

## VARIATION DU RÉGIME DES ÉCOULEMENTS DANS LE SYSTÈME ANDO-AMAZONIEN DE BOLIVIE

J. BOURGES<sup>1</sup>, R. HOORELBEKE<sup>1</sup>

---

### RÉSUMÉ

La Bolivie, terre de contrastes, est plus connue pour ses hauts-plateaux andins que pour ses basses terres amazoniennes qui recouvrent pourtant près des deux tiers de sa superficie. À la naissance du Rio Madera, le bassin drainé par les rios Mamoré et Beni contrôle plus de 900 000 km<sup>2</sup> dont 680 000 km<sup>2</sup> en territoire bolivien. Le bassin amazonien de Bolivie comporte deux milieux très distincts : la cordillère et les reliefs subandins qui occupent près de 25 % de sa superficie, et la plaine amazonienne recouverte de forêts ou savanes. Un autre milieu caractéristique de ce pays est l'Altiplano, haut-plateau situé à environ 4 000 m d'altitude entre les deux cordillères occidentale et orientale. Son bassin, endoréique, alimente plusieurs lacs parmi lesquels le lac Titicaca, et draine une superficie d'environ 130 000 km<sup>2</sup>.

L'analyse des débits observés sur plus de 40 bassins, durant une période moyenne de 10 ans, permet une bonne caractérisation régionale et révèle l'influence de divers facteurs, principalement géomorphologiques. Sur le versant amazonien, l'altitude moyenne des bassins étudiés peut varier de 4 000 m à 160 m, pour des superficies inversement liées. La recherche des caractéristiques régionales de l'écoulement se base sur l'étude des lames d'eau écoulées, des modules, de la répartition saisonnière et des débits de pointe.

Sur les reliefs andins et subandins, les régimes d'écoulement, subissant davantage l'influence des précipitations et de l'orographie que de l'altitude proprement dite, déterminent des zones aux caractéristiques très différentes. Sur deux bassins distants de 70 kilomètres, le débit spécifique moyen peut passer de 6 à 62 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>.

Dans la plaine, le régime des apports, beaucoup plus homogène, varie légèrement en fonction de la latitude. Sur l'Altiplano, la barrière andine à l'ouest et l'altitude élevée des bassins, entre 3 600 et 6 000 m, déterminent un régime d'écoulement plus aride et en même temps plus régulier grâce à la présence de glaciers.

<sup>1</sup>Mission Orstom, CP 9214, La Paz, Bolivie

## INTRODUCTION

Le concept de régionalisation recouvre une double démarche :

- tout d'abord l'analyse des variables hydrologiques à l'échelle régionale, afin de déterminer l'influence des divers facteurs climatiques, physiques ou géographiques ;
- puis la synthèse sur la base des résultats obtenus qui peut permettre de prédéterminer, à partir de ces mêmes facteurs, des variables hydrologiques en l'absence d'observations directes avec ou sans l'aide d'un modèle.

On se limitera, au cours de cette étude, à la recherche de caractères « hydrologiques » régionaux.

La Bolivie, petit pays à l'échelle sud-américaine, recouvre néanmoins une superficie de 1 100 000 km<sup>2</sup>. Traditionnellement connu pour ses haut sommets andins et son « altiplano », ce pays possède aussi des terres basses, les plaines amazoniennes, situées au pied de la Cordillère, et qui recouvrent plus de 60 % de son territoire. Par l'intermédiaire du Madera, un des affluents principaux de l'Amazone, la Bolivie contribue pour près de 8 % aux apports de l'Amazone à l'océan.

## LE MILIEU ANDO-AMAZONIEN BOLIVIEN

La zone étudiée en Bolivie, d'une superficie de 840 000 km<sup>2</sup>, recouvre une partie importante du territoire de ce pays situé au nord du 20<sup>e</sup> parallèle, à l'exclusion des régions Sud de l'Altiplano et du bassin du Río de la Plata (MONTES, 1989).

## MORPHOLOGIE

Imposant, par sa masse et sa dimension, un caractère particulier à cette région, la Cordillère des Andes, dont les sommets culminent à plus de 6 500 mètres, forme une barrière nord-sud quasiment infranchissable. A la latitude de la Bolivie, cette chaîne se dédouble en deux cordillères, l'une à l'ouest et l'autre à l'est, enserrant un haut plateau au milieu duquel se trouve le lac Titicaca (figure 1). Trois grandes unités physiographiques caractérisent cette région :

- l'Altiplano, haut plateau situé entre 3 800 et 4 200 m d'altitude au-dessus duquel émergent de rares reliefs qui le surplombent de quelques centaines de mètres. Malgré la latitude, le climat, semi-aride, est caractérisé par des températures basses ;
- la cordillère orientale, qui possède sur son flanc amazonien deux étages :

- la précordillère, née du contact de la plaine et du massif andin, présente un relief peu accentué qui s'étage de 500 à plus de 2 000 m d'altitude. Elle est recouverte par la forêt tropicale humide,
  - la cordillère proprement dite, dont la ligne de crête descend rarement en-dessous de 5 000 m, est constituée par une succession de chaînes jalonnées dans la partie Nord de glaciers « tropicaux ». La végétation, liée à l'existence de sols et au climat, est quasi inexistante au-dessus de 4 600 m. Sa densité augmente lorsque l'altitude décroît pour atteindre un couvert arbustif homogène vers 3 000 à 3 500 m ;
- la plaine amazonienne, qui représente la zone la plus étendue, est généralement située entre 100 et 200 m d'altitude, excepté sur sa bordure occidentale et au sud où l'accumulation des sédiments déposés par les cours d'eau à la sortie des Andes a rehaussé le niveau des terres jusqu'à atteindre près de 500 m d'altitude.

Une partie de cette plaine, régulièrement envahie par les inondations, est recouverte de vastes savanes parsemées d'îlots forestiers ou de forêt galerie. Lorsque l'altitude dépasse 200 m, la forêt prend le pas sur la savane.

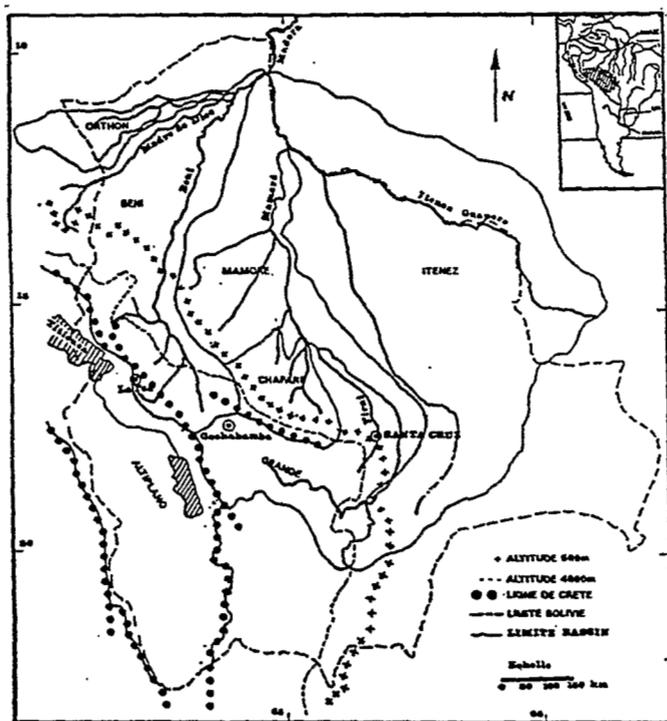


Figure 1

Carte de situation des bassins du système ando-amazonien

## CLIMAT ET PRÉCIPITATIONS

La variation saisonnière du climat est déterminée par les mouvements de la zone intertropicale de convergence et des anticyclones de l'Atlantique et du Pacifique. À cette influence atmosphérique vient se superposer, dans les Andes, l'influence de l'altitude qui va induire des climats froids et de l'orographie qui va créer des microclimats (ROCHE, 1985 ; RONCHAIL, 1986).

La distribution spatiale des pluies apparaît très distincte selon les régions. Elle peut varier de 500 mm par an sur le haut bassin du rio Grande, à près de 6 000 mm sur certaines zones des bassins du Chapare. Dans la plaine, la pluviométrie décroît du nord au sud avec des moyennes de 1 800 mm sur les bassins du Mamoré et du Beni, et plus de 2 000 mm sur celui du Madre de Dios (BOURGES, 1989 ; ROCHE, 1985-1990).

La distribution temporelle des pluies mensuelles au cours de l'année présente la même forme sur l'ensemble du bassin amazonien. Les précipitations les plus fortes tombent durant l'été austral, de décembre à mars. Selon les régions, il peut y avoir une saison sèche ou des pluies quasi continues sur le reste de l'année.

## HYDROGRAPHIE

Deux grandes unités hydrographiques, séparées par la ligne de crête de la cordillère orientale, se partagent la zone étudiée (figure 1) :

- le bassin endoréique de l'Altiplano, qui s'étend sur près de 130 000 km<sup>2</sup> dans sa partie nord, alimente un système de trois lacs dont le principal est le lac Titicaca. Des cours d'eau naturels, servant de déversoir aux lacs supérieurs, se jettent dans les lacs inférieurs tout en drainant les parties de bassin intermédiaire ;
- le bassin amazonien, qui s'étend sur 708 000 km<sup>2</sup> en territoire bolivien, contrôle, à la naissance du Madera, à Villa Bella, une superficie totale de 913 000 km<sup>2</sup> répartie sur trois pays, dont plus de 26 % se trouvent dans la zone andine. Quatre grands cours d'eau drainent cet immense bassin. Trois descendent des Andes, le Beni, le Madre de Dios, le Mamoré et le quatrième, l'Itenez-Guaporé, prend sa source dans le bouclier brésilien. Ces quatre rios confluent en limite de la frontière avec le Brésil pour former le Madera.

## HYDROLOGIE

Les régimes hydrologiques de type tropical ou tropical de transition se caractérisent par une période de hautes eaux, en général de janvier à mars, en tête de bassin ; période qui correspond à la saison des pluies de l'été austral. Les basses eaux, de juillet à septembre, peuvent recevoir selon les régions le soutien de pluies épisodiques. Les débits de pointe de crue, « dopés » par le relief andin,

s'estompent rapidement dans la plaine. L'aspect dentelé de l'hydrogramme annuel, provoqué par la réponse rapide des têtes de bassins aux précipitations, a tendance à se lisser, dans le cours inférieur du Mamoré et de l'Itenez, après la traversée d'importantes plaines d'inondation qui écrètent et retardent les crues pour ne laisser apparaître, à l'aval, qu'une seule onde de crue annuelle, parfaitement régulière (BOURGES, 1987).

L'étude porte sur plus de quatre-vingt-dix bassins dont les données ont été traitées et qui ont pu être pris en compte seulement pour certaines analyses. Parmi ces bassins, treize ont été suivis dans le cadre du programme PHICAB, de 1983 à 1990 ; les autres, faisant partie du réseau de la Bolivie ou du Brésil, ont été suivis avec une qualité inégale surtout dans la décade 1980.

Pour la majorité des analyses effectuées, le critère de durée d'observation devenant déterminant, a obligé à réduire l'échantillon à cinquante bassins et parfois moins de vingt. L'homogénéisation par le Vecteur Régional (MVR) a été appliquée systématiquement afin de combler les lacunes ou d'extrapoler les périodes, mais seulement au niveau mensuel et lorsque le nombre de bassins le permettait.

La répartition tant au niveau spatial que temporel de ces observations est très hétérogène puisque près de 80 % des stations se trouvent situées dans les Andes, qui ne représentent, en superficie, que le quart du bassin, et que les périodes d'observation, inégalement réparties entre 1960 et 1982 dans la partie andine, ne correspondent pas à celles des stations situées dans la plaine, qui débutent en 1983.

## **ANALYSE DU MODULE ET DÉTERMINATION DE RÉGIONS**

Il est probable que les grandes unités morphologiques décrites antérieurement vont induire des « comportements hydrologiques » différents. Si en plaine ou sur l'Altiplano, on peut s'attendre à observer une certaine homogénéité dans les paramètres hydrologiques qui caractérisent l'écoulement, il est évident que la Cordillère va engendrer des régimes qui seront très influencés par le relief.

Afin de discriminer ces « comportements hydrologiques », en première approche, nous pouvons utiliser le paramètre le plus simple, le module, qui, étant donné la répartition saisonnière, sera calculé sur l'année hydrologique, en général d'octobre à septembre. Par une corrélation logarithmique entre le module et la superficie, qui est le principal paramètre physique, en prenant soin d'éliminer les séries trop courtes, inférieures à cinq ans, on met en évidence deux familles de points sur lesquelles s'ajustent deux droites (figure 2). Dans ce cas, étant donné la variation d'échelle qui nous fait passer de bassins de quelques dizaines de km<sup>2</sup> à un million de km<sup>2</sup>, ou de près d'un m<sup>3</sup>/s à 20 000 m<sup>3</sup>/s, la représentation logarithmique s'impose.

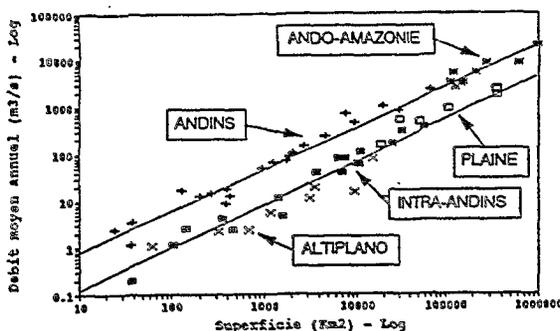


Figure 2

Modules de l'année hydrologique en fonction de la superficie des bassins

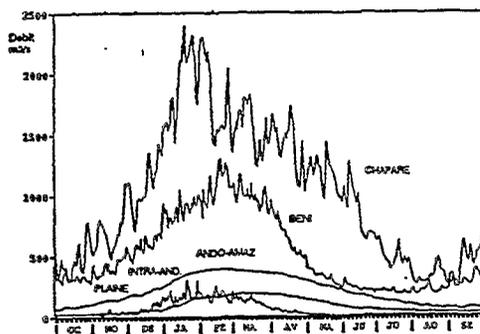


Figure 3

Hydrogramme moyen d'un bassin de 10 000 km<sup>2</sup>

Malgré un moins bon ajustement des points représentatifs pour les bassins de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup>, le coefficient de corrélation reste satisfaisant avec des valeurs supérieures à 0,98 pour les deux familles de bassin.

A l'analyse, il apparaît que le module n'est pas un paramètre assez discriminant car ces deux familles ne sont pas homogènes :

- la droite supérieure regroupe les bassins du Beni, du Chapare et leur prolongement dans la plaine, donc subissant tous une influence andine ;
- la droite inférieure regroupe les bassins du Grande, de l'Altiplano et de la plaine, c'est-à-dire, les bassins abrités par des reliefs ou sans aucune relation avec les Andes.

Bien que l'apparente similitude des modules dans chacun de ces deux groupes puisse s'interpréter par l'effet de l'influence andine, il est nécessaire, pour poursuivre l'analyse, de déterminer des groupes morphologiquement plus homogènes. On distinguera donc :

- les bassins andins situés sur le flanc amazonien de la Cordillère orientale, donc à l'est de la ligne de crête, qui seront désignés par « bassins andins ».

Étant donné le tracé de la Cordillère, il conviendra de distinguer deux sous-groupes : les bassins du Beni, et ceux du Chapare, plus méridionaux et mieux arrosés ;

- les bassins andins situés à l'ouest de la ligne de crête ou des premiers reliefs importants qui peuvent jouer le rôle de ligne de crête, comme c'est le cas au sud du 17<sup>ème</sup> parallèle avec les cordillères situées à l'est de Cochabamba. Se trouvant à l'intérieur du massif andin, abrités en partie de l'influence amazonienne, ces bassins seront appelés « bassins intérieurs andins ». Dans ce groupe, il conviendra de différencier les bassins de l'Altiplano, appartenant à un système endoréique, et qui, bien qu'à l'intérieur des Andes, n'ont aucune similitude physique avec les autres bassins du système amazonien (Grande, Pirai, La Paz) qui seront appelés « intra-andins » ;
- les bassins dont l'amont se situe dans la Cordillère mais qui reçoivent aussi dans leur partie aval la contribution de cours d'eau de plaine. Subissant cette double influence, ils seront désignés par « ando-amazonien » ;
- les bassins de plaine qui ne subissent aucune influence andine.

En règle générale, nous avons utilisé pour la suite de l'analyse la classification en six régions représentant les quatre sous-groupes et les deux groupes de bassins, tout en recherchant les similitudes entre sous-groupes ou groupes.

Afin de concrétiser la diversité des régimes de ces divers groupes, un hydrogramme moyen sur une période de trois ans a été tracé pour un bassin de 10 000 km<sup>2</sup> (figure 3). On remarque que, tant par la forme de l'hydrogramme que par l'importance des apports, le régime de l'écoulement est très différent.

## VARIATION SAISONNIÈRE

### PÉRIODE DE HAUTES EAUX

Sur l'ensemble des bassins andins ou intra-andins, la période de hautes eaux dure environ trois mois, généralement de janvier à mars. Cette période est identique dans la plaine sur les cours d'eau ando-amazoniens jusqu'à environ une distance de 500 à 800 km du piémont. Au-delà de cette limite et jusqu'à la formation du Madera, les hautes eaux se décalent progressivement et passent plutôt de février à avril, ce qui correspond aux hautes eaux observées sur les bassins de plaine où les vitesses de propagation sont beaucoup plus lentes.

Néanmoins, sur le cours inférieur du Mamoré et de l'Itenez, à l'aval des plaines d'inondation qui retardent la crue annuelle, on observe que la période de hautes eaux se situe souvent entre les mois de mars et mai (GUYOT, 1992).

## VARIABILITÉ SAISONNIÈRE

Le volume des apports des trois mois de plus hautes eaux rapporté au volume des apports annuels fournit un coefficient  $K_{3m}$  qui mesure l'amplitude de la variation de l'hydrogramme annuel.

L'étude de la variation de ce coefficient en fonction des superficies des bassins fait apparaître que :

- pour deux des six régions, il ne semble exister aucune relation entre  $K_{3m}$  et la superficie (plaine, intra-andins) ;
- pour les autres régions, les coefficients  $K_{3m}$  diminuent en fonction inverse de la surface (figure 4) ;
- pour ces mêmes régions, les points s'ajustent bien à une corrélation non linéaire mais que cinq bassins, du Beni et de l'Altiplano, ne paraissent pas suivre la même loi,  $K_{3m}$  étant bien plus faible que la valeur attendue.

Il s'avère que ces cinq bassins qui culminent entre 5 800 et 6 400 m reçoivent l'apport de glaciers importants qui modifient sensiblement la répartition des écoulements sur l'année. Il conviendra donc, dans ce cas, de traiter ces cinq bassins comme un sous-groupe particulier (figure 4).

La corrélation de type exponentiel appliquée à ces groupes fournit un faisceau de courbes qui convergent, pour les grandes superficies, vers une valeur du coefficient  $K_{3m}$  de 40 à 45 % (figure 4). On remarque aussi que :

- les plus fortes valeurs de  $K_{3m}$  s'observent sur l'Altiplano qui, soumis à un climat semi-aride, ne reçoit pratiquement pas de précipitations en dehors de la saison des pluies ;
- les plus faibles valeurs de  $K_{3m}$ , et donc la meilleure répartition des apports sur l'année, s'observe dans le Chapare où les précipitations sont fréquentes en dehors de la saison des pluies (climat tropical de transition et pour les bassins sur lesquels les glaciers restituent en saison sèche les apports de la saison des pluies.

Bien que simple à établir, le coefficient  $K_{3m}$  ne permet pas toujours de cerner exactement le maximum sur un intervalle de temps de trois mois calendaires. On peut lui substituer le maximum annuel de la moyenne mobile des débits journaliers sur une période de 90 jours, rapportée au débit moyen annuel  $K_{90}$ .

La comparaison effectuée sur la base de ce coefficient, comparaison limitée à vingt stations, fournit des valeurs de  $K_{90}$  quasiment identiques à  $K_{3m}$  pour les grands bassins, et légèrement supérieures de 1 à 2 % pour les petits bassins. Elle justifie donc le choix de  $K_{3m}$  et confirme la validité des observations effectuées.

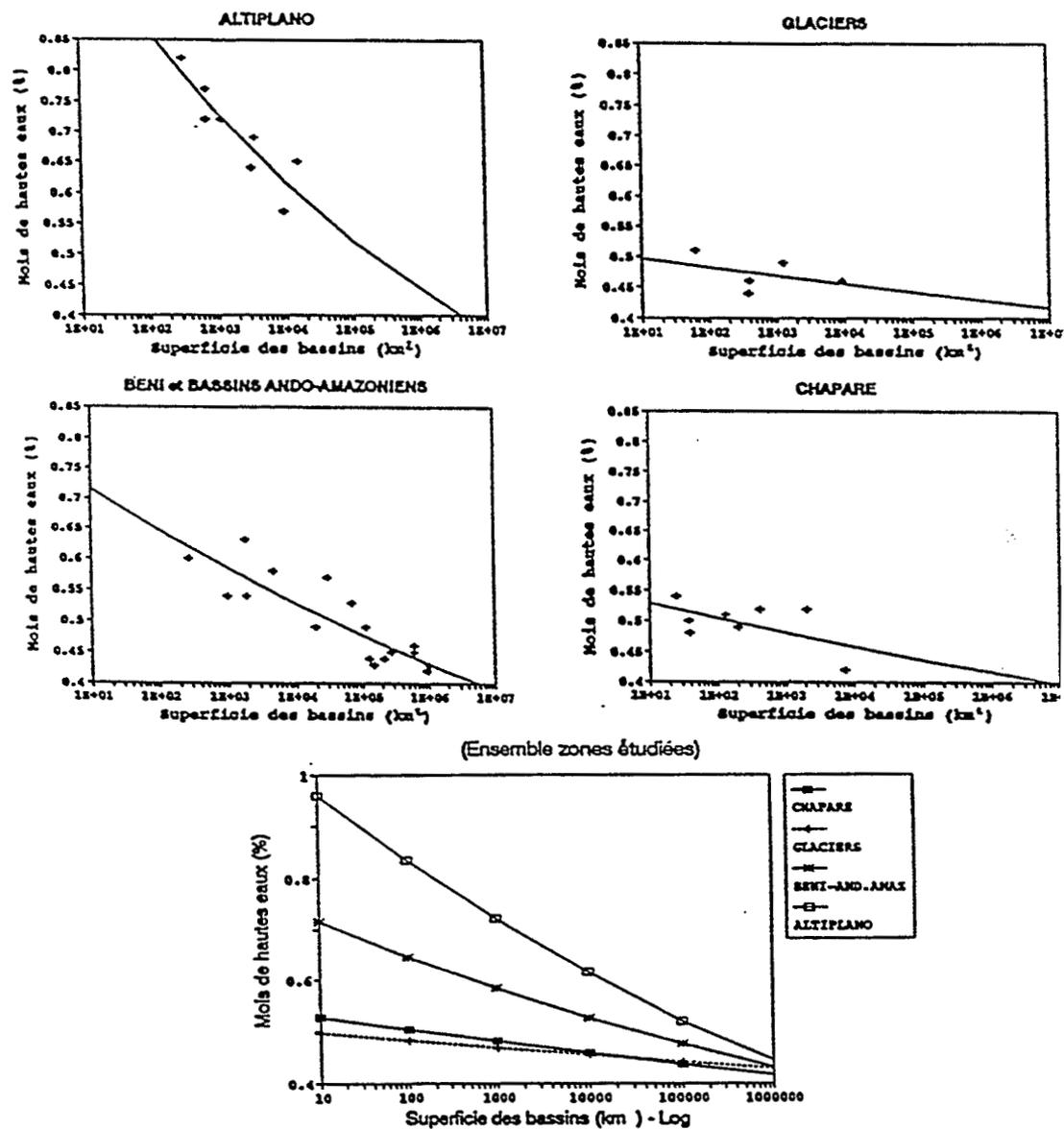


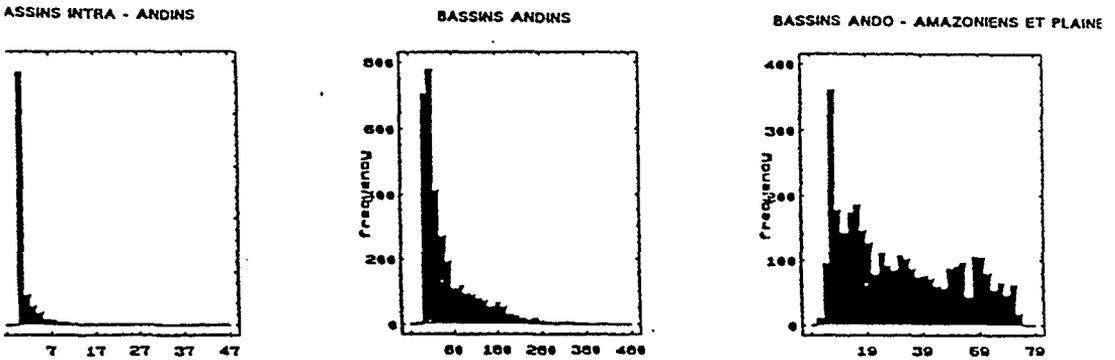
Figure 4  
Proportion des 3 mois de hautes eaux par rapport à l'écoulement annuel

## VARIABILITÉ DES DÉBITS JOURNALIERS

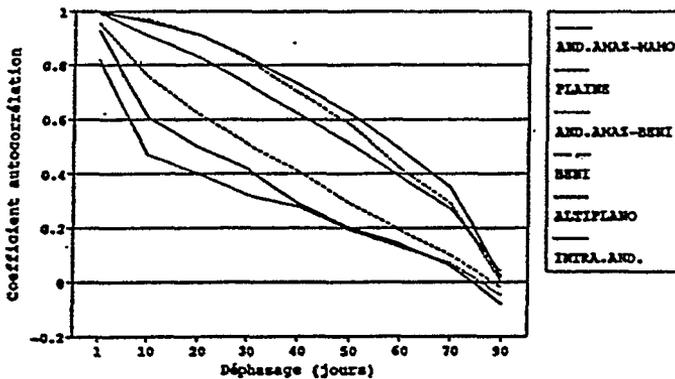
Pour procéder à cette analyse, nous pouvons utiliser différentes méthodes : soit des méthodes statistiques comme l'analyse des fréquences de débit, ou simplement le calcul du coefficient de variation (ce qui revient à considérer le débit comme une variable aléatoire), soit l'autocorrélation qui permet d'analyser la variation du débit dans le temps et d'évaluer dans quelle mesure les débits de plusieurs jours consécutifs sont liés. Afin de déterminer un maximum de critères caractérisant une région, nous utiliserons les trois méthodes.

Cependant, étant donné les nombreuses lacunes dans les fichiers de débits journaliers, il n'est pas possible d'analyser tous les bassins. Sur l'échantillon des 20 stations étudiées (figure 5 et 6), on constate que :

- pour les bassins **intra-andins** et l'**Altiplano**, le coefficient de variation est toujours supérieur à 1, généralement voisin de 2, et que l'autocorrélogramme traduit un mauvais coefficient de corrélation entre le débit d'un jour et celui du jour précédent, de 0,8 à 0,9 en moyenne. Sur un intervalle de 20 jours, ce coefficient chute à 0,4 - 0,5. L'histogramme des fréquences de débit, établi à partir d'un découpage en trente-cinq tranches de débit égales, fait apparaître une première tranche de débits proches de l'étiage avec 25 % de fréquence alors que les débits plus élevés n'ont qu'une fréquence très faible, inférieure à 1 % ;
- pour les bassins **andins**, du **Beni** et du **Chapare**, le coefficient de variation oscille entre 0,6 et 0,9. D'autre part, l'autocorrélogramme traduit une meilleure corrélation de jour à jour, de 0,90 à 0,95 en moyenne. Néanmoins, ces bassins n'ayant pas de grande superficie, le coefficient d'autocorrélation décroît rapidement et atteint 0,6 - 0,7 sur un intervalle de 20 jours. L'histogramme des fréquences de débits est plus massif. Les fréquences les plus fortes, observées pour le débit le plus faible, varient de 9 à 11 % ;
- pour les bassins **ando-amazoniens** et les bassins de **plaine**, le coefficient de variation reste dans l'intervalle 0,6 - 0,9, et que l'autocorrélation fournit un coefficient entre deux jours consécutifs de 0,99 qui se maintient au dessus de 0,8 après un intervalle de 20 jours. La fréquence maximale de débit se situe entre 2 et 5 %, mais toutes les classes de débit ont pratiquement la même fréquence. L'autocorrélogramme met aussi en évidence le comportement particulier de certaines stations de plaine pour lesquelles le coefficient d'autocorrélation décroît très lentement et reste supérieur à 0,85 sur un intervalle de 30 jours. Ces stations, situées



**Figure 5**  
*Histogrammes des fréquences de débits journaliers*



**Figure 6**  
*Variation du coefficient d'autocorrélation selon l'intervalle de temps*

en aval d'importantes plaines d'inondation, reçoivent des débits très influencés par la vidange de ces plaines, phénomènes très lents, et donc bien autocorrélés.

Enfin, on constate (figure 6) que pour tous les bassins andins, quelle que soit leur classification, l'intervalle pour lequel le coefficient d'autocorrélation s'annule avant de s'inverser, est de 80 à 85 jours, alors qu'il est de 90 à 100 jours pour l'ensemble des bassins de plaine. Ce pas de temps, de 90 jours environ, semble correspondre à la durée des saisons et justifie le choix de la période adoptée précédemment dans le calcul de la moyenne mobile.

## DÉBITS MAXIMAUX

Les observations sur cette région, et en particulier sur l'Amazonie, étant relativement récentes, on ne dispose pas, sauf exception, de longues séries de données. L'analyse statistique est donc plus délicate et moins représentative. Après un premier critère de durée fixé à dix années d'observation qui laissait trop peu de stations, et mal réparties, on a retenu les séries d'observation égales ou supérieures à huit ans.

Les tests d'ajustement aux diverses lois statistiques ne mettent pas en évidence une loi qui s'applique parfaitement à tous les bassins. Néanmoins, la loi qui s'ajuste le mieux aux différentes catégories de bassins, quelle que soit leur situation géographique, est la loi de Gumbel.

Par ajustement sur cette loi, ont été calculés les débits journaliers maximaux sur les dix-sept bassins présentant des séries de mesures suffisamment longues et complètes. Les débits maximaux instantanés, d'un plus grand intérêt pour les aménagements, ne sont pas toujours connus faute d'enregistrement continu. Si l'on compare le débit spécifique journalier maximum décennal avec l'indice de pente du bassin, l'influence « logique » du relief est confirmée par une très bonne corrélation qui semble faire fi des découpages de région puisque tous les points représentatifs confondus s'ajustent, en coordonnées logarithmiques, sur une seule et même droite (figure 7).

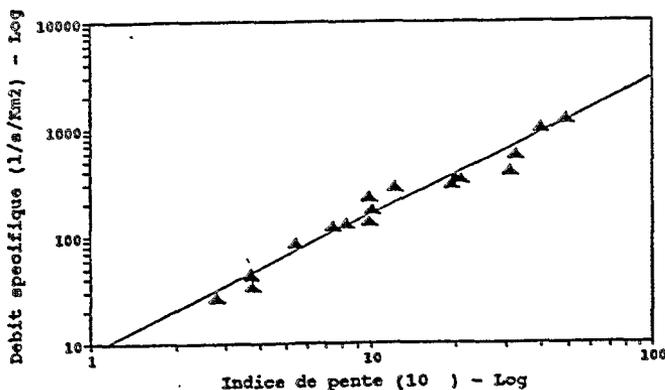


Figure 7

*Débit spécifique journalier maximum décennal en fonction de l'indice de pente*

## LAME ÉCOULÉE

L'hétérogénéité physique de la zone étudiée et l'ampleur du relief font que le régime des précipitations, et donc la pluviométrie annuelle, sont très variables d'une région à l'autre, parfois d'un bassin à l'autre. La précipitation moyenne

sur les bassins, assez précise lorsqu'on dispose d'un bon réseau d'appareils, peut être très approximative, voire erronée, lorsqu'il y a une densité trop faible de pluviomètres, ou, comme c'est souvent le cas en zone andine, lorsque les appareils sont installés au fond de vallées étroites.

Afin d'étudier la relation précipitation-écoulement et de discerner éventuellement un caractère régional, on met en relation la précipitation moyenne sur un bassin, le paramètre qui mesure l'écoulement et, de même dimension que la précipitation, la lame écoulée. Le graphique (figure 8) met en évidence un groupe de bassins qui reçoivent une hauteur de pluie supérieure à 1 200 mm par an et pour lequel on peut considérer qu'il y a une relation, médiocre, entre précipitation et lame écoulée.

Ce groupe représente la plaine et les régions ando-amazoniennes et andines, à l'exception du Beni, pour lequel les hauteurs de pluies sont incohérentes avec les lames d'eau écoulée (CARRASCO, 1990).

En-dessous de 1 200 mm, c'est-à-dire pour les régions « semi-arides », l'éparpillement est tel qu'il est difficile d'entrevoir une relation valable. En tout état de cause, l'imprécision sur la détermination de la précipitation moyenne ne permet ni de mettre en évidence des caractères régionaux, ni d'établir une relation correcte entre pluie et écoulement.

La recherche d'autres facteurs, en particulier physiographiques, en relation avec la lame écoulée, ne fournit que des résultats médiocres :

- l'altitude ne peut être un facteur principal à cause du rôle prépondérant de l'orographie ;
- la latitude joue un rôle en plaine ou sur l'Altiplano où existent des gradients pluviométriques, mais n'intervient pas sur le versant andin ;
- l'orientation des vallées, selon que leurs axes sont parallèles ou perpendiculaires au sens de déplacement des masses d'air humide amazonien, ne semble pas être un facteur important.

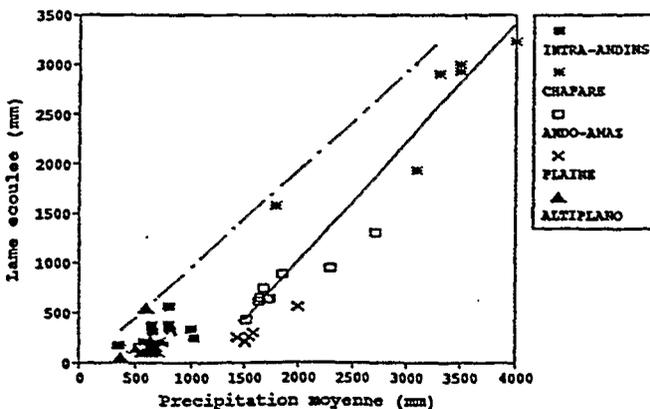


Figure 8

Relation lame écoulée/Précipitation moyenne sur le bassin

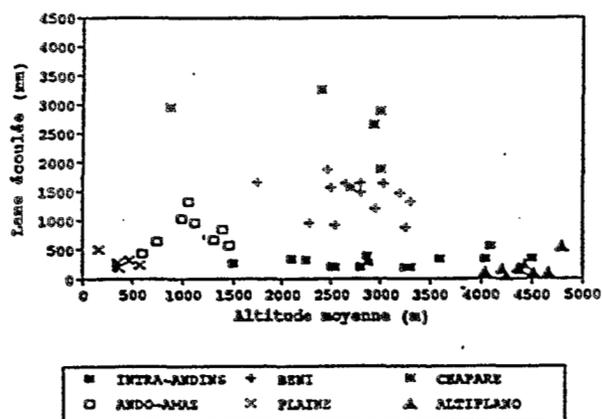


Figure 9

Relation lame écoulée/Altitude moyenne du bassin

## CARACTÉRISTIQUES DES RÉGIONS

Afin de permettre la comparaison entre les diverses régions du système ando-amazonien, on regroupe les caractéristiques relatives aux paramètres étudiés dans le tableau 1 où  $K_{3m}$  représente la proportion de l'apport des trois mois de plus hautes eaux ;  $C_v$ , le coefficient de variation des débits journaliers ;  $K_{1j}$  et  $K_{20j}$ , les coefficients d'autocorrélation sur des intervalles de 1 et 20 jours.

Tableau 1  
Synthèse des caractéristiques hydrologiques régionales

Région		Variabilité saison		Variabilité Q journalier			Qx dec.
Groupe	S/groupe	Période H.E.	$K_{3m}$ (%)	$C_v$	$K_{1j}$	$K_{20j}$	1/sKm <sup>2</sup>
Andin int.	Altiplano	J/M	70	1,7/2,0	0,93	0,5	
	Intra-and	J/M	68/64	1,7/2,0	0,82	0,4/0,5	120/160
Andins	Beni	J/M	46/60	0,6/0,90	0,94	0,6/0,7	250/500
	Chapare	J/M	50/55	0,6/0,90	0,95	0,6/0,7	500/100
Ando-amaz.		J/A	44/47	0,6/0,9	0,99	0,8	35/90
Plaine		F/My	42/46	0,6/0,9	0,999	0,9	25/30

Étant donné la géographie du bassin amazonien, il convient de souligner que parmi les bassins importants ( $S > 100\ 000\ \text{km}^2$ ), certains bassins, principalement dans le groupe ando-amazonien, sont « emboîtés », ce qui minimise les résultats de l'analyse.

## CONCLUSION

De l'analyse de ces différents paramètres, il ressort que les grandes unités morphologiques ne correspondent pas toujours à des unités « hydrologiques ». Ainsi, dans la Cordillère, le facteur essentiel qui différencie deux zones de régimes hydrologiques très différents, les bassins andins et intra-andins, est l'orographie. Mais à l'intérieur des six « régions » choisies, on peut constater une bonne homogénéité des paramètres représentatifs de la variation saisonnière, des débits journaliers ou même des débits extrêmes.

À l'intérieur de ces groupes, l'analyse permet de révéler le rôle d'autres facteurs, difficilement quantifiables, comme la présence de glaciers ou l'influence des plaines d'inondation. Elle permet enfin de réduire le rôle, qui, *a priori*, aurait pu paraître primordial, de l'altitude dans ce système ando-amazonien dominé par l'imposante chaîne des Andes.

## BIBLIOGRAPHIE

- ABASTO N., 1987 - Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Madre de Dios, Bolivia, Perú. PHICAB : CONAPHI, IHH-UMSA, Orstom, SENAMHI. Tesis UMSA, La Paz, 295 p.
- BOURGES J., CORTES J, HOORELBECKE R., 1987 - Estudio de los caudales del Mamoré en Guayaramerín. PHICAB : Orstom, SENAMHI, 29 p.
- BOURGES J., GUYOT J.L., CARRASCO M., BARRAGAN M.C., CORTES J, 1990 - Évolution spatio-temporelle des débits et des matières particulaires sur un bassin des Andes boliviennes : le Rio Beni. Hydrology in Mountainous Regions, Lausanne, august 1990. *AISH Publ. 193* : 351-356.
- BOURGES J., GUYOT J.L., HOORELBECKE R., ROCHE M.A., 1990 - Analysis of water flow and transportation of sediments in an Andes-Amazon basin : the River Beni at Riberalta. Hydrology and Water Management of the Amazon Basin, Manaus, august 1990.

- BOURGES J., GUYOT J.L., ROCHE M.A., 1989 - La investigación francesa en cooperación en la Amazonía boliviana : el programa PHICAB. 95-121 In *Ecologia, Desenvolvimento e Cooperação na Amazonia*, UNAMAZ (Ed.) Séria Cooperação Amazónica, Belém, octubre 1989.
- CARRASCO N.L., 1990 - Estudio del regimen del escurrimiento superficial en la cuenca andina del Rio Beni. Tesis UMSA, *Publ. PHICAB*, La Paz.
- GUYOT J.L., BOURGES J., CALLE H., CORTES J., HOORELBECKE R., ROCHE M.A., 1989 - Transports of suspended sediments to the Amazon by an andean river : the Mamore river - Bolivia. 106-113 *IRTCES, River Sedimentation*, Beijing, november 1989.
- GUYOT J.L., BOURGES J., HOORELBECKE R., ROCHE M.A., CALLE H., CORTES J., BARRAGAN M., 1988 - Exportation de matières en suspension des Andes vers l'Amazonie par le Río Beni, Bolivie. *Sediments Budgets*, Porto Alegre, december 1988. *AISH Publ. 174* : 443-451.
- GUYOT J.L., BOURGES J., ROCHE M.A., 1989 - Transporte de sedimentos y materias disueltas en la cuenca amazónica de Bolivia. Troisième Symposium de La Recherche Française en Bolivie, Santa Cruz, juin 1989 : 1-8.
- GUYOT J.L., 1992 - Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie Bolivienne. Thèse de doctorat, géologie-géochimie, Université de Bordeaux I, 362 p.
- LOZADA G.A., 1985 - Balance hídrico superficial de la cuenca del lago Titicaca, Bolivia. *PHICAB : IHH-UMSA, Orstom, SENAMHI*. Tesis UMSA, La Paz, 158 p.
- MONTES DE OCA (J.), 1989 - Geografía y recursos naturales de Bolivia.
- ROCHE M.A., ALIAGA A., CAMPOS J., PEÑA J., CORTES J., ROCHA N., 1990 - Hétérogénéité des précipitations sur la Cordillère des Andes boliviennes. *Hydrology in Mountainous Regions*, Lausanne, august 1990. *AISH Publ. 193* : 381-388.

ROCHE M.A., FERNANDEZ JAUREGUI C., APOTEKER A., ABASTO N., CALLE H., TOLEDE M., CORDIER J.P., POINTILLART C., 1986 - Reconnaissance hydrochimique et première évaluation des exportations hydriques et salines des fleuves de l'Amazonie bolivienne. PHICAB : IHH-UMSA, LHM, Orstom, SENAMHI, 257 p.

ROCHE M.A., ROCHA N., 1985 - Mapa pluviométrico de Bolivia y regiones vecinas, 4 000 000. PHICAB : Orstom, SENAMHI, 1 hoja offset.

RONCHAIL J., 1986 - Situations atmosphériques et précipitations comparées sur l'Altiplano et l'Amazonie - Bolivie. PHICAB : AASANA, IFEA, Orstom, SENAMHI, 36 p.

RONCHAIL J., 1988 - Variabilidad del tiempo en Bolivia, la anomalia climática del invierno 1988. Conferencia en la Academia de Ciencias. *Publ. PHICAB*, La Paz, 15 p.