

## Variations spatio-temporelles des régimes pluviométriques et hydrologiques en Afrique Centrale du début du siècle à nos jours

**A. LARAQUE, J.-C. OLIVRY**

*Centre ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie, BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex 1, France*

**D. ORANGE & B. MARIEU**

*Centre ORSTOM, LECOM, BP 84, Bamako, Mali*

**Résumé** Une segmentation statistique sur la deuxième moitié du XXème siècle des chroniques hydropluviométriques des affluents de rive droite du Congo-Zaïre, montre que les ruptures dans les séries pluviométriques sont moins franches et moins nombreuses que celles des séries hydrologiques. Ces dernières s'accordent avec les quatre principales phases d'écoulement du Congo-Zaïre qui dispose d'une chronique hydrométrique séculaire. Ce fleuve a connu du début du siècle à 1960, une phase dite normale ou stable, une phase humide ou d'écoulement excédentaire durant la décennie 1960, puis à partir de 1971, deux phases de baisses successives de ses écoulements, la seconde de 1982 à nos jours étant plus accentuée avec une diminution de 10% de son module interannuel. C'est toute la portion septentrionale de son bassin qui a le plus souffert de l'actuelle péjoration climatique avec une baisse de régime de plus de 30% pour l'Oubangui.

### INTRODUCTION

Afin d'approfondir la connaissance et la compréhension du fonctionnement hydroclimatique du bassin du Congo-Zaïre, à la suite des travaux de Nicholson *et al.* (1988), Sircoulon (1987), Hubert *et al.* (1989), Hubert & Carbonnel (1993), Olivry *et al.* (1993), Mahé (1993), Mahé & Olivry (1995), nous comparons, à partir d'une étude régionale portant sur ses sous bassins de rive droite, les variations spatio-temporelles de leurs écoulements et précipitations au cours de ce siècle.

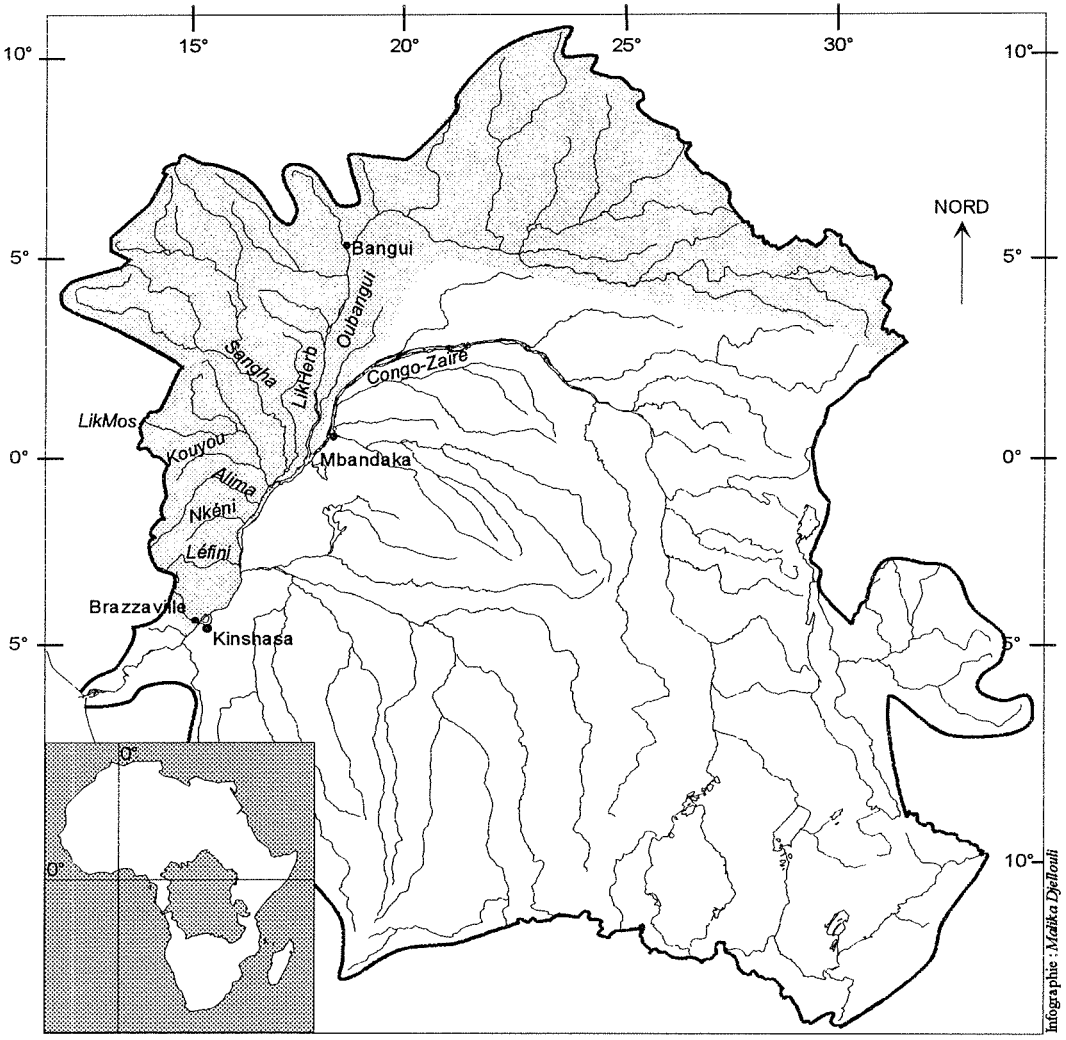
Nous avons ainsi recherché pour chacun d'entre eux, les ruptures séparant les phases homogènes de leurs chroniques hydrométéorologiques. En nous basant sur les époques des segmentations hydrologiques du Congo-Zaïre et de l'Oubangui qui sont celles les plus couramment rencontrées dans cette zone géographique, nous avons comparé entre elles les amplitudes de ces phases homogènes, pour tous ces affluents. Cela nous a permis de définir les zones les plus sensibles à ces fluctuations.

### REGION ETUDIEE, DONNEES ET METHODOLOGIE

Les bassins des affluents congolais de rive droite (Oubangui, Sangha, Likouala aux Herbes, Likouala Mossaka, Alima, Nkéni, Léfini) dont les embouchures au fleuve arrivent entre la ville zairoise de Mbandaka et celle de Brazzaville au Congo,

couvrent près d'un million de km<sup>2</sup> (Fig. 1 et Tableau 1), dont 73% de la surface sont contrôlés par des stations hydrométriques.

A partir des données d'environ 250 postes pluviométriques et grâce à une chaîne de traitement automatisée (Mahé *et al.*, 1994), il a été possible de calculer pour chacun d'entre eux, les lames précipitées annuelles de 1951 jusqu'à 1993, excepté pour l'ensemble du bassin du Congo-Zaïre où les calculs se sont arrêtés en 1989 (Mahé & Olivry, 1995). Quant aux chroniques hydrologiques des cours d'eau étudiés, elles débutent aussi vers 1950, excepté pour le Congo-Zaïre à Brazzaville-Kinshasa et l'Oubangui à Bangui, son deuxième affluent, où elles remontent respectivement à 1903 et 1936 (Laraque & Maziezoula, 1995; Wesselink *et al.*, 1996).



Note : LikMos = Likouala Mossaka  
LikHer = Likouala aux Herbes

Légende : [shaded box] zone étudiée

Fig. 1 Présentation des cours d'eau étudiés du bassin du Congo-Zaïre.

Sur chaque série chronologique de ces bassins, nous avons utilisé de manière systématique, quatre tests statistiques de détection de ruptures grâce aux procédures automatiques du logiciel Statisti (Lubès *et al.*, 1995). Il s'agit des tests de "Buishand", de "Pettitt", de la méthode "Bayésienne de Lee-Heghinian" et de la "segmentation de Hubert".

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le Tableau 1 présente les moyennes des lames précipitées et écoulées pour chaque segmentation stationnaire. On constate que les ruptures supposées des séries pluviométriques sont moins fréquentes et moins prononcées que celles des séries hydrologiques et que les dates d'apparition des premières précèdent en général d'un à trois ans, celles des secondes, aux exceptions près de la Sangha, dont la seule rupture pluviométrique de 1974 est postérieure à la rupture hydrologique de 1970, et de la Likouala aux Herbes, dont la rupture pluviométrique de 1982 se situe au milieu d'une phase d'écoulement déficitaire pourtant homogène.

La pluviométrie du bassin oubanguien est la première à diminuer de 3.2% en 1960, alors que pour tous les autres bassins, ce fléchissement se situe près de 10 ans

**Tableau 1** Segmentation statistique\* des séries hydropluviométriques annuelles (1951-1993) des sous bassins de rive droite du Congo-Zaïre.

Bassins versant	Stations hydro-métriques	Superficies (km <sup>2</sup> )	Modules interannuels (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Segmentation des pluies (mm)	Segmentation des écoulements (mm)
Oubangui	Bangui	488 500	3800 (1936-1993: 3900)	1951-1960: 1482 1961-1992: 1434	1936-1959: 270 1960-1970: 315 1971-1982: 230 1983-1993: 175
Sangha	Ouessou	158 300	1600	1951-1973: 1604 1974-1993: 1511	1948-1970: 360 1971-1993: 290
Likouala-aux-Herbes	Botouali	24 800	280	1951-1981: 1750 1982-1993: 1622	1949-1959: 290 1960-1970: 460 1971-1993: 335
Likouala Mossaka	Makoua	14 100	220	1951-1993: 1689	1953-1981: 503 1982-1993: 420
Kouyou	Owando	10 100	215	1951-1969: 1725 1970-1985: 1654 1986-1993: 1566	1952-1993: 575
Alima	Tchikapika	20 070	590	1951-1957: 1762 1958-1969: 1803 1970-1993: 1709	1952-1960: 860 1961-1971: 975 1972-1993: 915
Nkéni	Gamboma	6 200	200	1951-1957: 1731 1958-1969: 1802 1970-1993: 1662	1952-1993: 965
Léfini	Bwembé	13 500	420	1951-1993: 1616	1952-1993: 871
Congo-Zaïre	Brazzaville	3 500 000	40 600 (1936-1993: 40 300)	1951-1969: 1600 1970-1989: 1528	1902-1959: 355 1960-1970: 435 1971-1981: 375 1982-1993: 335

\* Les ruptures indiquées sont les résultats significatifs de l'ensemble des tests du logiciel STATISTI.

plus tard avec des baisses variant de 2.5 à 8%. L'ensemble du bassin Congo-Zaïrois a vu, quant à lui, sa moyenne pluviométrique diminuer de 4.5% entre les périodes 1951–1969 et 1970–1989, en passant de 1600 à 1528 mm an<sup>-1</sup>.

A l'image de la couverture pluviométrique, les débits moyens annuels des affluents rive droite, présentent également des variations spatio-temporelles, que nous commenterons à partir de celles, concomitantes, des deux principaux cours de l'Oubangui et du Congo-Zaïre. Entre 1936 et 1993, le premier présente quatre phases d'écoulements qui se superposent, cependant, avec de plus fortes amplitudes, à celles déjà signalées par Hubert & Carbonnel (1993) sur la chronique séculaire du second (Fig. 2(a) et (b)). Pour chacune de ces séries, ces phases se répartissent en deux grandes périodes, avec respectivement pour ces deux cours d'eau, des débits moyens interannuels de 4200 et 39 600 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> sur la première moitié du siècle dite stable, puis pour la deuxième moitié, dite "instable", les écoulements montrent des oscillations chevauchant pratiquement les décennies calendaires. On peut distinguer une sous période "humide" entre 1960 et 1970 présentant respectivement des accroissements de 17 et 21% (soit 4900 et 48 000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>). Ensuite, ce dernier connaît un retour à la "normale" entre 1971 et 1981 avec 41 400 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (soit une baisse de 14%), valeur proche de celle de la première phase et enfin à partir de 1982 une période véritablement déficitaire, avec une nouvelle baisse de 10% amenant ses écoulements interannuels à 37 500 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Par contre, pour l'Oubangui, la période

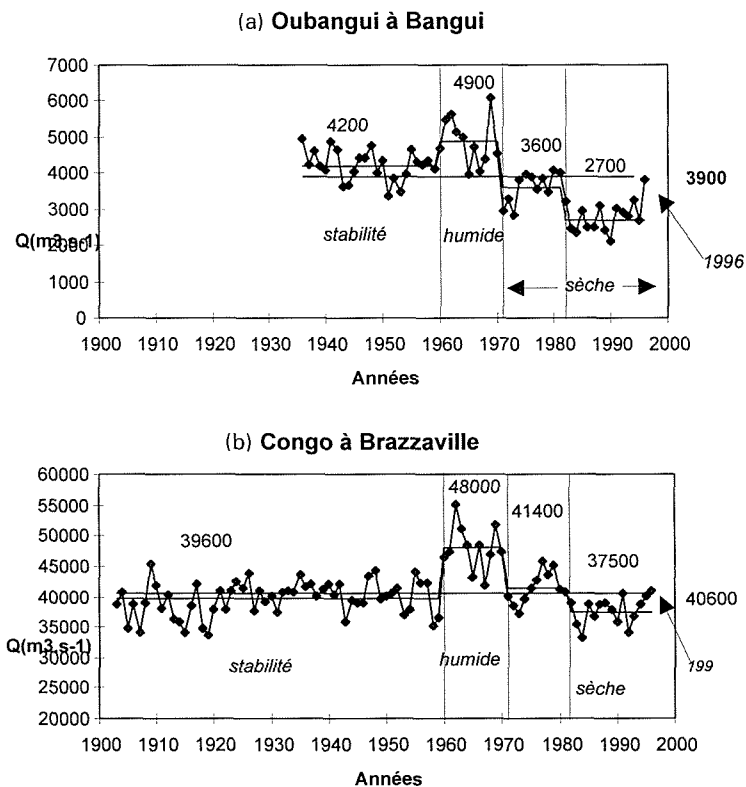


Fig. 2 Segmentation des chroniques des modules de l'Oubangui et du Congo-Zaïre.

“sèche” débute brutalement après la période humide 1960–1970, avec une chute de 26% de son module interannuel, puis s’accroît gravement à partir de 1982 avec de nouveau une baisse de 25% par rapport à la période précédente. Ainsi par rapport à leur période “stable” commune (1936–1959), la période actuelle (depuis 1982), a connu une baisse d’écoulement de près de 36% (Orange *et al.*, 1996) pour l’Oubangui contre 7.7% pour le Congo-Zaïre.

Il est à signaler pour le bassin du Congo-Zaïre, que les périodicités hydrométriques quasi décennales relativement contrastées de la deuxième moitié du siècle, qui ont succédées à une relative stabilité des écoulements durant sa première moitié, ont également été remarquées sur les fluctuations climatiques survenues ces trente dernières années sur toute sa partie zaïroise (ou versant gauche), par Kazaki & Kaoru (1996).

La Fig. 3 permet, à partir de cinq affluents de rive droite, caractéristiques des différentes régions physiographiques traversées, et par rapport aux modules interannuels de leur période d’observation commune (1951–1993), de comparer leurs variations d’hydraulicité sur les segmentations homogènes de référence régionale que sont celles de l’Oubangui et du Congo-Zaïre. C’est à partir de 1970, que pratiquement toutes les hydraulicités deviennent inférieures à l’unité. Cette décennie 1970 légèrement déficitaire, semble présenter une véritable “charnière”, entre deux autres, d’hydraulicités symétriques mais opposées. En effet, la décennie 60 est excédentaire avec des valeurs variant de 1.04 à 1.3, et celle de 80, franchement déficitaire avec des variations de 0.72 à 0.99 suivant les cours d’eau. En fait, les plus faibles variations d’hydraulicité concernent les cours d’eau des plateaux Tékés avec soit aucune rupture statistiquement détectable (cas de la Nkényi et de la Léfini), soit des variations très proches de l’unité, illustrées par l’Alima avec successivement 0.93; 1.05 et 1 pour les périodes 1951–1960; 1961–1971 et 1972–1993. Pour ces dernières rivières, c’est l’immense aquifère sablo-gréseux constituant leur bassin versant qui semble à l’origine de la remarquable régulation interannuelle de leur régime (Laraque & Pandi, 1996), au point “d’effacer” les deux ruptures pluviométriques de 1957 et 1969 qui les affectent.

Enfin, pour l’Afrique Centrale, la phase hydroclimatique la plus importante par son amplitude, apparaît être la période “humide” 1960–1970, où les variations d’écoulement par rapport aux moyennes interannuelles des séries étudiées, ont toujours été supérieures à celles de la phase 1982–1993, la plus déficitaire. Ceci est confirmé par les fluctuations des modules interannuels de la période 1960–1970 du Congo-Zaïre

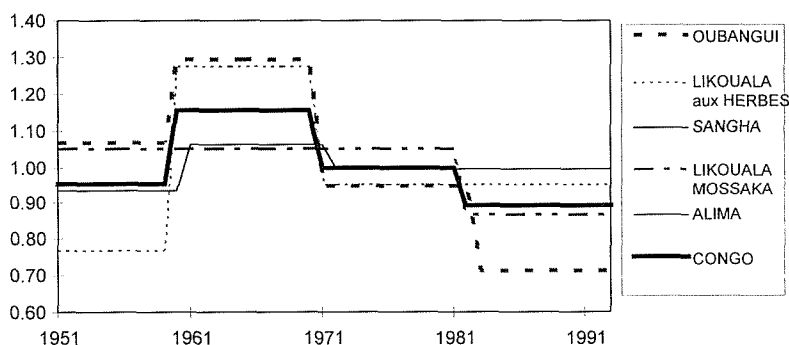


Fig. 3 Segmentation des hydraulicités de quelques cours d’eau caractéristiques.

(+20%), contre -7.6% pour 1982-1993 par rapport à celui de sa chronique séculaire.

Mais c'est bien cette persistante phase d'écoulement déficitaire enregistrée depuis 1970 et qui s'est accentuée à partir de 1982 qui est le fait marquant de ce siècle de par sa durée. A l'échelle du bassin du Congo-Zaïre, l'Oubangui en est le symbole, avec sur ses soixante années d'observations, un record d'amplitude (-31%), qui en fait son accident hydroclimatique majeur. Pour ce cours d'eau, il devance par son intensité, sa "phase humide" qui elle, n'a enregistré qu'une croissance de +25.5% de ses écoulements. Cette période sèche actuelle semblerait depuis 1993, s'achever progressivement, avec un retour à la « normale » des écoulements du Congo-Zaïre et de l'Oubangui, qui viennent juste en 1996, de retrouver leurs modules interannuels après respectivement quinze et six années d'écoulements déficitaires (Fig. 2).

Pourtant dans ce contexte apparemment favorable à la reprise des écoulements, la Sangha, deuxième affluent de rive droite, apporte une note de discordance avec une année 1996 fortement déficitaire. Son module de  $1250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  dont la période de retour de 20 ans, la place pour cette seconde moitié de siècle, en deuxième position des modules les plus faibles après celui de 1983. Cela souligne bien l'hétérogénéité spatiale des phénomènes hydropluviométriques à l'échelle d'un bassin comme celui du Congo-Zaïre.

## CONCLUSION

Après une grande régularité interannuelle durant la première moitié du siècle, la diminution des écoulements enregistrée sur le Congo-Zaïre depuis 1971 est cependant à nuancer. Durant la décennie 1970, on assiste en fait à leur retour à la normale après les années 60 fortement excédentaires. La baisse significative de son régime ne prend effet qu'au début des années 80 avec une diminution de 7.6% de son module interannuel, par rapport à la moyenne de toute sa chronique.

Les ruptures à la fois pluviométriques et hydrométriques les plus couramment rencontrées pour tous les bassins étudiés en Afrique Centrale sont celles de 1970 ( $\pm 2$  ans), qui coïncident avec l'accident hydroclimatique majeur déjà bien décrit en Afrique Occidentale (Sircoulon, 1987; Hubert *et al.*, 1989; Olivry, 1993; Aka *et al.*, 1996). L'Afrique Centrale a ainsi connue des baisses d'écoulement variant de quelques pour cent à plus de 30% suivant les bassins, sans relations spatio-temporelles apparentes avec des fluctuations pluviométriques bien plus faibles de 2 à 8%.

Cela atteste de la complexité des processus de réponse des écoulements aux précipitations, qui au sein de chaque sous bassin, doit intégrer en fonction de leur physiographie propre, des effets de mémorisation à l'échelle pluriannuelle à la fois des précipitations antérieures, comme des modifications des états de surface ou des relations rivières-aquifères. Si la situation d'Afrique Centrale est moins grave que celle d'Afrique Occidentale, elle nécessite cependant de revoir certaines options de gestion des ressources hydriques, comme notamment, le projet de relier par un canal, l'Oubangui au lac Tchad, pour combler le déficit hydrique de ce dernier.

**Remerciements** Nous remercions l'équipe ORSTOM du programme ICCARE pour la mise à disposition du logiciel STATISTI.

## REFERENCES

- Aka, A., Kouamé, B., Patrel, J. E., Servat, E., Lubès, H. & Masson, J. M. (1996) Analyse statistique de l'écoulement en Côte d'Ivoire. In: *L'hydrologie tropicale: géoscience et outil pour le développement—mélanges à la mémoire de Jean Rodier* (ed. par P. Chevallier & B. Pouyau) (Actes de la conférence de Paris, mai 1995), 167–177. IAHS Publ. no. 238.
- Hubert, P. & Carbonnel, J. P. (1993) Segmentation des séries annuelles de débits des grands fleuves africains. *Bull. de liaison du CIEH no. 92, Ouagadougou, Burkina Faso*, 3–10.
- Hubert, P., Carbonnel, J. P. & Chaouch, A. (1989) Segmentation des séries hydrométéorologiques—application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *J. Hydrol.* **110**, 349–367.
- Kazaki, S. N. & Kaoru, F. (1996) Interannual and long term climate variability over the Zaïre River basin during the last 30 years. *J. Geophys. Res.* **101**(D16), 351–360.
- Laraque, A. & Maziezoula, B. (1995) Banque de données hydrologiques des affluents congolais du fleuve Congo-Zaïre et informations physiographiques. Rapport interne, Lab. Hydrol. ORSTOM, Montpellier.
- Laraque, A. & Pandi, A. (1996) Rôle des données physiographiques dans la classification hydrologique des affluents congolais du fleuve Congo-Zaïre. *C. R. Acad. Sci. Paris* **323**, série Ila, 855–858.
- Lubès, H., Aka, A., Masson, J. M., Servat, E., Patrel, J. E. & Kouamé, B. (1995) Essai de mise en évidence d'une variation climatique par application de test statistiques à des séries chronologiques de débit. Application aux grands fleuves de Côte d'Ivoire. In: *Statistical and Bayesian Methods in Hydrological Sciences* (Proc. International Conference in honour of J. Bernier, septembre 1995). UNESCO, Paris.
- Mahé, G. (1993) Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle. Analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. Thèse de doctorat, Collection Etudes et Thèses, ORSTOM Paris.
- Mahé, G., Delclaux, F. & Crespy, A. (1994) Elaboration d'une chaîne de traitement pluviométrique et application au calcul automatique de lames précipitées (bassin versant de l'Ogoué au Gabon). *Hydrol. Continent.* **9**(2), 169–180.
- Mahé, G. & Olivry, J. C. (1995) Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. *Rev. Sécher.* **6**(1), 109–117.
- Nicholson, S. E., Kim, J. & Hoopingarner, J. (1988) *Atlas of African rainfall and its Interannual Variability*. Dept Meteorology, Florida State University, Tallahassee, Florida, USA.
- Olivry, J. C. (1993) Evolution récente des régimes hydrologiques des grands fleuves d'Afrique de l'ouest et centrale—les écosystèmes tropicaux, fonctionnement et usages. *Journées du programme Environnement CNRS/ORSTOM*, **13**, **14**, **15**, Lyon, janvier 1993.
- Olivry, J. C., Bricquet, J. P. & Mahé, G. (1993) Vers un appauvrissement durable des ressources en eau de l'Afrique humide? In: *Hydrology of Warm Humid Regions* (ed. par J. S. Gladwell) (Proc. Yokohama Symp., juillet 1993), 67–78. IAHS Publ. no. 216.
- Orange, D., Feizouré, C., Wesselink, A. J. & Callède, J. (1996) *Variabilités hydrologiques de l'Oubangui à Bangui au cours du XXIème siècle* (Actes de la réunion FRIEND A.O.C., Cotonou, Bénin, décembre 1995) (sous presse). UNESCO, Paris.
- Sircoulon, J. (1987) Variations des débits des cours d'eau et des niveaux des lacs en Afrique de l'Ouest depuis le 20ième siècle. In: *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources* (ed. par S. I. Solomon, M. Beran & W. Hogg) (Proc. Vancouver Symp., août 1987), 13–25. IAHS Publ. no. 168.
- Wesselink, A. J., Orange, D., Feizouré, C. & Randriamiarisoa (1996) Les régimes hydroclimatiques et hydrologiques d'un bassin versant de type tropical humide: l'Oubangui (République Centrafricaine). In: *L'hydrologie tropicale: géoscience et outil pour le développement—mélanges à la mémoire de Jean Rodier* (ed. par P. Chevallier & B. Pouyau) (Actes de la conférence de Paris, mai 1995), 179–194. IAHS Publ. no. 238.



# 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.