

**Rio Zongo à Islani
(1 500 m) en période
de crue. Bassin du Rio
Alto-Beni, Bolivie.**



Photo : Jean-Louis Gayot

**Inondation à Manaus,
Brésil.**



Photo : Jean-Louis Gayot

**Cascade dans la vallée
du rio Coroico, Bassin
du Rio Beni,
Andes de Bolivie.**





LE BASSIN DE L'AMAZONE

Avec une superficie de 6,1 millions de km², le bassin de l'Amazone s'étend sur 7 pays (Brésil : 63%, Pérou : 16%, Bolivie : 12%, Colombie : 5,7%, Équateur : 2,4%, Venezuela : 0,7% et Guyana : 0,2%). C'est, de loin, le plus important bassin hydrographique de la planète, avec près de 5% des terres émergées. Les principaux cours d'eau formateurs de l'Amazone drainent des régions très contrastées, réparties de part et d'autre de l'Équateur (carte page 24).

Au Nord, les affluents du rio Negro sont issus des massifs du bouclier guyanais où culmine le " Pico da Neblina " (3014 m), le plus haut sommet du Brésil.

¹ PHICAB : Programme Hydrologique et Climatologique du Bassin Amazonien de Bolivie

² HiBAm : Programme Hydrologique du Bassin Amazonien du Brésil

forest and moist savanna. Its main affluents, the Rio Negro and Rio Madeira, differ widely in their hydrological regimes, and physical and chemical characteristics.

Where it enters Brazil, 3000 km from the sea, the Amazon river already has a discharge of 46,500 m³/s -- about the same as the Congo, its closest rival, at its mouth! But at this stage the Amazon is only 180 feet above sea level, so that its gradient for the remaining 3000 km is a mere 2 cm per km. As a result, the impact of the tides is felt 700 km upstream from the river mouth and affects many tributaries. This, and the sharp seasonal and spatial variations in rainfall, make for major fluctuations in flow rate and water level.

These variations cause problems in both human and economic terms. Floods cause damage in towns and limit agricultural potential; very low

purpose is to be able to forecast water levels and flow rates, with a view to sustainable water resource management and hazard control. Among other achievements, they have set up hundreds of rain gauges and hydrometric stations, have improved methods of data collection and processing and established a system of data transmission by satellite. The results so far are a much better understanding of the river basin's water regime, with reliable data on the volume and fluctuations of discharge in the Amazon and its tributaries and total discharge to Atlantic, a region-by-region breakdown of flow rates in the different rivers, and a model for forecasting high water at Manaus. This model can now easily be applied to other flood-prone towns of the Amazon, and to the region as a whole.



Photo : Jean Louis Guay

Vallée du Rio La Paz à La Plazuela (800 m), Bassin du Rio Alto-Beni, Bolivie.

La ville de Sorata (2 500 m) et la vallée du Rio San Cristobal, au pied de Illimpu (6 420 m). Bassin du Rio Alto-Beni, Bolivie.



Photo : Jean Louis Guay

Sigles

CNPq : Conseil National de Développement Scientifique et Technologique du Brésil.

DNAEE : Département National des Eaux et de l'Energie Electrique du Brésil.

HiBAm : Programme Hydrologique du Bassin Amazonien du Brésil.

PHICAB : Programme

Hydrologique et Climatologique du Bassin Amazonien de Bolivie.

SENAMHI : Service National de Météorologie et Hydrologie de Bolivie.

UMSA : Universidad Major de San Andrés, La Paz, Bolivie.

USGS : United States Geological Survey - USA



Photo: Jean-Louis Guyot

Pour en savoir plus

Bourges J., Hoorelbecke R., Cortez J., Carrasco L.M. 1993. Los regimenes hidrológicos de la cuenca amazónica de Bolivia, 125-134. *In* Seminario sobre el PHICAB, La Paz, Nov. 1992.

Callède J., Claudino L.J., Fonseca V. 1986. Transmission par satellite des hauteurs d'eau de l'Amazonie et de ses affluents. *Hydrologie Continentale*, 1(2) : 95-110.

Cappelaere B., Lubes H., Guyot J.L., Berkhoff C., Thepaut H., Molinier M., Oliveira E. 1996. Prévission des crues de l'Amazonie. *In* L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement, Paris, Mai 1995. IAHS

Publication n°238 . pp 355-366.

Guimarães V., Cudo K.J., Callède J. 1995. Os avanços da gestão da rede hidrométrica Brasileira através da telemetria por satélite. *A Água em Revista*, 3(4) : 21-25. CPRM, Rio de Janeiro.

Guyot J.L., da Conceição S., Guimarães V., dos Santos J.B., Longuinhos R. 1995. Medição de vazão com ADCP - Primeiros resultados na bacia Amazônica. *A Água em Revista*, 3(4) : 26-30. CPRM, Rio de Janeiro.

Hiez G., Cochonneau G., Séchet P., Fernandes U.M. 1992. Application de la méthode du vecteur régional à l'analyse de la

pluviométrie annuelle du bassin amazonien. *Veille Climatique Satellitaire*, 43 : 39-52.

Jaccon G. 1987. Jaugeage de l'Amazonie à Obidos par les méthodes du bateau mobile et des grands fleuves. *Hydrologie Continentale*, 2(2) : 117-126.

Meade R.H., Rayol J.M., da Conceição S.C., Natividade J.R.G. 1991. Backwater effects in the Amazon river basin of Brazil. *Environ. Geol. Water Sci.*, 18(2) : 105-114.

Molinier M., Guyot J.L., Oliveira de E., Guimarães V. 1996. Les régimes hydrologiques de l'Amazonie et de ses affluents. *In* L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développe-

ment, Paris, Mai 1995. IAHS Publication n°238. pp 209-222

Oliveira E., Guimarães V., Molinier M., Guyot J.L. 1995. Pesquisa aplicada ao gerenciamento de recursos hídricos na região amazônica, 2-19. *In* Primeiro Seminário de avaliação e perspectivas da Cooperação CNPq/ORSTOM, Brasília, Maio de 1995.

Roche M.A., Fernandez C., Aliaga A., Peña J., Salas E., Montaña J.L. 1992. Balance hídrico superficial de Bolivia. *Publ. PHICAB*, La Paz, 29 p.

Sioli H. 1984. The Amazon. *Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Monographiae Biologicae, 56. Dr. W. Junk Publ., Dordrecht, 763 p.

Tournée hydrologique en voiture. Bassin du Rio Mamoré, Bolivie.

.....

Positionnement du bateau hydrométrique dans la section de jaugeage à l'aide de théodolites pour la méthode des "grands fleuves". Station de Óbidos, Amazonie, Brésil.



Photo: Jean-Louis Guyot

**Bateau hydrométrique
" Evandro III " du
DNAEE sur l'Amazone,
Brésil.**



Photo: Jean-Louis Dauvin

**Mélange des eaux.
Amazone à l'aval de
la confluence des rios
Solimões et Negro,
Brésil.**



Photo: Jean-Louis Dauvin

Hidrología de la cuenca amazónica

El río Amazonas representa, por mucho, la mayor cuenca colectora del mundo, abarcando 5% de tierras emergentes. Comprende siete países y tres regiones climáticas muy distintas: tropical al

norte, caliente y húmeda hacia el Ecuador con praderas inundables, y tropical austral. Su ecosistema es variado, con vegetación de lento crecimiento a altitud, arcas sembradas en tierras altas, bosque tropical con lluvias todo el año y sabana húmeda. Sus principales afluentes, el Río Negro y el Madeira, difieren enormemente en su régimen hidrológico y en sus características físicas y químicas.

Al entrar en Brasil, a 3 000 km del mar, el Amazonas ya lleva una descarga de 46, 500 m³/s (similar a la de la desembocadura del Congo) su nivel más cercano. No obstante, en esta fase, el río se encuentra a solo 60 m del nivel del mar, por lo que la pendiente de los 3 km restantes apenas es de 2 cm/Km. Como consecuencia, el impacto del torrente se siente a 700 km río arriba desde la desembocadura del Amazonas, afectando a muchos tributarios.

Esto, unido a los severos temporales y a las variaciones espaciales de las lluvias, provoca importantes fluctuaciones en el nivel de las aguas, con repercusiones en términos humanos y económicos (las inundaciones causan daños

a las poblaciones y limitan el potencial agrícola, mientras que, durante los periodos en que se registra un nivel bajo de agua, se ven afectados los recursos hídricos, la producción y la navegación

(factor relevante de la economía pues el río es un valioso medio de transporte). Desde 1982, los hidrólogos de Orstom (junto con sus homólogos bolivianos (del programa PHICAB) estudian los regímenes hidroclimáticos del Amazonas y sus tributarios. Su objetivo es prever el nivel de las aguas y los caudales a fin de administrar de manera sostenible los recursos hídricos y controlar los riesgos. Entre otras cosas, se han instalado cientos de estaciones hidrométricas y pluviométricas, un sistema de transmisión de datos por satélite y se han perfeccionado métodos de recopilación y procesamiento de datos. Hasta ahora, el logro es un mejor conocimiento del régimen hídrico de la cuenca del río y la obtención de información confiable sobre el volumen y las fluctuaciones de descarga en el Amazonas y sus tributarios y sobre su descarga total en el Atlántico; un análisis por regiones de los caudales en los distintos ríos y un modelo de previsión de crecientes en Manaus, aplicable desde ahora a otras poblaciones del Amazonas que padecen inundaciones, así como a la región en su conjunto.

Aussi, la variation des niveaux d'eau à une station n'est-elle pas liée de manière simple aux débits mesurés à cette station. De même, les affluents sont largement influencés par la variation des hauteurs d'eau de l'Amazone, comme le rio Negro à Manaus, où le niveau varie de plus de 15 mètres au cours du cycle hydrologique, indépendamment du débit. Par ailleurs, l'influence de la marée océanique est enregistrée jusqu'à Óbidos, soit 700 km à l'amont de l'estuaire.

Après avoir parcouru 1 500 km en territoire brésilien et reçu de nombreux affluents tel le rio Japurá (19 300 m³/s), l'Amazone va recevoir, en moins de 150 km deux contributions majeures, le rio Negro (28 400 m³/s), en rive gauche, et le rio Madeira (31 200 m³/s), en rive droite. Ces deux affluents, aux régimes et caractéristiques biogéochimiques différents, figurent parmi les fleuves les plus puissants du monde.

Le rio Negro, dont la pointe de crue arrive en juin-juillet, apporte des " eaux noires ", acides, riches en matières organiques, et à faible teneur en matières minérales, tant dissoutes que particulières.

(Suite page 23)



Photo : Laurent Quast

Jaugeage du rio Béné à Augusto del Bala - Amazonie bolivienne.

Fonctionnement du profileur de courant à effet Doppler (ADCP : Acoustic Doppler Current Profiler)

Le profileur de courant à effet Doppler (ADCP) mesure des profils verticaux de la vitesse de l'eau, en utilisant l'énergie acoustique. Une impulsion d'énergie acoustique, appelée "ping", est transmise dans l'eau comme le ferait un sonar de sous-marin, mais à une fréquence plus élevée. L'énergie de cette impul-

sion est réfléchiée sur les particules en suspension et en déplacement dans l'eau, et une partie de cette énergie est retournée à l'ADCP. L'ADCP mesure le glissement de fréquence de l'énergie réfléchiée (l'effet Doppler) et de là, calcule la vitesse relative de l'eau par rapport à l'ADCP, et la direction de l'écoulement. L'ADCP mesure

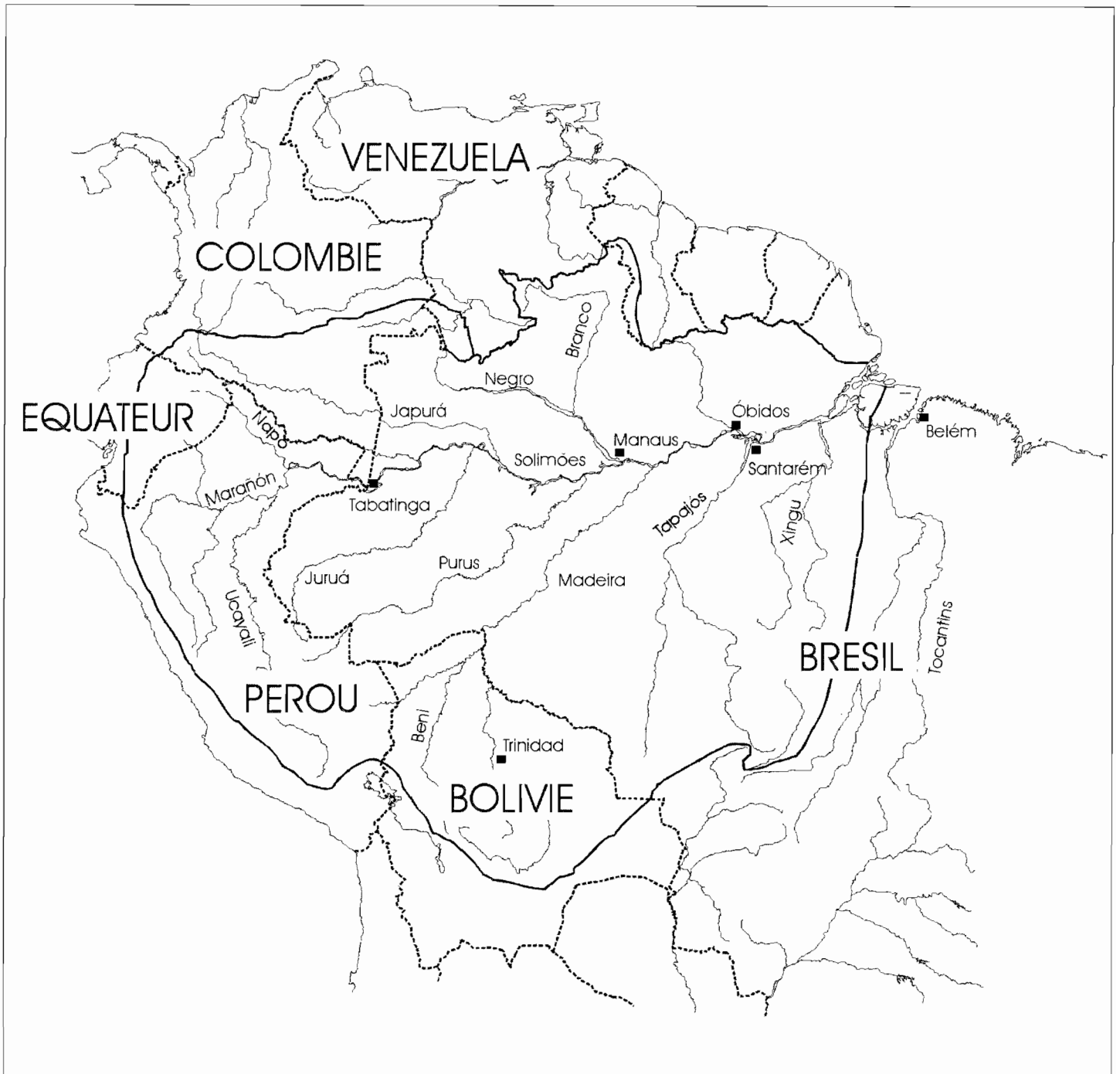
également sa propre vitesse et direction de déplacement par rapport au fond de la rivière en employant la même technique que celle utilisée pour la mesure de la vitesse de l'eau. La vraie vitesse de l'eau par rapport au fond est obtenue par différence entre la vitesse apparente de l'eau et le déplacement de l'ADCP.

L'ADCP mesure également l'intensité de l'énergie acoustique réfléchiée et reçue à partir des particules en suspension dans l'eau. L'étalement de la relation concentration en matières en suspension - intensité acoustique reçue est à l'étude au sein du programme HiBAm.



Photo : Jean-Luc Quast

Plateforme de télétransmission satellitaire de données hydrologiques. Station de Arumá Jusante, Rio Purus, Brésil.



Le bassin de l'Amazone et de ses affluents

L'Amazone, plus d'un siècle d'hydrologie

Les premières observations sur le régime de l'Amazone, ses affluents, et sur les différents types d'eaux, sont dues aux expéditions historiques de Francisco de Orellana (1541-1542), Pedro de Ursúa (1560-1561) et Pedro Teixeira (1637-1639). Un siècle plus tard, de nombreux naturalistes européens

" voyageront " sur l'Amazone ou ses tributaires, apportant leur lot d'observations : La Condamine (1743), Humboldt (1799), Spix et Martius (1817-1820), d'Orbigny (1831-1832), Adalbert de Prusse (1842-1843), Wallace (1848-1852), Bates (1848-1859), Marcoy (1848-1860),

Avé-Lallemand (1859), Agassiz (1865-1866), Keller-Leuzinger (1874), Wiener (1879-1882), Coudreau (1883-1885, 1895-1897). C'est seulement en 1954, que le précurseur de l'hydrologie moderne, Maurice Pardé, décrit précisément le régime hydrologique de l'Amazone et de ses

principaux tributaires, à partir des enregistrements des niveaux d'eau établis par le service de la navigation brésilien. Mais il faudra attendre 1963 pour que les premières mesures de débit de l'Amazone soient réalisées par les hydrologues américains de l'USGS*.

De plus, l'information arrivait au service centralisateur de Brasilia avec plusieurs mois de retard, ce qui empêchait toute prévision et gestion efficace des crues et étiages.

Pour mener à bien l'étude des régimes hydrologiques, le programme HiBAM a développé des outils de critique et d'homogénéisation des données hydroclimatiques, amélioré les méthodes de jaugeage des "grands fleuves", et installé un réseau de 20 stations à télétransmission satellitaire des données hydrologiques. Ce réseau était le premier de ce type installé en Amérique du Sud. Toujours en fonctionnement, il permet de recevoir en temps réel à Brasilia les hauteurs d'eau des principaux affluents de l'Amazone. La banque de données hydroclimatiques du DNAEE, analysée et homogénéisée, est devenue la référence pour toutes les études hydroclimatiques du bassin de l'Amazone. En couplant les données de cette banque avec celles du réseau de télétransmission satellitaire, un modèle de prévision des crues à Manaus a été mis au point pour répondre à la demande de la protection civile brésilienne.

Les résultats obtenus permettent de mieux connaître l'Amazone et ses affluents en fournissant des estimations fiables sur le volume et les fluctuations de leurs apports. On a pu ainsi déterminer de manière précise les contributions respectives des rios Solimões et Negro, formateurs de l'Amazone au Brésil, évaluer les apports totaux du bassin amazonien à l'océan Atlantique, effectuer une première régionalisation des débits des différents cours d'eau de ce bassin et, comme cité précédemment, mettre au point un modèle de prévision de la crue à Manaus. Cette méthode pourrait être facilement étendue à l'ensemble du bassin et appliquée à d'autres villes amazoniennes qui sont, elles aussi, éprouvées par les inondations.

Les ressources hydriques du bassin amazonien sont considérables et le réseau hydrographique, largement navigable, joue un rôle déterminant pour le développement économique de la région. La variabilité climatique régionale modifie le régime hydrologique de l'Amazone : des basses eaux excessives perturbent la navigation et affectent les réserves hydriques ; les grandes crues entraînent des inonda-



Photo - Jean-Loup Guyot

Cours d'eau à eaux noires dans le bassin du Rio Negro, Brésil.

tions qui causent des préjudices aux centres urbains et limitent le développement agricole. La connaissance des régimes hydrologiques des fleuves du bassin amazonien, et de leur variabilité spatio-temporelle, est donc fondamentale pour une gestion durable des ressources hydriques. Tel est le cas de la région "Norte" du Brésil (États de Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima et Tocantins) dont la croissance économique (6% par an) est l'une des plus fortes du Brésil, ainsi que de la plaine d'inondation de Trinidad, où chaque année, les crues provoquent des dégâts irréversibles dans une région qui fournit plus de la moitié du cheptel bovin bolivien ■

Jean Loup Guyot, Michel Molinier, Jacques Callède et Laurence Maurice

Orstom - "Département Eaux Continentales"
UR "Dynamique, enjeux et usages des hydrosystèmes régionaux"

Eurides de Oliveira et Valdemar Guimarães
DNAEE "Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica do Brasil"

José Cortez
SENAMHI "Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia"



Photo - Jean-Loup Guyot



Photo - Jean-Loup Guyot

Tournée hydrologique en pirogue. Bassin du Rio Alto-Beni, Bolivie.

Echelle limnimétrique de la station de Cucuí sur le Rio Negro, Brésil.

Guyot Jean-Loup, Molinier Michel, Callède Jacques, Maurice Laurence, Oliveira E. de, Guimaraes V., Cortez J.

Hydrologie du bassin amazonien

ORSTOM Actualités, 1997, (53), p. 10-14; p. 23-25. ISSN 0758-833X