

## L'Observatoire de Recherche en Environnement, ORE HYBAM sur les grands fleuves amazoniens

GÉRARD COCHONNEAU<sup>1</sup>, FRANCIS SONDAG<sup>1</sup>, JEAN-LOUP GUYOT<sup>2</sup>, BOAVENTURA GERALDO<sup>3</sup>, NAZIANO FILIZOLA<sup>4</sup>, PASCAL FRAIZY<sup>2</sup>, ALAIN LARAQUE<sup>5</sup>, PHILIPPE MAGAT<sup>6</sup>, JEAN-MICHEL MARTINEZ<sup>1</sup>, LUIS NORIEGA<sup>7</sup>, EURIDES OLIVEIRA<sup>8</sup>, JULIO ORDONEZ<sup>9</sup>, RODRIGO POMBOSA<sup>10</sup>, FRÉDÉRIQUE SEYLER<sup>1</sup>, JONATHAN SIDGWICK<sup>1</sup> & PHILIPPE VAUCHEL<sup>11</sup>

<sup>1</sup>IRD/LMTG 14 Av. Edouard Belin, F-31400 Toulouse France  
[gerard.cochonneau@mpl.ird.fr](mailto:gerard.cochonneau@mpl.ird.fr)

<sup>2</sup>IRD/LMTG Casilla 18 1209, Lima 18, Peru

<sup>3</sup>UnB/LAGEQ Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70919-970 Brasília, DF, Brasil

<sup>4</sup>UFAM Av. Gal. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000/Bl. T, 69077000 Manaus, AM, Brasil

<sup>5</sup>IRD/OBHI Martinique. BP 8006, F-97259 Fort de France cedex, France

<sup>6</sup>IRD/LMTG AP 17 12 857, Quito, Ecuador

<sup>7</sup>SENAMHI Calle Reyes Ortiz no. 41 2do Piso, La Paz, Bolivia

<sup>8</sup>ANA Setor Policial - Área 5 - Quadra 3 Bloco L, CEP 70610-200 Brasília, DF, Brasil

<sup>9</sup>SENAMHI Jr. Cahuide 805, Casilla Postal 1308 Lima 11, Perú

<sup>10</sup>INAMHI Iñaquito N36-14 y Corea, Código Postal 16-310, Quito, Ecuador

<sup>11</sup>IRD/LMTG CP 9214 00095 La Paz, Bolivia

**Résumé** L'ORE HYBAM permet d'acquérir, à un pas de temps journalier, décadaire ou mensuel, des données hydrologiques, sédimentaires, géochimiques et physico-chimiques à une quinzaine de stations, réparties sur les grands fleuves amazoniens, afin de contrôler les zones de piedmont, les affluents de plaine, ceux originaires des Andes et ceux drainant les boucliers brésilien et guyanais. Maintenu par des institutions de recherche et des organismes gestionnaires de réseaux hydrométriques nationaux, l'ORE HYBAM s'intéresse aux transferts de matières à l'intérieur du bassin et vers l'Atlantique, à leur sensibilité à la variabilité climatique actuelle et aux activités anthropiques, au rôle des zones humides dans la transformation des éléments transportés. Importantes également pour la connaissance des bilans globaux, ces informations obtenues avec des méthodes de collecte homogènes, sont disponibles librement sur Internet (<http://www.ore-hybam.org/>), sous forme de graphiques et peuvent être extraites sous forme de fichiers.

**Mots clefs** Amazone; géochimie; hydrologie; observatoire; ORE HYBAM; sédiments

### The Environmental Observation and Research project, ORE HYBAM, and the rivers of the Amazon basin

**Abstract** Thanks to the ORE HYBAM project, hydrological, suspended sediment, geochemical and physico-chemical data can be acquired at daily, ten-day and monthly time steps at about fifteen gauging stations, mainly on the larger rivers of the Amazon basin. The aim of this network is to investigate the piedmont areas, the flood plain tributaries, the tributaries that originate in the Andes and those that are draining the Brazilian and Guiana shields. The ORE HYBAM network, operated by research institutions and national agencies, is interested in the mass transfer within the Amazon basin and towards the Atlantic Ocean, in its sensitivity to climatic variability and anthropogenic activities, and in the key role of wetlands for mass transfer. These data, acquired with standardized collection and analysis methods, are also important for determining the global balance. They are freely available via the Internet (<http://www.ore-hybam.org/>) in the form of graphics, and can be downloaded in ASCII files.

**Key words** Amazon; geochemistry; hydrology; observatory; ORE HYBAM; sediments

### INTRODUCTION

Les grands fleuves tropicaux, par les volumes d'eau et de matières qu'ils transportent à l'océan et par l'étendue des surfaces qu'ils drainent, contribuent largement au fonctionnement global de la planète. Exprimée en pourcentage du flux total provenant des continents, leur contribution est estimée à 57% de l'eau douce, 50% des apports solides, 38% des apports en solution et 45% du carbone organique (Baumgartner & Reichel, 1975; Stallard, 1988; Degens *et al.*, 1991). Du fait de l'étendue géographique de leur bassin de drainage, ces grands fleuves tropicaux sont sensibles à la variabilité climatique. La plupart de ces grands bassins sont aujourd'hui soumis à une forte

pression anthropique (déforestation, activités agricoles et minières, urbanisation), qui se traduit par une altération de l'état de la couverture pédologique et forestière, qui induit une modification hydrologique et géochimique, mais qui peut aussi induire en retour une altération du régime climatique. Les effets conjugués de la variabilité climatique et de l'altération de la couverture influent sur les processus de transfert dans les bassins versants. Malgré leur importance pour les bilans globaux, et plus généralement pour l'étude de l'environnement, il n'existait pas de réseau pérenne permettant un suivi à long terme des transferts de matières dans ces grands bassins fluviaux tropicaux.

En 2002, le Ministère de la Recherche français a lancé un appel d'offres pour des Observatoires de Recherche en Environnement (ORE) pour fournir aux chercheurs, sur de longues périodes, des données scientifiques de qualité pour comprendre et modéliser le fonctionnement des systèmes et leur dynamique à long terme.

Labellisé dans ce cadre en 2003, l'ORE HYBAM (*Contrôles géodynamique, hydrologique et biogéochimique de l'érosion/altération et des transferts de matière dans le bassin de l'Amazonie*) a pour objectifs de répondre aux questions scientifiques suivantes: (a) Quels sont les apports à l'océan Atlantique, leur variabilité saisonnière et interannuelle? (b) Quel est l'impact de la variabilité climatique actuelle sur l'érosion/altération et les transferts de matière dans le réseau hydrographique? (c) Quel est l'impact de l'activité anthropique (déboisement, activité minière) sur l'érosion/altération et les transferts d'éléments dans le bassin? (d) Quel est le rôle des zones humides (processus biogéochimiques, rôle de la végétation) sur les transferts d'éléments et leur transformation à l'intérieur du bassin amazonien?

Il est à la charge d'un consortium associant: (a) deux Unités Mixtes de Recherche françaises (LMTG-Laboratoire des Mécanismes et Transferts en Géologie et LEGOS-Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales); (b) deux unités de service de l'IRD (ESPACE et OBHI-Observatoires Hydrologiques et Ingénierie); (c) les organismes gestionnaires des réseaux nationaux: ANA (Agence Nationale de l'Eau) pour le Brésil, DIREN (Direction régionale de l'environnement) et IRD pour la Guyane Française, SENAMHI (Service National de Météorologie et Hydrologie) pour la Bolivie, SENAMHI pour le Pérou, INAMHI (Institut National de Météorologie et Hydrologie) pour l'Equateur, IDEAM (Institut d'Hydrologie, Météorologie et Etudes Environnementales pour la Colombie, MARN (Ministère de l'Environnement et des Ressources Naturelles) pour le Venezuela, SCEVN (Service Commun d'Entretien des Voies Navigables) pour le Congo; (d) des centres de recherche universitaires: Universités de Brasilia (UnB), Niteroi (UFF), Rio de Janeiro (UFRJ), Manaus (UFAM), La Paz (UMSA), Lima (UNALM), Bogota (UNC), Caracas (UCV), Brazzaville (UMN).

## DESCRIPTION DE L'ORE HYBAM

### Sites de mesure retenus

Actuellement, l'observatoire est présent dans quatre pays amazoniens (Brésil, Bolivie, Pérou, Equateur) ainsi qu'en Guyane Française, au Venezuela (bassin de l'Orénoque) et au Congo (bassin du Congo). La Colombie intégrera ce dispositif en 2006. Plusieurs critères ont été retenus pour orienter le choix des stations (Fig. 1): (1) l'existence de longues séries journalières de hauteurs d'eau et de débits; (2) leur appartenance au réseau de référence de suivi des flux sédimentaires du projet HYBAM (Guyot, 2005) en place depuis 1994; (3) leur représentativité d'une entité (bassin hydrographique) qui contribue aux cycles hydrologique et géochimique. La répartition des stations est la suivante: (a) quatre stations de piedmont pour contrôler l'érosion de la chaîne andine (Rurrenabaque, Atalaya, Borja, F. de Orellana); (b) quatre stations sur les affluents de l'Amazonie originaires des Andes, dont deux sur le Rio Solimões (Tabatinga, Manacapuru) et deux sur le Rio Madeira (Porto Velho, Fz. Vista Alegre), afin d'appréhender l'évolution amont-aval des flux de matières (érosion/transport/sédimentation) lors de la traversée de la plaine amazonienne au Brésil; (c) deux autres stations dans la plaine amazonienne (Lábrea, Serrinha); (d) deux stations sur les fleuves drainant le bouclier guyanais (Caracará) et le bouclier brésilien (Itaituba); (e) la station d'Obidos, dernière station de contrôle des débits du fleuve Amazone où l'influence de la marée océanique est négligeable à 900 km de l'embouchure; (f) deux stations sur les deux principaux fleuves de Guyane (Langa Tabiki, Saut Maripa); (g) deux stations sur le Congo et l'Orénoque



**Tableau 1** Variables hydrologiques, géochimiques et physico-chimiques.

Paramètre	Fréquence	Instrument/méthode
Niveau d'eau	journalier	Echelles/limnigraphes
Débit	journalier	Étalonnage/jaug. ADCP
Température de l'eau	décadaire/mensuel	Thermo-conductivimètre
Conductivité	décadaire/mensuel	Thermo-conductivimètre
pH	décadaire/mensuel	pHmètre
MES de surface	décadaire/mensuel	Echantillonnage de surface
Majeurs (Ca, Mg, K, Na, HCO <sub>3</sub> , Cl, SO <sub>4</sub> , Fe, AL, Si, Sr, NO <sub>3</sub> , F, PO <sub>4</sub> )	mensuel	HPLC, ICP-AES
Traces, terres rares (Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Zr, Mo, Cd, Ba, U, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Lu, Tm)	mensuel	ICPMS
Silice	mensuel	ICP-AES
Carbone (COD, COP)	mensuel	Spectro IR
Isotopes	trimestriel	TIMS, MS

le type d'analyse (cations et anions majeurs, silice, éléments en traces, terres rares). La collecte des échantillons est réalisée par les services nationaux, et les flacons et filtres sont envoyés à l'un des laboratoires de l'ORE HYBAM : celui du LMTG Toulouse ou le LAGEQ (Laboratoire de géochimie de l'UnB) à Brasilia selon le type d'analyse (Tableau 1). Des analyses isotopiques sont aussi réalisées au pas de temps trimestriel en quelques stations. L'exactitude des résultats est contrôlée dans ces deux laboratoires par l'analyse répétée de matériaux de référence. Ont été retenus les échantillons SLRS4, du National Research Council of Canada, 1640 et 1643d du National Institute of Standards and Technology, ION 915 et BMOOS du National Water Research Institute situés dans des gammes de concentration proches de celles rencontrées dans les fleuves amazoniens.

## RÉSULTATS

### Le système d'information associé à l'ORE

**Les séries chronologiques** La base de données hydrologiques de l'ORE est gérée par le logiciel multilingue gratuit HYDRACCESS (Vauchel, 2004) dans tous les pays associés à l'observatoire, à l'exception du Brésil où les données sont d'abord saisies dans la base de données HIDRO, utilisée au niveau national par l'ANA, puis converties au format HYDRACCESS. Tous les paramètres physico-chimiques sont également saisis localement à l'aide du logiciel HYDRACCESS qui contient de nombreuses procédures d'étalonnage et de contrôle de qualité des données, notamment par corrélation multiple avec les données d'autres stations sur le même cours d'eau, et permet de calculer les séries temporelles des flux de matières selon plusieurs méthodes. Les résultats issus des analyses en laboratoire sont numérisés et font l'objet d'une validation dans les laboratoires d'analyses (LMTG et LAGEQ). Deux fois par an les données consolidées sont intégrées à la base en ligne de l'ORE.

**Les caractéristiques des bassins drainés** Les informations thématiques de sols, d'occupation du sol, de lithologie et de relief des bassins drainés à chaque station sont disponibles sous forme de cartes en format raster (Fig. 2) ou de graphiques. Il en est de même de la courbe hypsométrique. Ces informations ont été obtenues à partir d'un modèle numérique de terrain de résolution 90m (USGS 2004), d'une carte de types et d'occupation du sol au 1:5 000 000 (Eva *et al.*, 2002; FAO *et al.*, 2000).

**La structure de la base de données** Les informations collectées par l'observatoire sont organisées dans une base de données relationnelle dont l'entrée principale est le bassin hydrographique drainé aux sites de mesure. La Fig. 3 présente une version de la structure ne montrant que les tables principales. La base est installée sur un serveur MySql et proposée sur Internet via un serveur Web, les pages dynamiques étant générées sur le serveur par une application développée en PHP. Une "applet" permet d'obtenir des graphiques plus élaborés (Fig. 4) et d'extraire les données sous forme de séries chronologiques dans un format exploitable par les applications du commerce ou spécialisées.

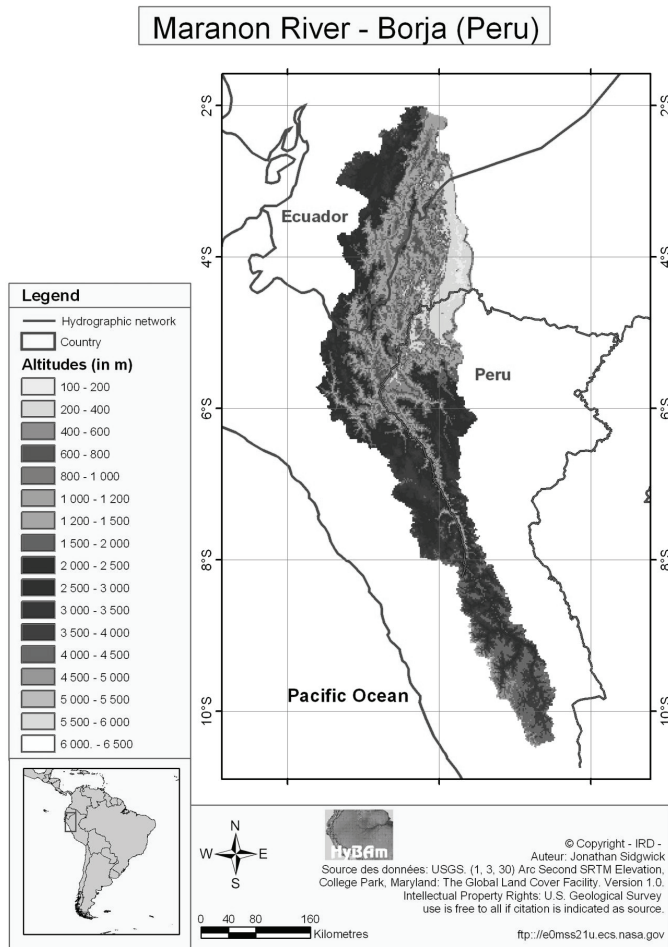


Fig. 2 Un exemple de carte thématique.

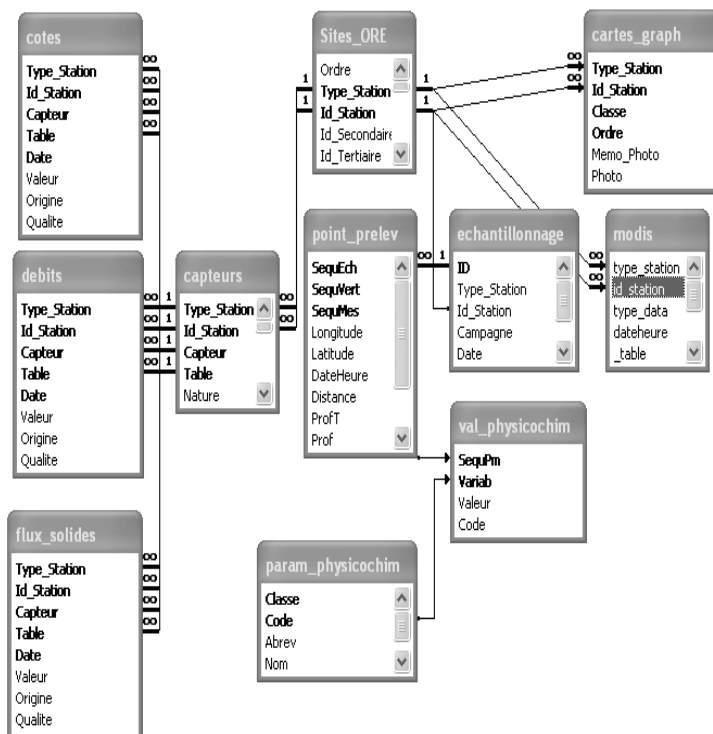


Fig. 3 Structure de la base de données.

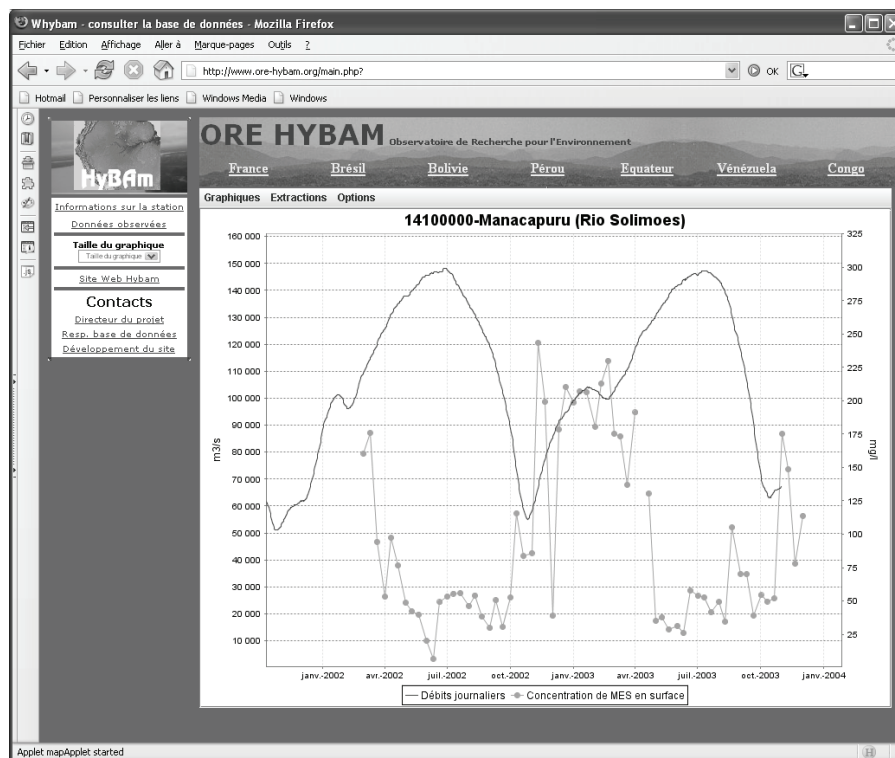


Fig. 4 Un exemple de graphique de données obtenu sur le site.

### Utilisation des données de l'ORE HYBAM

Conformément à la politique des Observatoires de Recherche en Environnement, les informations fournies par l'ORE HYBAM sont librement accessibles sur le site (<http://www.ore-hybam.org/>), à l'aide d'une carte réactive, moyennant une référence à l'origine des données. Ceci concerne aussi bien les données statiques (généralités, photos, cartes, graphiques) que les séries de paramètres observés. En dehors des partenaires directs de l'ORE, les données sont déjà utilisées par de nombreuses équipes de recherche, essentiellement sud-américaines mais aussi européennes ou installées aux Etats-Unis. Une amélioration de la mesure de l'audience du site et du téléchargement des données permettra de mieux appréhender l'utilisation qui en est faite.

Une plate-forme de modélisation déterministe du transfert hydrique (hydrologie de versant et transfert dans les fleuves), sédimentaire et géochimique du bassin de l'Amazonie est en cours de développement et regroupera un ensemble de modèles numériques dont les formulations sont adaptées aux données disponibles dans les différents sous-bassins. Cette plate-forme, interfacée avec un SIG et la base de données de l'ORE HYBAM constituera un exemple d'utilisation directe de la base de données.

### Apport des données satellitaires

L'ORE HYBAM participe au développement de l'hydrologie spatiale en contribuant à la validation des mesures des radars altimètres (TOPEX/POSEIDON, ERS 1 et 2, JASON, RA2 ENVISAT, GFO) et des lasers altimètres (ICESat). L'existence d'une base de données de terrain pérenne unique en zone tropicale, permettra la poursuite des expérimentations dans le cadre des capteurs futurs (CRYOSAT, WATER). Les résultats du projet CASH (CASH Team, 2006), qui cherche à définir les variables hydrologiques pouvant être dérivées des données d'altimétrie spatiale, pourront compléter les informations fournies par l'ORE (nivellement de stations, pente de ligne d'eau, lacunes).

Par ailleurs, des travaux sont en cours pour calibrer, à partir des données de MES de surface fournies par le réseau ORE, des données d'imagerie spatiale (radiomètres spatiaux à moyenne résolution de la série MODIS et MERIS) au voisinage des stations où le plan d'eau est suffisamment large (Martinez *et al.*, 2004). Les images journalières fournies par MODIS depuis 2000,

devraient permettre de compléter les lacunes qui existent dans les mesures de MES de surface et éventuellement de corriger les données collectées dans le cas d'une hétérogénéité des MES de surface d'une rive à l'autre.

## CONCLUSION

Le dispositif mis en place dans le cadre de l'ORE HYBAM répond aux attentes de la communauté scientifique intéressée par l'étude de l'évolution des flux dans le bassin amazonien et leur comparaison avec les deux autres grands bassins tropicaux de l'Atlantique. Reconnu comme un projet régional associant tous les pays du bassin, l'ORE HYBAM est l'une des bases sur lesquelles s'appuiera le Programme Régional pour le Gestion Intégrée des Ressources Hydriques Transfrontalières dans le Bassin Amazonien. Ce projet, exécuté par l'OTCA (Organisation du Traité de Coopération Amazonien) et les pays du bassin, est financé par le GEF (Global Environment Facility) et a pour objectif la mise en place d'un outil d'aide à la décision, sur tout le bassin amazonien, incluant les composantes socio-économiques, la gestion des risques, les changements climatiques.

## REFERENCES

- Baumgartner, A. & Reichel, E. (1975) *The World Water Balance*. Elsevier, The Netherlands.
- CASH Team (2006) Online altimetry service for hydrology: the CASH project. In: Fifteen Years of Progress in Radar Altimetry (Venice, 13–18 mars 2006).
- Degens, E. T., Kempe, S. & Richey, J. E. (1991) Biogeochemistry of major world rivers. In: *Biogeochemistry of Major World Rivers* (ed. by E. T. Degens, S. Kempe & J. E. Richey), 323–347. SCOPE 42. Wiley, Chichester, UK.
- Eva, H. D., Belward, A. S., de Miranda, E. E., Di Bella, C. M., Gond, V., Huber, O., Jones, S., Sgrenzaroli, M. & Fritz, S. (2004) A land cover map of South America. *Global Change Biology* **10**(5), 732–745.
- FAO, ISRIC, UNEP, CIP (1998) Soil and terrain digital database for Latin America and the Caribbean at 1:5 million scale. *Land and Water Digital Media Series 5*. FAO, Rome, Italy.
- Filizola, N. & Guyot, J. L. (2004) The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determinations in the River Amazon. *Hydrol. Sci. J.* **49**(1), 143–153.
- Guyot, J. L. (2005a) HYBAM: contrôles géodynamique, hydrologique et biogéochimique de l'érosion/altération et des transferts de matière dans le bassin de l'Amazone. *La Lettre du Changement global*, PIBC-PMRC France **18**, 21–22.
- Laraque, A., Filizola, N. & Guyot, J. L. (2005) Sediment budget in the Brazilian Amazon basin, based on a 10 days sampling procedure. IAHS, Foz de Iguaçu April 2005.
- Martinez, J. M., Maurice-Bourgoin, L., Moreira-Turcq, P. & Guyot, J. L. (2004) Use of MODIS and MERIS data for the monitoring of the water quality of the Amazonian rivers and floodplain lakes. Third LBA Scientific Conference, Brasilia, Brésil.
- Stallard, R. F. (1988) Weathering and erosion in the humid tropics. In: *Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles*. (ed. by M. Meybeck & A. Lerman), 225–246. Kluwer, The Netherlands.
- USGS (2004) (1, 3, 30) Arc Second SRTM Elevation, version 1.0. The Global Land Cover Facility, College Park, Maryland, USA.
- Vauchel, P. (2004) [http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/hydraccess\\_en.htm](http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/hydraccess_en.htm).

IAHS Publication 308  
ISSN 0144-7813

 friend 2006



# Climate Variability and Change – *Hydrological Impacts*

*Edited by*

*Siegfried Demuth  
Alan Gustard  
Eduardo Planos  
Fred Scatena  
Eric Servat*

*Co-editors: Arthur Askeew, Christel Prudhomme, Denis Hughes,  
Lena Tallaksen, Lorena Menéndez Fernández-Cuesto, Mike Bonell,  
Trevor Daniell & Wolfgang Grabs*



Published by the International Association of Hydrological Sciences 2006

IAHS Publication 308

ISBN 978-1-901502-78-7

British Library Cataloguing-in-Publication Data.

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

**© IAHS Press 2006**

*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 peer-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 in The Netherlands by Krips BV, Meppel.