

mosphériques, notamment les convections, peuvent également être pluvigènes.

Il est à remarquer l'influence positive très nette du lac Titicaca sur les précipitations, tandis que les salars ont une influence négative pour les raisons d'albedo mais aussi de possibilités de recyclage de l'eau entre le sol et l'atmosphère.

LES BILANS HYDROLOGIQUES

1. Le lac Titicaca reçoit annuellement $8,9 \times 10^9 \text{ m}^3$ des tributaires, $8,3 \times 10^9 \text{ m}^3$ par les pluies, soit deux parts égales. L'évaporation assure $14,2 \times 10^9 \text{ m}^3$ des pertes, tandis que l'exutoire qui rejoint le lac Poopo assure une perte superficielle de $0,39 \times 10^9 \text{ m}^3$. Une infiltration de $1,66 \times 10^9 \text{ m}^3$ constituerait le complément. Les niveaux du lac sont très sensibles aux variations du climat et varient dans un intervalle de plus de 5 mètres depuis une cinquantaine d'années.

2. Le système hydrologique de l'Amazonie bolivienne est remarquable par ses dimensions. A la frontière du Brésil, le Rio Madera évacue $536 \times 10^9 \text{ m}^3$, soit l'équivalent de la moitié du débit du Congo. Chacun de ses deux formateurs, le Beni et le Manoré, est plus abondant que la Volga, fleuve le plus important d'Europe, ou que le Niger, deuxième fleuve d'Afrique.

LES SYSTÈMES HYDROLOGIQUES

Ils sont très différents selon les bassins versants : glaciaires pour certaines têtes de bassin, semi-arides vers l'aval puis tropicaux. Au pied des Andes, l'hydrogramme est dentelé de multiples crues.

Dans la plaine, elles se fondent en une crue unique d'autant plus décalée par rapport à la saison des pluies qu'elle progresse vers l'aval. Cette crue y est écrétée, régularisée par les inondations qui couvrent chaque année durant plusieurs mois des dizaines de milliers de kilomètres carrés dans la plaine herbacée à forêt-galerie et dans la forêt dense.

L'importance de telles inondations, liées à des conditions géomorphologiques stables au-delà du Quaternaire est à prendre en considération pour appréhender le phénomène de recyclage de la vapeur, même en l'absence de forêt dense, et son influence sur le climat d'une partie de l'Amérique du Sud.

Les Andes boliviennes fournissent annuellement $132 \times 10^9 \text{ m}^3$, soit 25 % de l'apport global au Madera. Une partie des Andes péruviennes, la plaine orientale et le bouclier brésilien assurent le complément évalué à la formation du Madera. Le Rio Grande, le Beni et les bassins dominant le Manoré fournissent respectivement dans les Andes 1,5, 14 et 10 % de l'apport au Madera.

CONCLUSION

La compréhension des valeurs des flux, des températures et de leur modalité de variations spatio-temporelles, ainsi que la compréhension des mécanismes qui les génèrent sur une période pluriannuelle, sont des éléments indispensables pour caler des modèles climato-hydrologiques à applications multiples.

Ces modèles représentent notamment une des voies qui devra être développée dans le cadre de l'étude des paléoclimats et de la paléohydrologie.

Oscillations et paléosalinités des lacs du Quaternaire récent en Bolivie

D. WIRRMAN⁽¹⁾, P. MOURGUIART⁽²⁾

Au cours des 30 derniers millénaires, les lacs de l'Altiplano bolivien ont été caractérisés par deux très hauts niveaux lacustres (plus de 100 m dans les bassins méridionaux) avant d'enregistrer un bilan hydrologique négatif durant l'Holocène (jusqu'à moins 50 m pour le lac Titicaca).

LE PLÉISTOCÈNE TERMINAL

Dans les bassins sud de l'Altiplano, les paléorivages, soulignés par des encroûtements stromatolitiques, témoignent de deux périodes majeures de très hauts niveaux, respectivement nommées Minchin entre 27 000 et 22 000 environ, et Tauca entre 13 500 et 11 500 ans B.P., séparées par un épisode de bas niveaux (fig. 1).

(1) Mision ORSTOM, Casilla 8714, La Paz, Bolivia (Programme GEOCTT).

(2) Laboratoire de Géologie et Océanologie, Université Bordeaux I, F 33405 Talence Cedex.

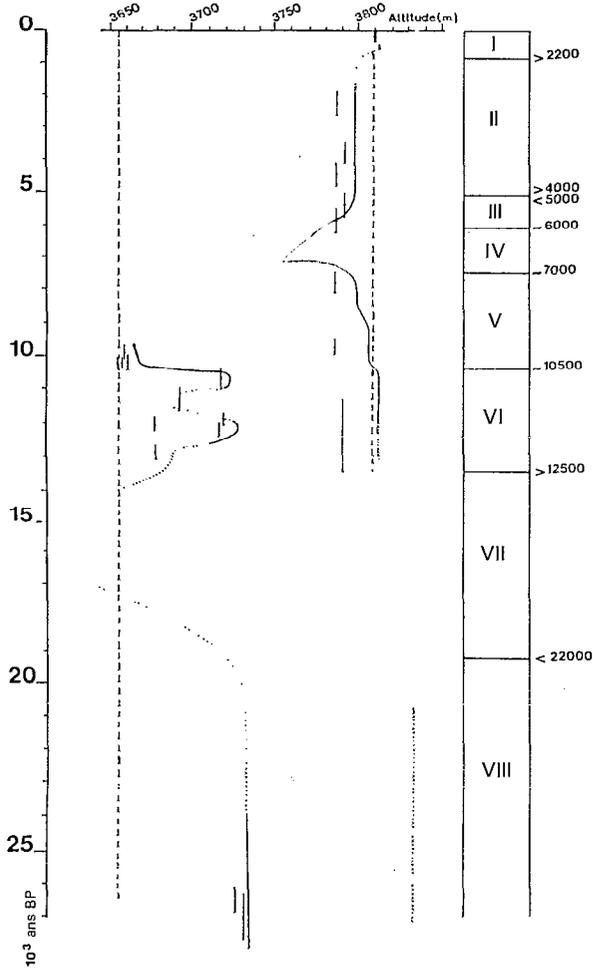


Fig. 1. — Oscillations des plans d'eau depuis 30 000 ans B.P.

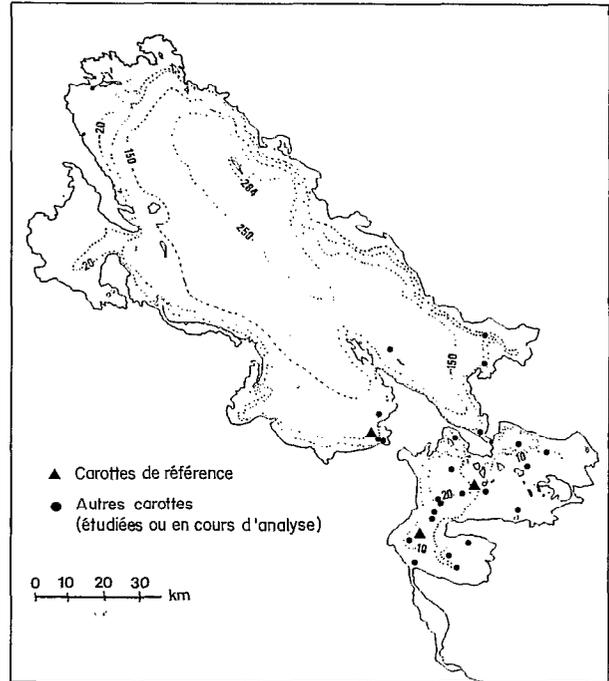


Fig. 2. — Localisation des carottes dans le lac Titicaca.

L'HOLOCÈNE

L'étude des variations des niveaux lacustres après 10 000 ans B.P. est réalisée dans le lac Titicaca, sur la base de carottages (fig. 2) prélevés aussi bien dans le bassin nord du lac (profondeur moyenne de 135 m) que dans le bassin sud ou petit lac (profondeur moyenne de 9 m).

La séquence lithologique type peut être illustrée dans le petit lac par la carotte TD1 (fig. 3), prélevée par 19 m de fond et longue de 537,5 cm.

Six unités lithologiques majeures ont été regroupées en quatre phases sédimentologiques, au vu de l'analyse sédimentaire et minéralogique en accord avec la distribution des faunes d'Ostracodes :

— Unités IV - de 537,5 à 155 cm : sédiment argileux, compact, pauvre en carbonate et en matière organique, sans ostracofaune. De la base vers le sommet les concrétions suivantes sont obser-

vées : vivianite, greigite puis pyrite. A partir de 170 cm, 99 % de la fraction supérieure à 63 microns sont représentés par des spicules de spongiaires.

— Unité III - de 155 à 132 cm : niveau gypseux à faune d'Ostracodes de milieu salé.

— Unité II - de 132 à 84,5 cm : sédiment argilo-carbonaté organique très riche en restes de macrophytes calcifiés. La faune d'Ostracodes est représentative d'un milieu encore salé avec des épisodes d'eaux douces.

— Unité I - de 84,5 à 0 cm : sédiment organo-carbonaté riche en coquilles de gastéropodes. Les Ostracodes caractérisent un milieu d'eau douce avec ponctuellement des apports d'eaux plus salées par des rios.

En résumé la base de l'unité IV traduit un milieu plus profond que l'actuel qui évolue progressivement jusqu'à l'assèchement du lac (unité III). L'unité II correspond à la remise en eau du bassin suivi d'une période de stabilisation du plan d'eau en dessous du niveau lacustre actuel ; le milieu est en voie de dessalement. L'unité I correspond à l'établissement des conditions actuelles.

En conclusion les variations des niveaux lacustres au cours des 30 derniers millénaires comprennent huit étapes principales (fig. 1) :

— avant 22 000 ans B.P., période de hauts niveaux lacustres, caractérisés suivant les régions, par des eaux douces ou salées ;

— de 22 000 à 13 000 ans B.P., forte baisse de niveau conduisant à la précipitation de couches de sel dans

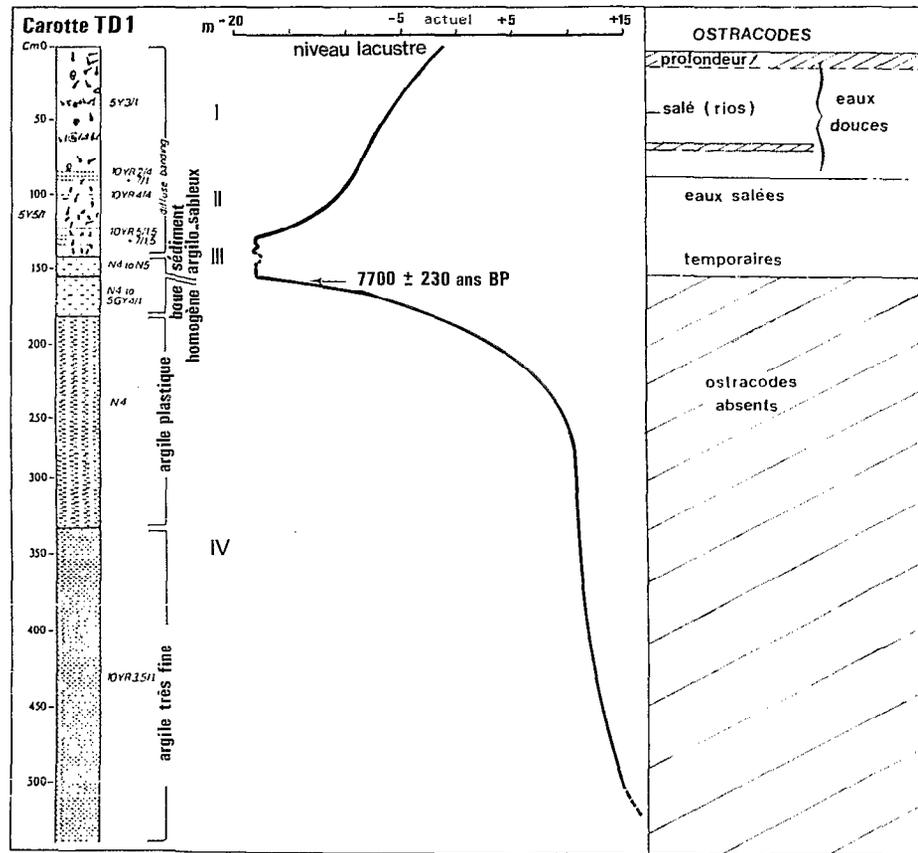


Fig. 3. — Description de la carotte TD1.

les bassins méridionaux. Celles-ci sont observées par sondage, à 18 m de profondeur sous la surface du salar de Uyuni ;

— de 13 000 à 10 500 ans B.P., hauts niveaux lacustres dans un milieu salé, avec des apports d'eaux douces ;

— de 10 500 à 7 000 ans B.P., bas niveaux lacustres et fortes paléosalinités au Sud ; au Nord (lac Titicaca) le milieu reste d'eau douce, mais le plan d'eau est en dessous de son altitude actuelle ;

— de 7 000 à 6 000 ans B.P., dans le bassin nord

établissement d'un très bas niveau lacustre avec précipitation de gypse ;

— de 6 000 à 4 000 ans B.P. environ (phase III), remontée rapide du plan d'eau, puis stabilisation associée à un dessalement du lac ;

— de 4 000 ans à environ 2 200 ans B.P. poursuite de la remise en eau du bassin ;

— après 2 200 ans B.P. période comparable à l'Actuel, avec selon les données historiques, une légère hausse probable de niveau du lac vers la fin du 16^e siècle.

BIBLIOGRAPHIE

FERNANDEZ (G.). 1980. — Evolución cuaternaria de las cuencas lacustres del Sud Oeste Boliviano, en la región de « Mina Corina » (Sud Lipez) Tesis de Grado, UMSA, La Paz, Bolivia, 103 p. + annexes.

MOURGUIART (Ph.), CARBONEL (P.), PEYPOUQUET (J.-P.), WIRRMANN (D.) et VARGAS (C.), (*sous presse*). — Ostracodes in the lake Huaynamarca (Bolivia) as indicators of late quaternary paleohydrology. *Hydrobiologia*.

OLIVEIRA ALMEIDA (L.F.), 1986. — Estudio sedimentológico de testigos del lago Titicaca. Implicaciones paleoclimáticas. Tesis de Grado. UMSA, La Paz, Bolivia, 134 p.

PIERRE (J.-F.) et WIRRMANN (D.), 1986. — Diatomées et sédiments holocènes du lac Khara Kkota (Bolivie). *Géodynamique* 1 (2) : 135-145.

SERVANT (M.), 1986. — Le programme GEOCIT : une comparaison Afrique de l'Ouest/Amérique Sud-Équatoriale (30 000-0 ans B.P.), p. 439-440 in INQUA/1986 « Global Change in Africa during Quaternary. Past-Present-Future » H. FAURE, L. FAURE et E.S. DIOP (éd.).

SERVANT (M.) et FONTES (J.-Ch.), 1978. — Les lacs quaternaires

des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cah. ORSTOM sér. Géol.*, X, 1 : 9-24.

SERVANT-VILDARY (S.), 1978. — Les diatomées des dépôts lacustres quaternaires de l'Altiplano bolivien. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, X, 1 : 25-36.

VARGAS (C.), 1982. — La sédimentation lacustre subactuelle d'un bassin intramontagneux : le lac Titicaca (Partie lac Huinaymarca, Bolivie). Thèse 3^e cycle, Univ. Bordeaux I, 91 p.

WIRRMANN (D.) et OLIVEIRA ALMEIDA (L.F.), 1986. — Low holocene level (7 700 to 3 650 years B.P.) of lake Titicaca (Bolivia, South America). *Paleogeogr. Paleoclimat. Paleoecol.* (sous presse).

Les Ostracodes actuels de l'Altiplano bolivien Modèle de répartition

P. MOURGUIART ⁽¹⁾

Cette analyse basée sur l'ostracofaune de plus de 200 échantillons de surface des lacs Titicaca et Poopo (Bolivie) est la première du genre.

LE LAC TITICACA

Dans le lac Titicaca, la zonation des macrophytes (fig. 1 d'après COLLOT, 1980) est en étroite relation avec des paramètres du milieu tels que morphologie

du fond et/ou nature du substrat. Les sédiments sont essentiellement biogéniques : macrophytes et organismes calcaires (fig. 2 d'après BOULANGE *et al.*, 1981). Les faciès riches en matière organique se localisent d'une part en milieu profond, d'autre part en zone littorale (moins de 4,5 m de profondeur) et résultent d'une production autochtone importante (plancton et plantes aquatiques). Les rivières n'amènent quasiment que des matériaux fins (argiles) avec plus localement des sables et des silts.

Cette zonation bathymétrique ainsi que la nature des sédiments superficiels sont également les facteurs

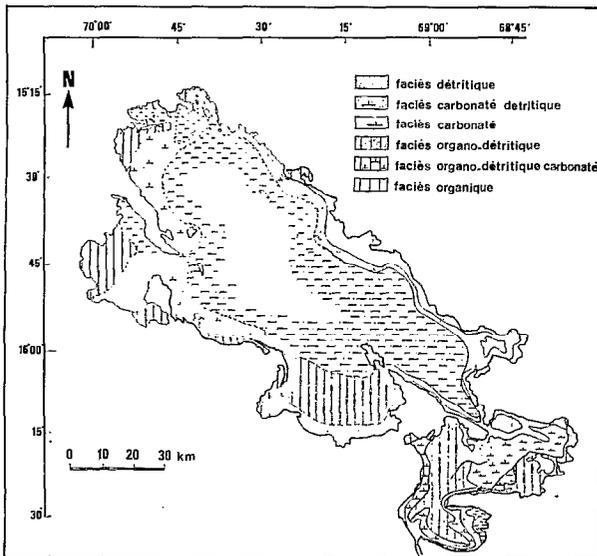


Fig. 1. — Répartition des sédiments superficiels dans le lac Titicaca.

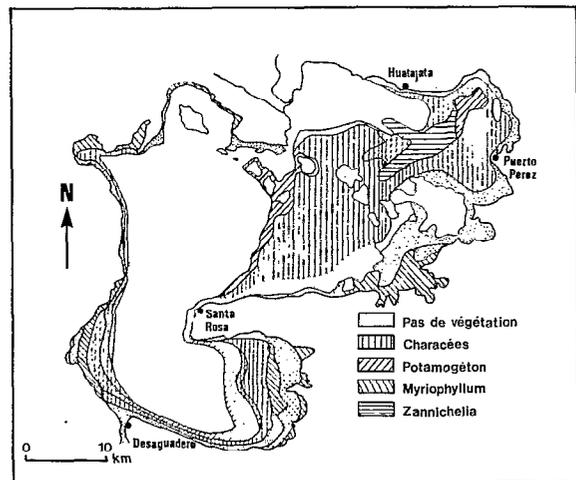


Fig. 2. — Zonation des macrophytes dans le petit lac Titicaca.

(1) Laboratoire de Géologie et d'Océanologie, Université Bordeaux I, F 33405 Talence Cedex (Programme GEOCIT).