

## Caractérisation de la sécheresse hydropluviométrique du Bani, principal affluent du fleuve Niger au Mali

JEAN-EMMANUEL PATUREL<sup>1</sup>, ALIMA DIAWARA<sup>2</sup>, LINE KONG A SIOU<sup>1,3</sup>, EMELINE TALIN<sup>1,3</sup>, LUC FERRY<sup>3</sup>, GIL MAHE<sup>1</sup>, ALAIN DEZETTER<sup>1</sup>, NADINE MUTHER<sup>3</sup>, DIDIER MARTIN<sup>3</sup>, NATHALIE ROUCHE<sup>1</sup>, AGNES L'AOUR-CRES<sup>1</sup>, LUC SEGUIS<sup>1</sup>, N. COULIBALY<sup>4</sup>, S. BAHIRE-KONE<sup>5</sup> & MOHAMED KOITE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IRD/HSM–USTL, Case MSE, Pl. E. Bataillon 34095, Montpellier Cedex 05, France  
[jean-emmanuel.paturel@ird.fr](mailto:jean-emmanuel.paturel@ird.fr)

<sup>2</sup>DNM Mali, BP 237, Bamako, Mali

<sup>3</sup>IRD /G-eau, BP 2528, Bamako, Mali

<sup>4</sup>DNH Mali, BP 66, Bamako, Mali

<sup>5</sup>DHH Côte d'Ivoire, BP V6, Abidjan, Côte d'Ivoire

**Résumé** Dans l'optique d'aménagements ultérieurs et dans un contexte de changement climatique, il apparaît nécessaire de mettre à jour nos connaissances des régimes hydropluviométriques du fleuve Niger et de ses affluents. Le travail présenté s'intéresse au principal affluent du Niger dans sa partie supérieure, le Bani. Les résultats montrent que sur le bassin la pluviométrie a baissé de 15 à 25% depuis le début de la sécheresse en 1970, mais vers l'exutoire du bassin, à Douna (101 200 km<sup>2</sup>), les débits annuels ont baissé de plus de 65%. La géologie du bassin pourrait expliquer ce décalage. Toutefois, ces résultats sont liés à la fiabilité des données en basses-eaux et à l'anthropisation du bassin du Bani qui est probablement sous-évaluée comme le montre un travail non exhaustif sur le dénombrement des aménagements hydro-agricoles sur le bassin et qui pourrait avoir une influence qu'il reste à évaluer.

**Mots-clefs** Afrique de l'Ouest; aménagements à buts multiples; changement climatique; pluie; écoulement

### Characterization of the hydropluviometric drought of the Bani, main tributary of the Niger River in Mali

**Abstract** In a development and climatic change context, it appears necessary to update our knowledge of the hydrology of the Niger River and its tributaries. The presented work focuses on the Bani, principal tributary of the Upper Niger. The results show that the basin rainfall dropped by 15–25% since the beginning of the drought in 1970, but at the outlet of the watershed, in Douna (101 200 km<sup>2</sup>), the annual flows dropped by >65%. The geology of the watershed could explain this important shift. However, these results are related to the reliability of the low-flow data and to the anthropization of the Bani basin, which is probably underestimated as a non-exhaustive inventory of hydro-agricultural installations, which are shown in the basin. This could have an influence which has not yet been evaluated.

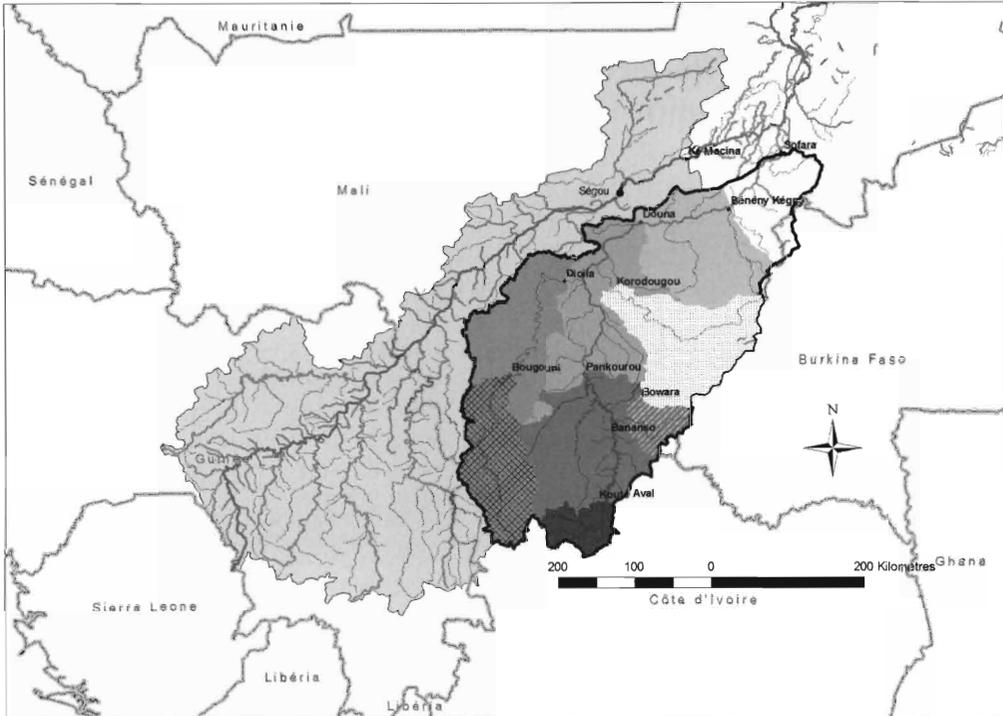
**Key words** climate change; multiple-purpose projects; rainfall–runoff; West Africa

### INTRODUCTION

Le bassin du fleuve Niger est l'un des plus vastes du continent africain. Son bassin couvre 7.5% du continent et s'étend sur 10 pays. Son cours supérieur est vital pour le bassin du fleuve (Fig. 1): la quantité d'eau qui entre au Mali, en provenance de la Guinée et de la Côte d'Ivoire (environ 40 km<sup>3</sup>/an) est plus importante que celle qui entre au Nigeria depuis le Niger (36 km<sup>3</sup>/an), près de 1 800 km plus loin en aval. Cette baisse s'explique principalement par l'évaporation liée à la présence d'un Delta Intérieur au Mali (DIN). Le Niger supérieur joue un rôle essentiel dans la vie d'immenses territoires (Brunet-Moret *et al.*, 1986).

De nombreux aménagements sont en projet ou en cours de réalisation, principalement dans la vallée du fleuve. Ils vont modifier l'hydrologie du fleuve et pour étudier leurs impacts, il est nécessaire de mettre à jour nos connaissances des régimes hydropluviométriques du fleuve et de ses affluents.

En amont du DIN, le bassin du Niger supérieur comprend deux affluents principaux: le Niger proprement dit (130 800 km<sup>2</sup> en amont de Ségou) et le Bani (102 300 km<sup>2</sup> en amont de Douna). Le bassin versant du Bani en amont de Douna prend sa source en Côte d'Ivoire (#20% du bassin).



**Fig. 1** Carte de localisation du bassin du Bani.

L'étude a consisté en une analyse des données hydroclimatiques (pluie et débit) du bassin du Bani avec un focus particulier sur les origines des eaux du bassin.

### **Présentation du bassin**

Le bassin versant du Bani comprend trois rivières majeures qui sont, d'Ouest en Est, le Baoulé, la Bagoé et le Banifing de Kouoro.

D'un point de vue climatique, on distingue trois zones du nord au sud:

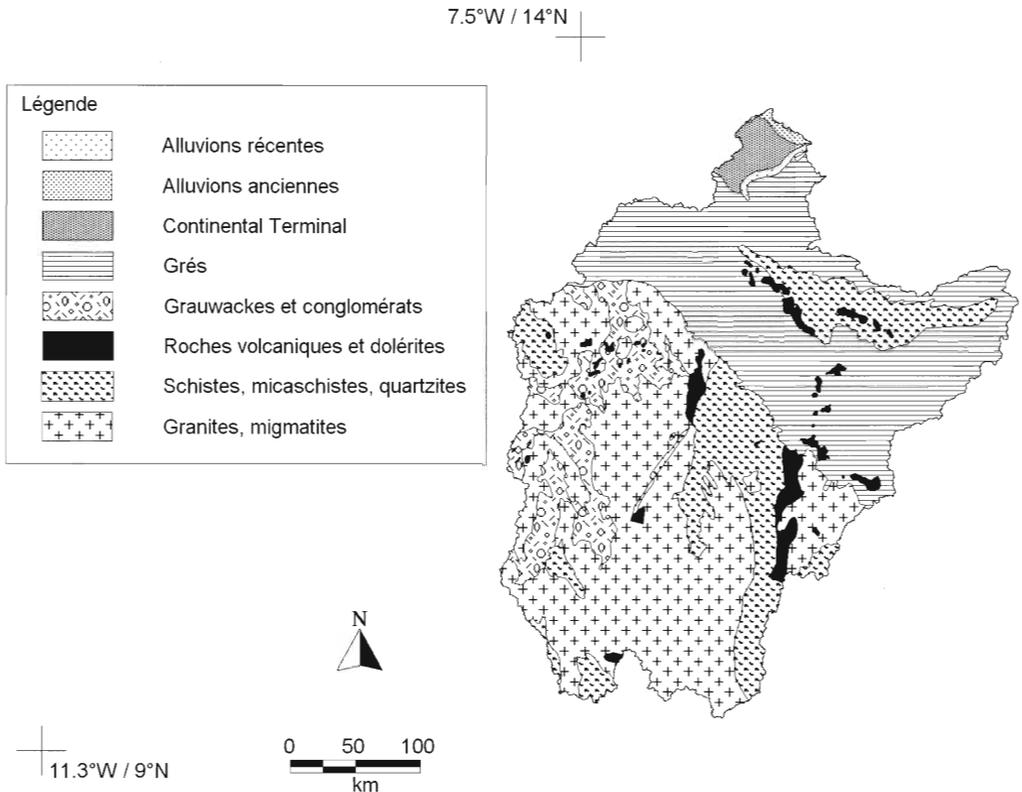
- une zone soudano-sahélienne avec des précipitations de l'ordre de 500 à 800 mm/an réparties principalement de Juin à Octobre;
- une zone soudanienne, subhumide, avec des précipitations de l'ordre de 800 à 1 200 mm/an sur une période pluvieuse qui dure 5 à 7 mois;
- une zone soudano-guinéenne, présentant des précipitations de plus de 1 200 mm/an réparties principalement d'Avril à Novembre.

Le bassin du Bani est constitué d'aquifères de type fissuré à faible perméabilité. La répartition géologique des terrains est donnée dans la Fig. 2. Cette répartition montre la dominance des grès (# 33%) et des Granites/Migmatites (#37%).

### **METHODOLOGIE**

Les analyses effectuées sur les séries de données pluviométriques, d'écoulement et de caractéristiques hydropluviométriques relèvent principalement de tests statistiques.

Les tests statistiques retenus sont robustes et courants dans la littérature scientifique qui a trait à des modifications au sein de séries chronologiques: le test de corrélation sur le rang teste le



**Fig. 2** Carte géologique du bassin du Bani à Douna (d'après DNGM *et al.*, 1980; Brunet-Moret *et al.*, 1986).

caractère aléatoire ou non de la série (Kendall & Stuart, 1943), le test de Pettitt (Pettitt, 1979) teste la présence ou l'absence de rupture (changement de moyenne au sein de la série) et fournit une date de rupture, la procédure de segmentation (Hubert *et al.*, 1989) est une méthode appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne.

Pour ce qui est de l'analyse pluviométrique, les tests ont concerné des séries de cumuls annuels et mensuels. Des calculs d'indices pluviométriques, de variation relative de cumuls de pluie, de profils pluviométriques journaliers et de caractéristiques des pluies journalières (date et jour pluvieux) compléteront cette analyse.

Pour ce qui est de l'analyse des écoulements, les tests ont concerné des modules annuels et mensuels et des débits caractéristiques des différentes phases de l'hydrogramme de crue: débits maximum et minimum ( $Q_{max}$  et  $Q_{min}$ ), débits égalés ou dépassés 10 jours et 355 jours par an (DCC et DCE), débits égalés ou dépassés 1, 3, 6 et 9 mois par an (DC1, DC3, DC6 et DC9), débits moyens maxima annuels de 5 et 30 jours consécutifs (VCX5 et VCX30), débits moyens minimum annuel de 60 jours consécutifs (VCN60). Des calculs de variabilité relative compléteront cette analyse.

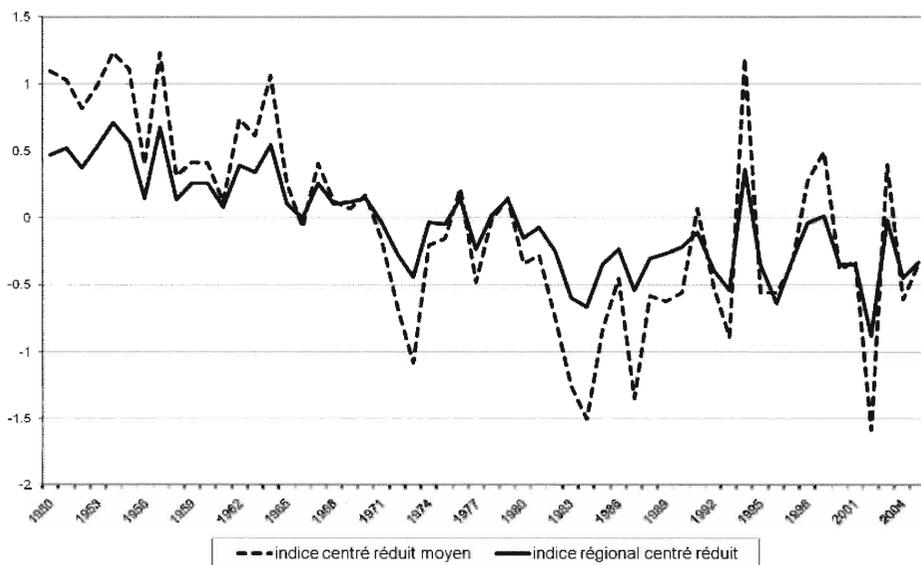
### Analyse pluviométrique

52 stations ont été retenues pour une analyse de leurs séries annuelles et mensuelles d'après les critères suivants: stations situées à l'intérieur ou à moins de 150 kms du bassin sans lacunes et dont les séries débutent avant 1960 et se terminent après 1980.

L'analyse des résultats des tests ou procédures statistiques révèle que l'ensemble du bassin du Bani a été touché par une diminution de sa pluviométrie annuelle et mensuelle mais à des degrés

divers. Le phénomène est d'abord apparu au cours de la période 1965–1969 dans le nord-ouest de la zone d'étude puis s'est propagé vers le sud-est pendant la période 1970–1974; au sud du bassin, ce changement apparaît bien moins nettement. Les changements annuels détectés résultent généralement de changements au niveau mensuel, en particulier sur 2 des mois les plus pluvieux, août et septembre.

L'évolution de 2 indices pluviométriques de 7 stations synoptiques (Mopti, San, Ségou, Koutiala, Bougouni, Sikasso et Odienné) a été reportée (Fig. 3): le premier est la moyenne des indices centrés réduits des pluies observées par station et le second est un indice "régional" centré réduit de la pluie calculée à l'échelle du bassin. Les résultats précédents sont confirmés et nous permettent de noter que sur le bassin du Bani, la pluie moyenne annuelle depuis 1970 est globalement inférieure à la moyenne sur la période 1950–2005. L'évolution des 2 indices montre également que le déficit s'est accentué de 1970 à 1985 puis semble s'être stabilisé. Il est à remarquer que la variabilité interannuelle des 2 indices semble avoir augmenté depuis 1990.



**Fig. 3** Évolution de 2 indices pluviométriques entre 1950 et 2005 (les données de Mopti ont été reconstituées à partir de 1995).

En termes de variation relative, les déficits pluviométriques annuels entre la période 1985–2005 et 1950–1969 sont moins importants au Sud, autour de 20%, qu'au Nord, autour de 25%.

On peut relier la diminution de la pluviométrie annuelle à une diminution du nombre de jours de pluie, de la hauteur moyenne, de la hauteur maximale d'un jour pluvieux et probablement à un raccourcissement de la saison des pluies.

### Analyse débitométrique

Pour cette analyse, 7 stations hydrométriques sans lacune et jugées de bonne qualité ont été retenues (Fig. 1 et Tableau 1).

Il apparaît que l'ensemble du bassin a subi un changement au sein de ses séries annuelles et mensuelles à l'exception des 2 plus petits bassins de la bordure est du bassin (Bowara et Bananso) mais leurs séries de données ne débutent qu'à partir de 1980. Sinon, les 2 changements nets ont été observés vers 1970 et 1980, tous 2 indiquant une baisse significative des modules annuels et mensuels des mois de Mai à Décembre.

**Tableau 1** caractéristiques et variation relative des écoulements de quelques stations débitométriques.

Nom station	Superficie (km <sup>2</sup> )	Rivière	Début chronique	Fin chronique	Période comparée	$\Delta$	Période comparée	$\Delta$	Période comparée	$\Delta$
Beneny Kegny	120 000	Bani	1952	1999					1952–1970 et 1971–1999	–65%
Douna	101 200	Bani	1952	1997					1952–1970 et 1971–1997	–69%
Dioila	31 850	Baoulé	1971	1994			1971–1981 et 1982–1994	–42%		
Bougouni	14 970	Baoulé	1966	1994	1966–1970 et 1971–1981	–38%	1971–1981 et 1982–1994	–45%	1966–1970 et 1982–1994	–66%
Bowara	260	Kobi–Bagoé	1982	1995						
Bananso	4 005	Bafini–Bagoé	1977	1998						
Kouto aval	4 710	Bagoé	1961	1976	1961–1970 et 1971–1976	–55%				

Concernant les débits caractéristiques de hautes-eaux, de moyennes-eaux et de basses-eaux, ils ont évolué parallèlement aux séries de modules avec les mêmes dates de changement, 1970 et 1980.

Seule la forme des hydrogrammes des 2 grands bassins est modifiée: le pic de crue est dorénavant plus précoce et la crue plus courte.

En termes de variation relative des écoulements, les modules annuels ont diminué d'environ 65–70% (Tableau 1) entre “avant 1970” et “après 1970”, voire après “1980”.

Alors que les pluies annuelles sur le bassin n'ont diminué que de 20 à 25%, les modules annuels aux 2 stations aval du Bani ont diminué de 65 à 70%! Cela peut-être lié à une modification de l'environnement qui conditionne la répartition des eaux précipitées en ruissellement, infiltration, évapotranspiration, ... et à une modification de la relation eau de surface – eau souterraine. Il est donc nécessaire, pour mieux comprendre le fonctionnement du bassin, de s'intéresser aux relations qui peuvent exister entre le niveau des nappes et les eaux de surface.

Mahé *et al.* (1998) ont étudié les niveaux piézométriques de 27 puits et ont conclu qu'il y a une relation entre la diminution généralisée du niveau des nappes sur le bassin et la sévérité exceptionnelle des étiages entre 1981 et 1995. Nous allons donc nous intéresser aux débits d'étiage de la station de Douna.

### Analyse des étiages

L'eau des étiages du Bani provient essentiellement des eaux souterraines. Lors des décrues, la diminution du débit peut être expliquée par (Billon, 1985): la décroissance naturelle du débit, la variation des précipitations et des facteurs anthropiques. Parmi ces derniers, l'impact des aménagements hydrauliques (barrages, digues...) qui stoppent ou soutiennent l'écoulement à l'étiage.

Le bassin du Bani n'est pas équipé de gros aménagements à l'opposé du fleuve Niger: certains aménagements sont prévus mais rien ne permet d'affirmer qu'ils seront faits. Un inventaire non exhaustif a abouti à une estimation de plus de 600 hydro-aménagements construits ou en projet (#6

pour 1000 km<sup>2</sup>). En dépit d'un déficit d'information sur la date de création de ces ouvrages (connue pour 52% des ouvrages dénombrés), leurs dimensions, leurs modes de gestion, ..., il apparaît que beaucoup de ces ouvrages ont été créés après les années 1983–1984, années extrêmement sèches en Afrique de l'Ouest, et que leur nombre ne cessent de croître depuis (Fig. 4).

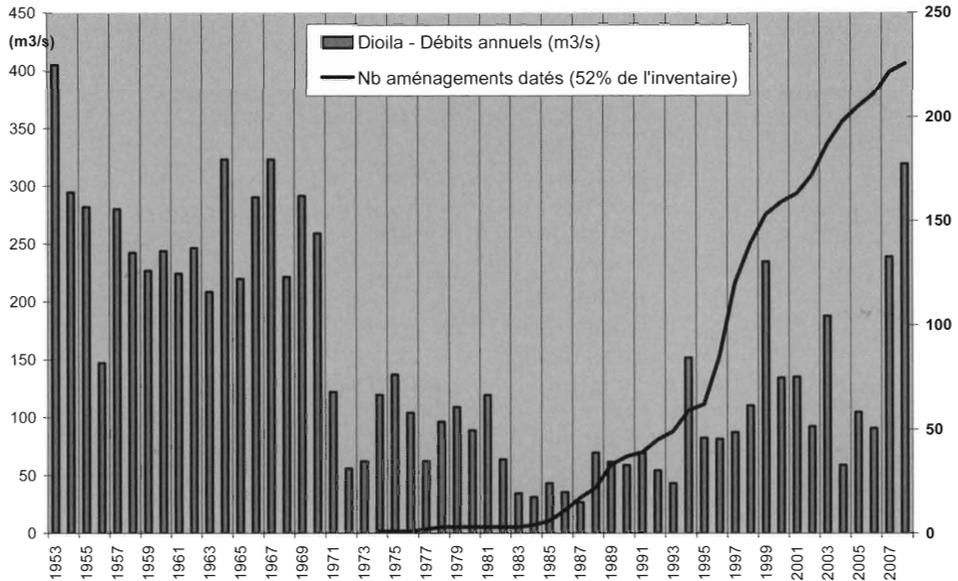


Fig. 4 Evolution du nombre d'aménagements sur le sous-bassin du Bani à Dioila.

Une analyse de la provenance des eaux des étiages du Bani à Douna (1985–2000) a été menée (Kong A Siou, 2008) pour un certain nombre de stations et de sous-bassins qui nous ont semblé "stratégiques".

L'analyse montre que les écoulements du Baoulé, du Banifing et de la Bagoé sont synchrones et la géologie du bassin versant semble avoir une part prépondérante sur la productivité des sous-bassins versants comme le confirme le Tableau 6: 18.5% du bassin du Bani (Korodougou Marka) contribue à 34% du débit d'étiage du Bani à Douna alors qu'il reçoit moins de pluie que les autres bassins.

**Tableau 2** Contribution de l'écoulement des principaux bassins versants à l'écoulement observé à Douna de janvier à Juin (période d'étiage de 1985 à 2000).

Bassin	Superficie (km <sup>2</sup> )	Part de l'écoulement (janvier à juin)
Pankourou	30 450 (30%)	29%
Dioila	31 850 (31.5%)	28%
Korodougou	18 800 (18.5%)	34%
Bassin intermédiaire Douna	20 100 (20%)	9%

## CONCLUSION

L'analyse pluviométrique montre que le bassin a connu une diminution de sa pluviométrie de l'ordre de 20 à 25% alors que ses écoulements en aval ont diminué de plus de 60%. Les raisons de ce décalage sont à rechercher à la fois vers l'influence de l'homme sur le bassin qui est mal

maitrisée et méconnue et la relation eau de surface – eau souterraine qui apparaît complexe sur ce bassin.

Ce travail montre l'importance qui doit être apporté à la gestion des données hydropluviométriques mais aussi à la maîtrise de l'anthropisation d'un bassin versant. A l'heure où le rôle de l'homme sur le changement climatique est à nouveau débattu, il est certain que celui-ci est réel sur les écoulements et les échanges eau de surface – eau souterraine.

**Remerciements** Ce travail a été effectué dans le cadre d'un projet de recherche RESSAC qui a bénéficié d'un financement de l'agence Nationale de la Recherche (ANR) lors de l'appel à projets de recherche intitulé "Vulnérabilité: Milieux et Climat" en 2006. Nous remercions toutes les personnes de terrain et les organismes gestionnaires de données qui nous ont mis à disposition leurs données. Sans eux, aucune recherche scientifique ne serait possible.

## REFERENCES

- Billon, B. (1985) Le Niger à Niamey, décrue et étiage 1985. *Cahiers de l'ORSTOM - série hydrologie* **21**(4), 3–22.
- Brunet-Moret, Y., Chaperon, P., Lamagat, J. P. & Molinier, M. (1986) Monographie hydrologique du fleuve Niger – Tome 1 Niger Supérieur. Editions de l'ORSTOM, Collection monographies hydrologiques no. 8, Paris, France.
- DNGM-Mali, BRGM, FAC, Bassot, J. P., Diallo, M. M., Traoré, H. & Méloux, J. (1980) Carte géologique au 1:1 500 000 de la République du Mali. Carte A0 et notice, 142 p.
- Hubert, P., Carbonnel, J. P. & Chauouche, 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.
- Kendall, S. M. & Stuart, A. (1943) *The Advanced Theory of Statistics*, vol. 2 & 3. Charles Griffin London, UK.
- Kong, A. & Siou, L. (2008) Méthodologie de caractérisation et d'évaluation des débits d'étiages – application au bassin du Bani (Mali). Master 2 BGAE recherche R2E, Université de Montpellier II, France.
- Mahé, G., Dessouassi, R., Cissoko, B. & Olivry, J. C. (1998) Comparaison des fluctuations interannuelles de piézométrie, précipitation et débit sur le bassin versant du Bani à Douna au Mali. In *Water Resources Variability in Africa during the XXth Century* (ed by E. Servat, D. Huges, J. M. Fritsch & M. Hulme) (ABIDJAN'98, Abidjan, Côte d'Ivoire, novembre 1998), 289–295. IAHS Publ. 252. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Pettitt, A. N. (1979) A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Statist.* **28**(2), 126–135.

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