

Caractérisation du ruissellement et de l'érosion de la parcelle au bassin versant en zone sahélienne: cas du petit bassin versant de Tougou au nord du Burkina Faso

HAROUNA KARAMBIRI¹, HAMMA YACOUBA¹, BRUNO BARBIER¹,
GIL MAHE² & JEAN-EMMANUEL PATUREL²

1 Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) (ex Groupe EIER-ETISHER), 01 BP 594

Ouagadougou 01, Burkina Faso

harouna.karambiri@2ie-edu.org

2 HydroSciences IRD, MSE Université Montpellier 2, F-34095 Montpellier Cedex 5, France

Résumé Cette étude s'inscrit dans le cadre du programme AMMA (Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine) et vise à mieux caractériser le ruissellement et l'érosion hydrique des sols depuis l'échelle de la parcelle jusqu'à celle du petit bassin versant dans un contexte de changements environnementaux. Pour atteindre les objectifs de l'étude, le bassin versant de Tougou, d'une superficie de 37 km² a été retenu et équipé. Il est situé dans la partie supérieure du bassin du Nakambé, en zone sahélienne du Burkina Faso. Les résultats obtenus montrent une réponse fortement contrastée à l'impulsion pluvieuse en fonction des différents états de surface du bassin. Comparées aux zones de cultures, les zones dégradées à croûtes superficielles semblent les plus aptes au ruissellement (avec des taux de ruissellement avoisinant les 100%) et présentent les taux d'érosion les plus élevés (jusqu'à 103 t/ha en 2006). Ces zones nues semblent donc être les plus sensibles à l'érosion hydrique. A l'exutoire du bassin versant, les coefficients de ruissellement et les taux d'érosion augmentent avec la pluviométrie passant respectivement de 11% et 0.5 t/ha en 2004 (pluie = 392 mm) à 23% et 7 t/ha en 2006 (pluie = 726 mm). A partir de ces résultats et en considérant l'occupation des sols, nous avons agrégé l'érosion à la parcelle pour obtenir l'érosion brute sur l'ensemble du bassin. Il ressort que les exportations de sédiments mesurées à l'exutoire du bassin représentent respectivement 4%, 15% et 27% de l'érosion brute en 2004, 2005 et 2006. Ces chiffres témoignent des faibles taux d'exportations, et des dépôts importants de sédiments, surtout les matériaux grossiers, à l'intérieur du bassin. Ces dépôts se font essentiellement dans les axes d'écoulement.

Mots clés changement climatique; érosion des sols; ruissellement; états de surface; Nakambé; AMMA; Burkina Faso

Characterisation of runoff and soil water erosion at the plot and catchment scale in the Sahel: Tougou catchment case study, northern Burkina Faso

Abstract This study comes within the framework of the AMMA (Multidisciplinary Analyses of the African Monsoon) programme and aims to better characterize runoff and soil water erosion from the plot scale to the catchment scale in a context of environmental changes. To reach these objectives, the Tougou catchment, 37 km² in area, was selected and equipped. It is situated in the upper part of the Nakambe River basin in the Sahelian zone of Burkina Faso. The results obtained at plot scale show a strong contrast in the response to rainfall events, depending on the different soil surface characteristics of the catchment. Compared to cultivated zones, degraded zones with crusted surfaces appear to have the highest aptitude to runoff (with runoff rates reaching 100%) and present the highest erosion rates (up to 103 t/ha in 2006). These crusted and bare soils thus seem to be the most sensitive to water erosion. At the basin outlet, runoff coefficients and erosion rates increase with rainfall, changing, respectively, from 11% and 0.5 t/ha in 2004 (rainfall = 392 mm) to 23% and 7 t/ha in 2006 (rainfall = 726 mm). From these results, and considering land uses, we aggregated plot erosion to obtain raw erosion over the entire catchment. It emerges that sediment export measured at the catchment outlet represent 4%, 15% and 27% of the raw erosion estimated, respectively, in 2004, 2005 and 2006. This demonstrates the low rates of sediment export, and the importance of sediment deposition, especially of coarse materials, inside the catchment. These deposits occur mainly in the channels.

Key words climate change; soil erosion; runoff; soil surface characteristics; Nakambe; AMMA; Burkina Faso

INTRODUCTION

Dans un contexte de variabilité et changement climatique, la question des ressources en terres pour les activités humaines (agriculture, pastoralisme, sylviculture, ...) reste plus que jamais d'actualité dans des zones arides tel que le Sahel. En effet, cette région est soumise à une dégradation avancée du milieu du fait de la faible couverture végétale et des fortes intensités de pluies. La dégradation de l'environnement dans cette région se manifeste sous forme d'érosion et de réduction de la fertilité des sols. Plusieurs études sur la quantification des terres érodées-ont déjà été menées dans

la région (Diallo, 2000; Thioubou, 2001; Yacouba *et al.*, 2002). La plupart des ces études se sont intéressées à la quantification de l'érosion au niveau parcellaire. Le passage de la parcelle au bassin versant reste toujours un problème. D'autre part, les études au niveau des petits bassins versants (Karambiri, 2003) ne permettent pas de comprendre la réponse érosive élémentaire. En effet les aspérités de surface peuvent piéger les terres érodées, ce qui se traduit dans ces zones de piégeage par un enrichissement en éléments fins et en éléments chimiques réduisant globalement les pertes en terre et de fertilité mesurées sur les parcelles. La mesure à l'exutoire du bassin versant donne une estimation globale de l'érosion, mais ne tient pas compte non plus, des pertes locales qui peuvent fortement influencer la productivité des terres. C'est pourquoi une étude visant à faire le lien entre l'érosion au niveau des parcelles et la quantification du transport à l'exutoire s'avère nécessaire. Elle aura pour avantage de mieux comprendre, localement, la dégradation des terres et ses conséquences à court terme sur la productivité des terres agricoles et, à long terme, ses effets néfastes sur l'environnement (ensablement et envasement des cours d'eau et retenues, eutrophisation). La présente étude vise à caractériser l'érosion à différentes échelles et à faire le lien entre les mesures au niveau des parcelles et les quantités des terres mesurées au niveau de l'exutoire d'un bassin versant.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Site d'étude

Le bassin versant de Tougou est situé dans la partie amont du bassin du Nakambé, en zone sahélienne du Burkina Faso, à 25 km à l'Est de Ouahigouya sur l'axe Ouahigouya-Titao (Fig. 1). D'une superficie de 37 km², ce bassin est fortement cultivé (à environ 70%) et se caractérise par un relief très peu accidenté avec quelques monticules et collines par endroit, d'altitude faible. La morphologie présente une succession de collines (haut glacis) raccordées aux axes d'écoulement (bas-fonds) par de longs glacis. La végétation est surtout dominée par *Acacia albida* et le karité. Les cultures les plus courantes sont le mil, le sorgho, le maïs, l'arachide et le niébé. Sur le plan pédologique, on rencontre des sols sableux et sablo-limoneux au niveau du bas-fond, des sols sablo-limoneux sur le glacis et un recouvrement gravillonnaire sur les têtes du bassin et les collines.

L'occupation du sol a été déterminée par traitement d'images satellite (image Landsat-7 ETM+ du 22/11/2002). En 2002, le bassin était occupé à 79% par des cultures et à 21% par des sols nus.

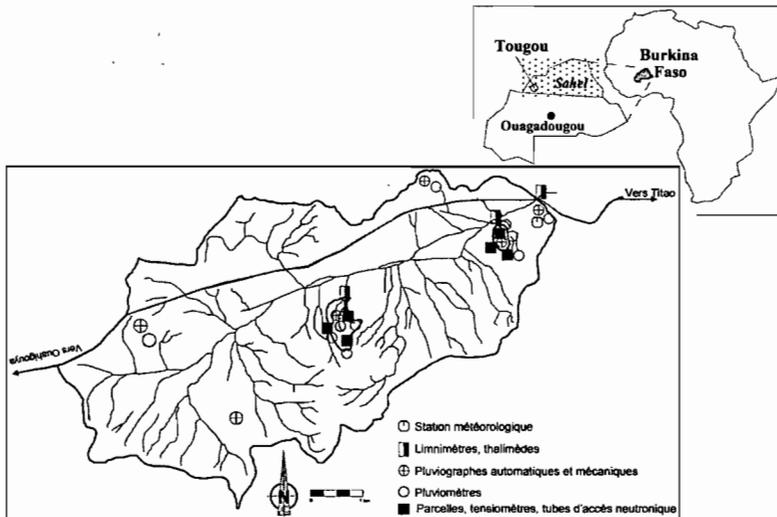


Fig. 1 Localisation et équipements du bassin versant de Tougou.

Le climat est de type sahélien, caractérisé par une seule saison des pluies qui va de juin à septembre. La pluviométrie moyenne annuelle à Ouahigouya est de 620 mm sur la période de 1961 à 2004. Les températures moyennes mensuelles sur la même période varient de 16° en janvier à 27° en avril. L'ETP moyenne annuelle pour la période 1971–2000 est de 2088 mm.

Equipements et mesures

Le bassin versant de Tougou est équipé d'un thalimède et d'échelles limnimétriques pour les mesures hydrométriques. Il dispose pour les mesures de pluies d'un réseau de trois pluviographes automatiques, de trois pluviographes mécaniques, de dix pluviomètres standards et de deux pluviomètres au sol de type Snowdown. Le bassin comporte six parcelles d'érosion situées sur différents types d'états de surface (3 parcelles en zone de cultures et 3 parcelles en zones dégradées sans culture). Les parcelles sont métalliques et constituées d'une surface réceptrice des eaux de pluie de 1 m², munie d'un collecteur et reliée à un fût plastique enterré (200 L) à l'aide d'un tuyau PVC (φ 64 mm).

Les mesures se font en saison des pluies depuis l'échelle de la parcelle de 1 m² à celle du petit bassin versant de 37 km² et concernent la pluie, les écoulements aux exutoires, le ruissellement à la parcelle et les prélèvements d'échantillons d'eau. Elles se sont étalées sur trois années (2004–2006).

Pour la quantification de l'érosion, les prélèvements d'échantillons d'eau se font manuellement à l'aide de flacons plastiques d'un litre, en fractionné à des pas de temps variables (10 à 30 minutes en fonction de la forme des crues) à l'exutoire du bassin, et en cumulé à la fin de la pluie à la parcelle.

Après avoir bien homogénéisé les échantillons d'eau, on retient 500 mL qui sont évaporés à l'étuve à 105°C pendant 24 h. Les teneurs en matières en suspension (MES) sont déterminées par pesée de la masse sèche avec une balance de précision. Le charriage de fond (CDF) est collecté au niveau des collecteurs des parcelles après chaque crue et séché au soleil.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Bilans des pertes en terre

Au niveau des parcelles d'érosion Les pertes en terre au niveau de la parcelle dépendent des types d'états de surface et des conditions pluviométriques annuelles (Tableau 1). Sur les parcelles en zone de cultures, elles restent faibles et s'élèvent en moyenne à 6.5 t/ha en 2004, 19.5 t/ha en 2005 et 14.1 t/ha en 2006. Tandis que pour les parcelles en zones dégradées, elles sont en moyenne de 42.8 t/ha en 2004, 60.5 t/ha en 2005 et 74.8 t/ha en 2006. Malgré ces variations annuelles, les différences entre les pertes en terre sur ces deux zones restent significatives (Fig. 2), les valeurs individuelles d'érosion sur les parcelles en zone de cultures restant inférieures à 25 t/ha alors que celles sur les parcelles en zones dégradées sont supérieures à 30 t/ha sur les trois années.

Ces résultats montrent une plus grande sensibilité à l'érosion hydrique des sols dégradés à croûtes superficielles comparativement aux sols en zone de cultures, et corroborent ceux trouvés

Tableau 1 Résultats des mesures à la parcelle en 2004, 2005 et 2006.

	Parcelle	2004			2005			2006		
		P (mm)	Lr (mm)	CTS (t/ha)	P (mm)	Lr (mm)	CTS (t/ha)	P (mm)	Lr (mm)	CTS (t/ha)
Sols cultivés	PZC1	392	63	5	449	204	17	726	319	14
	PZC2		9	9		93	18		169	10
	PZC3		22	6		95	24		200	18
Sols dégradés	PZN1		252	42		356	44		576	64
	PZN2		327	57		472	62		661	57
	PZN3		44	30		130	76		445	103

P: pluie; Lr: lame d'eau ruisselée; CTS: charge totale solide.

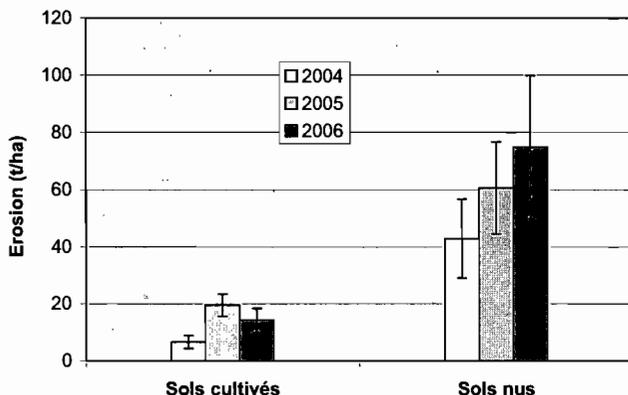


Fig. 2 Taux d'érosion annuelle à la parcelle en 2004, 2005 et 2006.

par Karambiri (2003) en zone sahélienne du Burkina où les parcelles à croûtes d'érosion donnent des taux d'érosion élevés. Les valeurs trouvées lors de cette précédente étude (19 t/ha au maximum en 2000) sur les parcelles de 1 m² (bassin versant de Katchari) restent faibles par rapport à ceux de Tougou qui atteignent 103 t/ha en 2006. Cette forte sensibilité à l'érosion des sols dégradés s'explique essentiellement par leur nature et leur perméabilité. En effet, ces sols présentent des taux d'infiltration faibles les rendant plus sensibles au détachement des particules par effet "splash". Les forts taux de ruissellement (Tableau 1) assurent le transport de ces particules détachées. Ces sols dégradés et encroûtés contiennent également une grande proportion d'argiles, qui subit une dispersion colloïdale ou argileuse lors de l'humectation du sol (Casenave & Valentin, 1989; Valentin & Bresson, 1992; Le Bissonnais *et al.*, 1996). En outre, l'horizon de surface prend un aspect "boueux" du fait de l'infiltration dans les premiers centimètres du sol, il devient par la suite fluide et facilement transportable par l'eau (Karambiri, 2003). Ce phénomène est limité au niveau des sols en zone de cultures qui présentent une bonne infiltrabilité et sont de nature plus sableuse. La mise en cultures assure également une protection du sol contre l'effet des gouttes de pluie et réduit considérablement l'érosion. Cela se traduit par les écart-types de variation des pertes en terres qui restent faibles au niveau de ces parcelles comparativement à ceux concernant les parcelles en zone dégradée.

Les sédiments exportés sont essentiellement sous forme de charriage de fond constitué de matériaux grossiers piégés au niveau du collecteur des parcelles. Les matières en suspension (MES) représentent en moyenne 3%, 20% et 11% (en zone cultivée) et 5%, 19% et 14% (en zone dégradée) de la charge totale solide (CTS) pour les années 2004, 2005 et 2006 respectivement.

Au niveau du bassin versant Les résultats d'érosion mesurés à l'exutoire du bassin de Tougou sont regroupés dans le Tableau 2. Pour les trois années de suivi, les exportations solides varient de 0.5 à 7 t/ha. Ces résultats varient linéairement avec de la pluviométrie moyenne sur le bassin avec une pente de 2%.

Ces pertes en terres mesurées à l'exutoire du bassin versant de Tougou méritent d'être comparées à celles obtenues par Karambiri (2003) sur un petit bassin versant (1.4 ha) dans la

Tableau 2 Résultats des mesures à l'exutoire du bassin versant en 2004, 2005 et 2006.

Année	P (mm)	Lr (mm)	CTS (t/ha)
2004	392	44	0.5
2005	449	91	4
2006	726	164	7

P: pluie; Lr: lame d'eau ruisselée; CTS: charge totale solide.

région de Dori (Pluviométrie moyenne annuelle de 512 mm) qui sont de 6.8 t/ha en 1998, 4.0 t/ha en 1999 et 8.4 t/ha en 2000. Les résultats sur les deux bassins restent du même ordre de grandeur et confortent la forte interdépendance de l'érosion et de la pluviométrie dans ce milieu. Nous avons également mis nos résultats dans un contexte sahélien plus général, et la Fig. 3 permet de visualiser la répartition de l'érosion en fonction de la taille des bassins étudiés. On note que les données sur Tougou respectent l'allure générale de la décroissance des quantités de sédiments avec l'augmentation de la taille des bassins étudiés, mais restent légèrement supérieures aux autres valeurs de la littérature, certainement à cause des nouvelles conditions environnementales marquées par une plus forte influence des activités anthropiques sur la dégradation des sols.

Sur les trois années d'observation, les quantités annuelles de sédiments exportées dépendent beaucoup plus de l'importance des événements averses-crués que de leur répartition dans la saison. En effet, on remarque qu'environ 80% des pertes en terre annuelles sont causées par moins de 40% des événements. Ce trait est caractéristique du milieu sahélien comme également démontré par Karambiri (2003).

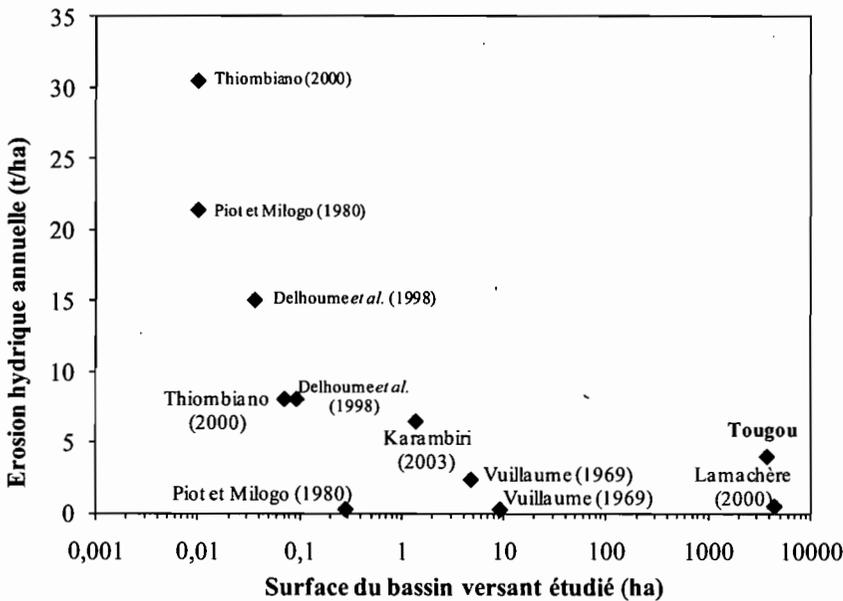


Fig. 4 Evolution des différentes données d'érosion en fonction de la surface du bassin versant en zone sahélienne. Les données de Tougou sont les valeurs moyennes sur les périodes d'observation (2004, 2005 et 2006).

De la parcelle au bassin versant

Il est connu que les mesures d'érosion à la parcelle permettent de quantifier la production brute élémentaire, alors que celles au niveau des bassins versants permettent d'estimer les pertes en terre ou exportation solides (Stroosnijder, 2005) intégrant d'autres formes de processus d'érosion (dépôts, érosion en ravine, etc.). Nous avons comparé les moyennes des taux d'érosion des trois parcelles avec les taux d'érosion obtenus sur le bassin. Les taux d'érosion à la parcelle ont été extrapolés à l'ensemble du bassin en considérant les proportions d'occupation du bassin en sols nus et cultivés qui sont respectivement de 21% et 79%. Les résultats sont présentés dans le Tableau 3.

On note que les taux d'érosion mesurés à l'exutoire du bassin restent faibles par rapport à ceux obtenus par extrapolation des taux élémentaires. Ces résultats démontrent une forte dynamique d'érosion et de dépôt à l'intérieur du bassin. En effet, les mesures faites à la parcelle indiquent des taux d'érosion élevés, surtout pour les sols nus (supérieurs à 30 t/ha); alors que les

Tableau 3 Extrapolation des résultats d'érosion de la parcelle au bassin versant.

Année	Taux d'érosion extrapolé (t/ha)	Taux d'érosion mesuré (t/ha)
2004	14	0.5
2005	28	4
2006	27	7

mesures au niveau de l'exutoire du bassin indiquent des taux faibles d'exportations solides (<10 t/ha). Sur les trois années 2004, 2005 et 2006, les pourcentages d'exportation sont respectivement de 4%, 15% et 27% (Tableau 3). L'érosion intense au niveau des parcelles est suivie de dépôts importants à l'intérieur du bassin surtout dans les axes d'écoulement. Cela s'explique par la granulométrie des sédiments érodés et les faibles pentes d'écoulement. En effet, les matériaux arrachés au niveau des surfaces élémentaires sont essentiellement composés de particules grossières avec de faibles quantités de matières en suspension. Ces résultats ne doivent toutefois pas cacher la forte variabilité des réponses élémentaires et la non linéarité des processus d'érosion et de ruissellement. Dans ces conditions, l'extrapolation des résultats d'érosion de la petite à la grande échelle reste délicate et dépend du milieu considéré (Boix-Fayos *et al.*, 2007).

CONCLUSION

A l'issue de cette étude, il ressort une forte dynamique spatiale des processus d'érosion à l'échelle des petits bassins versants sahéliens, en ce sens qu'on observe des forts taux d'érosion à la parcelle (arrachement et transport de particules) et une redistribution importante (dépôt) des sédiments à l'intérieur du bassin. Les fortes pertes en terres au niveau des versants, démontrées par les mesures de taux d'érosion à la parcelle, ont pour conséquence une perte de fertilité des champs conduisant à des baisses de rendements culturaux. Les dépôts dans les axes d'écoulements et les dépressions superficielles contribuent au comblement des cours d'eau peuvent entraîner des difficultés d'évacuation des eaux et donc des débordements et des inondations. Ces résultats doivent être complétés par une analyse de la qualité chimique des eaux de ruissellement afin d'estimer la perte d'éléments fertilisants, indispensables aux plantes et cultures.

Remerciements Les auteurs remercient tous les observateurs de terrain et les stagiaires qui ont contribué à la collecte des données. Cette étude a bénéficié d'un soutien financier de l'Union Européenne dans le cadre du programme AMMA (Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine), de la Coopération suisse (DDC) et de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement).

REFERENCES

- Boix-Fayos, C., Martínez-Mena, M., Arnau-Rosalén, E. & Calvo-Cases, A. (2007) Causes and underlying processes of measurement variability in field erosion plots in Mediterranean conditions. *Earth Surf. Processes Landf.* 32(1), 85–101.
- Casenave, A. & Valentin, C. (1989) Les états de surfaces de la zone sahélienne: Influence sur l'infiltration. Editions de l'ORSTOM, Collection Didactiques, Paris, France.
- Diallo, D. (2000) Erosion des en zone soudanienne au Mali. Transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djiko (haut Niger). Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier de Grenoble, France.
- Karambiri, H. (2003) Crue et érosion hydrique au Sahel: étude et modélisation des flux d'eau et de matières sur un petit bassin versant pastoral au nord du Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Paris VI, France.
- Le Bissonnais, Y., Benkhadra, H., Gallien, E., Eimberck, M., Fox, D., Martin, P., Douyer, C., Ligneau, L. & Ouvry, J. F. (1996) Genèse du ruissellement et l'érosion diffuse sur sols limoneux: analyse du transfert d'échelle du m² au bassin versant élémentaire agricole. *Géomorphologie: relief, processus, environnement* 3, 51–64.
- Stroosnijder, L. (2005) Measurement of erosion. Is it possible? *Catena* 64, 162–173.
- Thioubou, A. (2001) Erosion hydrique et gestion intégrée des ressources naturelles au Sahel: cas de Diass (Sénégal). Thèse de doctorat, Université de Mannheim, Germany.
- Valentin, C. & Bresson, L.-M. (1992) Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma* 55, 225–245.
- Yacouba, H., Da, D.E.C., Yonkeu, S., Zombre, P. & Soule, M. (2002) Caractérisation du ruissellement et de l'érosion hydrique dans le bassin supérieur du Nakambé (Burkina Faso). *Envirowater2002*, 318–325.



Improving Integrated Surface and Groundwater Resources Management in a Vulnerable and Changing World

Edited by

Günter Blöschl

Nick van de Giesen, D. Muralidharan

Liliang Ren, Frédérique Seyler

Uttam Sharma & Jaroslav Vrba





Improving Integrated Surface and Groundwater Resources Management in a Vulnerable and Changing World

Edited by:

GÜNTER BLÖSCHL
NICK VAN DE GIESEN
D. MURALIDHARAN
LILIANG REN
FRÉDÉRIQUE SEYLER
UTTAM SHARMA
JAROSLAV VRBA

Proceedings of Symposium JS.3 at the Joint Convention of
the International Association of Hydrological Sciences (IAHS) and
the International Association of Hydrogeologists (IAH) held in
Hyderabad, India, 6–12 September 2009.

Publication of this volume was sponsored by:



The Association of Hydrologists of India

and



The National Geophysical Research Institute, Hyderabad, India

IAHS Publication 330
in the IAHS Series of Proceedings and Reports

Published by the International Association of Hydrological Sciences 2009

IAHS Publication 330

ISBN 978-1-907161-01-8

British Library Cataloguing-in-Publication Data.

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

© IAHS Press 2009

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

Printed in India by Vamsi Art Printers Pvt. Ltd., Hyderabad.