

La variabilité des débits du Rio Amazonas au Pérou

JHAN CARLO ESPINOZA VILLAR¹, PASCAL FRAIZY¹, JEAN LOUP GUYOT¹,
JUAN JULIO ORDOÑEZ GALVEZ², RODRIGO POMBOSA³ &
JOSYANE RONCHAIL⁴

¹IRD/UNALM – FIA, Lima, Perú. Casilla 18 1209. Lima 18, Perú
20031189@lamolina.edu.pe

²SENAMHI, Lima, Perú. Casilla 11 1308, Lima 11. Perú

³INAMHI, Quito, Ecuador. Iñaquito 700 y Corea, Quito, Ecuador

⁴IPSL/LOCEAN – Université de Paris 7, Case 100 Place Jussieu, F-75005 Paris, France

Résumé Le bassin amazonien péruvien (977 920 km², 76% de la superficie du Pérou) apporte au Brésil d'importants volumes d'eau. Les débits de l'Amazone au Pérou n'étaient pas connus. A partir des séries de hauteurs d'eau journalières aux stations de Tamshiyacu (1983–2005) et d'Iquitos (1969–2005, 50 km en aval) ainsi que des jaugeages réalisés par ADCP à Tamshiyacu depuis 2001, le débit à Tamshiyacu a été calculé (1969–2005). Le débit moyen de cette station, la seule jaugeée sur l'Amazone au Pérou, est 25 000 m³ s⁻¹. Les données de pluie mensuelles de 234 postes pluviométriques ont été utilisées pour calculer la lame d'eau précipitée (1964–1997). Les précipitations moyennes annuelles sont de 1600 mm. Le relation pluies/débits annuels pour la période commune 1970–1997 est forte ($r^2 = 0.77$). On observe une tendance globale décroissante, de -0.83% et -0.81% respectivement pour les pluies et les débits sur la période de 28 années étudiées.

Mots clés hydrologie, Amazone, débit, pluie, Pérou

Variability in discharge of the Peruvian Amazon

Abstract The Peruvian Amazonian basin (977 920 km², 76% of the surface of Peru) is supposed to bring to Brazil an important volume of water. However, the discharge of the Peruvian Amazon was not known until now. In this work, the discharge at Tamshiyacu, the only gauging station available in the Peruvian Amazon basin, was calculated (1969–2005) using daily level flow data at Tamshiyacu (1983–2005) and at Iquitos (1969–2005, 50 km downstream), and gauging data measured by ADCP at Tamshiyacu since 2001. The annual average discharge at Tamshiyacu, is 25 000 m³ s⁻¹. Monthly rainfall datas from 234 raingauge stations were used to calculate the depth of runoff (1964–1997). The average precipitation is 1600 mm year⁻¹. The annual rainfall/discharge relationship for the common 1970–1997 period is high ($r^2 = 0.77$). During this period, decreasing tendencies are observed: -0.83% and -0.81% for rainfall and discharge, respectively.

Key words Amazon basin, Peru, discharge, rainfall

INTRODUCTION

Le bassin amazonien est le plus important bassin hydrographique de la planète (6 10⁶ km²), et le fleuve Amazone présente un débit moyen de 209 000 m³ s⁻¹ (Molinier *et al.*, 1996). Les études récentes réalisées au Brésil sur la variabilité de l'hydrologie de l'Amazone à Óbidos, la dernière station jaugeée avant l'Océan Atlantique (1.93°S et 55.50°W, à 800 km de l'Océan), ont montré que la série 1945–1998 présentait une évolution sensible des pluies et des débits ces dernières années (Callède *et al.*, 2004). A cette date, les données sur les bassins andins étaient peu nombreuses, et concernaient surtout le haut-bassin du Rio Madeira en Bolivie (Ronchail *et al.*, 2005), alors que le haut-bassin de l'Amazone-Solimões (Equateur et Pérou) restait peu documenté.

Au Pérou, alors que le bassin amazonien représente 76% du territoire et 98% des ressources hydriques du pays (DGAS, 1995), les études hydrologiques se sont essentiellement focalisées sur le versant Pacifique, où sont installées les principales villes du pays. Le programme HYBAM (convention IRD – SENAMHI – UNALM, www.mpl.ird.fr/hybam) réalise depuis 2001 des campagnes de mesure sur les principaux fleuves de l'Amazonie péruvienne (Yerren *et al.*, 2004). La station hydrométrique de Tamshiyacu (Fig. 1) est la première station où sont mesurées les niveaux de l'Amazone, car située à l'aval de la confluence des rios Marañón et Ucayali. A cette station, qui draine un bassin de 726 400 km² dont 53% situés dans les Andes, l'Amazone transporte de grandes quantités de sédiments provenant de l'érosion des bassins montagneux d'Equateur et du Pérou.

DONNEES ET METHODES

Le bassin versant de l'Amazone à Tamshiyacu a été délimité à partir du modèle numérique de terrain SRTM, selon une procédure semi-automatique (Mialocq *et al.*, 2005).

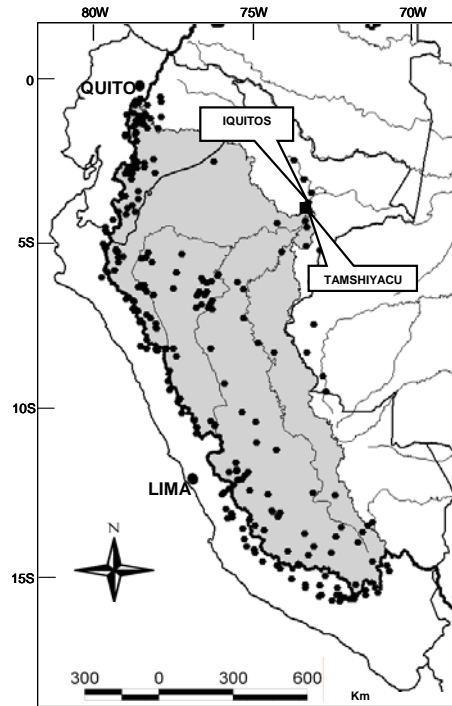


Fig. 1 Carte du bassin du Rio Amazonas à la station de Tamshiyacu (fond gris), et localisation des postes pluviométriques (ronds noirs).

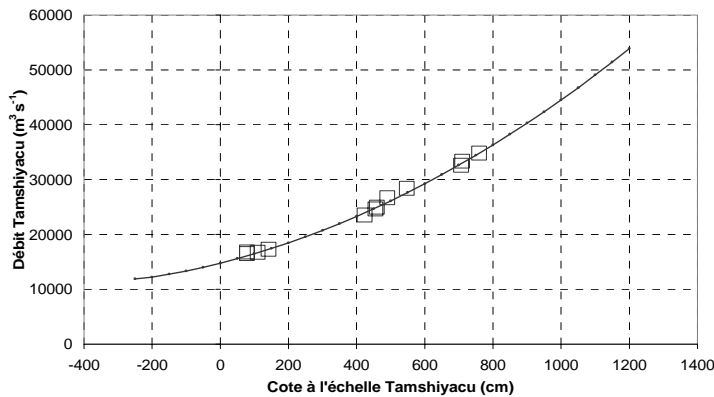


Fig. 2 Jaugeages (carrés) et courbe d'étalonnage de la station de Tamshiyacu.

Les niveaux d'eau journaliers de l'Amazone à la station hydrométrique de Tamshiyacu (4.00°S et 73.16°W) sont mesurés par lecture d'une échelle limnimétrique 4 fois par jour, par un observateur du SENAMHI (Service National de Météorologie et d'Hydrologie, www.senamhi.gob.pe) depuis 1983. A cette station, une courbe d'étalonnage fiable a pu être construite par le programme HYBAM (Fig. 2), grâce à 16 jaugeages réalisés de 2001 à 2005 par courantomètre à effet Doppler (ADCP), technique particulièrement bien adaptée aux grands fleuves amazoniens (Filizola & Guyot, 2004).

Les données de hauteurs d'eau de la station d'Iquitos (3.71°S et 73.25°W) gérée par ENAPU Pérou (Entreprise Nationale des Ports, www.enapu.com.pe) depuis 1969, ont permis d'étendre la série des débits de Tamshiyacu à la période 1969–2005 (Fig. 3).

Les données mensuelles de 375 postes pluviométriques (Fig. 1) du SENAMHI Pérou et de l'INAMHI Equateur (Institut National de Météorologie et d'Hydrologie, www.inamhi.gov.ec) ont été critiquées par la Méthode du Vecteur Régional, MVR (Brunet Moret, 1979), qui a permis d'éliminer les stations douteuses. La lame d'eau précipitée sur le bassin a été calculée au pas de temps mensuel, selon la méthode du "kriging" à partir des 234 stations validées (62% du total).

La gestion des séries hydrologiques, la construction de la courbe d'étalonnage, le calcul des débits, la critique des données pluviométriques (MVR), et le calcul des lames d'eau précipitées ont été réalisés avec le logiciel HYDRACCESS (Vauchel, 2005).

RESULTATS ET DISCUSSION

La série des débits mensuels observés à Tamshiyacu (Fig. 4(a)) montre un débit moyen de $25\ 000\ m^3\ s^{-1}$, pour une valeur maximum de $38\ 950\ m^3\ s^{-1}$ (avril 1971) et un débit minimum de $10\ 200\ m^3\ s^{-1}$ (septembre 1995). La précipitation annuelle moyenne sur le bassin est de $1600\ mm$ pour la période 1964–1997 (Fig. 4(b)), avec une valeur maximum de $258\ mm$ (février 1984) et minimum de $41\ mm$ (juillet 1997). Le cycle hydrologique annuel débute en août pour les pluies et en octobre pour les débits (Fig. 5). Le déphasage de deux mois entre pluies et débits correspond au temps de concentration du bassin versant.

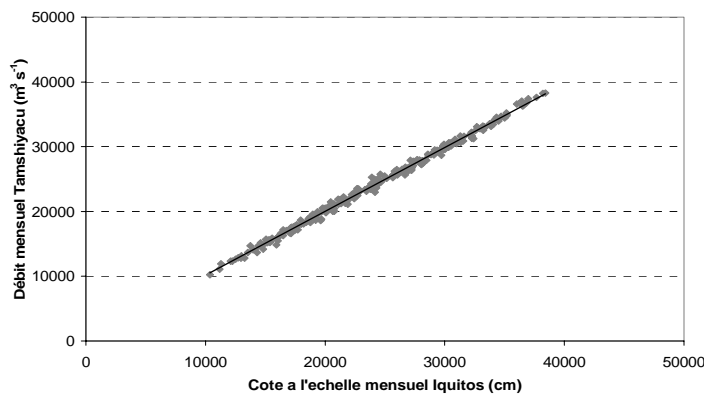


Fig. 3 Corrélation entre hauteurs d'eau mensuelles à Iquitos et débits mensuels à Tamshiyacu ($r^2 = 0.996$) sur le Rio Amazonas.

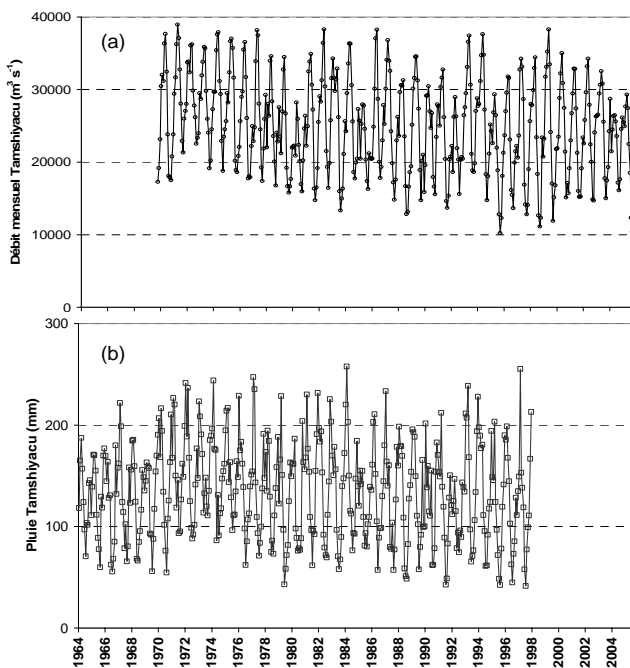


Fig. 4 Rio Amazonas à Tamshiyacu: débits mensuels pour la période 1969–2005 (a), et précipitation moyenne sur le bassin de 1964 à 1997 (b), avec lignes de tendance.

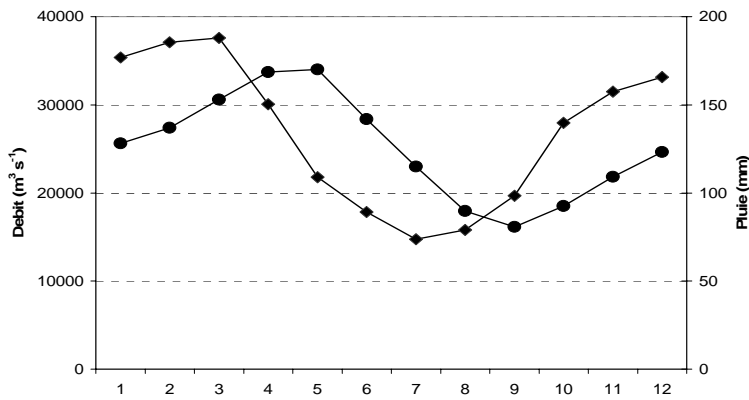


Fig. 5 Cycle annuel moyen des débits (●) et des précipitations (■).

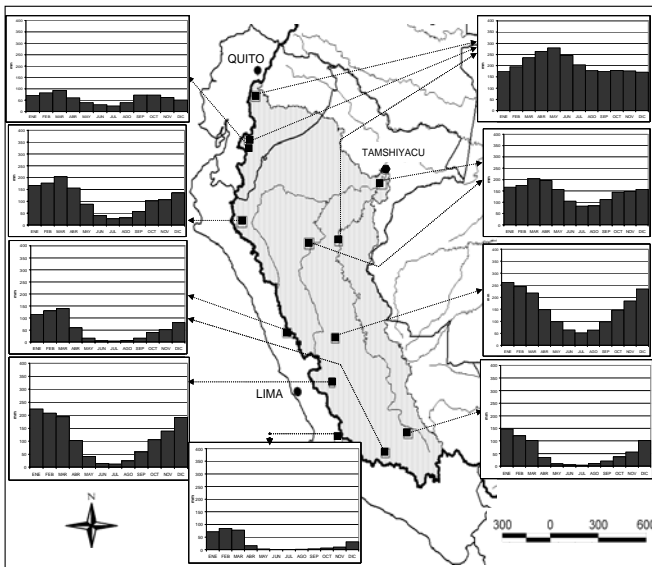


Fig. 6 Régimes pluviométriques (de janvier à décembre) de quelques postes représentatifs du bassin de Tamshiyacu. Pluie mensuelle de 0 à 400 mm (ordonnées).

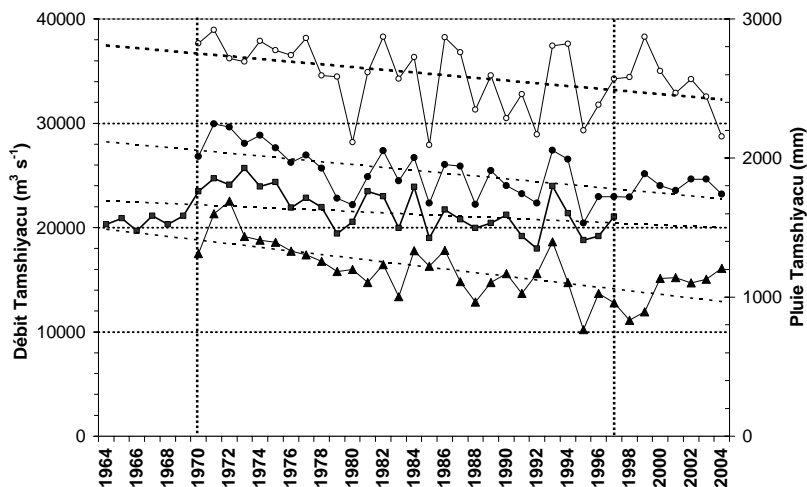


Fig. 7 Rio Amazonas à Tamshiyacu : Variabilité interannuelle des pluies (■) et des débits moyens (●), minimum (▲) et maximum (○) pour la période 1964-2005. Les courbes de tendance correspondent à la période commune 1970-2005.

Le cycle annuel des pluies dans le bassin est caractérisé par une grande hétérogénéité de comportements (Fig. 6). Dans la plus grande partie du bassin, le régime des pluies est de type tropical, caractérisé par une saison pluvieuse qui s'accroît vers les basses latitudes et en s'éloignant des Andes. En Equateur, certaines stations pluviométriques appartenant au même sous-bassin, peuvent présenter simultanément des comportements différents voire opposés: régime uni modal ici, bimodal ailleurs, observation d'un maximum de pluie dans certaines stations alors que la saison est sèche dans d'autres. (Laraque *et al.*, 2004).

Le coefficient de variation (CV) saisonnier est de 0.24 pour les débits mensuels et de 0.32 pour les pluies mensuelles. Le rapport des valeurs extrêmes du cycle saisonnier des débits mensuels est de 2.1, traduisant une forte régularité saisonnière des débits. Cette valeur est comparable à celle observée sur les stations du cours principal du Rio Solimões-Amazonas au Brésil (de 1.7 à 2.5), mais elle est inférieure à celles calculées sur les principaux affluents de l'Amazone, tant au Sud, en Bolivie, sur le Rio Beni (de 5 à 15), qu'au Nord, sur le Rio Negro (de 3 à 8) au Brésil (Molinier *et al.*, 1996).

Le coefficient de variation interannuel est de 0.09 pour les pluies, mais aussi pour les débits, ce qui traduit là aussi l'extrême régularité multi-annuelle des régimes pluviométriques et hydrologiques de l'Amazone au Pérou, tout comme cela a été observé à Óbidos au Brésil (Callède *et al.*, 2002).

Pour la période commune d'observation des pluies et des débits (28 ans, 1970–1997), les valeurs annuelles (Fig. 7) montrent une diminution nette des précipitations (-0.83% par an), comme des débits (-0.81% par an). Les débits annuels minimum et maximum décroissent également sur la période, avec des valeurs respectives de -0.61% et -1.68%. Il faut cependant signaler que les pluies de 1964 à 1970 présentent une tendance à l'augmentation, montrant que l'année 1970 pourrait ici aussi représenter une rupture dans la série comme cela a déjà été observé sur d'autres fleuves amazoniens (Callède *et al.*, 2004; Labat *et al.*, 2004). Enfin, le coefficient de corrélation (r^2) entre lame d'eau précipitée et débit annuel est de 0.77.

Les débits observés à Tamshiyacu montrent des valeurs plus élevées durant la décennie des années 1970, du fait de l'augmentation des pluies à cette époque, comme cela a été également confirmé par d'autres études sur le bassin de l'Amazone au Brésil (Cutim *et al.*, 2000; Ronchail *et al.*, 2002). Aussi la décroissance observée sur la série 1970–1997, peut être le résultat de cette hydraulicité anormalement élevée des années 1970, d'une tendance générale à la diminution des pluies et des débits dans la région, ou bien entendu, d'une combinaison de ces deux facteurs.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude, quoique préliminaires, présentent pour la première fois une série historique des débits de l'Amazone au Pérou. Les banques de données seront prochainement complétées, notamment en ce qui concerne les pluies pour la période 1998–2005, et des études plus fines par sous-bassins (Ucayali, Huallaga, Marañón, Napo) seront entreprises, afin de mieux comprendre le régime hydro-climatique du haut bassin de l'Amazone.

REFERENCES

- Brunet-Moret Y. (1979) Homogénéisation des précipitations. *Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie* **16**, 3–4.
- Callède, J., Guyot, J. L., Ronchail, J., L'Hôte, Y., Niel, H. & De Oliveira, E. (2004) Evolution du débit de l'Amazone à Óbidos de 1902 à 1999. *Hydrol. Sci. J.* **49**(1), 85–97.
- Callède, J., Guyot, J. L., Ronchail, J., Molinier, M. & de Oliveira, E. (2002) L'Amazone à Óbidos (Brésil). Etude statistique des débits et bilan hydrologique. *Hydrol. Sci. J.* **47**(2), 321–333.
- Cutim, E., Molion, L. & Nechet, D. (2000) Pluies en Amazonie pendant le 20^{ème} siècle (*Chuvas na Amazônia durante o século XX*). In: *XI Congresso brasileiro de Meteorologia, Brasília, Brasil*.
- DGAS (Dirección General de Aguas y Suelos) (1995) Vers une gestion intégrée des ressources hydriques au Pérou (*Hacia una gestión integrada de los recursos hídricos en el Perú*). Ministerio de Agricultura, Perú.
- 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.
- Labat, D., Ronchail, J., Callède, J., Guyot, J. L., de Oliveira, E. & Guimarães, W. (2004) Wavelet analysis of Amazon hydrological regime variability. *Geophys. Res. Lett.* **31**, L02501.
- Laraque, A., Guyot, J. L. & Pombosa, R. (2004) Hydroclimatologie du bassin amazonien en Equateur et son hydro-sédimentologie (Exemple du bassin du Napo). (*Hydroclimatología de la cuenca amazónica del Ecuador y su*

- hidrosedimentología (Ejemplo de la cuenca del Napo)*). *Geología de la cuenca Oriente* (eds P. Baby, M. Rivadeneira & R. Barragan). IRD, IFEA, PETROECUADOR. Ecuador.
- Mialocq, L., Acuña, M., Seyler, F., Yerren, J. & Guyot, J. L. (2005) Extraction of the topographic limits of the Andean and Amazonian river basins from SRTM. Paper presented at workshop on Isotope tracers and remote sensing techniques for assessing water cycle variability, IAHS, Foz de Iguazu, April 2005.
- Molinier, M., Guyot, J. L., Oliveira, E. & Guimarães, V. (1996) Les régimes hydrologiques de l'Amazone et de ses affluents. In: *L'hydrologie tropicale: géoscience et outil pour le développement* (ed. by P. Chevallier & B. Pouyaud), 209–222. IAHS Publ. 238. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Ronchail, J., Bourrel, L., Cochonneau, G., Vauchel, P., Phillips, L., Castro, A., Guyot, J. L. & de Oliveira, E. (2005) Inundations in the Mamoré basin (South-Western Amazon – Bolivia) and sea-surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. *J. Hydrol.* **302**, 223–238.
- Ronchail, J., Cochonneau, G., Molinier, M., Guyot, J. L., Goretti de Miranda Chaves, A., Guimarães, V. & de Oliveira, E. (2002) Rainfall variability in the Amazon Basin and SSTs in the tropical Pacific and Atlantic oceans. *Int. J. Climatol.* **22**, 1663–1686.
- Vauchel, P. (2005) Hydraccess: Logiciel de gestion et traitement de données hydro-météorologiques, version 2.1.4. Téléchargeable sur www.mpl.ird.fr/hybam.
- Yerren, J., Lavado, W., Fraizy, P. & Guyot, J. L. (2004) Les régimes hydrologiques dans le bassin amazonien du Pérou. (*Los regimenes hidrológicos en la Cuenca Amazónica del Perú*). *Surface hydrology and water chemistry*, LBA, Brasilia.