

MODIFICATIONS DES ENVIRONNEMENTS CLIMATIQUES D'UNE HAUTE MONTAGNE TROPICALE (ANDES BOLIVIENNES) AU COURS DES 30 DERNIERS MILLENAIRES. COMPARAISON AVEC L'AFRIQUE DE L'OUEST.

M.SERVANT, J.ARGOLLO

Les environnements actuels des Andes boliviennes (16° - 21° S) sont la résultante de deux gradients de température et de précipitations : un gradient altitudinal qui s'exprime par un étagement de la végétation, un gradient latitudinal entre la forêt dense humide au Nord (Amazonie) et les régions sèches du Sud (bassins à évaporites de l'Altiplano, plaines du Chaco). Les précipitations ont lieu, en majorité (80 %), de décembre à avril (été austral), en relation avec une migration vers le sud des vents d'Est intertropicaux. La saison sèche, de mai à novembre, est associée à une position proche de l'équateur des vents d'ouest de l'hémisphère austral en altitude (niveau 500 mb). Elle est atténuée par des précipitations épisodiques, parfois abondantes, qui sont liées à des échanges méridiens de masses d'air entre moyennes et basses latitudes (advections d'air polaire froid).

La reconstitution des modifications du climat au cours des 30 derniers millénaires s'appuie sur l'étude des sédiments lacustres, fluviatiles ou glaciaires du Quaternaire récent. Ces sédiments, prélevés par sondages ou sur des affleurements naturels, sont datés par la méthode du ^{14}C (80 datations sont actuellement disponibles). Parallèlement à cette étude sur le Quaternaire, on procède à une analyse détaillée de quelques marqueurs hydrologiques, écologiques ou géochimiques du climat actuel.

L'étagement des environnements est défini par la distribution, en fonction de l'altitude et de la température des associations végétales (plantes aquatiques ou terrestres, pollens, diatomées) et des teneurs isotopiques $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ de la

matière organique. Les relations statistiques entre environnement, altitude et température actuels sont appliquées aux associations végétales fossilisées dans les sédiments quaternaires de même qu'à la composition isotopiques de la matière organique ancienne. Elles permettent une évaluation quantitative des paléotempératures. Cette méthode a été appliquée à des dépôts holocènes (10000-500 ans B.P. environ) d'une vallée située entre 3810 et 5000 m d'altitude (Hichu Kkota), au nord-est du lac Titicaca.

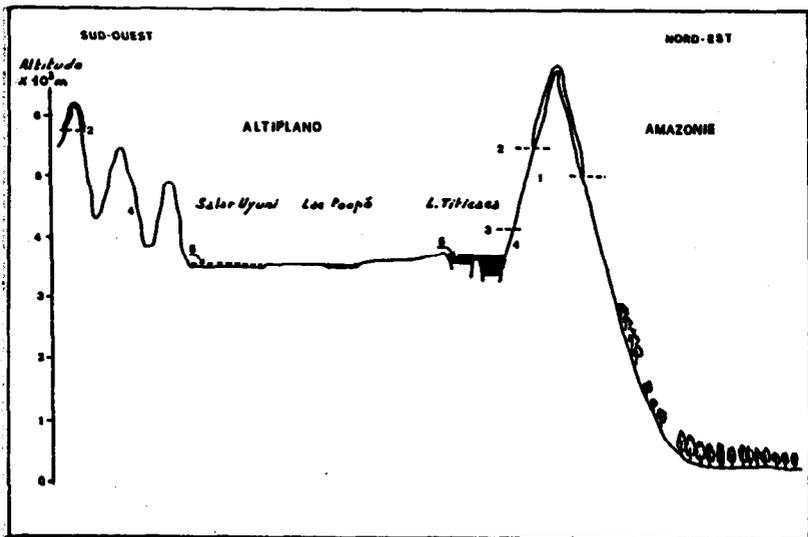


Figure 1 : Profil NE-SW des Andes boliviennes et localisation des marqueurs climatiques utilisés dans l'étude du Quaternaire récent. (1) Etagement de la végétation en haute altitude ; (2) limites des glaciers ; (3) limite supérieure du ravinement des versants ; (4) dépôts fluviatiles et régimes des écoulements ; (5) Niveaux lacustres et paléosalinités des milieux aquatiques.

Une limite altitudinale se trouve définie, par la géomorphologie, à 4200 m (plus ou moins 100m). En dessous de cette altitude, les pluies orageuses sont dominantes ; elles favorisent un ravinement très actif des versants et une sédimentation grossière, liée à des écoulements de crues, dans les fonds de vallées. Aux altitudes supérieures, les neiges sont fréquentes, le ravinement est faible ; les nappes souterraines, alimentées par une infiltration plus active, entretiennent une humidité permanente dans de nombreuses dépressions ; celles-ci sont le siège d'une sédimentation fine et organique (tourbières). L'analyse des dépôts fluviatiles du Quaternaire récent et des versants montre que la limite altitudinale entre les pluies et les neiges a oscillé autour de sa position actuelle en relation avec des variations de température et peut-être avec une plus grande abondance des précipitations d'hiver.

L'étude des moraines des anciennes vallées glaciaires permet d'identifier les fluctuations des glaciers au Quaternaire récent. Ces fluctuations paraissent liées, plus à des modifications de la hauteur moyenne des précipitations qu'à des variations de la température.

Les bassins de l'Altiplano (Titicaca, Poopo, Uyuni...) sont bordés par d'anciens rivages lacustres quaternaires indiquant que les plans d'eau se sont élevés de plusieurs dizaines de mètres au dessus de leurs positions actuelles. Les sédiments du fond du lac Titicaca, prélevés par sondages, révèlent des épisodes d'abaissement du niveau lacustre. Ces oscillations sont associées à des modifications de la faune d'Ostracodes qui s'expliquent par d'amples variations des teneurs en sels dissous.

Dans l'état actuel des recherches, les principaux résultats disponibles sont les suivants :

30.000 - 10.000 ans B.P. Les lacs de l'Altiplano ont culminé à de très hauts niveaux, d'abord entre 27.000 et un peu

moins de 22.000 ans B.P., ensuite entre 13.000 (plus ou moins 1000 ans) et 11.000 (plus ou moins 500 ans B.P.). Les deux phases d'extension des lacs sont séparées par un abaissement des plans d'eau. Les glaciers ont atteint leur extension maximale après 28.000 ans B.P. (ou 16.500 ans B.P. ?) et ont ensuite reculé jusqu'à des limites proches de leurs limites actuelles, vers 10.000 ans B.P. Ce recul est compliqué par une série de phases d'avancées mineures ou de stabilisation des fronts glaciaires dont la dernière est datée de 11.000 ans B.P. au Pérou. La limite altitudinale entre les précipitations neigeuses et les pluies se situait en dessous de sa position actuelle, sauf pendant une brève période (15.000, plus ou moins 2000 ans B.P.) caractérisée, par un ravinement actif des versants jusqu'à 4200 (plus ou moins 100 m d'altitude). La prédominance des pluies jusqu'à cette altitude ne peut s'expliquer que par un réchauffement du climat, les températures étant alors proches de leurs valeurs actuelles.

10.000 - 2.000 ans B.P. (plus ou moins 500 ans). Cette période est caractérisée par un déficit hydrologique très accentué à toutes les altitudes : les glaciers sont restés proches de leurs limites actuelles et ont pu être moins étendus, le niveau du lac Titicaca s'est abaissé d'au moins 60 m par rapport à son altitude actuelle, des dunes éoliennes aujourd'hui colonisées par la forêt se sont mises en place sur le piedmont amazonien, vers 18°S. Plusieurs phases climatiques froides sont décelées en haute altitude ; elles ont culminé à l'Holocène récent, notamment vers 3.000 ans B.P. (les températures étaient alors inférieures de 3 à 4°C par rapport à leurs valeurs actuelles). La limite altitudinale entre les pluies et les neiges se situait en dessous de sa position actuelle, à l'exception de brèves périodes (notamment à 7.000 ans B.P., plus ou moins 1000 ans.)

2000 ans B.P. (plus ou moins 500 ans) - Actuel.
L'instauration des conditions climatiques actuelles est marquée par une remontée des lacs de l'Altiplano, par une restauration

de la forêt dense en basse altitude et par une reprise du ravinement des versants jusqu'à 4200 m d'altitude (plus ou moins 100 m d'altitude). Une dernière oscillation climatique est décelée par des avancées glaciaires qui ont culminé entre 500 et moins de 200 ans B.P.

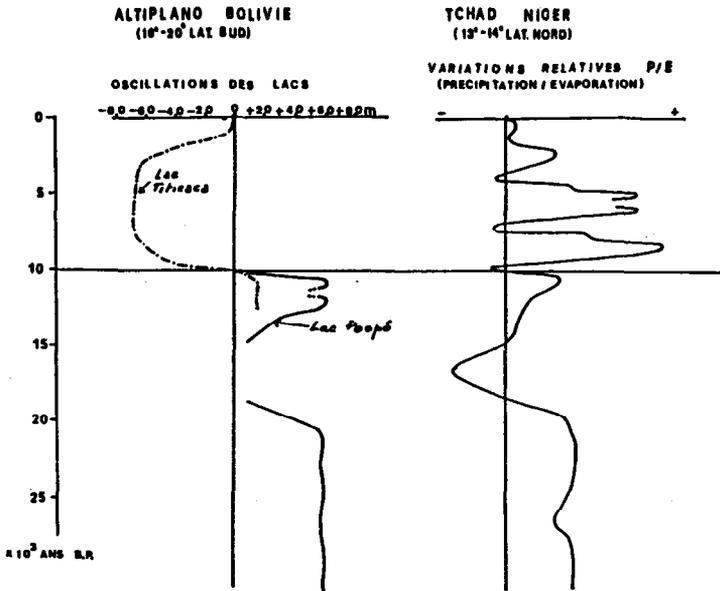


Figure 2 : Comparaison entre les variations du niveau des lacs de l'Altiplano bolivien et les variations du rapport précipitation / évaporation dans le bassin du Tchad (le rapport P/E est établi à partir d'une étude des oscillations lacustres).

La comparaison des données dégagées en Bolivie (16°-21°S) avec celles qui ont été établies en Afrique de l'Ouest, notamment au Tchad (13°-14°N) montre que les courbes enveloppes des variations des bilans lacustres sont parallèles et approximativement synchrones au nord et au sud de l'équateur pendant la dernière époque glaciaire, entre 30.000 et 10.000 ans B.P. Par contre, les bilans hydrologiques ont évolué de manière opposée depuis 10.000 ans B.P. ; les hauts niveaux lacustres

décelés au Tchad vers 8000, 6000 et secondairement 3000 ans B.P. sont synchrones d'un abaissement du niveau du lac Titicaca et d'une dégradation de la forêt dense sur le piedmont amazonien (18°S) ; inversement la désertification du Sahara méridional et la sécheresse croissante du Sahel au cours des deux derniers millénaires coïncide chronologiquement avec une amélioration des bilans en eau en Bolivie.

BIBLIOGRAPHIE

Bolivie

Cahiers ORSTOM, 1978, Sér. Geol. 10, 1. Cah. ORSTOM, 1984, Sér. Géol. 14, 1.

GOUZE Ph. et al., Etapes majeures des oscillations glaciaires au cours des 20 derniers millénaires, proposé à C.R.Acad.Sc., Paris.

SERVANT M. et al, 1981 - C.R.Acad.Sc. Paris, sér.2, 217, 1295-1297.

Afrique de l'Ouest.

MALEY J., 1981 - Trav. et Doc. ORSTOM, n°129.

MALEY J., 1986 - Fragmentation et reconstitution de la forêt dense humide ouest-africaine au cours du Quaternaire récent, Résumé, symposium INQUA, Dakar, Av.1986.

SERVANT M., 1973 - Thèse université Paris VI, Trav. et Doc. ORSTOM, n°159, 1983.

SERVANT - VILDARY, 1978 - Trav. et Doc. ORSTOM, 2 vol., n°84.

LEZINE A.M., 1986 - Paléohydrologie et Paléoenvironnements d'un lac sahélien à l'Holocène (Guiers, Sénégal), Résumé, Symposium INQUA, Dakar, Av.1986.