

## Evolution spatio-temporelle des débits et des matières particulaires sur un bassin des Andes boliviennes: le Rio Béni

J. BOURGES & J.L. GUYOT  
ORSTOM, C.P. 9214, La Paz, Bolivie  
H. CARRASCO & M.C. BARRAGAN  
UMSA-IHH, C.P. 303, La Paz, Bolivie  
J. CORTES  
SENAHHI, C.P. 996, La Paz, Bolivie

**RESUME** Drainant un bassin de 68000 km<sup>2</sup> situé sur le flanc oriental des Andes, le rio Béni est un affluent du rio Madera. L'influence du relief, jusqu'à plus de 6000 m, provoque une hétérogénéité des précipitations qui se traduit au niveau des apports, par des différences selon les zones du bassin. Les transports de sédiments, donc l'érosion, sont également affectés par cette variabilité spatiale. Au niveau interannuel, les variations relevées sont plus faibles pour les grands bassins, alors qu'au niveau annuel, la répartition des apports laisse apparaître l'influence des glaciers.

### INTRODUCTION

L'étude du rio Béni fait partie d'un projet plus vaste s'intéressant à tout le bassin versant amazonien de Bolivie (744000 km<sup>2</sup>), et mené dans le cadre du programme hydrologique et climatologique - PHICAB - en collaboration avec plusieurs entités nationales de Bolivie. Les observations de terrain utilisées pour cette étude ont été effectuées par le Service National de Météorologie et d'Hydrologie (SENAHHI).

### LE BASSIN VERSANT

Le bassin du Beni à sa sortie des Andes, à Angosto del Bala, est situé entre 68° et 69° de longitude Ouest et 14° et 18° de latitude Sud. D'une superficie de 68000 km<sup>2</sup> (Espinoza, 1985), il présente une forme allongée, d'axe NW-SE parallèle à la Cordillère Royale dont la crête forme sa frontière Sud-Ouest. Malgré l'altitude et l'importance de ces reliefs, une partie de la frange Sud du bassin se situe au delà de la ligne de crête, bénéficiant ainsi d'un régime climatique particulier.

Le Rio Beni, après avoir reçu l'appoint substantiel du rio Madre de Dios, se joint au rio Manoré pour former le rio Madeira qui est un des principaux affluents méridionaux de l'Amazone. Depuis les glaciers de la cordillère de Tres Cruces (5500 m.) où il prend sa source, jusqu'à sa rencontre avec son principal affluent, le rio Kaka, il change plusieurs fois de nom pour finalement s'appeler rio Beni et faire son entrée dans la plaine amazonienne à moins de 300 m. d'altitude.

Le réseau de drainage, caractéristique du relief, est très dense. Dans la partie haute du bassin, les axes de drainage sont des vallées orientées SW-NE, perpendiculairement à la cordillère, et qui se jettent à l'aval dans trois grandes gouttières orientées SE-NW parallèlement aux plissements. Le principal collecteur, celui de

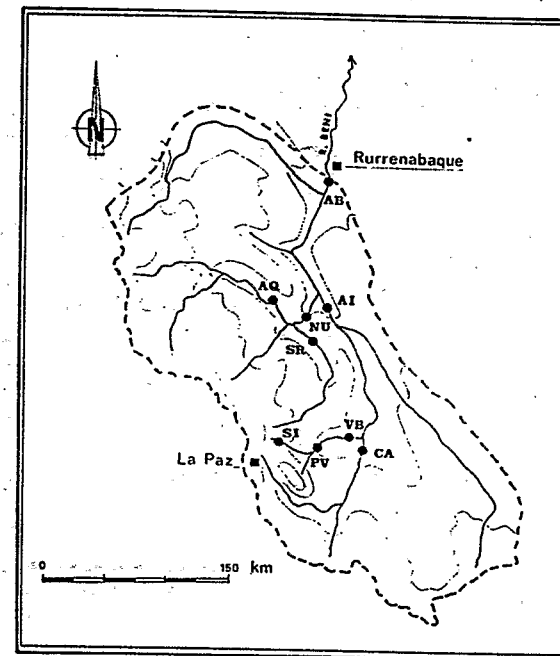


FIG. 1 Carte de situation des stations. Voir tableau 1 pour le code des stations.

L'Alto Beni ne reçoit, sur un bief quasi rectiligne de plus de 300 km., des affluents que sur sa rive gauche.

La végétation, inexistente sur les sommets se manifeste, vers 4.000 m. d'altitude, en présence de sols rares et peu profonds, par une couverture herbacée qui progressivement cède la place dans les

TABLEAU 1 Caractéristiques des stations, modules interannuels.

Code	Rio	Station	Alt. n	Sup. km <sup>2</sup>	débit moyen m3.s-1	mini m3.s-1	maxi m3.s-1
SI	Unduavi	Sirupaya	1700	270	12	8	16
PV	Tamampaya	Pte Villa	1190	950	48	37	61
VB	Tamampaya	V. Barrientos	1050	1900	69	43	86
CA	La Paz	Cajetillas	760	6500	78	30	110
SR	Coroico	Santa Rita	440	4700	240	150	350
AQ	Hapiri	Ang. Quercano	500	9400	430	280	560
AI	Alto-Béni	Ang. Inicua	420	29900	850	610	970
NU	Kaka	Nube	380	19600	970	840	1100
AB	Béni	Ang. del Bala	280	68000	2200	1900	2600

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 31-610 exp 1

Cote : B P 31

20 MARS 1991

vallées à une végétation plus épaisse, de type tropical, d'autant plus exubérante que les sols sont profonds. La partie basse du bassin est recouverte de forêt.

La totalité de ce bassin versant de zone tropicale est soumis au même régime pluviométrique, d'origine atlantique, avec une saison des pluies bien marquée de novembre à mars qui représente plus de 70% de la lame d'eau précipitée. Les masses d'air chaud et humide amazonien qui, au cours de l'été austral, viennent heurter les contreforts orientaux de la cordillère provoquent au contact des reliefs importants des précipitations très inégales selon l'orographie (Roche et al., 1990).

Les précipitations peuvent varier, en moyenne, de 1500 mm par an dans le centre du bassin à 2000 mm sur sa bordure orientale et même jusqu'à plus de 3000 mm sur certains reliefs du Sud-Ouest. Exceptionnellement elle atteint 4000 mm à l'extrémité de certaines vallées, et sont inférieures à 500 mm sur le haut bassin du rio La Paz au Sud, ou de l'ordre de 700 mm sur le haut bassin du rio Mapiri à l'Ouest du fait de leur situation à l'abri de la Cordillère (Roche et al., 1990). Les chutes de neige au dessus de 4500 m durant l'été et la présence de glaciers au dessus 5000 m influencent les réponses des bassins.

Par suite de l'inaccessibilité de certaines régions du bassin, la répartition spatiale des neuf stations étudiées est inégale. En particulier les extrémités Sud-Est et Nord-Ouest du bassin restent quasi inobservées. La période de référence, identique pour huit de ces stations, s'étend sur dix ans de 1974 à 1983. Ces stations, étagées de 1700 m à 280 m d'altitude, contrôlent des bassins versants allant de 270 à 68000 km<sup>2</sup>.

#### EVOLUTION TEMPORELLE

Conséquence de la saison des pluies estivales dans cette région, la période de hautes eaux dure de novembre à mai sur l'ensemble du bassin à l'exception des deux sous bassins moins arrosés pour lesquels elle ne dure que de décembre à avril.

Bien que le mois le plus abondant soit, sur toutes les stations, le mois de février, on remarque qu'en amont, sur les bassins inférieurs à 2000 km<sup>2</sup>, les plus forts apports mensuels sont observés en janvier et février, alors que pour des bassins supérieurs à 5000 km<sup>2</sup>, les mois de plus hautes eaux sont février et mars (Fig. 2) ce qui paraît être simplement une conséquence de la propagation des crues le long de ce réseau dont certaines branches mesurent jusqu'à 550 km de longueur.

D'une façon générale, plus de la moitié des apports annuels transitent de janvier à mars. Mais, sur l'Alto Beni, cet apport estival peut varier de 58% en tête de bassin à 56% avant sa confluence, alors que sur le rio Kaka il ne représente que 48% du côté du Mapiri-Tipuani, et 52% sur le Coroico. Cette différence vient de la présence, sur le bassin du rio Kaka, de hauts sommets recouverts de neiges éternelles, en particulier de l'imposant massif de l'Illanpu (6600 m) qui fournit un débit de base important lors de la fonte des neiges durant la saison sèche aux rios Tipuani et Mapiri. Moins élevés dans l'ensemble, les reliefs situés au Sud du bassin ne peuvent jouer ce rôle de château d'eau.

A l'échelle interannuelle, la variabilité dans le temps des modules annuels diffère selon la taille des bassins versants. Si l'on évalue cette variabilité par le coefficient Kv, rapport de l'écart entre les valeurs extrêmes ramené à la moyenne, il apparaît que pour les bassins supérieurs à 20000 km<sup>2</sup>, ce coefficient est inférieur à 0.36 et semblerait diminuer légèrement avec la taille du bassin.

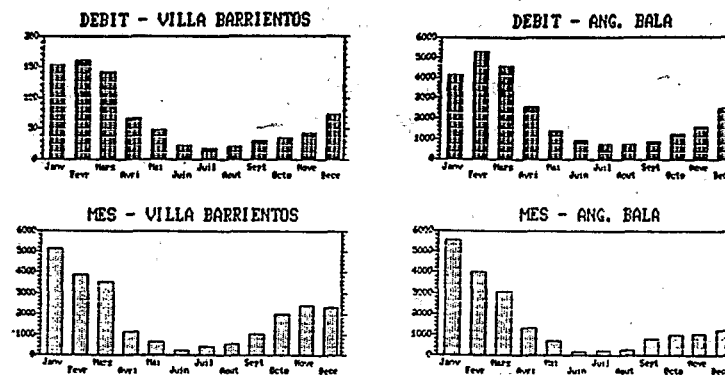


FIG. 2 Histogramme des débits moyens mensuels (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) et des concentrations en MES (mg.l<sup>-1</sup>) aux stations de Villa Barrientos et d'Angosto del Bala.

Pour les bassins inférieurs à 20000 km<sup>2</sup>, il est compris entre 0.5 et 0.8 sans qu'il soit possible de le corrélérer à la taille du bassin ou à sa pluviométrie. Enfin dans la zone plus aride du haut rio La Paz, il atteint 1.0.

Cette régularité relative des modules à l'aval du bassin peut s'expliquer par l'occurrence aléatoire des maximums ou minimums. Sur la période considérée, n'apparaît aucune synchronisation des modules maximums entre stations, tout au plus remarque-t-on que la plupart des étiages les plus sévères ont eu lieu en 1983, et ont surtout affecté le Sud et le Nord du bassin. Il est probable que la forme très allongée du bassin formant un front de 450 km perpendiculaire au déplacement des perturbations accroît l'hétérogénéité des précipitations à l'échelle annuelle.

L'évolution des teneurs en matières en suspension (MES) suit sensiblement l'évolution des débits (Fig. 2). Les maxima de débit solide coïncident donc avec les maxima hydrologiques, les périodes de hautes eaux fournissant ainsi la plus grande partie des sédiments. Les trois mois de janvier, février et mars, fournissent de 69% (Rio Tamapaya à Puente Villa) à 86% (Rio Alto-Béni à Angosto Inicua) du volume annuel de sédiments. Par contre, lors de la période de basses eaux, de mai à novembre, ces sept mois ne participent que de 5% (Rio Coroico à Santa Rita) à 14% (Rio Tamapaya à Villa Barrientos) du débit solide annuel (Guyot et al., 1988).

#### REPARTITION SPATIALE

Les fortes variations spatiales de la pluviométrie dues aux effets orographiques vont être à l'origine de régimes hydrologiques particuliers (Fig.3).

Le calcul des débits spécifiques moyens fait ressortir deux zones à forte hydraulicité: les bassins du Coroico, Tipuani et Challana au centre et celui de l'Aten et du Tuichi au Nord pour lesquels les débits sont supérieurs à 50 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>. Sur plus de la moitié du bassin, le débit spécifique est supérieur à 40 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>.

Deux sous bassins situés à l'abri de la cordillère présentent des débits beaucoup plus faibles: le haut rio La Paz avec moins de 10 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup> et le haut rio Mapiri estimé à 20 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>. Cette influence

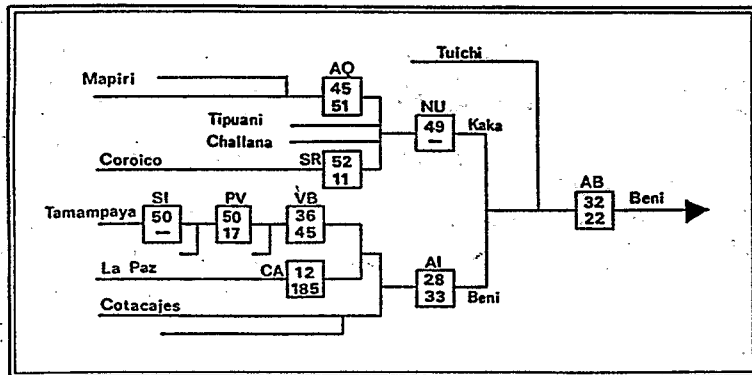


FIG. 3 Schéma du réseau de drainage, débit spécifique (l.s.-1.km-2), taux d'érosion ( $10^2$  t.km-2.an-1).

des zones les plus arides du bassin se répercute à l'aval malgré l'apport d'affluents plus abondants puisque avant sa confluence avec le Tamampaya, le rio La Paz ne fournit que 12 l.s.-1.km-2, tandis que, avant de rejoindre le rio Kaka, l'Alto Beni ne dépasse pas 28 l.s.-1.km-2. Les apports du rio Kaka avec 49 l.s.-1.km-2 donnent une moyenne à la sortie du bassin de 32.6 l.s.-1.km-2. Dans la plaine, à sa confluence avec le Madre de Dios, Le rio Beni ne présente plus qu'un débit de 25 l.s.-1.km-2 (Bourges, 1989).

L'étude d'un transect allant des sommets de la Cordillère jusqu'au pied des Andes, dans une zone homogène telle que le centre du bassin, ne met en évidence aucune relation entre le débit spécifique et l'altitude, du moins en dessous de 2.000 m. Les variations remarquables le long de la vallée du Tamampaya et jusqu'au Beni sont dues aux apports des zones semi-arides et non à l'influence de l'altitude.

Le flux maximum de sédiments est observé à la sortie des Andes à Angosto del Bala (tableau 2), ce qui représente un taux moyen d'érosion mécanique de 2200 t.km-2.an-1, pour la période considérée. Des taux nettement supérieurs sont observés sur des bassins plus petits, tels ceux des rios La Paz, Tamampaya, Mapiri et Alto-Béni, c'est à dire dans la partie amont du système qui correspond à une zone

TABLEAU 2 Transport de matières en suspension.

Code	Période	Nbre éch.	MES mg.l-1	débit solide 10 t.an-1	taux d'érosion t.km-2.an-1
PV	1975-1985	320	800	1.6	1700
VB	1975-1984	353	1950	8.6	4500
CA	1973-1975	332	19500	120	18500
SR	1976-1977	49	590	5.1	1100
AQ	1975-1979	351	1930	48	5100
AI	1975-1983	157	1920	100	3300
AB	1969-1989	454	1630	150	2200

à plus faible pluviosité et couvert végétal réduit, donc à plus forte érodabilité potentielle. Le maximum est obtenu à Cajetillas sur le rio La Paz (18500 t.km-2.an-1), et le minimum sur le rio Coroico à Santa Rita (1100 t.km-2.an-1). Les cours d'eau à faible débit spécifique présentent des taux d'érosion élevés.

#### CONCLUSION

Qu'il s'agisse de l'hétérogénéité spatiale ou de l'influence des glaciers, les résultats de l'étude hydrologique comme celle des transports solides corroborent les observations climatologiques. La poursuite des mesures et la comparaison avec un bassin versant voisin très différent, celui du rio Mamoré, devrait permettre d'affiner l'analyse des phénomènes et d'améliorer la connaissance des régimes hydrologiques et de l'érosion dans cette région.

#### REFERENCES

- Bourges, J. (1989) La investigación hidrológica en el Beni : infraestructuras y previsión de crecidas. In : *La Investigación Francesa en Bolivia* (Proc. Santa Cruz Symp., Junio 1989), 9-22.
- Espinoza, O. (1985) Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Beni, Amazonía, Bolivia. Tesis de grado, UMSA, PHICAB Publ., 181 p.
- Guyot, J.L., Bourges, J., Hoorelbecke, R., Roche, M.A., Calle, H., Cortes, J. & Barragan, M.C. (1988) Exportation de matières en suspension des Andes vers l'Amazonie par le Rio Beni, Bolivie. In : *Sediment budgets* (Proc. Porto Alegre Symp., December 1988), IAHS Publ. 174, 443-451.
- Roche, M.A., Aliaga A., Campos, J., Cortes, J., Peña, J. & Rocha, N. (in press) Hétérogénéité des précipitations sur la cordillère des Andes boliviennes. In : *Aspects quantitatifs et qualitatifs du cycle de l'eau en bassins inhomogènes* (Proc. Lausanne Symp., Septembre 1990).