

MORPHOLOGIE, FORMATION ET ASPECTS SÉDIMENTOLOGIQUES DU LAC POOPÓ (BOLIVIE)

B. BOULANGÉ*, L. A. RODRIGO**, C. VARGAS**

* *Mission O.R.S.T.O.M. - Bolivie. Cajón Postal 8714, La Paz, Bolivia*

** *Instituto de Geodinamica y Limnologia. U.M.S.A. La Paz, Bolivia*

RÉSUMÉ

Le Lac Poopó fait partie du bassin endoréique de l'Altiplano Bolivien. Les caractéristiques morphométriques du lac et de son bassin versant, ainsi que quelques aspects de la sédimentologie actuelle sont définis, principalement la distribution de quatre types de sédiments. Une carte bathymétrique correspondant à la période des hautes eaux 1977, et des cartes de répartition du carbonate de calcium et de la matière organique, sont jointes.

RESUMEN

El Lago Poopó constituye una parte de la cuenca endoréica del Altiplano Boliviano. Los datos de morfometría del lago y de su cuenca de drenajes, también unos aspectos de sedimentología actual son definidos, principalmente la distribución de cuatro tipos de sedimentos. Una mapa de batimetría del periodo de aguas altas 1977, y mapas de distribución de carbonato de calcio y materia orgánica son adjuntadas.

MORPHOLOGY, FORMATION AND SEDIMENTOLOGICAL ASPECTS OF POOPO LAKE (BOLIVIA)

ABSTRACT

The Lake Poopo is part of the endoreic basin of the Bolivian Altiplano. The morphometric characteristics of the lake and some actual sedimentological aspects are defined. Four kinds of sediments are made out. A bathymetric map corresponding to a high lake level and maps of calcium carbonate and organic material are joined.

МОРФОЛОГИЯ, ОБРАЗОВАНИЕ И СЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЗЕРА ПООПО (БОЛИВИЯ)

РЕЗЮМЕ

Озеро Поопо принадлежит к бессточному бассейну боливийского Альтиплано. Устанавливаются морфометрические характеристики озера и его водосбора, а также некоторые аспекты современной седиментологии, главным образом распределение четырех типов отложений. Приложены батиметрическая карта, соответствующая периоду высокого уровня воды в 1977 г. и карты распределения углекислого кальция и органического вещества.

INTRODUCTION

La Cordillère des Andes se scinde au nord de la Bolivie en une Cordillère Orientale et une Cordillère Occidentale qui s'ouvrent largement et délimitent ainsi une grande unité morphologique dénommée « Altiplano » ou zone des hauts plateaux andins. L'Altiplano bolivien forme un système endoréique qui comprend (cf. fig. 1) :

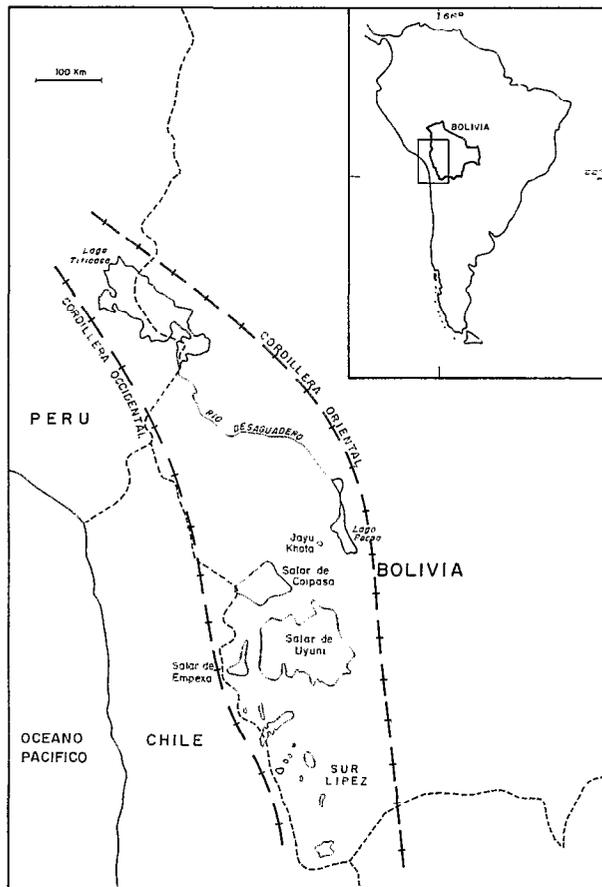


Fig. 1. — Carte de localisation de l'Altiplano Bolivien.

- au nord le bassin du lac Titicaca
- au centre le bassin du lac Poopo
- au sud la zone des salars (Salars de Coïpasa et d'Uyuni et les salars du sud-Lipez).

La relation de continuité existant entre ces unités par le Rio Desaguadero qui assure la liaison des lacs Titicaca et Poopo, et l'ouverture du bassin du

lac Poopo sur le salar de Coïpasa montre l'intérêt d'une étude géochimique de l'ensemble d'un tel système.

Le lac Poopo s'insère morphologiquement et géochimiquement comme intermédiaire entre le lac Titicaca (BOULANGÉ ; RODRIGO, 1976), et la zone des salars (RISACHER, 1978). Dans cette note nous précisons la morphologie de ce lac, son mode de formation et fournirons quelques aspects de la sédimentation actuelle. Par ailleurs, seront traités les problèmes de la géochimie des eaux (CARMOUZE *et al.*, 1978) et du développement et de la répartition des diatomées actuelles (SERVANT-VILDARY, 1978).

LE BASSIN VERSANT DU LAC POOPO (cf. fig. 2)

Le bassin versant se situe entre les coordonnées suivantes : $66^{\circ}22'$ et $70^{\circ}5'$ de longitude Ouest, $16^{\circ}16'$ et 20° de latitude Sud (1). Limitant au nord le bassin versant du lac Titicaca, la ligne de partage des eaux se poursuit sur l'Altiplano pour rejoindre à l'est la partie de la Cordillère Orientale appelée Cordillère de Asanaques. Au nord-ouest le bassin est limité par la Cordillère Occidentale, à l'ouest et au sud la limite est marquée par l'Altiplano par une série de sommets séparant les bassins du lac Poopo et du salar de Coïpasa. On peut noter que cette ligne ne se referme pas à proximité de l'extrémité sud du bassin et bien que n'apparaisse aucune trace récente d'écoulement de surface il est à peu près certain qu'une partie des eaux du lac Poopo rejointe par infiltration le rio Lacajahuira et le salar de Coïpasa. Au reste, certaines cartes anciennes mentionnent une hydrographie de surface établissant cette relation (2). Il est établi avec certitude que lors de la dernière extension lacustre, lac Tauca (SERVANT, 1977 a), il existait une communication, relativement étroite, entre les lacs occupant les bassins actuels du lac Poopo et du salar de Coïpasa.

La superficie de l'ensemble du bassin versant est d'environ $55\ 000\ \text{km}^2$. Son point culminant est le Cerro Sipikota ($5\ 449\ \text{m}$).

Le réseau hydrographique est entièrement axé sur le Rio Desaguadero, exutoire du lac Titicaca. Le point de sortie se trouve au sud du petit lac ou lac d'Huñaimarca. Le débit moyen annuel de sortie d'eau est de $3,8\ \text{m}^3/\text{sec}$. (années 1940 à 1965). Son principal affluent est le Rio Mauri pour lequel nous ne possédons aucunes données d'écoulement.

A proximité d'Oruro les eaux du Desaguadero s'étendent très largement sur la « pampa » et forment ainsi le lac Uru-Uru, plaine d'inondation de faible

(1) Les données topographiques sont reprises sur les cartes aux 1:250.000 n° SE 1912 et SE 1916 établies par « Instituto Geografico Militar de Bolivia » 1968.

(2) NEVEU-LEMAIRE (1909), carte de Bolivie 1:3.000.000, 1958.

profondeur où se déposent l'essentiel des matières en suspension (kaolinite-illite) transportées par les eaux. Ce lac de constitution récente n'était mentionné ni par d'ORBIGNY (1835), ni par NEVEU-LEMAIRE (1906).

Suivant un cours très large et très irrégulier les eaux s'écoulent ensuite du lac Uru-Uru vers le lac Poopo.

Le cours total du Rio Desaguadero a une longueur moyenne de 370 km et une pente moyenne de 0,03 % (altitude du lac Titicaca 3 810 m, altitude du lac Poopo 3 686 m). NEVEU-LEMAIRE (*op. cit.*) indiquait un cours approximatif de 320 km pour une déclivité de 118 m.

Une des caractéristiques de ce réseau est son inversion par rapport à une époque quaternaire antérieure : période ante Ballivian (M. SERVANT, 1978). En effet, le Rio Mauri coulait en direction Nord, le Rio Desaguadero, ne drainant que la moitié Sud du bassin actuel, rejoignait le Rio Marquez pour aller se jeter directement dans le salar de Coïpasa.

De plus, il est à noter les importants changements pouvant intervenir dans le cours inférieur du Rio Desaguadero en raison de sa faible pente. Ces dernières années le cours s'est déplacé d'une quinzaine de kilomètres vers la ville d'Oruro ; quant à son embouchure dans le lac Poopo elle s'est déplacée d'au moins 5 km à l'ouest.

LE LAC POOPO

Les premières observations consignées sur le lac Poopo sont dues à d'ORBIGNY (1835), puis à NEVEU-LEMAIRE (1906) lequel, au cours d'une campagne difficile en avril 1903, a établi la première carte de ce lac. Les difficultés d'accès et de navigation ont fait que ce lac est resté ultérieurement à l'écart des études faites sur l'Altiplano bolivien : notamment le lac Titicaca et les salars. Un seul point permet une mise à l'eau relativement aisée d'une embarcation légère, évitant une longue marche (5 à 10 km) dans les pampas et les zones inondées de faibles profondeurs : ce point se situe sur la rive Ouest au pied du Cerro Gloria Pata, village de Rosa Pata. La meilleure voie d'accès est la route Oruro-Challapata-Sevaruyo-Pampa Aullagas-Orinoca (cf. fig. 2).

Situation

Le lac Poopo est situé entre 18°21' et 19°10' de latitude Sud, 66°50' et 67°24' de longitude Ouest. Son altitude est de 3 686 m. NEVEU-LEMAIRE (*op. cit.*) avait mentionné 3 694 m. Le lac possède une île : l'île Panza. Elle est formée par le Cerro Cacharpaya et située à l'extrémité d'une zone de faible profondeur (péninsule Panza). Durant la période de

basses eaux les habitants d'Untavi peuvent se rendre à pied sur l'île. Une autre zone émergée, appelée Callapachi à l'est de Rosa Pata, est le principal lieu de rassemblement et de ponte des milliers de flamants roses répartis durant la journée sur tout le pourtour du lac.

Morphométrie

Les données morphométriques sont établies à partir des paramètres fournis par HUTCHINSON (1957).

Bathymétrie

La carte (cf. fig. 3) dressée principalement au cours d'une campagne effectuée en mai 1977 montre que le lac Poopo est un lac à fond très plat inondant largement les vastes « pampas » environnantes sous une faible hauteur d'eau. Ceci en rend l'accès et la navigation d'autant plus difficile en bordure.

Les coupes transversales du lac faites d'ouest en est (cf. fig. 4) permettent de constater la dissymétrie du fond, résultant d'un façonnement par une ancienne rivière. Nous reviendrons sur cette remarque

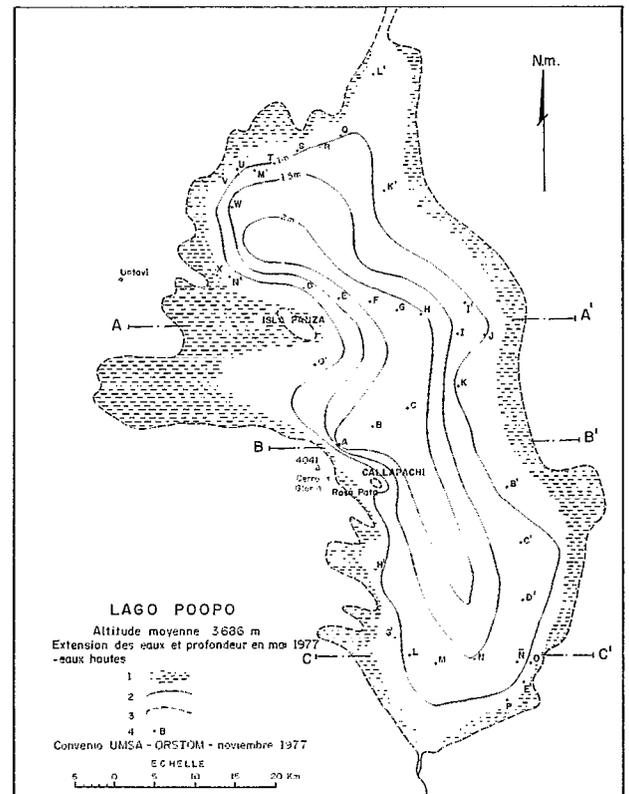


Fig. 3. — Carte bathymétrique du Lac Poopó. 1. Plaine d'inondation. 2. Courbes bathymétriques. 3. Contour du Lac. 4. Point de prélèvement.

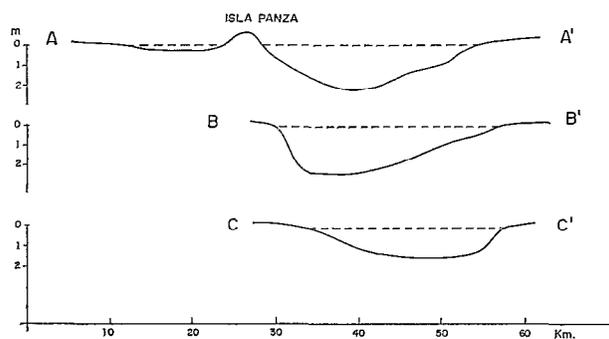


Fig. 4. — Coupes transversales du Lac Poopó.

dans l'essai d'explication de la formation du lac.

Nous présentons donc les paramètres estimés en hautes eaux et les paramètres estimés en basses eaux compte tenu d'une variation de niveau de 0,60 m pour l'année 1977.

Dimensions

De l'embouchure du Rio Desaguadero au Rio Marquez le lac a une longueur maximum de 90 km et une largeur maximum de 53 km. D'ORBIGNY

(1835) donnait au lac une longueur de 111 km et une largeur de 20 km, NEVEU-LEMAIRE (1906) donnait pour sa part une longueur de 88 km et une largeur de 40 km.

La longueur des côtes en période de hautes eaux est d'environ 310 km. La largeur moyenne est comprise entre 22 et 29 km.

Surface

Le tableau I nous donne les surfaces en fonction des différentes tranches de profondeur. Pour l'année 1977 on enregistre une différence de superficie de 630 km². La surface indiquée par NEVEU-LEMAIRE (*op. cit.*) : 2 530 km² est moyenne aux valeurs optimale et minimale obtenues.

Volume

Le tableau II nous donne les volumes en fonction des différentes tranches de profondeur. Pour l'année 1977 on enregistre un écart de volume de $1\,252 \times 10^6$ m³.

Profondeur

La profondeur maximum (Zm) pour les périodes de basses et hautes eaux est comprise respectivement

TABLEAU I

Surfaces en fonction des profondeurs

Hautes eaux	Profondeur en m (z)	Z < 1	1 < Z < 1,5	1,5 < Z < 2	Z > 2	Total
	Surface en km ²	1.420	610	385	235	2.650
en %	53,5	23	14,5	9	100	
Basses eaux	Profondeur	Z < 0,40	0,40 < Z < 0,90	0,90 < Z < 1,40	Z > 1,4	Total
	Surface en km ²	790	610	385	235	2.020
	en %	39,5	30	19	11,5	100

TABLEAU II

Volumes en fonction des profondeurs

Hautes eaux	Strates en m (z)	Z < 1	1 < Z < 1,5	1,5 < Z < 2	Z > 2	Total
	Volume $\times 10^6$ m ³	1.895	453	206	15	2.569
%	74	17,5	8	0,5	100	
Basses eaux	Strates en m	Z < 0,40	0,40 < Z < 0,90	0,90 < Z < 1,4	Z > 1,40	Total
	Volume $\times 10^6$ m ³	643	453	206	15	1.317
	%	49	34	16	1	100

entre 1,60 m et 2,20 m. La profondeur moyenne (\bar{Z}) est comprise entre 0,65 et 0,97 m. La profondeur relative ($Z : Z_m$) est de 0,41 et 0,44.

Développement de la ligne de côte (DL)

DL est le rapport du périmètre du lac à la circonférence d'un cercle de surface égale

$$DL = \frac{L}{2\sqrt{\pi A}}$$

En période de hautes eaux ce rapport est de 1,69. Cette valeur fournit une précision sur la forme du lac : il peut être classé parmi les lacs elliptiques.

L'ensemble des paramètres est résumé dans le tableau III. La valeur de DL permet d'attribuer au lac une forme elliptique. La densité d'île est proche de 0. La côte Est est presque rectiligne en raison de la proximité de la Cordillère et du courant du Desaguadero qui longe cette côte jusqu'à se perdre dans la partie Sud ; ce courant a pu être suivi grâce aux analyses chimiques (CARMOUZE *et al.*, 1978). La côte Ouest plus irrégulière a une limite peu définie en raison de son absence de pente. Les fonds du lac ont de faibles pentes, dissymétriques, façonnées par un ancien cours d'eau.

TABLEAU III

Paramètres morphométriques du lac Poopó

	A km ²	Z _m m	\bar{Z} m	Z/Z _m	V × 10 ⁶ m ³	DL
Hautes eaux	2.650	2,20	0,97	0,44	2.569	1,69
Basses eaux	2.020	1,60	0,65	0,41	1.317	

Origine

Les études faites sur le quaternaire de l'Altiplano bolivien permettent de conclure à une série d'extensions lacustres (SERVANT, 1977 a) et à la présence dans cette partie méridionale de l'Altiplano d'un réseau de failles orientées SW-NE et NW-SE ayant induit la formation d'une série de bassins d'effondrement.

Deux failles principales limitent le lac actuel dans sa partie Sud : la première orientée W.SW-E.NE recoupe la Cordillère d'Asanaques vers le nord-est, elle se prolonge vers le sud-ouest en direction du salar de Coipasa par une ligne de volcans ; la seconde orientée S.SE-N.NW est marquée par une série de volcans plus anciens suivant une ligne Sevaruyo-Quillogas-Pampa-Aullagas-Rosa Pata.

Les bassins d'effondrement ont été submergés

lors de l'extension du lac Escara (corrélée avec l'extension Ballivian de la région du lac Titicaca) ; à cette époque les bassins du lac Poopo et des salars de Coipasa et d'Uyuni étaient en communication (SERVANT, 1977 b).

Lors de la phase de régression post-Escara, le rejeu des failles a provoqué un abaissement de cette région. Celui-ci a entraîné une forte érosion régressive qui s'est traduite par la capture du Rio Mauri dont le cours jusqu'alors orienté vers le bassin du lac Titicaca, a été inversé et s'est trouvé orienté vers le sud. Cette érosion régressive s'est poursuivie et a provoqué l'ouverture du bassin du Titicaca dont les eaux pouvaient alors s'écouler vers le sud. C'est ce qui arriva lors de l'extension lacustre suivante (lac Minchin) beaucoup plus importante que celle du lac Escara. L'alimentation en eau des bassins du Poopo, de Coipasa et d'Uyuni s'est faite à partir du nord, le Rio Desaguadero fonctionnant alors comme exutoire du lac Titicaca.

La régression post-Minchin s'est terminée par un assèchement total des bassins, notamment de celui du lac Poopo. Le Rio Desaguadero qui alimentait alors directement le salar de Coipasa a façonné le fond de la cuvette actuelle, tel qu'en témoigne le profil dissymétrique du fond du lac. Un nouvel affaissement du bassin a pu bloquer les eaux du Rio Desaguadero. Toutefois, lors de la dernière extension lacustre (lac Tauca), quoique d'importance moindre que les deux extensions précédentes, la communication devait se maintenir avec le salar de Coipasa. Actuellement la phase de régression se poursuit, il n'existe plus aucune trace d'écoulement superficiel entre le lac Poopo et le salar de Coipasa, bien que les bassins versants soient toujours en communication. De plus les alluvions du Rio Marquez tendent à colmater cet exutoire.

L'alimentation se poursuit à partir du lac Titicaca, mais un abaissement de niveau de celui-ci de 2 à 3 m y mettrait un terme.

Le lac Poopo peut donc être considéré comme un lac d'origine mixte selon les critères définis par DUSSART (1966) : à la fois lac tectonique et lac dû à l'action d'une rivière.

ASPECTS DE LA SÉDIMENTATION ACTUELLE

Les premières analyses effectuées concernent les sédiments de surface sur une épaisseur de 0 à 10 cm.

Les données recueillies se rapportent aux teneurs en carbonates, en matière organique et à une brève étude de quelques résidus insolubles. Elles nous permettront de déterminer des faciès types de dépôts actuels et d'en dresser une carte approximative de répartition (1).

(1) Tous les sédiments de surface présentent de plus une certaine proportion de sulfate de calcium (gypse), qu'il ne nous est pas encore possible de préciser.

La matière organique

Elle provient principalement de la décomposition de la flore et de la faune du lac et a été évaluée par perte au feu sur résidu sec (chauffage à 550°), correction faite des teneurs en carbonates obtenues par calcimétrie. Les valeurs ainsi recueillies bien qu'approximatives présentent une erreur relative constante et autorisent une relation correcte entre les échantillons. Il est ainsi possible d'établir pour les sédiments de surface une carte de répartition de la matière organique (cf. fig. 5).

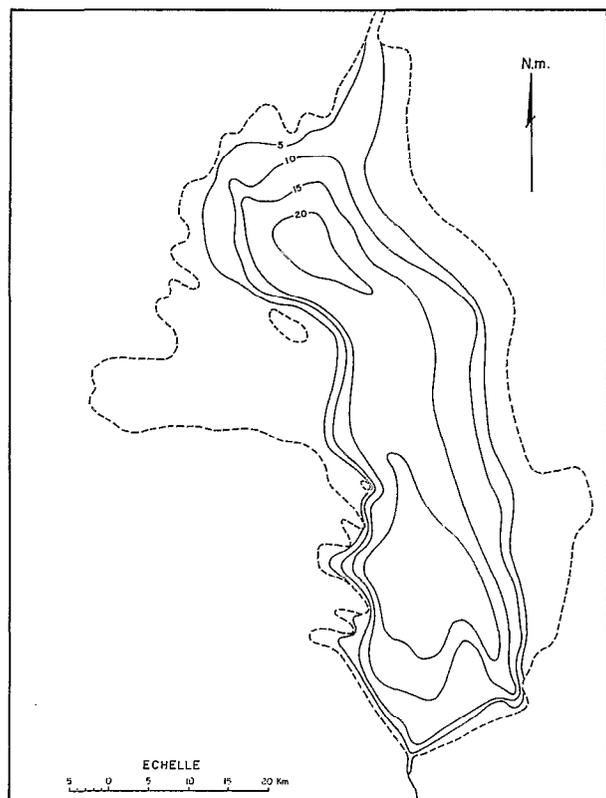


Fig. 5. — Distribution de la matière organique.

Celle-ci abondante dans la partie centrale du lac (15 à 20 %), diminue régulièrement vers la périphérie pour atteindre des valeurs proches de 0 sur la plaine d'inondation.

Les teneurs à l'exutoire du Rio Desaguadero sont proches de 10 % ; ceci s'explique du fait que cette rivière traverse le lac Uru-Uru dans lequel se forment des dépôts organiques ; la liaison entre les deux lacs, large et à faible courant, favorise aussi de tels dépôts. Une partie de la matière organique de la zone d'exutoire provient donc des apports de cette rivière.

Par contre au sud, à l'embouchure du Rio Marquez, les teneurs en matière organique sont inférieures à 5 % et on ne peut donc noter aucun apport par cette rivière.

Les carbonates

Dans les sédiments déposés sur le fond du lac on trouve, en proportions variables, du carbonate de calcium correspondant à des restes organiques, du matériel organo-détritique, et du carbonate de calcium précipité chimiquement.

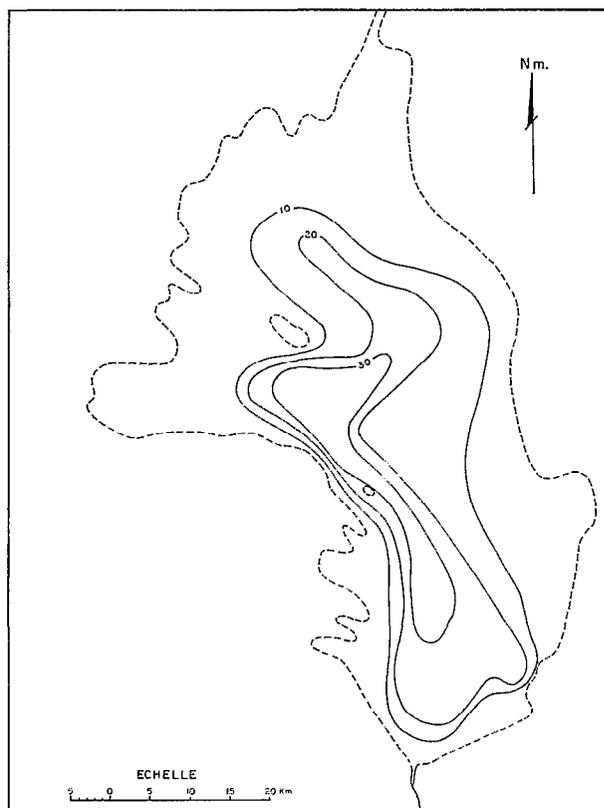


Fig. 6. — Distribution des carbonates.

Ces carbonates ont été dosés par calcimétrie (calcimètre Bernard modifié) avec une marge d'erreur d'environ $\pm 3\%$, établie en relation aux résultats obtenus par calcination selon la méthode décrite par DEAN (1974).

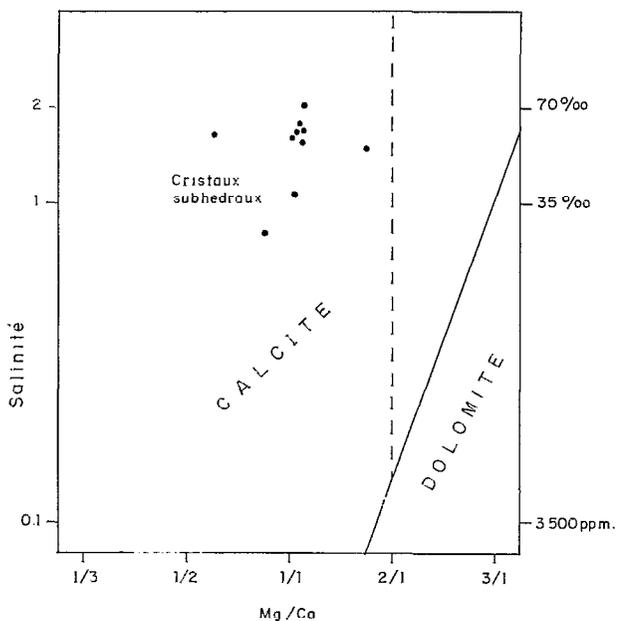
Comme pour la matière organique les teneurs maximum ($>20\%$) se rencontrent au centre du lac (cf. fig. 6). La répartition n'est pas tant fonction de la profondeur que de la distance au bord. La distribution des courbes isocarbonates rend compte du trajet suivi par les eaux du Desaguadero le long de la côte Est, ce qui est en accord avec les données

physico-chimiques, notamment le gradient de salinité existant dans cette zone du nord au sud (GARMOUZE *et al.*, 1978).

Quelques poudres étudiées aux RX montrent qu'il s'agit principalement de carbonate de calcium. Examiné au microscope, celui-ci apparaît assez peu cristallisé : petits cristaux subhédraux.

Selon FOLK (1974 a, b) la précipitation chimique du carbonate de calcium sous la forme de calcite spathique en petits cristaux subhédraux, se produit uniquement quand la relation Mg/Ca est inférieure à 2/1 et quand la salinité est élevée, c'est-à-dire quand la cristallisation est rapide. Le lac Poopo répond à ce cas comme en rend compte la figure 7.

En conséquence, nous pouvons en conclure que le carbonate de calcium présent dans la fraction inférieure à 63 μ est principalement d'origine chimique, tandis que le carbonate de calcium présent dans les fractions supérieures est d'origine organique ou organo-détritique.



Relation Mg/Ca et salinité d'après Folk (1974a)

Fig. 7. — Relation Mg/Ca et salinité.

Les résidus insolubles

Partiellement étudiés d'un point de vue qualitatif, ils sont formés :

- d'une fraction sableuse
- d'une fraction argileuse
- d'une fraction de silice amorphe due à la présence de diatomées.

Toutefois, les mesures quantitatives de chacune de ces fractions ne sont toujours pas précisées. Seul intervient un critère approximatif d'abondance que complètent pour les fractions sableuses et argileuses les granulométries effectuées sur la fraction totale du sédiment (tamis de 250 μ et 63 μ).

a. Les sables présentent des caractères franchement éoliens : grains arrondis émoussés. Ils se répartissent sur la totalité du pourtour du lac, c'est-à-dire de la plaine d'inondation, à l'exception de la zone Nord formant l'embouchure du Rio Desaguadero. Les sables de la zone Sud, située à l'embouchure du Rio Marquez, proviennent des formations crétacé et volcanique de la Cordillère Occidentale. Ils sont riches en biolite.

b. La fraction argileuse, étudiée aux RX sur quelques échantillons répartis du nord au sud du lac est formée pour l'essentiel d'illite, de kaolinite et de montmorillonite. La partie Nord du lac (90 % d'illite et kaolinite) est principalement détritique et résulte des apports du Rio Desaguadero. Il est actuellement difficile de préciser pour le reste du lac au sein de la fraction argileuse la part d'origine détritique et celle provenant de néo-formation (montmorillonite et illite).

c. La silice amorphe, principalement liée à la présence de Diatomées est étudiée par ailleurs (S. SERVANT, 1978).

Les zones de sédimentation

Ces trois composants : matière organique, carbonates et résidus insolubles disposés pour chaque échantillon sur un triangle de composition permettent de définir 4 faciès de sédiments actuels. Reportés sur une carte ils déterminent les grandes zones de sédimentation (cf. fig. 8).

Faciès détritique (sableux ou argileux). Ce faciès comprend plus de 80 % de résidus insolubles, moins de 10 % de matière organique et de 0 à 20 % de carbonates. Ce sont principalement des sables blancs éoliens (points V. X. N'. B'. C'), ou des sables rouges à biotite (points P.). A l'embouchure du Desaguadero ce sont des argiles : argile marron, compacte, contenant principalement de la kaolinite et de l'illite (points K'. L'. Q. R. S. T. U. W. Y.). Ces sédiments renferment très peu de coquilles.

Faciès calcaréo-détritique. Ce faciès comprend de 40 à 80 % de résidus insolubles, moins de 10 % de matière organique et 10 à 60 % de carbonates. Ils se répartissent suivant une zone intérieure à la précédente. Ce sont des boues calcaires sableuses (points O'. A. O. I.) ou argileuses (point J'), beige à gris verdâtre. La fraction supérieure à 250 μ est

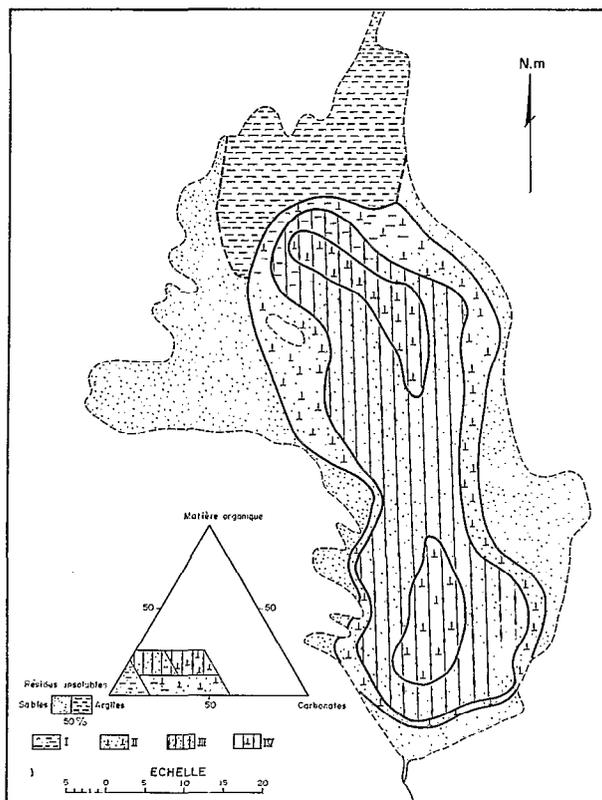


Fig. 8. — Faciès types des sédiments actuels et leur distribution. I. Faciès détritique. II. Faciès calcareo-détritique. III. Faciès organo-détritique. IV. Faciès organo-calcaire.

formée principalement de débris de coquilles (gastéropodes) et de graines de characées. De plus, cette zone contient une quantité importante de racines de plantes aquatiques. Les coquilles, graines et

racines paraissent marquer un niveau moyen des basses eaux.

Faciès organo-détritique. Les sédiments contiennent de 60 à 80 % de résidus insolubles, de 10 à 25 % de matière organique et de 0 à 30 % de carbonates. Ce sont des boues argileuses (points D. E. F. I'. K. N. Ñ.) ou sableuses (points B. C. D'. F'. G'. H'.) de couleur beige, grise ou verdâtre, présentant dans tous les cas des taches gris foncé à noir, riches en matière organique. Ces sédiments contiennent peu de coquilles. Les taches noires révèlent un milieu fortement réducteur, d'intense décomposition organique.

Faciès organo-calcaire. Les sédiments contiennent de 40 à 60 % de résidus insolubles, de 10 à 25 % de matière organique et de 15 à 50 % de carbonates. Ce sont des boues gris beige (points L et M) à noir (points G et H) avec peu de coquilles. Le milieu est fortement réducteur, la décomposition organique intense.

La répartition de ces faciès concentriquement au pourtour du lac nous montre que le facteur profondeur n'intervient pas principalement dans les dépôts actuels (0 à 10 cm). Ceux-ci sont plutôt fonction de la distance au bord et de l'incidence de l'écoulement des eaux du Rio Desaguadero.

Les faciès III organo-détritique et IV organo-calcaire indiquent une permanence des eaux dans ces zones limitées à l'extérieur par la zone II (faciès calcareo-détritique) à forte concentration de coquilles qui marque le véritable niveau moyen inférieur du lac pour l'époque récente. Les premières études faites sur des prélèvements plus profonds nous montrent l'alternance verticale de ces faciès, ce qui nous permettra de préciser ultérieurement les variations de niveau du lac.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M.
le 5 mai 1978.

BIBLIOGRAPHIE

- BOULANGÉ (B.), RODRIGO (L. A.), 1976. — Primeros resultados limnológicos del Lago Titicaca (parte boliviana del Lago Huñaimarca). *I Cong. de Geol. Potosí*.
- CARMOUZE (J. P.), ARCE (C.), QUINTANILLA (J.), 1978. — Circulación de materia (agua, sales disueltas) en el sistema del Altiplano : la regulación hidroquímica de los Lagos Titicaca y Poopó. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 1 : 49-68.
- DEAN (W. E.), 1974. — Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss ignition : comparison with other methods. *Jour. Sed. Petrol.* vol. 44, n° 1 : 242-248.
- D'ORBIGNY (A.), 1835-47. — Voyage dans l'Amérique Méridionale. Paris.
- DUSSART (B.), 1966. — Limnologie. L'étude des eaux continentales. Gauthier-Villars. Paris. 676 p.
- FOLK (R.), 1974a. — Petrology of Sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co. Austin Texas, 182 p.
- FOLK (R.), 1974b. — The natural history of crystalline calcium carbonate : effect of magnesium content and salinity. *Jour. Sed. Pet.* Vol 44, n° 1 : 40-53.
- HUTCHINSON (G. E.), 1957. — Treatise on Limnology. J. Wiley & Sons. New York, vol. 1, 1015 p.
- NEVEU-LEMAIRE (M.), 1906. — El Titicaca y el Poopó. Contribución al estudio de los lagos de los Altiplanos Bolivianos. *Rev. del Min. de Colon. y Agric.* Año 11, n° 16, 17 y 18 : 568-591.
- SERVANT (M.), 1977a. — Le cadre stratigraphique du Plio-Quaternaire de l'Altiplano des Andes Tropicales en Bolivie. *Recherches Franç. sur le Quaternaire*. INQUA 1977. Sup. *Bull. A.F.E.Q.*, n° 50 : 323-327.
- SERVANT (M.), FONTES (J. C.), 1978. — Les lacs Quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 1 : 9-23.
- SERVANT-VILDARY (S.), 1978. — Reconnaissance de la flore diatomique des sédiments superficiels d'un lac chloruré-sulfaté sodique de l'Altiplano bolivien : le lac Poopó. *Cah O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 1 : 79-90.
- RISACHER (F.), 1978. — Le cadre géochimique du bassin à évaporite des Andes boliviennes. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 1 : 37-48.