

40

**GÉOLOGIE.** — *Variations du régime et de la nature des précipitations au cours des 15 derniers millénaires dans les Andes de Bolivie.* Note (\*) de **Michel Servant, Jean-Charles Fontes, Jaime Argollo et Jean-François Saliège**, présentée par Georges Millot.

La morphogenèse des versants et l'évolution de la sédimentation fluviale des Andes boliviennes témoignent de l'existence de deux régimes bien distincts de précipitations au cours des 15 derniers millénaires. Des périodes à averses pluvieuses orageuses et estivales ont alterné avec des périodes à précipitations neigeuses assez bien distribuées au long de l'année. Les datations par la méthode du  $^{14}\text{C}$  indiquent que ces changements du régime climatique s'opèrent à une échelle de temps de 2 à 3 millénaires au maximum.

*Geomorphology and fluvial sedimentology indicate oscillations of climatic regimen during the Upper Quaternary in the bolivian Andes area. Coarse deposits and active erosion are correlated with tropical summer rains. Organic silty deposits and weak erosion are correlated with more equally distributed precipitations during the year. The climatic regime fluctuated with a periodicity of about 2,000-3,000 years.*

**INTRODUCTION.** — Les climats des régions tropicales sont caractérisés par une saison des pluies centrée sur les mois d'été et par une saison sèche, plus ou moins longue, centrée sur les mois d'hiver. Cette distribution des précipitations est liée à l'évolution des circulations atmosphériques à l'échelle du globe. Il est donc très important de savoir si elle s'est modifiée ou non dans le passé. C'est ce problème que nous aborderons ici sur l'exemple des Andes boliviennes, vers 16-20° de latitude sud. Dans cette région, les oscillations des glaciers et des lacs révèlent d'amples fluctuations du climat au cours du Quaternaire récent ([1], [2]). Elles traduisent les changements des bilans en eau, mais ne donnent pas d'informations sur les facteurs saisonniers du climat. En revanche, la sédimentation fluviale et la morphogenèse des versants dépendent plus largement du régime annuel des précipitations et des écoulements. Elles enregistrent donc des mécanismes [3] que l'on ne peut identifier par la seule étude des bilans.

1. **SÉDIMENTOLOGIE. GÉOMORPHOLOGIE.** — Les vallées des Andes et des hauts plateaux boliviens conservent des remblaiements récents où alternent dépôts fins, organiques, très étendus et dépôts grossiers très mal classés ([4], [5]). Aux pieds des versants, ces remblaiements passent latéralement à des cônes détritiques, alimentés par le ravinement des pentes avec creusement sur les terrains meubles, de formes à parois verticales. Le matériel détritique des cônes présente, comme les terrasses fluviales, des intercalations de limons, d'argiles ou de tourbes qui indiquent l'interruption épisodique des apports en éléments grossiers. Cette interruption s'explique par une moindre érosion des versants. Ceux-ci conservent des témoins de plusieurs surfaces emboîtées de ravinement, ce qui démontre l'alternance de phases d'érosion et de phases de stabilisation pendant le Quaternaire récent.

2. **INTERPRÉTATION PALÉOCLIMATIQUE.** — Dans les Andes boliviennes, les précipitations actuelles sont essentiellement orageuses et estivales. Elles se traduisent par des écoulements de crues. Le ravinement des pentes, très actif, alimente de puissants cônes de déjection. Les rivières creusent leurs lits ou déposent des cailloux et des graviers mal classés. Les particules fines sont évacuées vers l'aval, sauf dans quelques sites, au-dessus de 4 000 m, près des sources permanentes. Les écoulements, alors réguliers, mais freinés par le gel d'hiver, permettent le développement, dans le fond des vallées, d'un tapis végétal dense. Celui-ci retient les argiles et les limons, quelle que soit la pente des profils longitudinaux.

Si l'on transpose ces observations au Quaternaire récent, les dépôts grossiers des cônes et des terrasses fluviales peuvent être associés à des écoulements de crues, dans un contexte climatique à pluies orageuses, saisonnières. Le fait qu'il s'agisse de pluies — et non de

Fonds Documentaire IRD



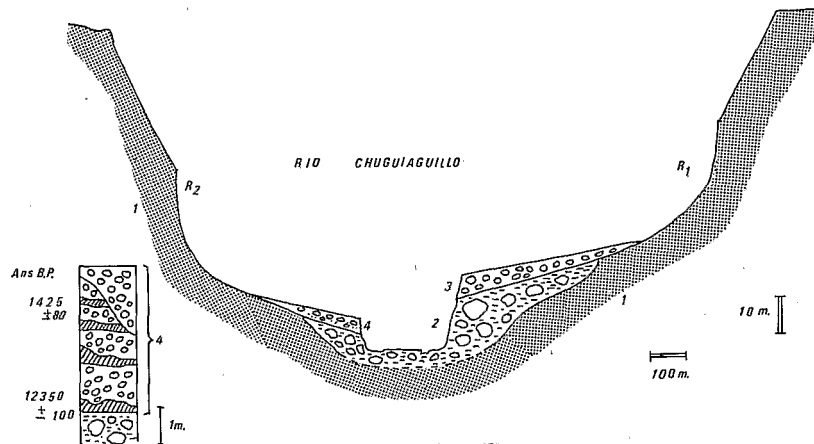
010021848

Fonds Documentaire IRD

Cote : BX 21848

Ex : crues

neiges — montre que les précipitations avaient lieu, comme aujourd'hui, pendant la saison chaude. En revanche, les sédiments fins, organiques, largement étalés dans le fond des vallées, impliquent des écoulements réguliers, à faible débit. Cela est le fait de précipitations bien distribuées, facilement captées par les sols qui ne permettent pas une érosion active des versants. Ici, les précipitations seraient des pluies fines ou plus probablement des neiges. Il faut ajouter que les dépôts fins contiennent en abondance des Diatomées, dont beaucoup d'espèces vivent actuellement dans des eaux froides à des altitudes élevées, au-dessus de 4 500 m ([6], [7]).



Évolution des vallées au Quaternaire récent. Exemple du rio Chuguiaguillo (région de La Paz). 1, Plio-Quaternaire conglomératique et argileux; 2, moraines du dernier pléniglaciaire; 3, cône détritico-argileux associé au ravinement ( $R_1$ ) des versants; 4, cône détritico-argileux associé à de nouvelles phases de ravinement ( $R_2$ ). A gauche : succession lithologique du cône 4 (en grisé : couches limoneuses ou tourbeuses). Les tourbes (32 000-16 000 ans B.P.) antérieures aux moraines n'apparaissent pas ici.

3. CHRONOLOGIE. DATATIONS. — Les moraines du dernier pléniglaciaire, datées de plus de 14 000 B.P. au Pérou [2], surmontent ou remanient localement [4] des tourbes datées de 32 000 à 16 000 ans B.P. environ. Tourbes ou moraines sont recouvertes par des dépôts caillouteux ou des cônes détritico-argileux, eux-mêmes largement antérieurs à 12 300 B.P. (*fig.*). Une sédimentation fluviale grossière, caractéristique comme nous l'avons vu plus haut, de pluies orageuses estivales, s'est donc développée pendant les premières étapes du recul des glaciers. A Charaña, dans la Cordillère Occidentale, une terrasse limoneuse très étendue [5] est datée vers la base de 11 500 ans B.P. environ. Cette date correspond à une nouvelle avancée des glaciers qui a culminé vers 11 000 ans B.P. dans la Cordillère de Vilcanota au Pérou [2].

Les basses terrasses holocènes, bien conservées dans toutes les Andes boliviennes et en particulier sur l'Altiplano, montrent des alternances de limons à matière organique et de dépôts caillouteux, souvent séparés par des surfaces de ravinement. Les âges radiométriques obtenus sur les couches limoneuses organiques se regroupent, en plusieurs domaines, vers 10 000-7 800 ans, 4 500-3 000 et 1 000-1 500 ans B.P. Les principales phases holocènes à sédimentation fine, attribuées à des précipitations neigeuses régulières, se situeraient donc aux alentours de ces dates, mais il est difficile d'en préciser les relations chronologiques avec les pulsations glaciaires d'assez grande amplitude qui ont eu lieu depuis 10 000 ans : ces pulsations ne sont pas encore datées avec précision ([2], [4]).

TABLEAU

Liste des tourbes datées par le  $^{14}\text{C}$ 

N°	Lat./Long.	Ans B.P.	Localisation stratigraphique
Y 121. ....	16°22'S 68°16'W	31 900 ± 800	Terrasse Sorechata II [4]
Y 124. ....	16°22'S 68°16'W	17 750 ± 400	Base et sommet d'une tourbe ravinée par des dépôts grossiers
J. A. 2. ....	16°22'S 68°17'W	16 000 ± 135	Terrasse Sorechata II [4] Tourbe ravinée par des dépôts grossiers
79-4. ....	17°21'S 65°47'W	26 000 ± 1 100	Base d'une série argilo-limoneuse ravinée par les moraines du dernier pléniglaciaire
79-2 A. ....	17°21'S 65°47'W	16 610 ± 130	Tourbe remaniée à la base des moraines du dernier pléniglaciaire
464. ....	16°27'S 68°06'W	12 350 ± 100	Tourbe à la base d'un cône détritique ( <i>fig.</i> )
MB 2. ....	17°33'S 69°17'W	11 465 ± 165	Base d'une terrasse limoneuse (Charaña) [5]
469. ....	16°28'S	9 820 ± 120	Base d'une basse terrasse limoneuse
197. ....	16°55'S 68°25'W	9 435 ± 110	
198. ....	16°55'S 68°25'W	7 730 ± 125	
454. ....	15°51'S 68°37'W	4 540 ± 120	
455. ....	15°51'S 68°37'W	3 450 ± 100	} Parties inférieure et moyenne d'une basse terrasse tourbeuse
J. A. 8. ....	16°22'S 68°10'W	1 480 ± 80	
465. ....	16°27'S 68°06'W	1 425 ± 80	} Dernière phase de sédimentation fine et organique
79-7. ....	17°21'S 65°45'W	1 000 ± 90	

CONCLUSIONS. — (1) Le climat des Andes boliviennes a oscillé, depuis 15 000 ans, entre deux situations extrêmes, caractérisées par des pluies orageuses estivales ou, au contraire, par des précipitations fines ou neigeuses, plus régulièrement réparties au cours de l'année. Ce sont donc les traits, actuellement les plus essentiels des environnements tropicaux, qui se sont modifiés pendant le Quaternaire récent, dans les Andes. Il en est de même dans d'autres régions, en Afrique [8].

(2) Les datations radiométriques précisent que ces oscillations se sont succédé à une échelle de temps assez courte, de l'ordre de 2 à 3 millénaires.

(3) Les données stratigraphiques disponibles suggèrent que les avancées glaciaires pourraient être associées aux précipitations régulières et neigeuses, le recul des glaces étant lié aux phases de précipitations estivales.

(\*) Remise le 27 avril 1981.

[1] M. SERVANT et J. Ch. FONTES, *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, 10, n° 1, 1978, p. 5-23.

[2] J. H. MERCER et M. PALACIOS, *Geology*, U.S., 5, n° 10, 1977, p. 600-604.

[3] M. SERVANT et R. VILLARRCEL, *Comptes rendus*, 288, série D, 1979, p. 665.

- [4] J. ARGOLLO, *Tesis de Grado*, Universidad de La Paz, Departamento de Geociencias, 1980, 81 p.
- [5] M. BLANCO, *Tesis de Grado*, Universidad de La Paz, Departamento de Geociencias, 1980, 104 p.
- [6] S. SERVANT-VILDARY, *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, 10, n° 1, 1978, p. 25-35.
- [7] S. SERVANT-VILDARY, *Sixth Intern. Symp. on Living and Fossil Diatoms*, Budapest, 1980 (sous presse).
- [8] M. SERVANT et S. SERVANT-VILDARY, *The Sahara and the Nile*, M. A. J. WILLIAMS, éd., A. A. Balkema, Rotterdam, 1980, p. 133-162.

M. S. et J. A. : *Adresse actuelle : Laboratoire de Géologie du Quaternaire,  
Centre universitaire de Luminy, Case 907, 13288 Marseille Cedex 9;*

J. Ch. F. et J. F. S. : *Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie isotopique,  
Université de Paris-Sud, 91405 Orsay Cedex.*