écart-type de la pluviométrie interannuelle sur la période de référence. Cet indice traduit un excédent ou un déficit pluviométrique pour l'année considérée par rapport à la période de référence choisie.

Les résultats ont été reportés en Fig. 2, en rangeant les stations par longitude croissante. On observe une succession de périodes déficitaires et excédentaires. Les dates indiquées ci-dessous ne sont données qu'à titre de repères chronologiques. En effet, ces fluctuations climatiques ne sont pas intervenues simultanément à une même date sur l'ensemble de la zone d'étude:

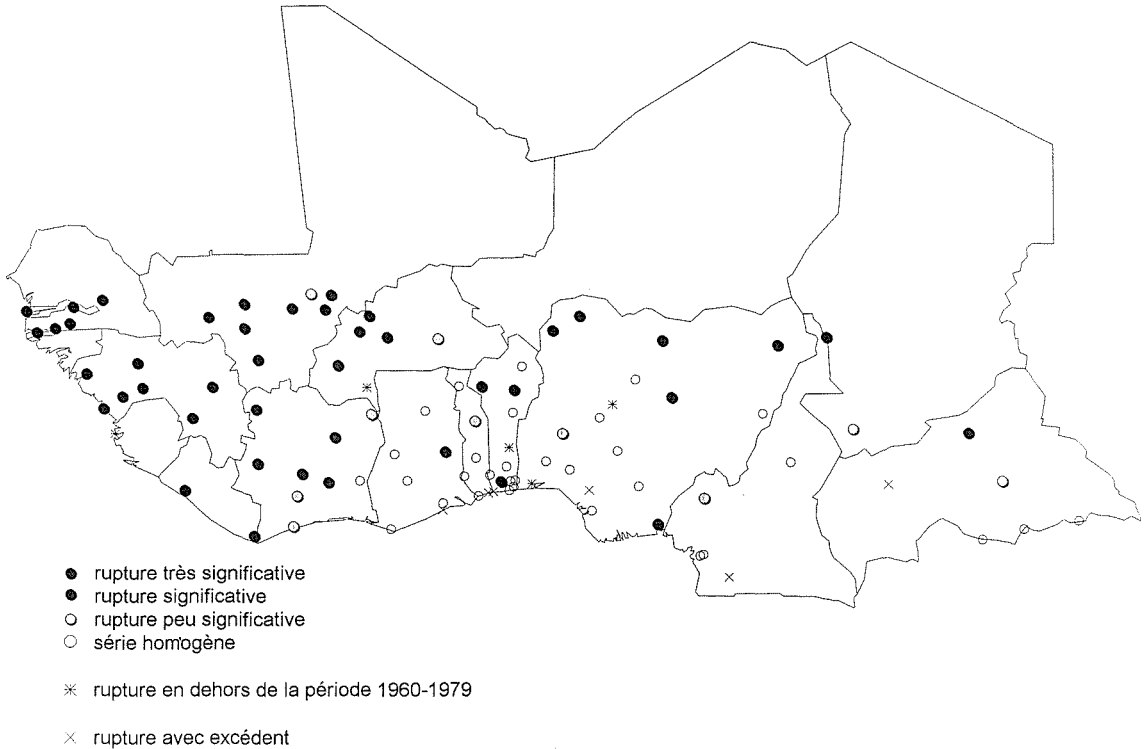


Fig. 1 Niveaux de signification des résultats du test de Pettitt.

- (a) *La période 1936–1950 est déficitaire.* Ce caractère est plus marqué entre 0° et 4° de longitude est (Togo et Bénin) et il s'estompe de part et d'autre, en particulier à l'ouest;
- (b) *La période 1951–1968 est excédentaire.* Ce caractère est plus marqué à l'ouest de la zone d'étude (ouest de la Côte d'Ivoire);
- (c) *La période 1969–aujourd'hui est déficitaire.* Ce caractère s'observe sur l'ensemble de la zone, mais plus nettement à l'ouest (ouest de la Côte d'Ivoire).

Les résultats ont été reportés en Fig. 3 en rangeant les stations par latitude croissante. On y observe la même succession de périodes déficitaires et excédentaires que précédemment:

- (a) la période 1936–1950 est déficitaire mais son caractère est peu marqué,
 (b) la période 1951–1968 est excédentaire et son caractère est bien marqué,
 (c) la période 1969–aujourd'hui est déficitaire et son caractère est très marqué au dessus des 8–10èmes parallèles.

La densité de l'information étant suffisamment importante, il a été possible de cartographier la moyenne par décennie des indices pluviométriques (Fig. 4). On observe alors:

- (a) des zones ponctuellement déficitaires durant les décennies 1930 et 1940 (en particulier cette dernière); les valeurs des indices sont, cependant, faibles en valeur absolue,

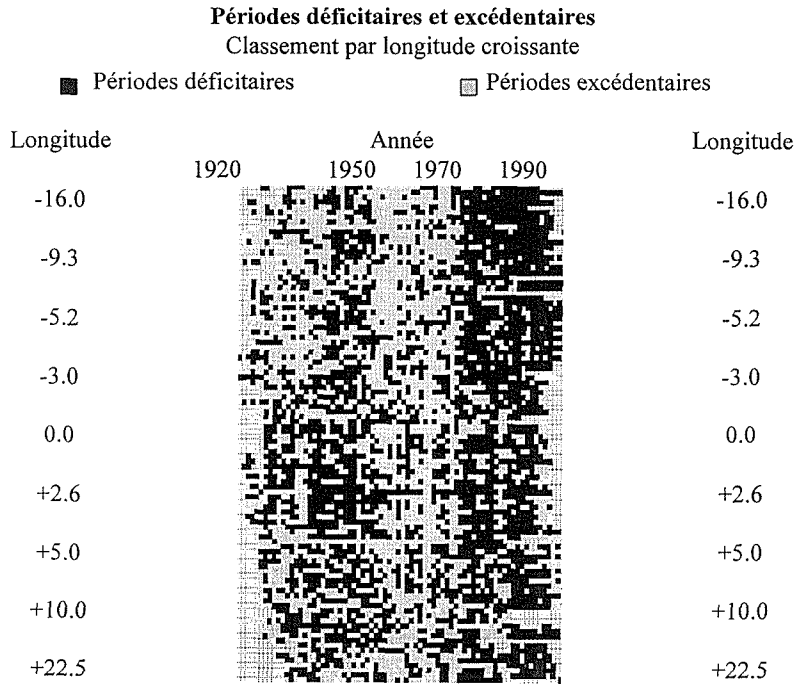


Fig. 2 Visualisation des périodes déficitaires et excédentaires en fonction de la longitude du poste de mesure.

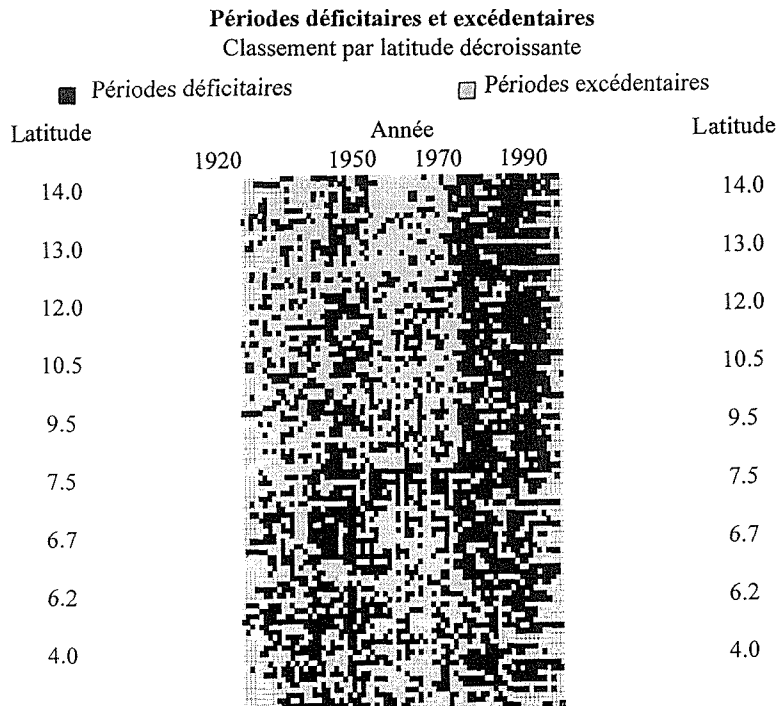


Fig. 3 Visualisation des périodes déficitaires et excédentaires en fonction de la latitude du poste de mesure.

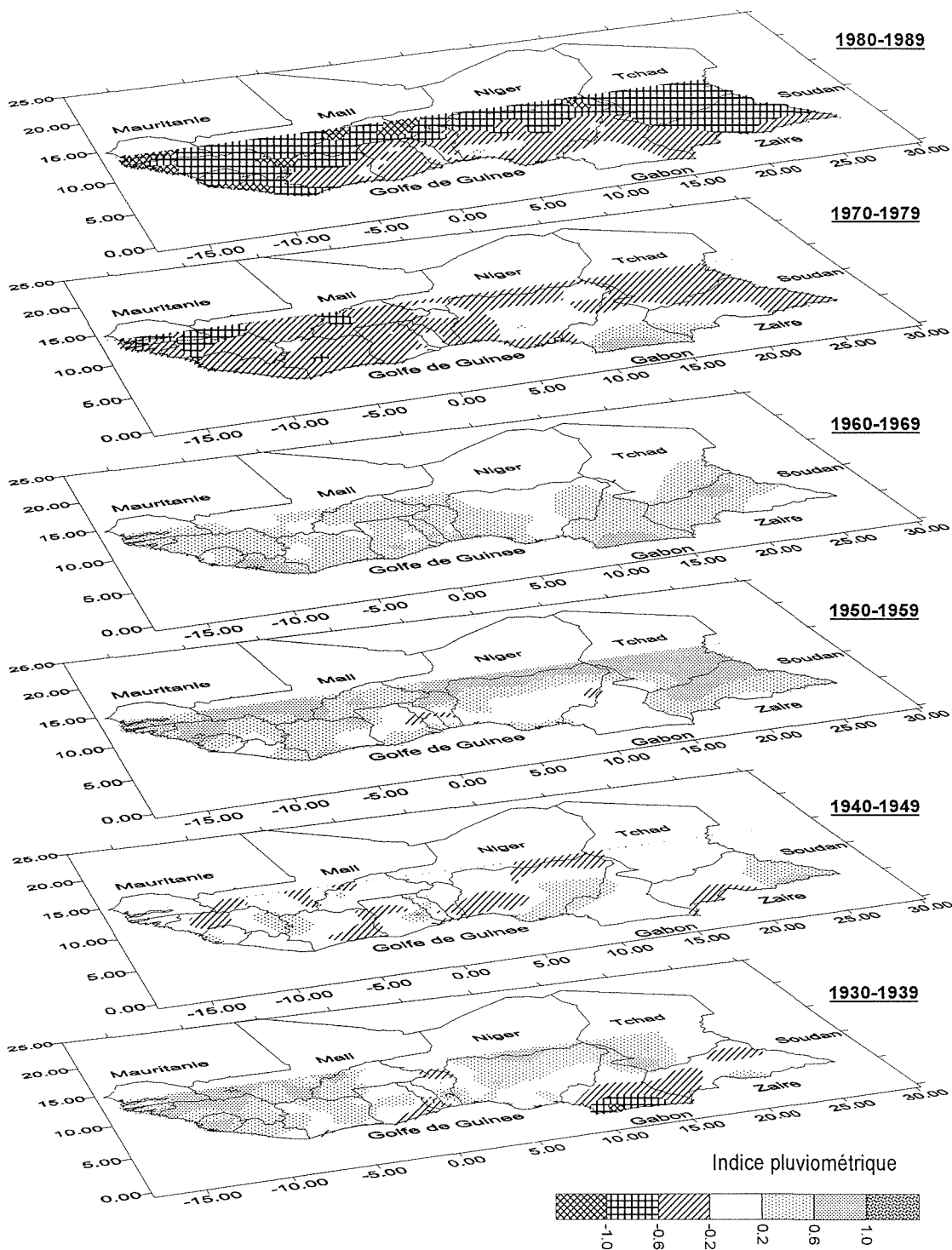


Fig. 4 Evolution des indices pluviométriques de la décennie 1930 à la décennie 1980.

- (b) des zones excédentaires durant les décennies 1950 et 1960; ce caractère s'observe d'abord dans le nord puis se généralise à l'ensemble de la zone d'étude au cours de la décennie suivante,
- (c) des zones déficitaires durant les décennies 1970 et 1980; ce caractère s'accroît au cours de la décennie 1980 et apparaît très marqué au nord du 10^{ème} parallèle et à l'ouest du cinquième méridien ouest. Les valeurs des indices y sont beaucoup plus élevées qu'auparavant, en valeur absolue.

Ces différentes représentations montrent clairement l'alternance de périodes sèches et humides. L'examen des données antérieures à la période de référence choisie, et disponibles pour quelques pays seulement, révèle également une période déficitaire entre 1910 et 1922 ainsi qu'une période excédentaire entre 1922 et 1936. Cette alternance qui semble courante en Afrique de l'ouest et centrale ne constitue pas pour autant un cycle du fait de sa forte irrégularité.

Le test de Pettitt ne peut détecter qu'une seule rupture. Pour la région étudiée, il semble privilégier très nettement celle survenue autour de l'année 1970, soulignant ainsi l'importance de cette dernière variabilité au regard des séries chronologiques historiques disponibles.

CONCLUSION

Cette étude montre qu'au cours de ce siècle, l'Afrique de l'ouest et centrale a connu une succession de périodes à déficits et de périodes à excédents pluviométriques sans, toutefois, pouvoir parler de cycle. La fluctuation la plus brutale et la plus significative (au sens statistique du terme) est observée autour des années 1970, au cours desquelles on note une diminution généralement assez importante de la pluviométrie annuelle.

Cette période déficitaire se caractérise, depuis lors, par son intensité et sa durée. A l'est, ce phénomène ne semble s'inscrire que dans l'histoire des variations "normales" des séries chronologiques sans revêtir le caractère d'exception que l'on observe plus à l'ouest et au nord.

Il est probable que les activités humaines ont très certainement contribué à accroître ce phénomène de sécheresse. On peut citer l'exemple de la déforestation dans de nombreuses régions du Golfe de Guinée durant ces dernières décennies. Elle y a pris une ampleur considérable qui, même si elle ne peut être considérée comme la principale cause de cette sécheresse, ne peut pas être étrangère à la diminution de la pluviométrie annuelle.

REFERENCES

- Delattre, M. O. (1996) Evolution climatique en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne. *Rapport de Stage de fin d'Etudes*, ISIM-Montpellier, ORSTOM, Abidjan.
- Lamb, P. J. (1982) Persistence of Saharan drought. *Nature* 299(September), 46-47.
- Lubès, H., Masson, J. M., Servat, E., Patrel, J. E., Kouamé, B., Boyer, J. F. (1994) *Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques—Etude bibliographique. ORSTOM, Montpellier, Programme ICCARE, Rapport no. 3.*
- Pettitt, A. N. (1979) A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Statistics* 28(2), 126-135.
- Servat, E. (1994) ICCARE. Identification et Conséquences d'une variabilité du Climat en Afrique de l'ouest non sahélienne—Présentation du programme. *ORSTOM, Abidjan, Côte d'Ivoire, Programme ICCARE, Rapport no. 1.*



FRIEND'97— Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management

Edited by

Alan Gustard, Sarka Blazkova,

Mitja Brilly, Siegfried Demuth,

Julia Dixon, Henny van Lanen,

Carmen Llasat, Simon Mkhandi & Eric Servat



FRIEND'97—Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management

Edited by

ALAN GUSTARD

Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire OX10 8BB, UK

SARKA BLAZKOVA

T G Masaryk Water Research Institute, Podbabská 30, 160-62 Prague 6, Czech Republic

MITJA BRILLY

FAGG Hydraulics Division, University of Ljubljana, Hajdrihova 28, 61000 Ljubljana, Slovenia

SIEGFRIED DEMUTH

Department of Hydrology, University of Freiburg, Werderring 4, D-79085 Freiburg, Germany

JULIA DIXON

Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire OX10 8BB, UK

HENNY VAN LANEN

Department of Water Resources, Agricultural University, Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen, The Netherlands

CARMEN LLASAT

Department of Astronomy and Meteorology, University of Barcelona, Avda Diagonal 647, 08028 Barcelona, Spain

SIMON MKHANDI

Department of Civil Engineering, University of Dar es Salaam, PO Box 35131, Dar es Salaam, Tanzania

ERIC/SERVAT

Antenne Hydrologique, 06 BP 1203, Cidex 1, Abidjan 06, Côte d' Ivoire

Proceedings of the Third International Conference on FRIEND held at Postojna, Slovenia, from 30 September to 4 October 1997. The conference was convened jointly by the steering committee of the Alpine Mediterranean Hydrology (AMHY) FRIEND project with the support of other FRIEND groups: Northern European FRIEND, Southern African FRIEND, West and Central African FRIEND and the National Committee of Slovenia for the International Hydrological Programme of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) and the Operational Hydrological Programme of World Meteorological Organization (WMO). The conference was sponsored by UNESCO, WMO, the European Commission, the International Association of Hydrological Sciences (IAHS) and the Ministry of Science and Technology, Republic of Slovenia.

Published by the International Association of Hydrological Sciences 1997

IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire OX10 8BB, UK

IAHS Publication no. 246

ISBN 1-901502-35-X

British Library Cataloguing-in-Publication Data.

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

IAHS is indebted to the Institute of Hydrology, Wallingford, UK, for the support and services provided that enabled the editor-in-chief to work effectively and efficiently. IAHS is similarly indebted to the employers of the co-editors for the support they provided.

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.

The Editors wish to acknowledge Penny Kisby of IAHS Press for the preparation of the camera-ready copy; the editorial assistance of the conference convenors; and the authors of the papers for their patience and cooperation during the editing process.

The camera-ready pages were assembled by Penny Kisby (IAHS Press, Wallingford, UK) using files of the edited papers provided by the Editor.