

Dépôts fluviaux en Bolivie

Variations du régime des écoulements au cours du Quaternaire récent

M. SERVANT⁽²⁾, J. ARGOLLO⁽¹⁾, M. FOURNIER⁽²⁾

Les remblaiements du Quaternaire récent sont bien conservés dans la plupart des vallées des Andes boliviennes. Leur étude sédimentologique et géomorphologique montre que les écoulements superficiels ont évolué, au cours des 30 derniers millénaires, entre un régime de crues favorable à l'érosion et un régime plus régulier favorable à la mise en place de sédiments fins.

PRÉSENTATION DES SITES

Les vallées étudiées se situent dans une tranche d'altitude comprise entre 3 900 et 4 200 m. Ces vallées se situent dans des contextes géologiques différents mais elles sont toutes caractérisées par des pentes longitudinales fortes, supérieures à 8 %, et un profil transversal généralement encaissé. Certaines ont un bassin versant peu étendu (quelques centaines de km²) qui ne s'élève pas au-dessus de 5 000 m d'altitude ; les eaux de fonte des glaciers ne participent pas ici à l'alimentation des écoulements. D'autres ont un vaste bassin de drainage et sont occupées en amont par les glaciers actuels.

MILIEUX DE SÉDIMENTATION

Les milieux fluviaux actuels sont contrôlés par un régime saisonnier de précipitations orageuses. Le ravinement des versants, la mise en place de puissants cônes grossiers de déjection et un creusement actif des fonds de vallées sont les caractéristiques principales de la morphogénèse. Au Quaternaire récent, d'importantes modifications de cette morphogénèse sont décelées dans les remblaiements fluviaux. Ceux-ci comprennent 3 ou 4 séquences successives de dépôts relativement fins à tourbes intercalées. Les séquences sont séparées par des surfaces d'érosion et/ou par des couches caillouteuses discontinues.

Les surfaces d'érosion et les couches caillouteuses sont associées à d'anciens ravinements sur les versants. Ces ravinements ont alimenté des cônes grossiers de déjection qui sont particulièrement bien développés dans les régions où les formations géologiques affleurantes sont conglomératiques.

Les dépôts relativement fins sont argileux, limoneux, sableux ou graveleux. Leur granulométrie moyenne dépend de la nature géologique du bassin versant. Leurs conditions de mise en place dans les fonds des vallées ont été définies par une analyse détaillée de la géométrie des couches et de leurs structures sédimentaires, de même que par une corrélation avec les versants. Schématiquement, nous montrons que ces dépôts sont liés à des écoulements anastomosés en petits chenaux divagants. Les détritiques sont issus du remaniement par un ruissellement modéré des versants. Les plus grossiers de ces détritiques ont pu localement s'accumuler au pied des pentes sous la forme de cônes plats, pelliculaires. Dans l'axe des vallées, les sédiments lités sont fréquents, les lits étant granoclassés. Ce granoclassement est lié à de faibles variations (saisonniers ?) d'écoulement. Les tourbes intercalées dans ces dépôts sont le plus souvent associées à des zones humides qui étaient alimentées par des sorties d'eau à la base des versants. Certaines de ces tourbes paraissent s'étendre

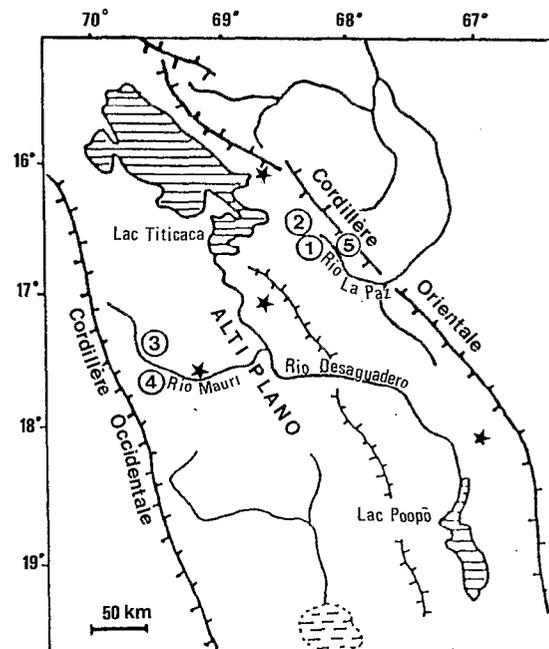


Fig. 1. — Localisation des sites étudiés.

(1) Misión ORSTOM, Casilla 8714, La Paz, Bolivia (Programme GEOCIT).

(2) ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy, France.

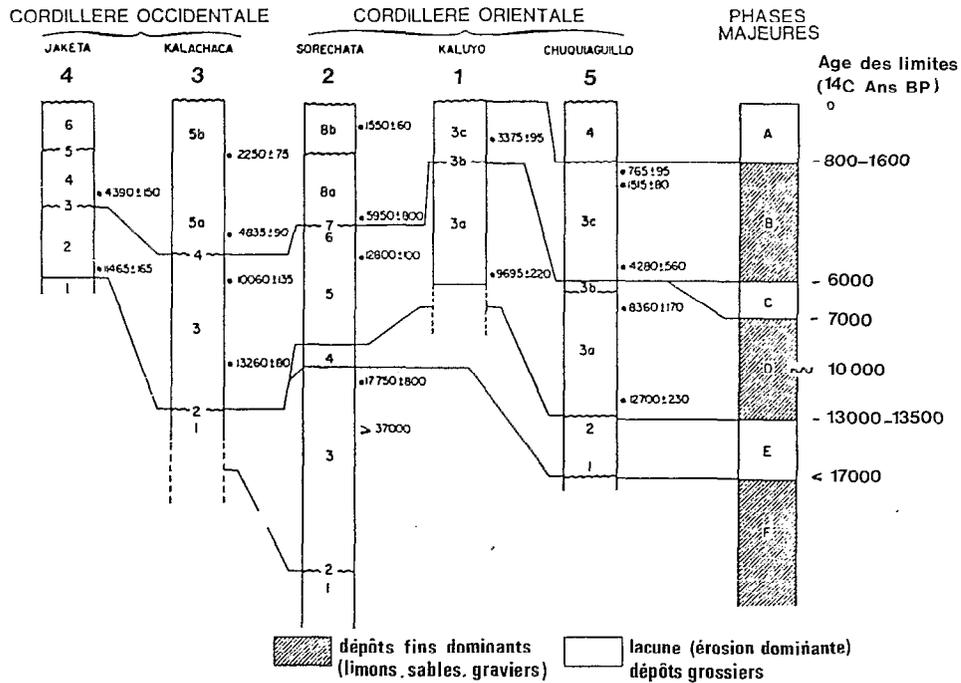


Fig. 2. — Corrélations stratigraphiques entre les sites situés entre 3 900 et 4 200 m d'altitude et les phases hydroclimatiques majeures. Description détaillée in : SERVANT et FONTES, 1984.

sur la presque totalité des anciens fonds des vallées ; elles indiquent une extension des zones en permanence humides.

STRATIGRAPHIE. PHASES PALÉOHYDROLOGIQUES

Une cinquantaine de datations par le ¹⁴C d'échantillons de tourbes à macrorestes végétaux montre que les séquences de dépôt sont synchrones aux erreurs de datations près.

Trois phases majeures d'érosion généralisée sont décelées dans tous les sites étudiés. La première est immédiatement postérieure au dernier maximum glaciaire et se situe entre 17 000 et 13 000 ans B.P., peut-être plus près de 13 000 que de 17 000 ans B.P. Les deux autres sont d'âge holocène, après 1 500 ou 500 ans B.P. Ces phases d'érosion sont liées à des écoulements de crues dans les fonds des vallées et à un ruissellement érosif sur les versants.

Deux phases majeures d'accumulation de sédiments fins sont datées de 13 000-7 500 ans B.P. et 6 000-1 500 ou 500 ans B.P. La première de ces deux phases d'accumulation se subdivise en 3 unités : (1) de 13 000 à 10 000 ans B.P., la sédimentation des fonds des vallées est alimentée par des apports en détritiques relativement fins issus des versants ; les intercalations de tourbes sont présentes mais rares et peu épaisses ; ce faible développement des tourbes indique que les bas fonds en permanence humides ne sont pas largement développés dans les vallées. (2) Une reprise du creusement de rivières est observée localement vers 10 000 ans B.P. (3) Entre 9 500 et 8 000 ans B.P., les tourbières se sont largement développées dans les fonds des vallées et ont ensuite régressé au profit d'une sédimentation d'un milieu qui n'était plus en permanence humide.

ALTITUDE	MORPHOGENESE	PRECIPITATIONS	
		Dec - Avril 80 %	Mai - Dec 20 %
>4300 ± 100	- Pas de ravinement - Tourbières de bas de versant - (et morphogénèse liée au gel en haute altitude)	Neiges domi- nantes	Neiges domi- nantes
<4300 ± 100	- Ravinements de versants - Cônes grossiers de déjection - Creusements et dépôts grossiers dans les vallées	Pluies orageu- ses. Ecoulements de crues.	Neiges domi- nantes (Alt. 3650-3800m) Pluies fines (sauf oct.nov.)
Z.C.I.T. Vents du NE ou d'E.		Vents d'W ou SW (circulation d'Ouest à 500 mb) Episodiquement: circulations mé- ridiennes.	

Fig. 3. — Précipitations et morphogénèse actuelles.

La phase hydroclimatique datée de 6 000 à 1 500 ou 500 ans B.P. est caractérisée par une large extension des tourbières entre 6 000 et 4 500 ans B.P. environ. Des milieux très fluctuants de sédimentation se sont ensuite instaurés dans les vallées ; ils sont marqués par une extension épisodique des tourbières, des reprises locales de l'érosion et du ravinement sur les versants, des épisodes d'assèchement signalés par des tourbes carbonisées...

DONNÉES AUX ALTITUDES INFÉRIEURES À 3 900 m

Les remblaiements du Quaternaire récent sont présents dans la plupart des vallées entre 3 000 et 3 900 m d'altitude. Les dépôts sont des limons gris ou des sables fins, à sols hydromorphes intercalés, où les tourbes sont exceptionnelles. Ils passent au pied des versants à des accumulations plus grossières. Les phases d'accumulation sont donc présentes dans cette tranche d'altitude mais pour le moment seule la séquence holocène, datée de 6 000-5 000 ans B.P. à la base, est bien repérée par les datations au ^{14}C .

ÉLÉMENTS D'INTERPRÉTATION

Le climat actuel des Andes boliviennes est caractérisé par deux types de précipitations :

— Les précipitations d'été (80 % du total annuel) sont liées à la présence de la ZCIT sur la Bolivie. En dessous de 4 200-4 300 m d'altitude, ce sont le plus souvent des pluies orageuses, génératrices d'écoulements de crues et d'un ruissellement érosif sur les pentes. Au-dessus de 4 200-4 300 m, ce sont généralement des neiges ; les versants sont peu ravinés ; une active infiltration des eaux météoriques alimente de nombreuses sources de bas de pente et favorise une large extension des tourbières.

— Les précipitations de mai à novembre ont lieu à une époque de l'année qui est caractérisée par un déplacement de la ZCIT vers l'hémisphère nord. Ces précipitations sont liées à des échanges méridiens épisodiques de masses d'air entre moyennes et basses latitudes. Ce sont le plus souvent des neiges au-dessus de 3 600-3 800 m, ou des pluies fines à plus basse altitude. Quelques orages peuvent avoir lieu à la saison de transition entre l'hiver et l'été.

Ces données de base suggèrent que les phases généralisées d'érosion que nous avons identifiées vers 3 900-4 200 m d'altitude, dans le Quaternaire récent, furent liées aux précipitations orageuses associées à la ZCIT. Celle-ci aurait donc été présente, sur les Andes boliviennes, pendant l'été austral, vers 15 000 ± 2 000 ans B.P., 7 500-6 000 ans B.P. et au cours des derniers siècles, après 1 500 ou 500 ans B.P.

Pour les autres périodes du Quaternaire récent, l'absence de pluies orageuses génératrices d'écou-

lements de crues est démontrée par un ruissellement modéré sur les versants et les accumulations de sédiments fins dans les fonds des vallées. A l'Holocène, et au moins pour les époques postérieures à 6 000 ans B.P., cette absence de pluies orageuses est décelée jusqu'à des altitudes relativement basses (3 000 m). Il est peu probable que les chutes de neige soient étendues jusqu'à ces altitudes. Il faut donc envisager des pluies fines (ou des neiges en montagne vers 4 000 m) pour expliquer l'absence des écoulements de crues. Cela peut s'expliquer par un décalage vers le Nord de la ZCIT par rapport à sa position actuelle pendant l'été austral. Les seules précipitations possibles seraient alors du type de celles que l'on observe de nos jours en hiver. Mais ces précipitations n'ont pas pu être abondantes et une sécheresse très marquée doit être envisagée. Cela est en bon accord avec l'ensemble des données disponibles (bas niveaux lacustres, réduction des glaciers...).

La fin du Pleistocène (13 000-10 000 ans B.P.) est plus difficile à interpréter. Les sites étudiés à 3 900-4 200 m d'altitude indiquent que les écoulements superficiels ne présentaient pas de crues très marquées mais on sait que de très hauts niveaux lacustres ont existé à cette époque dans les bassins de l'Altiplano.

En conclusion, la présence de la ZCIT sur les Andes boliviennes est décelée pendant de brèves périodes du Quaternaire récent (15 000 ± 2 000 ans B.P., 7 500-6 000 ans B.P., 1 500 ou 500 ans B.P.-Actuel). Un décalage de la ZCIT vers le Nord par rapport à sa position actuelle est probable à l'Holocène, entre 10 000 et 7 500 ans B.P., de même qu'entre 6 000 et 1 500 ou 500 ans B.P.

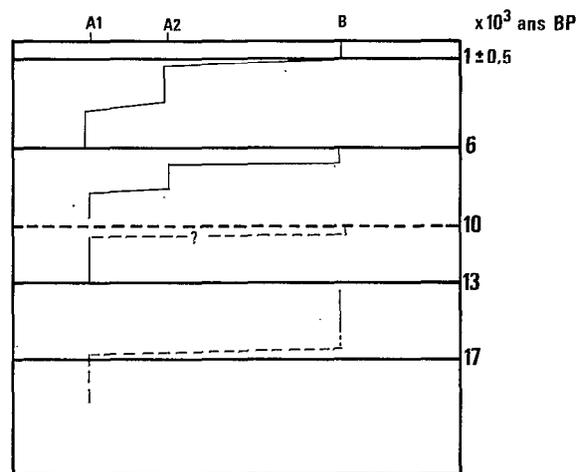


Fig. 4. — Séquences hydroclimatiques (écoulements). A. Pas d'écoulements de crues, précipitations non orageuses. A1 : extension des tourbières. A2 : réduction des tourbières. B. Écoulement de crues. Ravinement des versants. Précipitations orageuses.