

# LES DIATOMÉES DES DÉPÔTS LACUSTRES QUATÉRNAIRES DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN

Simone SERVANT-VILDARY

Convenio U.M.S.A.-O.R.S.T.O.M.  
Cajon Postal 8714, La Paz, Bolivia

## RÉSUMÉ

*Les Diatomées, de chacune des principales formations lacustres du Quaternaire de l'Altiplano bolivien (M. SERVANT, 1976) furent analysées. Elles permettent de mettre en évidence une teneur croissante des eaux en éléments dissous à mesure que l'on se rapproche des périodes récentes, la paléosalinité atteint une valeur maximum pendant l'épisode lacustre Tauca, daté de 12500 à 10500 ans B.P. On démontre que cette paléosalinité ne peut pas être expliquée par la seule dissolution des sels déposés pendant les épisodes lacustres antérieurs mais qu'elle est due aussi à un contexte ancien climatique évaporant.*

*L'Holocène ancien fut étudié sur des dépôts limoneux de fond de vallée, ils contiennent une flore d'eau douce à Diatomées psychrophiles.*

## RESUMEN

*Las Diatomeas de cada una de las principales formaciones lacustres del Cuaternario del Altiplano boliviano fueron analizadas desde el punto de vista sistemático y paleoecológico.*

*Estas Diatomeas permiten poner en evidencia una concentración creciente de elementos disueltos, a medida que uno se aproxima a los periodos recientes, la paleosalinidad alcanza un valor máximo en el episodio lacustre Tauca (12.500-10.500 años B.P.).*

*Se ha demostrado que esta paleosalinidad no se puede explicar unicamente por la disolución de las sales despositadas durante los episodios lacustres anteriores, pero que se ha debido también a un marco climático evaporizante.*

*El Holoceno antiguo fué estudiado sobre depósitos limonosos del fondo de los valles, esos depósitos contienen una abundante flora de agua dulce con Diatomeas de países frios o montañosos.*

## DIATOMS IN THE ALTIPLANO QUATERNARY LACUSTRINE DEPOSITS

### SUMMARY

*Diatoms have been analysed in each important quaternary lacustrine formation of the Bolivian altiplano (M. SERVANT, 1976). The present study shows that the dissolved element content of waters increases as the time proceeds; palaeosalinity reaches its peak value during "Tauca" lacustrine episode, which took place between 12,500 and 10,500 years ago. It is proved that this palaeosalinity cannot be accounted for by the only dissolution of salts which have settled during earlier lacustrine episodes, but has also been due to an evaporating palaeoclimatic environment.*

*The lower Holocene was studied on valley bottom limous deposits; they contain a fresh-water fauna including psychrophilic diatoms.*

## ДИАТОМЕИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БОЛИВИЙСКОГО АЛЬТИПЛАНО

### РЕЗЮМЕ

Был произведен анализ диатомей каждой из главных четвертичных озёрных образований боливийского Альтиплано (M. SERVANT, 1976). Диатомей эти позволяют выявить повышение содержания растворенных веществ в водах по мере приближения к недавним периодам; палеосолёность достигает максимального уровня в течение озёрного эпизода Таука, возрастом в 12500-10500 лет В.Р. Показывается что эта палеосолёность не может объясниться одним лишь растворением солей отложившихся в предыдущие озёрные периоды, но что она также обусловлена древним климатическим испарительным контекстом.

Древний Голоцен изучался на илистых отложениях долинного дна; последние содержат пресноводную флору с холодолюбивыми диатомеями.

### INTRODUCTION

Le Quaternaire de l'Altiplano est caractérisé par plusieurs extensions lacustres qui ont enregistré les variations du bilan hydrologique de cette région.

Les dépôts lacustres du Pléistocène ancien et moyen sont encore mal connus car ils ont largement disparu par érosion. Seule la *Formation Charana* est bien conservée; son âge quaternaire ancien ou moyen est encore discuté. La *Formation Yilo*, définie dans la région d'Uyuni est recoupée par un glacier de la fin du Pléistocène moyen (SERVANT, 1976) mais son intérêt reste pour le moment limité car elle n'est connue que dans un seul affleurement.

Par contre les sédiments lacustres du Pléistocène supérieur sont assez bien conservés, ils se rapportent à trois lacs successifs appelés *Ballivián* (autrefois rattaché au Quaternaire ancien), *Michin* et *Tauca* (SERVANT, 1976). Ce dernier est daté de la fin du Pléistocène par le  $^{14}\text{C}$  (12-10 000 ans B.P. environ).

L'Holocène est représenté par une basse terrasse fluviale dont la partie moyenne, limoneuse et parfois tourbeuse, est datée de 10 000-7 500 ans B.P. environ. Elle contient une flore très abondante de Diatomées.

Les prélèvements effectués dans les séries lacustres intéressent généralement des faciès assez proches des anciennes lignes de rivage. Leur position géographique est donnée dans la fig. 1. La lithologie de ces séries est résumée par la fig. 2.

### FORMATION CHARAÑA

Cette formation repose sur une ignimbrite (*Formation Perez*) datée de 2,5 MA au Sud de Berenzuela (EVERDEN *et al.*, 1966). Épaisse de 40 m au moins, elle comprend des graviers formés d'éléments volca-

niques remaniés, des diatomites calcaires litées, des calcaires à algues et au sommet localement une croûte calcaire.

La coupe étudiée (fig. 2 n° 1) se situe à 30 km à l'Est de Charaña près de la route à Abarroa.

Les échantillons analysés contiennent une flore abondante et variée (34 espèces furent déterminées dans le niveau n° 54). Cette flore est caractérisée : par l'absence de Diatomées Centrales, par une forte proportion de *Fragilaria* sur les autres genres, et par la variété du genre *Nitzschia*.

De bas en haut, on observe l'évolution suivante : à la base *Navicula* sp. (27 %), *Amphora coffaeformis* (13 %), *Nitzschia hungarica* (12 %), *Nitzschia ovalis* (12 %), puis *Rhopalodia gibberula*, *Nitzschia punctata*, *Achnanthes clevei* var. *rostrata*, au-dessus *Achnanthes clevei* (44 %), *Achnanthes kolbei* (13 %), et une série de *Nitzschia*, *N. palea*, *N. hungarica*, *N. frustulum*, *N. punctata*, *N. navicularis*, quelques *Synedra tabulata* var. *rupicola* et *Surirella striatula*.

Enfin au sommet se développe une nouvelle association caractérisée par la prédominance de *Fragilaria pinnata* (34 %), *F. leptastoron* (9 %), associées à une flore variée, chaque espèce étant représentée par un petit nombre d'individus. *Navicula mulica* var. *binodis*, *Epithemia zebra*, *Nitzschia denticula*, *N. capitellata*, *N. commulata*, *Amphora costata*, etc.

On assiste de la base au sommet à une diminution progressive de la paléosalinité du milieu, les sels d'abord abondants (*Amphora coffaeformis*, *Rhopalodia gibberula*), disparaissent peu à peu (*Achnanthes clevei* est une espèce d'eau douce, eutrophe, des eaux courantes), et finalement le milieu se transforme en un milieu d'eau douce (*Fragilaria pinnata*), certainement eutrophe. La diminution de la teneur en

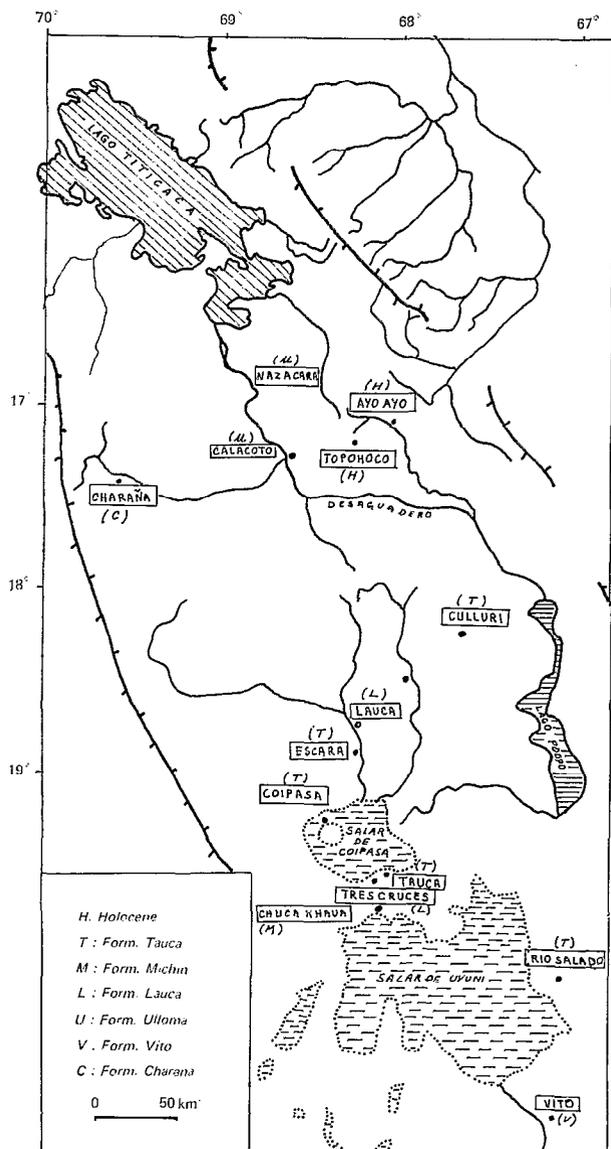


Fig. 1. — Carte de situation.

sels dissous ne peut pas être mise en relation avec une élévation des plans d'eau.

#### FORMATION VITO

Cette formation comprend des sables éoliens et des gravats où s'intercale une couche lacustre de 2 mètres d'épaisseur environ. Cette couche a pu se déposer dans une nappe d'eau sans grande extension, peut-être simplement dans des mares situées dans des fonds de « quebradas ».

La coupe étudiée a été relevée à 2 km au NNW du village de Vito sur la bordure orientale du Cerro Aguas de Castilla (au SW de Uyuni).

Les Diatomées sont extrêmement rares. Le seul échantillon qui en contient un peu (224) est situé au sommet de la coupe. Mais la rareté des frustules ne permet pas de définir le milieu. L'espèce dominante et la mieux conservée est *Caloneis formosa* dont la morphologie est ici très typique, c'est une espèce d'eau saumâtre.

#### DÉPÔTS DE L'EXTENSION BOLIVIAN

Cette extension lacustre est connue de longue date autour du Lac Titicaca et dans la région du Desaguadero (*Formation Ulloma*) (ALFHED et BRAVISA, 1960).

SERVANT (1976-77) estime qu'un autre lac existait à la même époque dans la partie Sud de l'Altiplano, dans la région des Salars de Uyuni et Coipasa. Les dépôts qui lui sont attribués constituent la *Formation Lauca*.

La *Formation Ulloma* a été étudiée en deux points : sur la rive gauche du Desaguadero à la hauteur du pont de Calacoto et à Nazacara (fig. 2 nos 2-3).

La *Formation Lauca* a fait l'objet de prélèvements sur la rive gauche du Rio Lauca entre les gués de Huachacalla et Escara (fig. 2 n° 4). Une autre coupe a été étudiée sur la rive Sud de Coipasa, près de Tres Cruces (fig. 2 n° 5).

#### Les Diatomées de la Formation Ulloma

Au pont du Desaguadero (fig. 2 n° 2) les échantillons étudiés peuvent être considérés comme des diatomites presque pures en raison de l'abondance des frustules bien conservés.

La caractéristique essentielle de la flore est l'abondance des *Fragilaria*. L'échantillon n° 50 est constitué d'un enchevêtrement de frustules à test fin, assez fragmentés de *Fragilaria producta*, qui se présentent également en face connective. On trouve aussi d'abondantes *Fragilaria construens* var. *cruciata* et var. *exigua* et le fait mérite d'être souligné, on note la présence d'une Centrale, rare, *Cyclotella pseudostelligera*.

Les *Fragilaria* vivent dans la partie littorale des lacs, elles indiquent un milieu peu profond, pauvre en sels dissous.

A Nazacara (fig. 2 n° 3). La pauvreté de ces niveaux et la mauvaise conservation des Diatomées, n'a permis ni leur comptage ni la définition du paléomilieu. Un seul fait peut être souligné, c'est la présence de très rares *Stephanodiscus astrea*, cette

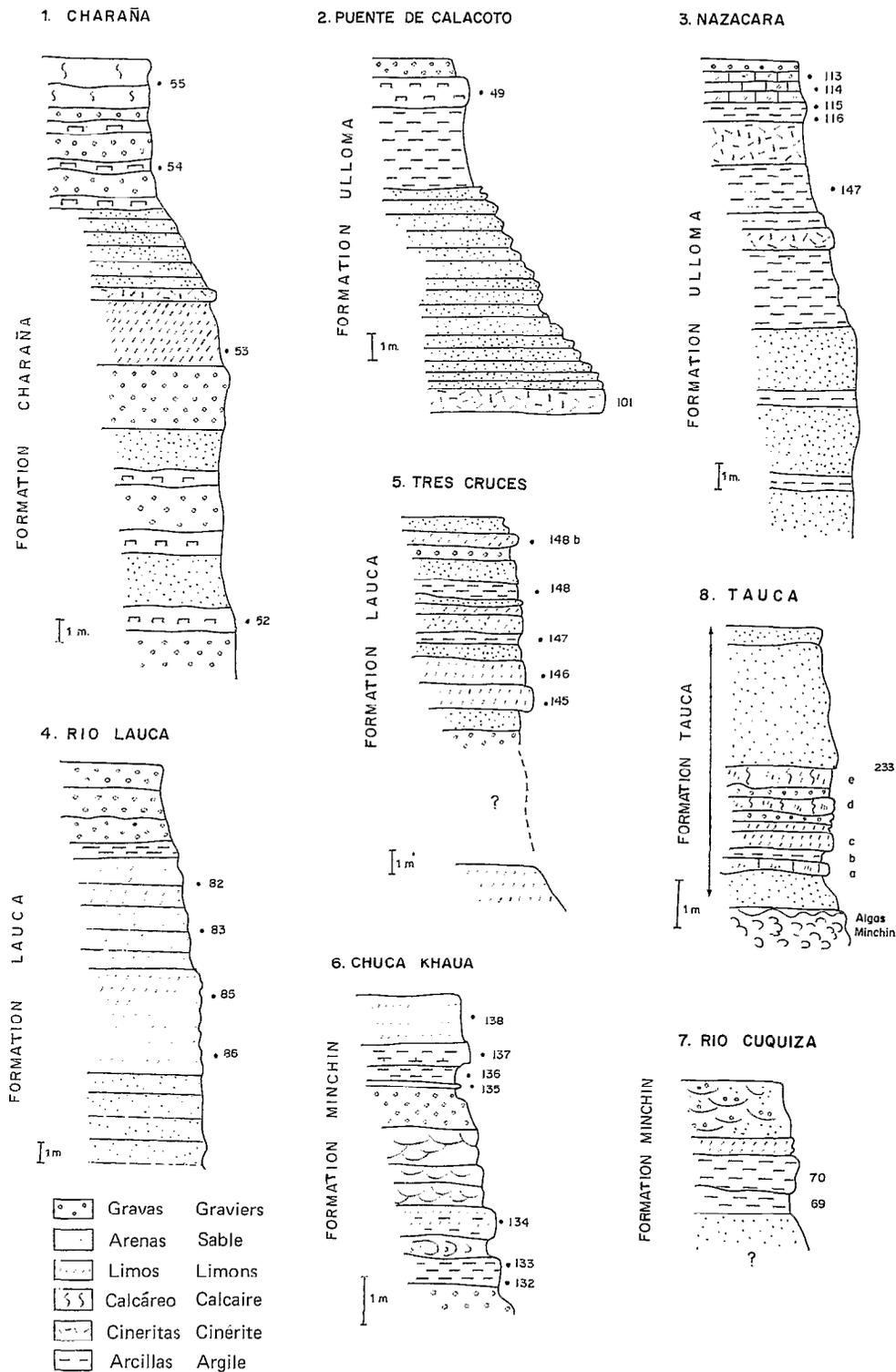


Fig. 2.

Centrale planctonique, d'eau douce eutrophe n'a été rencontrée que dans cette coupe.

#### Les Diatomées de la Formation Lauca

Sur la rive du Rio Lauca (fig. 2 n° 4). Deux échantillons seulement furent étudiés, ils sont pauvres en Diatomées. Les frustules sont très brisés. On observe la présence de *Fragilaria* de très grande taille attribués à l'espèce *F. leptastoron* (85) qui présentent souvent des anomalies de l'ornementation. Les subdominantes sont : *Nitzschia punctata*, *Achnanthes lanceolata*, *Nitzschia granulata*, *Opephora marthii* (86).

Le milieu est difficile à définir en raison du mélange d'espèces d'eau douce (*Fragilaria*) et d'espèces préférentielles d'eaux salées. On peut penser que les premières sont allochtones. On se trouve dans la partie marginale d'un lac, soumise à de fréquentes variations du plan d'eau. Le milieu est eutrophe, l'eau peut contenir une assez grande quantité de sels dissous.

A Tres Cruces (fig. 2 n° 5). Une coupe complète fut étudiée, les Diatomées ne sont abondantes que dans deux niveaux (147 et 148). La flore est riche et très variée (le niveau 147 contient par exemple 48 espèces). Il faut remarquer, comme dans les autres formations l'absence des Centrales.

Comme sur les bords du rio Lauca, on a pu remarquer la présence du *Fragilaria* de très grande taille, à ornementation grossière que nous attribuons à l'espèce *F. leptastoron*. L'espèce sub-dominante étant *F. pinnata*.

Les espèces vivant en eau douce sont : *Pinnularia borealis*, *Fragilaria construens*, *Navicula cari*, *Cymbella hebridica*, *Navicula mutica* var. *nivalis*, *Diploneis ovalis*, etc., et les espèces vivant dans les eaux plus concentrées en sels : *Rhopalodia gibberula*, *Surirella ovala*, *Nitzschia punctata*, *Anomoeoneis sphaerophora* var. *polygramma*.

Dans ce cas-là, le seul paramètre qu'il soit possible de définir avec peu de chance d'erreur est le paramètre profondeur. On se trouve sur les marges littorales d'un lac eutrophe. La profondeur de l'eau est faible et instable, l'eau est riche en matières nutritives et en sels permettant la survie de nombreuses espèces.

#### DÉPÔTS DE L'EXTENSION MICHIN

Le lac Michin s'étendait dans la partie Sud de l'Altiplano et ses contours ont été approximativement tracés par ALFHED et TROLL (1926). Le plan d'eau a atteint 3.760 m d'altitude. Son âge quaternaire récent n'est pas encore défini avec précision.

Les dépôts du lac Michin se présentent sous deux faciès différents. Ils comprennent des constructions d'algues calcaires qui tapissent les anciennes pentes sous lacustres ou d'anciennes plates-formes littorales. A côté de ces formations récifales se sont déposés des sédiments lités, plus ou moins calcaires, à Diatomées, qu'il est souvent difficile de distinguer des dépôts du lacustre récent (Tauca). Pour éviter une confusion toujours possible, nous n'avons étudié ici que les sédiments situés à plus de 3.720 m, cette altitude correspondant au niveau le plus haut du lac Tauca, postérieur au lac Michin.

Coupe de la Route Corque-Huachacalla (fig. 2 n° 7). Tous les échantillons étudiés qui appartiennent au lacustre Michin, sont caractérisés par la prédominance de *Cyclotella striata* (pl. I).

A Corque, cette Centrale planctonique constitue 72 % de la flore. Les sub-dominantes sont : *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (9 %), *Rhopalodia gibberula* (7 %) et *Melosira sulcata*, *Synedra tabulata*, *Nitzschia frustulum*, *Diploneis smithii* var. *dilatata*, *Chaetoceros* sp.

*Cyclotella striata* est une espèce mesohalobe (3-16 g/l). *Melosira sulcata* vit dans les embouchures des fleuves, dans des eaux dont la concentration peut équivaloir à la concentration de l'eau de mer, *Rhopalodia gibberula* est une espèce fréquente dans les salines intérieures.

Le lac Michin à Corque est un lac relativement profond qui permet le développement d'une flore littorale. Le milieu est moyennement concentré, de type mesohalobe.

La coupe de Chuca Khawa (fig. 2 n° 6 et fig. 3). Cette coupe provient de la bordure d'un lac, dont la profondeur au centre de la dépression, a pu être évaluée d'après l'altitude des dépôts, à 90 m environ. Les sédiments limoneux sont entrecoupés de fréquents bancs sableux, plus ou moins épais, qui ne contiennent pas de Diatomées.

De bas en haut de la coupe, les variations des associations sont faibles, les espèces dominantes sont *Cyclotella striata* et *Cocconeis placentula* et sa variété *euglypta*. Dans toute la coupe nous n'avons déterminé que 35 espèces.

Le rapport Centrales/Pennales, malgré la présence de *Cyclotella striata* est toujours négatif (voir diagramme) et atteint une forte valeur avec l'épanouissement de *Cocconeis placentula* (niveau B4) qui précède le dépôt du sable éolien, indiquant qu'il y a à ce moment-là, une diminution réelle de la profondeur annonçant l'assèchement qui est matérialisé par le sable éolien sous-jacent.

Les espèces sub-dominantes sont des espèces meso à euhalobes (3 à 40 g/l) : *Rhopalodia gibberula*, *Gyrosigma* sp., *Synedra tabulata*, *Rhopalodia musculus*, *Surirella striatula*.

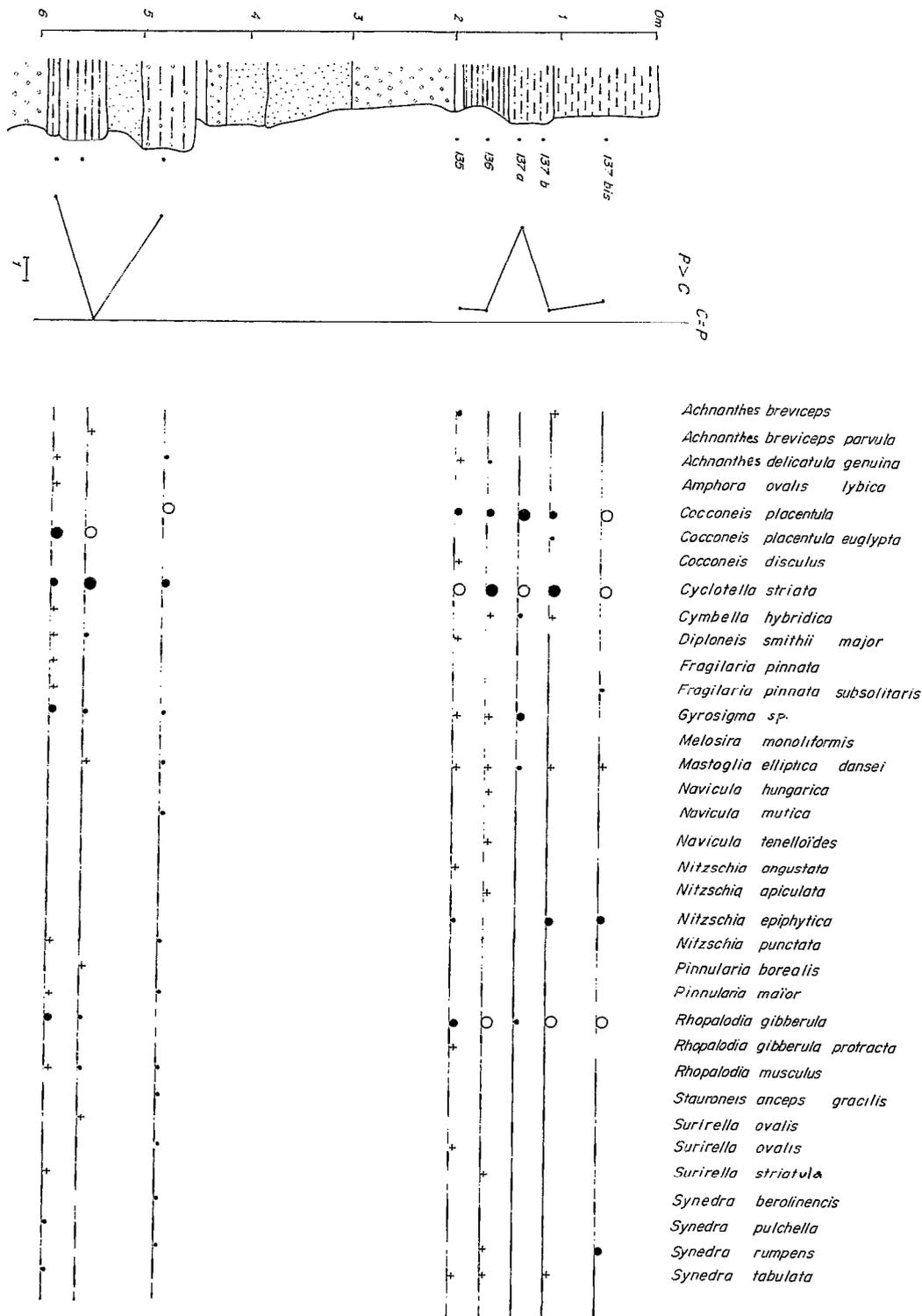
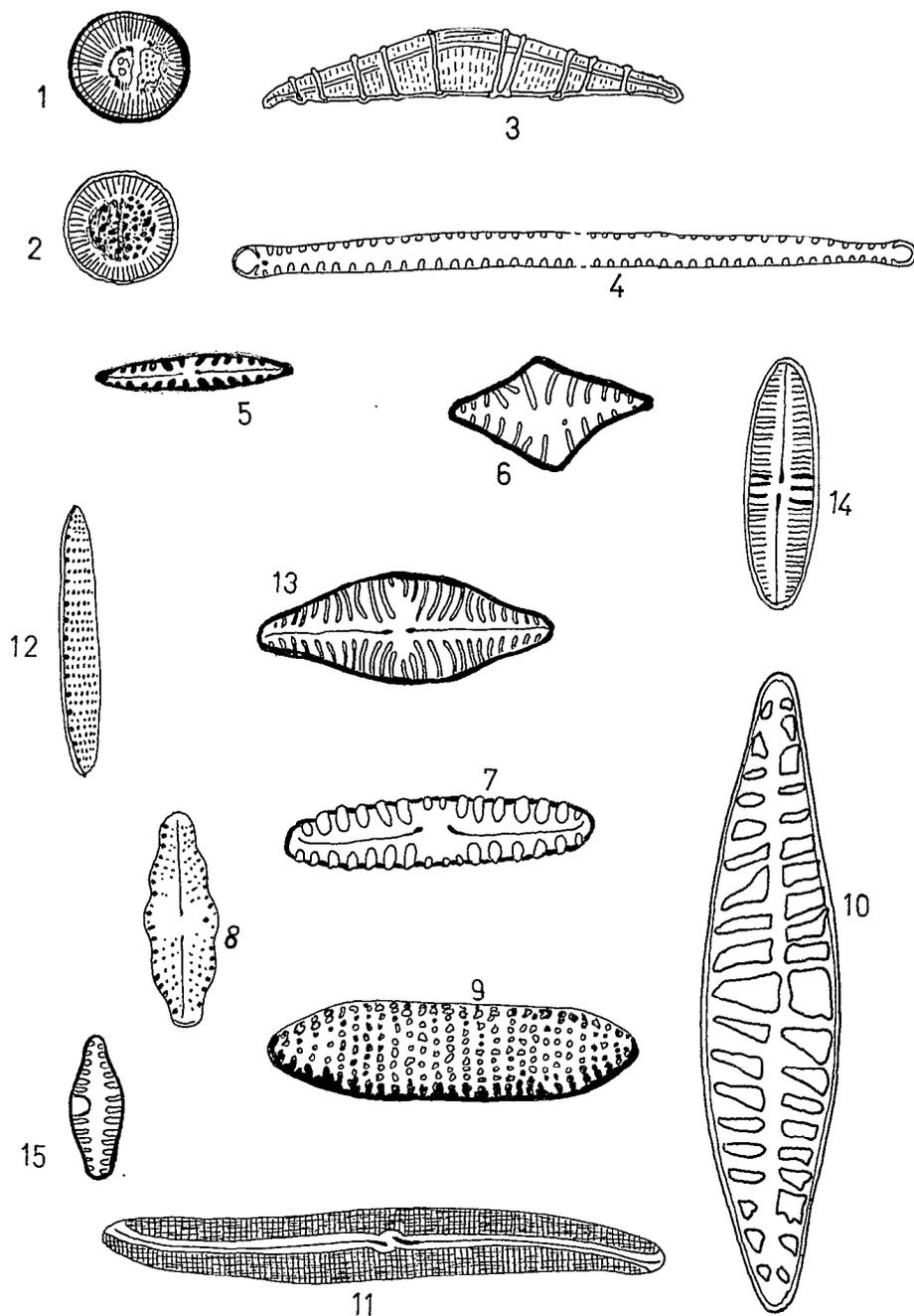


Fig. 3. — Chuca Khau.



LACUSTRE MICHIN. *Roule Corque-Huachacalla*. 1. *Cyclolella striata* (Kütz) Grun (69) var *bipunctata* Schmidt. Diametro 10  $\mu$ . 2. *Cyclolella* cf *striata* (Kütz) Grun (69). 3. *Rhopalodia gibberula* (EHR) O. Mull var *producta* (Grun). L. 31  $\mu$  A. 5  $\mu$ . 4. *Synedra tabulata* (AG) Kütz (69). *Andamarca*. 5. *Navicula hungarica* Grun var. *Lünebergensis* Grun (17). L. 16  $\mu$  A. 3,5  $\mu$ .

LACUSTRE LAUCA. *Lauca*. 6. *Fragilaria leptaustoron* (Ehr) Hust (85). L. 20  $\mu$  A. 11  $\mu$ . *Tres Cruces*. 7. *Pinnularia borealis* Ehr (147). L. 31  $\mu$  A. 7  $\mu$ . 8. *Navicula mutica* Kütz var. *nivalis* (Ehr) Hust (147). L. 16  $\mu$  A. 6  $\mu$ . 9. *Nitzschia granulata* Grun (147). L. 42  $\mu$  A. 11  $\mu$ . 10. *Navicula cuspidata* Kütz (147). L. 82  $\mu$  A. 18  $\mu$ . 11. *Gyrosigma spencerii* (W. Smith) Cleve (147).

LACUSTRE CHARAÑA. *Charaña*. 12. *Nitzschia amphibia* Grun (52). L. 35  $\mu$  A. 5  $\mu$ . 13. *Navicula salinarum* Grun (52). L. 27  $\mu$  A. 9  $\mu$ . 14. *Navicula plicata* Donkin (52). L. 30  $\mu$  A. 9  $\mu$ .

ALLUVIONS POST-GLACIAIRES. *Topohoco*. 15. *Achnanthes lanceolata* Breb. (60). L. 10  $\mu$  A. 4  $\mu$ .

A Andamarca (n° 17) la flore est du même type (*Cyclotella striata* (39 %), accompagnée d'espèces halophiles *Mastoglia elliptica*, *Achnanthes breviceps*, *Synedra tabulata*, *Rhopalodia gibberula*).

En résumé, la flore du lac Minchin est très particulière, elle est caractérisée par le développement intense de *Cyclotella striata*, planctonique facultative, mesohalobe. Les coupes étudiées se trouvant sur la bordure du lac, il est normal de trouver associées à cette espèce des épiphytes ou benthiques d'eau peu profonde (*Cocconeis placentula*) et indiquant une certaine richesse des eaux en sels (*Mastoglia*, *Rhopalodia*). La quantité des sels dissous pourrait atteindre 16 g/l au maximum.

#### DÉPÔTS DE L'EXTENSION LACUSTRE TAUCA

A son maximum d'extension, le lac Tauca atteignait 3 720 m d'altitude. Il présentait une superficie de 43 000 km<sup>2</sup> environ et une profondeur maximum d'un peu plus de 60 m. Il se subdivisait en trois bassins presque indépendants centrés sur le lac Poopó, le salar de Uyuni et le salar de Coipasa (FONTES et SERVANT, 1976-77). Les plus hauts dépôts lacustres se situent vers 3 120 m d'altitude et ils ont été datés de 12 500 et 10 500 ans B.P. environ.

*Coupe de Culluri.* La flore est abondante et les espèces qui la composent sont toutes des Pennales d'eau riche en sels dissous. Par ordre d'abondance *Achnanthes breviceps* et var. *intermedia*, *Melosira sulcata* (pl. II), *Cyclotella striata*, *Chaetoceros* cf. *schultri*, *Nitzschia punctata*, *Amphora coffaeformis*, *Surirella striatula*, *Melosira monoliformis* (très rare).

*Escara.* La flore est riche aussi, mais les espèces qui la composent sont différentes de Culluri, par ordre d'abondance : *Rhopalodia musculus* (pl. II), *Cyclotella striata*, *Rhopalodia gibberula*, *Mastoglia elliptica*, *Gyrosigma kulzingii*, etc.

*Rio Salado.* Deux échantillons seulement furent étudiés, ils contiennent tous les deux de nombreux frustules bien conservés. Le niveau 166 présente une variété plus grande que le niveau 165. On a pu dénombrer 33 espèces, dont aucune espèce ne présente une prédominance particulière sur une autre. *Rhopalodia musculus*, *Cyclotella striata*, *Surirella striatula*, *Nitzschia angustata*, etc.

Cette flore est du même type que celle d'Escara, des conditions identiques devaient exister dans ces deux régions.

*La coupe de Tauca* (fig. 2 n° 8). Huit échantillons prélevés sur une coupe ont fait l'objet de l'étude des Diatomées. Les associations varient peu

de bas en haut de la coupe, tous les échantillons sont caractérisés par la prédominance d'*Anomoeoneis*. Dans le détail on observe :

A la base : *Anomoeoneis costata* et *Navicula* sp. forment l'essentiel de la flore (A.B.C.), elles sont associées à *Nitzschia palea* et *N. amphibia*, en C, *Fragilaria construens* et *F. pinnata* augmentent légèrement.

En D : *Anomoeoneis costata* sont remplacées par *Anomoeoneis sculpta* var. *genuina* (espèces de très grande taille), elles sont accompagnées par *Surirella striatula*.

En E et F : il y a retour de la même flore qu'en A.B.C.

En G : les Diatomées disparaissent presque complètement. On a trouvé quelques frustules de *Nitzschia amphibia* et *N. frustulum*. Il semble qu'il y ait eu en G un très court épisode d'assèchement.

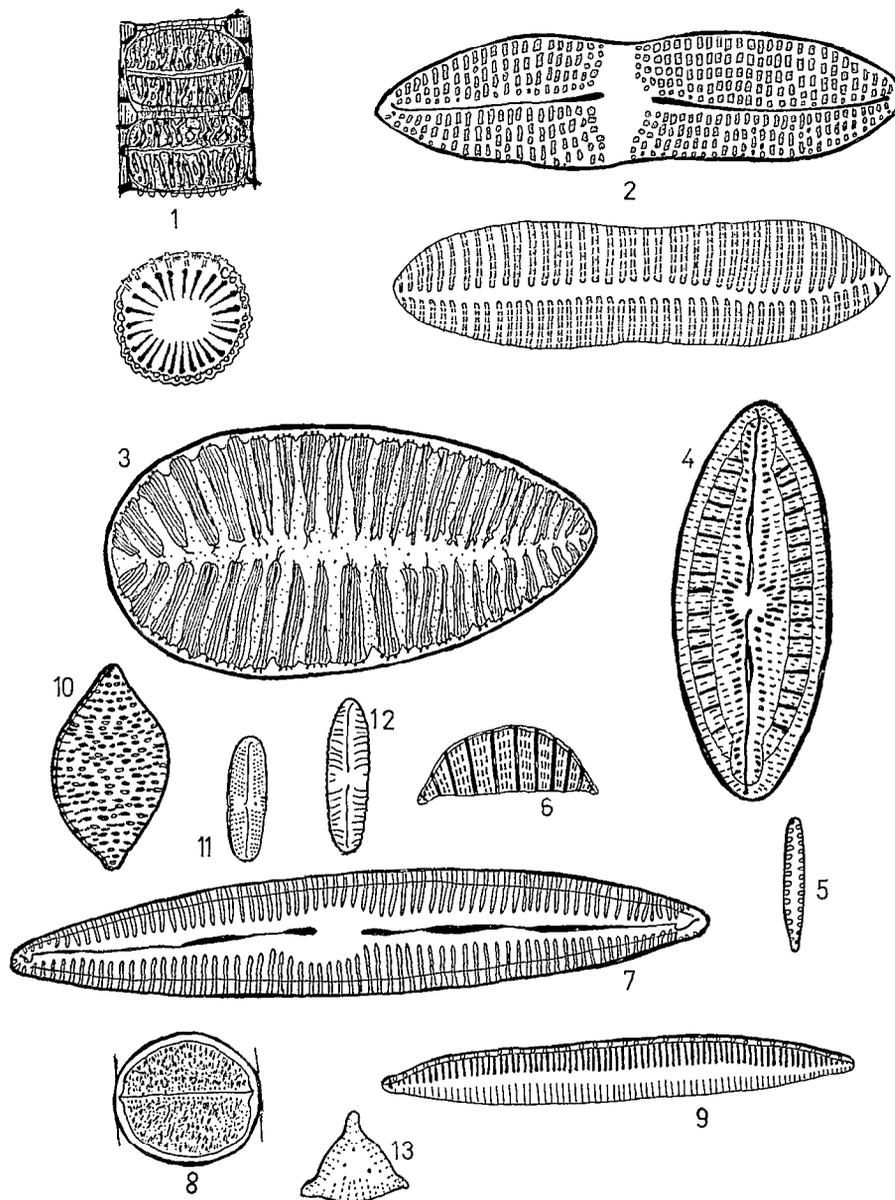
En H : la flore ressemble à celle qui s'est développée en E.F. mais ici, la flore est plus variée. Avec *Anomoeoneis sculpta* et *costata* apparaissent de nombreux *Nitzschia* (*N. stompsii*, *N. frustulum*, *N. amphibia*).

En I, enfin, au sommet de la coupe, la flore change complètement. Elle est composée de 95 % de *Nitzschia palea*, qui sont souvent très brisées. Elles sont accompagnées de quelques *Anomoeoneis costata*, et *Nitzschia amphibia*. Le sédiment contient aussi des petits cristaux quadratiques encore indéterminés.

Les sédiments étudiés qui représentent l'extension lacustre Tauca furent prélevés sur la bordure de ce lac. C'est pour cette raison que les Diatomées indiquent que le milieu était peu profond, mais le lac Tauca fut un lac largement développé, profond et très riche en sels dissous. Nous allons voir maintenant la répartition de ces sels pendant l'épisode lacustre Tauca.

A Culluri, l'espèce dominante est *Achnanthes breviceps*. HUSTEDT (1938) indique que c'est une forme mesohalobe (3 à 16 g/l). Mais la nature du sel est inconnue, les autres espèces associées à cette forme dominante laissent penser qu'il s'agirait de chlorures. A Escara et Rio Salado, l'espèce dominante est *Rhopalodia musculus*, cette espèce fut décrite par MULLER dans le Fayoum, il s'agissait d'une saline intérieure, extrêmement concentrée particulièrement en carbonates de sodium. Enfin, à Tauca l'espèce dominante est *Anomoeoneis costata*, puis *Anomoeoneis sculpta*, var. *genuina* et enfin *Nitzschia palea*. Ces espèces constituent les formes dominantes et habituellement répandues dans les mares salées du Nord du lac Tchad (ILTIS, 1974). Ces mares sont hypercarbonatées (jusqu'à 40 g/l) et peuvent présenter des périodes d'assèchement complet de plus ou moins longue durée.

Pendant l'épisode lacustre Tauca, ce grand lac profond était donc très riche en sels variés, chlorures



LACUSTRE TAUGA. *Culluri*. 1. *Melosira sulcata* (Ehr) Kütz (63). diametro 21  $\mu$ . 2. *Achnanthes breviceps* AG (63). L. 76  $\mu$  A. 23  $\mu$ . 3. *Surirella striatula* Turp (63). L. 63  $\mu$ . 4. *Escara*. 4. *Mastoglia elliptica* Ag. (81). L. 52  $\mu$  A. 14  $\mu$ . 5. *Fragilaria pinnata* Ehr subsolitaria A. Cl. L. 20  $\mu$  A. 2  $\mu$ . 6. *Rhopalodia musculus* (Kütz) O Mull (81). L. 20  $\mu$  l. 7  $\mu$ . 7. *Caloneis formosa* (Greg) Cleve (81). 8. *Melosira monoliformis* (O. Mull) AG. (81). Diametro 25  $\mu$ . 9. *Nitzschia angustata* (W. Smith) Grun. L. 52  $\mu$  A. 7  $\mu$ . *Rio Salado*. 10. *Nitzschia punctata* (N. Smith) Grun (166). L. 27  $\mu$  A. 15  $\mu$ . 11. *Navicula mutica* Kütz (166). L. 14  $\mu$  A. 5  $\mu$ . 12. *Navicula mutica* Kütz (166). L. 20  $\mu$  A. 5  $\mu$ . 13. *Fragilaria construens* (Ehr) Grun var. *exigua* (W. Smith) Schuls (166).

et carbonates de sodium étant ses éléments dissous dominants.

#### LES ALLUVIONS HOLOCÈNES

Les axes hydrographiques de l'Altiplano et en particulier ceux de la «serrania» de Corocoro présentent une basse terrasse graveleuse où s'intercalent 2 à 4 m de limons à tourbes localement interstratifiés. Ces témoins sont très riches en Diatomées.

*Les dépôts de Ayo-Ayo.* La flore est constituée seulement par des Pennales qui fournissent comme première information un indice sur la profondeur. Il s'agissait d'un marécage ou d'une plaine d'inondation, les Phytolithaires que l'on trouve en abondance dans ces dépôts vont dans le même sens que l'indication fournie par les Diatomées. D'après la position des dépôts on peut dire avec certitude qu'il s'agissait d'une pellicule d'eau, bien oxygénée *Nitzschia denticula* et *Cymbella microcephala*, olicarbonatée jusqu'à 3 g/l au maximum (le sel préférentiel étant le carbonate de calcium) et peut être assez frais, on rencontre en effet une assez grande quantité et variété de *Cymbella* à test symétrique attribué à *C. alpina*, *C. norvegica*, *C. cesatii*, qui suggère une température basse de l'eau.

*Les dépôts de Topohoco.* Comme à Ayo-Ayo, les Diatomées sont abondantes et on a pu y déterminer une grande quantité d'espèces, mais toutes, comme à Ayo-Ayo, sont des Pennales épiphytes, benthiques, ou planctoniques facultatives. Par ordre d'abondance : *Fragilaria construens* var. *exigua*, *F. construens*, *F. brevistriata*, *F. brevistriata* var. *undulata*, *Cymbella norvegica*, *Cymbella cistula*, *Achnanthes lanceolata*, *Achnanthes dispar*.

Les Diatomées ont trouvé là un milieu particulièrement favorable à leur épanouissement, que nous pourrions caractériser comme peu profond, oligotrophe, bien oxygéné et frais. Les principales espèces psychrophiles trouvées à Topohoco sont : *Cymbella aequalis*, *C. norvegica*, *C. gracilis*, *C. hebridica*.

#### CONCLUSION

La plupart des lacs pleistocènes de l'Altiplano bolivien contiennent une flore caractéristique de milieux très riches en éléments dissous, avec domi-

nance suivant les régions de sulfates ou chlorures de sodium ou de carbonates de sodium.

Les plus faibles paléosalinités s'observent dans le lacustre Ballivian : la formation Ulloma s'est déposée dans une zone deltaïque dont la paléosalinité n'est peut-être pas caractéristique de l'ensemble du lac, les sédiments étudiés ne contiennent en effet que des espèces d'eau douce, par contre la formation Lauca contient des espèces d'eaux salées, associées à une forte proportion d'espèces d'eau douce du même type que la Formation Ulloma.

La paléosalinité devient forte à Michin (lac mesohalobe, 3 à 13 g/l) et atteint une valeur plus forte dans le lacustre Tauca où les eaux devaient être meso à hypercarbonatées (jusqu'à 40 g/l).

Les dépôts alluviaux holocènes contiennent une flore d'eau douce épiphyte, avec de nombreuses espèces vivant préférentiellement dans les régions montagneuses et froides.

Il est probable que chacune des extensions lacustres a redissout une partie des sels déposés antérieurement. On peut calculer par exemple que la remise en solution partielle des évaporites déposées par l'assèchement du lac Michin a pu d'emblée provoquer une salinité de l'ordre de 8 à 10 g/l des eaux du lac Tauca. Ce processus peut expliquer en partie la paléosalinité croissante des nappes d'eau du Quaternaire au fur et à mesure que l'on se rapproche des périodes récentes.

Cependant les teneurs très élevées en éléments dissous ne peuvent probablement pas s'expliquer sans une forte évaporation, ce qui implique un contexte climatique relativement sec, avec des pluies concentrées sur quelques mois de l'année. Il est encore difficile de préciser l'origine des eaux de ces extensions lacustres. La dernière (Tauca) pourrait être due en partie à la fonte des glaciers. Le supplément d'eau ainsi fourni, a pu être suffisant pour introduire un facteur positif dans le bilan hydrologique global de l'Altiplano. Des études stratigraphiques plus actuelles seront nécessaires pour savoir si cette interprétation est applicable aux lacustres antérieurs.

Les alluvions limoneuses de l'Holocène ancien contiennent une flore d'eau douce, ce qui est naturel étant donné que les eaux n'ont pas subi une longue évolution par évaporation. La présence de Diatomées psychrophiles pourrait indiquer le maintien d'un climat relativement froid.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M.  
29 mars 1978.

BIBLIOGRAPHIE

- AHLFED (F.), BRANISA (L.), 1960. — Geologia de Bolivia. *Inst. Bol. Petr.* Don Bosco, ed., La Paz, 245 p.
- BORRELLO (A.), 1966. — Paleontografia bonacrense. Fasc. 1. Protista. Provincia de Buenos Aires Gobernación. Comisión de Investigación científica. La Plata.
- EVERDEN (F.), KRIZ (S.), CHERRONI (C.), 1966. — Correlaciones de las formaciones terciarias de la cuenca altiplánica a base de edades absolutas determinadas por metodo potasis-argon. *Hoja Informativa*, n° 1, *Serv. Geol. de Bol.*
- FRENGUELLI (I.), 1929. — Diatomee fossili delle conche saline del deserto cileno-boliviano. *Boll. Soc. Geol. Italiana*, vol. n° 47, n° 10-14 : 185-236.
- FRENGUELLI (J.), 1939. — Diatomeas del Lago Titicaca. Notas del Museo de la Plata *Botanica*, vol. 24, n° IV : 175-196, 1 pl.
- FRENGUELLI (J.), 1939. — Vestigios de una fase lacustre reciente en la cuenca de la Salina chica en Peninsula Valdez (chubut). *GAEA An. Soc. Arg. Est. Geográficos*, vol. VII : 65-71, 1 pl.
- MANGUIN (E.), 1964. — Contribution à la connaissance des Diatomées des Andes du Pérou. *Mem. Mus. nat. Hist. nat.*, ns, ser. B., Bot., vol. 12, n° 2 : 1-98, 25 pl.
- MÜLLER (O.), 1899. — Bacillariaceen aus der Natronthälern von El Kab (Ober Aegypten). *Hedwigia*, vol. 38 : 274-321.
- SERVANT (M.), 1976. — El Cuaternario del Altiplano de Bolivia. Extensiones lacustres y morfogenesis. In *Primer Congreso Nacional de Geología*, Potosi, Bolivia (sous presse).
- SERVANT (M.), 1977. — Le cadre stratigraphique du Plio-Quaternaire de l'Altiplano des Andes tropicales en Bolivie. In *Recherches françaises sur le Quaternaire. INQUA*, 1977, Suppl. Bull. AFEQ, 1977-1, n° 50 : 323-327.
- WIDMER (C.), KITTEL (T.), RICHESON (P. J.), 1973. — A survey of the biological limnology of Lake Titicaca. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, vol. 19 : 1504-10.