

LES DIATOMÉES DES SÉDIMENTS SUPERFICIELS D'UN LAC SALÉ, CHLORURÉ, SULFATÉ SODIQUE DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN, LE LAC POOPÓ

Simone SERVANT-VILDARY

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

RÉSUMÉ

L'examen de la flore diatomique conservée dans les sédiments superficiels du Lac Poopó met en évidence une assez grande variété de la flore pour un lac dont la salinité varie entre 20 et 40 g/l suivant les régions.

Cette forte salinité est représentée dans la flore par une dominance et une large répartition des Nitzschia. Nitzschia punctata peut être considérée ici comme une espèce meso à hyperhalobe, préférentielle de milieux chlorurés sodiques.

Cette étude met en évidence le rôle non négligeable des paramètres physiques sur la répartition des Diatomées. En certaines circonstances, ces paramètres peuvent masquer le facteur salinité dans la constitution des associations de Diatomées.

RESUMEN

La flora diatómica conservada en los sedimentos superficiales del Lago Poopó presenta una gran variedad para un lago cuya salinidad alcanza valores fuertes como 20 hasta 40 g/l según las regiones. Esta fuerte salinidad esta representada en la flora por la dominancia, y una larga distribución de los Nitzschia. Se puede decir que N. punctata es una especie meso-hyperhalobiana.

Este estudio pone en evidencia que los factores físicos juegan un papel importante sobre la repartición de las diatómeas. En algunas circunstancias esos parámetros pueden esconder la influencia de la salinidad sobre la constitución de las asociaciones diatómicas.

DIATOMS IN SUPERFICIAL SEDIMENTS OF POOPO LAKE, A SODIC CHLORINATED AND SULPHATED SALT LAKE ON BOLIVIAN ALTIPLANO

SUMMARY

Studying the diatom flora preserved in superficial sediments of Poopo Lake reveals a wide range of varieties whereas the salt content of the lake ranges between 20 and 40 g/l in the various areas.

This high salt content results, as regards flora, in a prevalence and a wide distribution of Nitzschia. In the present case, Nitzschia punctata can be considered as a meso- to hyperhalobian species, which prefers sodic chlorinated environments.

This study emphasizes the significant role of physical data in distribution of Diatoms. In some circumstances, these data can occult the salt content factor in the formation of associations of Diatoms.

ДИАТОМЕИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛЁНОГО СОДОВОГО ХЛОРИСТО-СУЛЬФАТНОГО ОЗЕРА БОЛИВИЙСКОГО АЛЬТИПЛАНО - ОЗЕРО ПООПО

РЕЗЮМЕ

Исследование диатомовой флоры, сохранившейся в поверхностных отложениях озера Поопо, выявило довольно разнообразную флору для озера, степень засоленности которого колеблется в пределах 20 - 40 г/л в зависимости от районов.

Эта высокая степень солесодержания представлена во флоре преобладанием и широким распределением видов *Nitzschia*. *Nitzschia punctata* можно считать здесь мезо- гипергалобным видом, предпочитающим хлористые содовые среды.

Это изучение выявляет немаловажное влияние физических параметров на распределение диатомей. В известных обстоятельствах, параметры эти могут маскировать роль солесодержания в образовании диатомовых ассоциаций.

INTRODUCTION

Une étude qualitative des associations de Diatomées a été effectuée sur 14 échantillons de sédiments superficiels répartis sur toute la surface du lac. Une première série (PJ) d'échantillons fut prélevée en juin (fin de la saison des pluies), une deuxième série (PN) fut prélevée en novembre (fin de la saison sèche). Les analyses chimiques des eaux correspondant à ces deux séries de prélèvements ont été effectuées par CARMOUZE qui a bien voulu me communiquer ses résultats et que je tiens à remercier ici.

L'analyse de la flore des sédiments superficiels donne une image moyenne des différentes périodes de végétation qui se sont succédées au cours d'un ou plusieurs cycles annuels. Pour cette raison, il n'est pas possible d'établir de relations directes entre les données chimiques mensuelles et la flore rencontrée dans les sédiments. Nous avons essayé surtout de mettre en évidence les rapports existants

entre la flore diatomique et les caractères chimiques généraux du lac au cours d'une année.

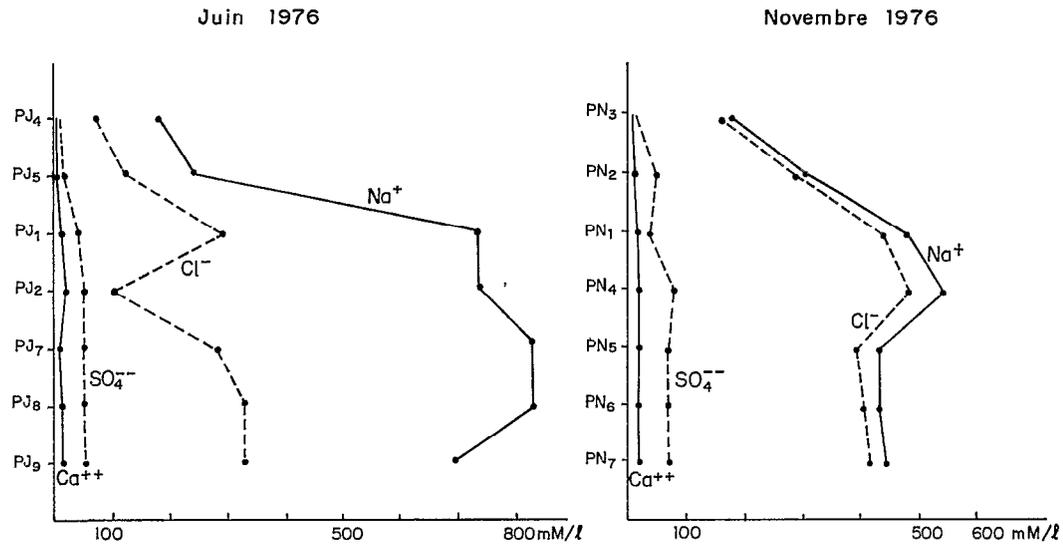
ГЕНЕРАЛИТЭС

Le lac Poopo se situe à 250 km au sud du lac Titicaca avec lequel il est actuellement en relation par l'intermédiaire du Desaguadero et du lac Uru-Uru. C'est un lac de 4 777 km² de superficie en moyenne, situé à 3 686 m d'altitude, peu profond, relativement plat. Le maximum de profondeur atteint 2,20 m en mai et s'abaisse à 1,60 m en novembre, ce qui provoque un grand changement dans la configuration du lac. La température est de 0 à 5° en hiver et de 12° à 14° en été (BOULANGÉ *et al.*, 1978).

C'est un lac alcalin (le PH varie entre 8,5 et 9 au cours de l'année), essentiellement chloruré, sulfaté sodique. On observe un gradient de concentration du calcium, du sodium, des chlorures, des sulfates du nord au sud, et l'alcalinité est multipliée par 3 (CARMOUZE *et al.*, 1978).

	pH	Al _e me/l	SO ₄ ⁻ mM/l	Cl ⁻ mM/l	SiO ₂ mg/l	Na ⁺ mM/l	K ⁺ mM/l	Ca ⁺⁺ mM/l	Mg ⁺⁺ mM/l
1	9	3,2	6,5	25	2	30	0,90	2,5	2,8
	8,7	1,25	20,0	115	5	130	2,75	5,0	6,5
2	8,45	1,9	20	115	3	130	2,75	5	6,5
	8,85	3	60	315	8	345	9,5	20	25
3	8,80	3,0	60	315	1	345	9,5	20	25
	8,35	4,0	86	485	8,0	525	14,5	22	38,5

Valeurs moyennes relatives à l'année 1976



PROVINCES Hydrochim.	Echantillons	Cond µm hos	Ph mM/l	CO ₃ ⁻ mM/l	SO ₄ ⁻ mM/l	Cl ⁻ mM/l	Na ⁺ mM/l	Ca ⁺⁺ mM/l	Mg ⁺⁺ mM/l	Si(OH) ₄ mM/l	Alc mE/l
(1)	PN ₃	23 300	8,82		30,55	175,5	188	10,8	16,5	0,05	3,22
(2)	PN ₂	40 500	8,85		49,35	309	313,5	14,7	22	0,06	3,66
	PJ ₄	9 500	8,8	0,74	14,4	73,4	185	4,98		3,80	
	PJ ₅	13 400	8,7	0,46	17,7	112,8	245	6,6		4,8	
	PJ ₁	34 000	8,8	1,4	48	296,2	720	19,4		9,6	
(3)	PN ₁	43 000	8,65		77,5	454	493	21,6	34,4	2,45	4,54
	PJ ₂	40 000	8,4	1,01	56	105	740	19,4		9,4	
	PN ₄	45 500	8,95		86,95	495,5	550	24,3	39,6	0,9	4,69
	PJ ₇	35 000	8,3	1,1	52	289,1	840	17,9		12,4	
	PN ₅	39 500	8,45		72,85	408	442	19,4	34,2	10	4,61
	PJ ₈	35 000	8,4	1,1	53	331	840	19,20		11,2	4,40
	PN ₆	40 000	8,63		75,55	413	445	19,9	34,4	7,72	
	PJ ₉	35 000	8,3	1,01	52	331,5	680	19,6		10,1	
	PN ₇	40 500	7,61		77,55	423	450	19,9	34,2	4	4,40

Fig. 1. — Données hydrochimiques pour les mois de juin et novembre 1976.

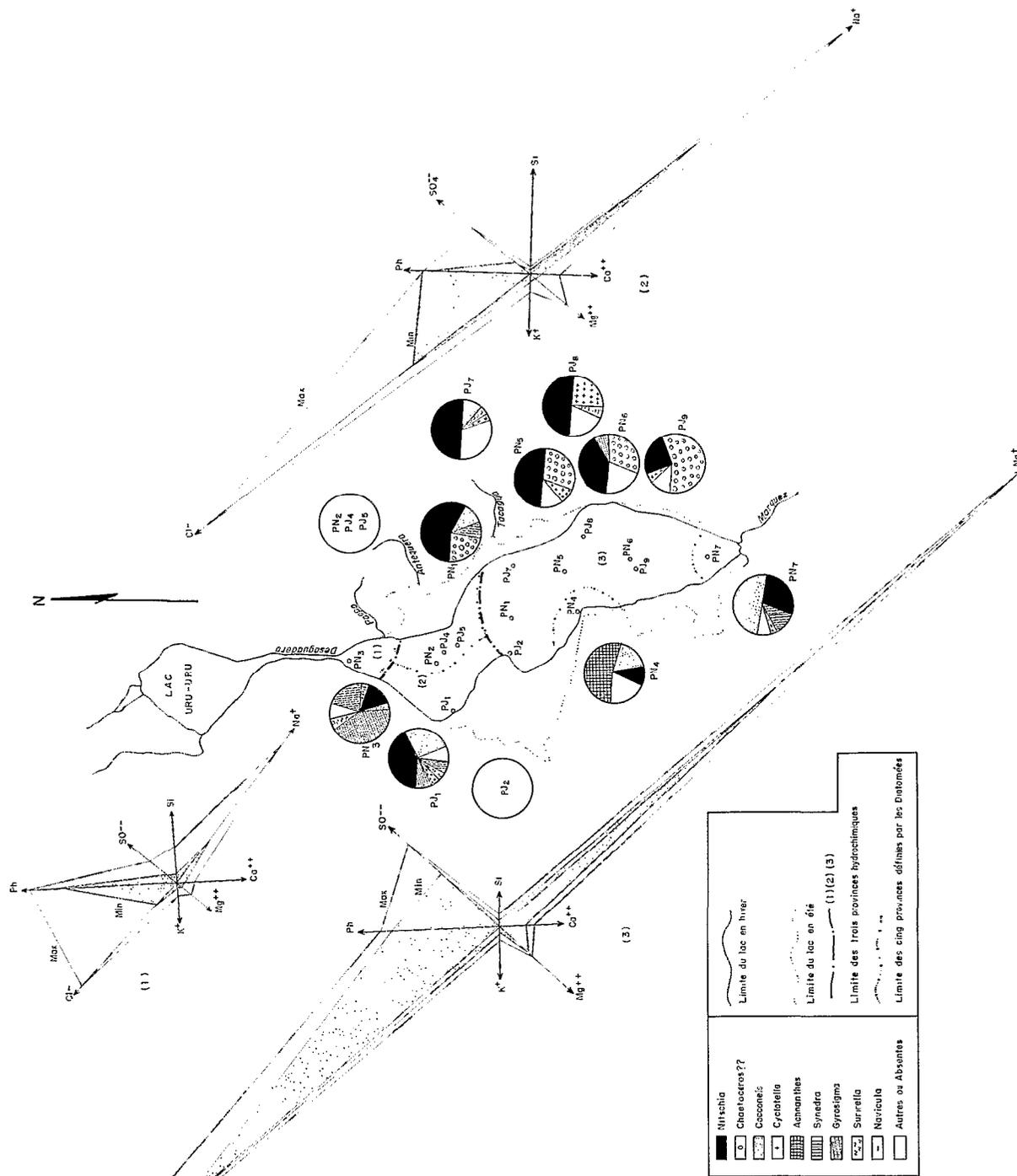


Fig. 2. --- Répartition des associations de Diatomées dans les trois provinces hydrochimiques du lac Poopo.

Les données mensuelles fournies en mM/l des principaux éléments (fig. 1) indiquent un enrichissement des eaux de juin à novembre pour les ions SO_4^- , Cl^- , Ca^+ et pour $\text{Si}(\text{OH})_4$. Cet enrichissement pendant la saison sèche peut correspondre à une augmentation de l'évaporation et à une diminution des apports par les rivières. Le sodium au contraire diminue de juin à novembre, il doit alors précipiter ou être utilisé par les organismes (fig. 1).

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE LA FLORE

La quantité de frustules conservés dans les sédiments est faible comparée aux valeurs trouvées dans les sédiments quaternaires, les tests sont souvent très brisés. On a déterminé 51 espèces et variétés, ce qui est beaucoup pour un lac dont la salinité peut atteindre 40 g/l en certains endroits. La flore se répartit de la façon suivante :

Nitzschia 17 espèces ; *Gyrosigma* 2 espèces ; *Pinnularia* 1 espèce ; *Navicula* 13 espèces ; *Cyclotella* 2 espèces ; *Synedra* 1 espèce ; *Cocconeis* 3 espèces ; *Rhopalodia* 2 espèces ; *Gomphonema* 1 espèce ; *Amphora* 3 espèces ; *Surirella* 2 espèces ; *Achnantes* 1 espèce.

On constate l'absence des espèces euplanctoniques comme *Melosira* et *Stephanodiscus*, ce qui est normal dans un lac peu profond comme l'est le lac Poopo ; par contre les genres les plus fréquents sont des formes littorales, épiphytes ou benthiques.

CARMOUZE a individualisé trois provinces hydrochimiques (1, 2, 3) caractérisées par une salinité croissante du nord au sud. Du point de vue de la flore diatomique, ces trois provinces sont définies par l'abondance des *Nitzschia* (*N. punctata*, *N. angustata*). On peut donc dire que le lac Poopo est un lac à *Nitzschia*.

A l'intérieur de ces provinces, les associations de Diatomées présentent des caractères particuliers, et c'est à partir de ces variations locales qu'il a été possible de subdiviser ces trois provinces hydrochimiques en plusieurs zones que nous allons décrire successivement.

L'analyse des Diatomées fait ressortir une interdépendance entre les caractères chimiques généraux et la flore de Diatomées, à laquelle se surajoutent les facteurs topographiques, bathymétriques locaux qui peuvent dans certains cas devenir prédominants.

Les Diatomées dans la province hydrochimique 1 (fig. 2)

Cette province est située dans la partie Nord du lac, elle correspond à la zone d'influence du Rio Desaguadero. Nous avons étudié un échantillon (PN3) situé près de l'embouchure de la rivière.

Les Diatomées sont abondantes, l'association est dominée par *Gyrosigma* (fig. 3).

<i>Gyrosigma spencerii</i>	40,9 %
<i>Synedra tabulata</i>	23,9 %
<i>Nitzschia angustata</i>	8,6 %
<i>Surirella ovata</i> var. <i>crumena</i>	3,1 %

Gyrosigma spencerii (W/Smith) Cleve.

CLEVE-EULER, 1951 : « Brackwasser fast Süsse, eutrophe Gewässer sicut selten ».

HUSTEDT, 1930 : « Die Art is vorwiegend Brackwasserform, im Gebiet zerstreut besonders in schach salzigen Gewässern ».

HUSTEDT, 1938 : « Euryhaline, bislang vorwiegend aus den Küsten gebieten sowwie aus Salzgewässer des Binnenlandes bekannt ».

Nitzschia angustata (W. Smith) Grun.

CLEVE-EULER, 1968 : « Cette espèce vit en eau douce, elle est inconnue en eau saumâtre ».

GASSE, 1975 : « Littorale, mesochalobe, pH 8,5 ».

Surirella ovata Kütz.

CHOLNOKY, 1968 : « is a freshwater species that can tolerate slight fluctuations in osmotic pressure rather well and may, therefore, also be common in certain brackish waters, its pH optimum lies between 7,5 and 8 ».

Bien que cette province 1 soit la moins salée du lac, on se trouve dans un milieu polyhalin (16 à 40 g/l), le pH est alcalin (8,5 à 9), les teneurs en ions Cl^- et Na^+ sont fortes, de même que la quantité de matière organique apportée par la rivière (BOULANGÉ *et al.*, 1978).

On peut remarquer que l'association qui se développe ici est composée d'espèces euryhalines, c'est-à-dire d'espèces qui peuvent s'adapter à des salinités très différentes. On peut donc penser que leur présence dans cette zone n'est pas contrôlée par le seul facteur salinité, mais par d'autres facteurs qui peuvent être la présence de matière organique, la turbidité ou la variabilité du milieu dues à la proximité de l'embouchure d'une rivière qui est le principal affluent du lac Poopo.

Les Diatomées dans la province hydrochimique 2

Cette province correspond à la zone de salinité intermédiaire. Il y a de grandes variations au cours de l'année de la concentration des principaux éléments et notamment du chlore et du sodium.

Quatre échantillons ont été étudiés dans cette province. Un à l'ouest (PJ₁) contient une belle flore diversifiée et trois situés à l'est (PN₂, PJ₄ et PJ₅) sont azoïques, ils ne contiennent que quelques frustules très brisés qui pourraient être remaniés.

Pour le moment, l'absence de Diatomées dans cette zone Est n'est pas expliquée. Il n'y a pas de cause biologique nette, et l'absence de diatomées

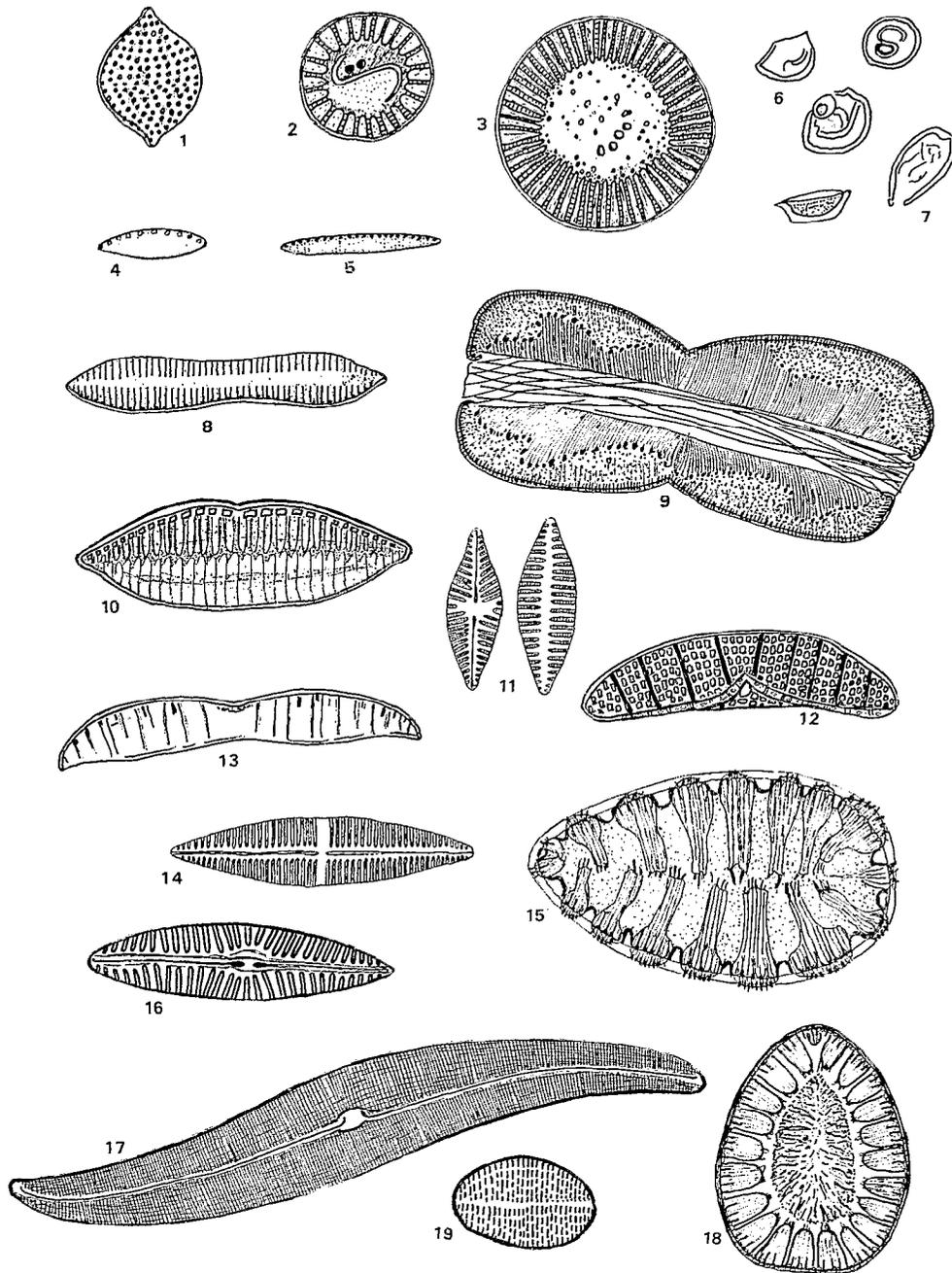


Fig. 3. — Exemple de quelques diatomées du lac Poopo.

1. *Nitzschia punctata* (W. Smith) Grun. PJS, l = 17 μ , l = 11 μ , 12 stries, 12 aréoles en 10 μ . 2. *Cyclotella meneghiniana* Kütz. var. *bipunctata* Schmidt. PJS, diamètre 14 μ . 3. *Cyclotella striata* (Kütz) Grun. PJS, diamètre 23 μ . 4. *Nitzschia* sp. PJ9, L = 8 μ , l = 8 μ . 5. *Nitzschia frustulum* (Kütz) Grun. PJ9, L = 17 μ , l = 2,3 μ . 6. *Chaetoceros* sp. ?? PN1, diamètre 8 μ . 7. *Chaetoceros* ? 8. *Nitzschia apiculata* (Gregory) Grun. PN3, L = 34 μ , l = 2,3 μ . 9. *Amphiprora* cf. *ornata* Bailey. PN1, L = 54 μ , l = 11 μ . 10. *Nitzschia tryblionella* Hantsch. PN3, L = 70 μ , l = 20 μ , 9 stries en 10 μ . 11. *Achnanthes hirta* Carter. PN4, L = 17 μ , l = 5 μ , 12 stries en 10 μ . 12. *Epithemia argus* Kütz. var. *longicornis* Grun. PN3, L = 40 μ , l = 11 μ . 13. *Nitzschia epithemioides* Grun. PN6, L = 53 μ , l = 5 μ . 14. *Navicula* sp. PN6, L = 32 μ , l = 7 μ , 14 stries en 10 μ . 15. *Surirella striatula* Turp. PJ9, L = 100 μ , l = 50 μ . 16. *Navicula* sp. PJ9, L = 32 μ , l = 8 μ , 10 stries en 10 μ . 17. *Gyrosigma Spencerti* (W. Smith) Cleve var. *nodifera* Grun. PN3, L = 72 μ , l = 14 μ . 18. *Surirella* cf. *ovata* Kütz. PJ7, L = 32 μ , l = 20 μ . 19. *Cocconeis plucentula*. PN7, L = 15 μ , l = 10 μ .

s'observe en juin et en novembre, cela semble donc un phénomène constant au cours de l'année. On pourrait alors faire intervenir un facteur mécanique. Les frustules pourraient être transportés au-delà de leur zone de développement par un courant qui a été reconnu dans ce secteur.

L'échantillon prélevé dans la partie Ouest est riche en Diatomées. L'association est caractérisée par l'abondance du genre *Nitzschia*. Le genre sous-dominant est *Cocconeis*, la présence de cette Diatomée épiphyte est certainement liée à une importante végétation aquatique.

<i>Nitzschia punctata</i>	35	%
<i>Nitzschia angustata</i>	16,6	%
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>	25	%
<i>Amphora coffaeformis</i>	10	%
<i>Gyrosigma</i> sp.....	6,6	%

Amphora coffaeformis (Ag.) Kützing.

CHOLNOKY, 1960 : « cette espèce vit préférentiellement dans des eaux neutres ou légèrement alcalines ».

GASSE, 1975 : « littorale, crenophile, pH 8, mesohalobe ».

Nitzschia punctata (SM) Grunow.

HUSTEDT, 1938 : « est une espèce halophile à mesohalobe », pH 7, eurytherme ».

Cocconeis placentula Ehr. var. *euglypta* (Ehr.) Cleve.

CHOLNOKY, 1968 : « pH optimum to be about 8, is a good indicator of moderately alkaline waters ».

PETERSON, 1930 in SCHOEMAN, 1973 : « This epiphyte species possesses a considerable ability to adapt itself to different biotic conditions ».

GASSE, 1975 : « littorale, épiphyte, pH 8, oligohalobe ».

Cette association reflète assez bien la salinité élevée de cette zone par la présence de *Nitzschia* et *Amphora coffaeformis* typiquement mesohalobes, elle reflète aussi par la présence d'une flore épiphyte abondante, la présence de plantes aquatiques.

Les Diatomées dans la province hydrochimique 3

C'est la province où ont été observées les plus fortes teneurs de tous les éléments dissous et en particulier du chlore et du sodium (fig. 1). Tous les échantillons étudiés, qu'ils correspondent au mois de juin ou de novembre, sont caractérisés par l'abondance de *Nitzschia* (*N. punctata* et *N. angustata*). Étant donné la grande représentativité de ces espèces dans le lac Poopo, on peut donc proposer qu'elles sont alcaliphiles (pH égal ou supérieur à 8), hyperhalines (salinité globale égale ou supérieure à 35 g/l) préférentielles de milieux chloruré-sodiques.

Grâce à la répartition spécifique des Diatomées, on a pu subdiviser cette province 3 en quatre zones. Toutes ces zones sont caractérisées par un fort pourcentage en *Nitzschia*, mais elles diffèrent par

les espèces subdominantes qui modifient la signification écologique de l'association.

Il n'est pas possible de lier ces différences avec les variations locales des caractères chimiques des eaux. Ce seraient les facteurs physiques (turbidité, profondeur, présence de végétation aquatique, proximité du littoral) qui détermineraient les caractères secondaires des associations.

La zone intérieure (échantillons PN₁, PN₅, PN₆, PJ₉)

Les échantillons précédemment cités se trouvent approximativement situés à l'emplacement du courant qui provient du Desaguadero, et qui se poursuit dans le lac dans la partie la plus profonde où se dépose principalement de la matière organique. Les associations de Diatomées sont caractérisées par l'abondance de sphérules de moins de 10 µm de diamètre sans ornementation, avec une proéminence centrale en forme de S. Ces sphérules sont attribués de manière provisoire au genre *Chaetoceros* (fig. 3).

PN₁ *Chaetoceros* *Nitzschia punctata* 17,8 %, *Nitzschia angustata* 14,6 %, *Nitzschia hungarica* 18,4 %, *Cocconeis diminuta* 14,1 %.

PN₅ *Chaetoceros* *Nitzschia punctata* 14,1 %, *Cyclotella meneghiniana* var. *bipunctata* 7 %.

PN₆ *Chaetoceros* *Nitzschia punctata* 37,9 %, *Cyclotella meneghiniana* 11 %, *Gyrosigma spencerii* 7 %.

PJ₉ *Chaetoceros* *Nitzschia frustulum* 16,6 %.

Nitzschia hungarica Grun.

CHOLNOKY, 1968-1970 : « its pH optimum at about 8,5 and it can tolerate oxygen deficiencies ».

PETERSEN, 1943 : « mesohalobous ». HUSTEDT, 1957 : « halophilous to betamesohalobous ».

Cocconeis diminuta, in SCHOEMAN, 1973, Pant.

CHOLNOKY, 1968 : « pH optimum 8 ». HUSTEDT, 1938 : « oligohalobe litoralform vorzugweise in eutrophen Gewässern leben ». HUSTEDT, 1930 : « In Teichen Seen um ruhigen Flüssen weit verbreitet ».

Nitzschia frustulum Kütz.

CHOLNOKY, 1968 : « is a true brackish water species, for optimum growth it favours eutrophic alkaline water, with a pH of about 8 or probably even higher ».

GASSE, 1975 : « littorale, pH 8, meso à euryhalobe, N-heterotrophe obligatoire ».

Les espèces qui accompagnent ces *Chaetoceros*, sont, à part *Cocconeis diminuta*, des espèces qui vivent principalement dans des milieux dont la

salinité est forte. Leur présence ici en grand nombre, reflète bien les caractéristiques du lac Poopo. Par contre, *Cocconeis diminuta* serait plutôt une espèce euryhaline et non oligohalobe.

La zone extérieure (échantillons PJ8-PJ9)

Les associations qui se développent dans cette région diffèrent des associations de la zone intérieure par la disparition des *Chaetoceros*.

C'est un fait assez remarquable à observer si on pense à la distance très faible qui sépare ces deux zones et aux faibles variations chimiques qui existent entre ces deux zones, tout au moins pour les mois pour lesquels nous possédons des données.

Les deux associations étudiées sont caractérisées par la prédominance des *Nitzschia* (fig. 3).

PJ7	<i>Nitzschia punctata</i> 28,2 %	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> 12 % <i>Gyrosigma</i> sp. 12 %.
	<i>Nitzschia angustata</i> 19,5 %	<i>Navicula rhynchocephala</i> 12 %, <i>Cyclotella meneghiniana</i> 4 %.
PJ8	<i>Nitzschia punctata</i> 45 %	<i>Cyclotella meneghiniana</i> var. <i>bipunctata</i> 25 %, <i>Gyrosigma</i> sp. 7,4 %, <i>Navicula rhynchocephala</i> 7,4 %.

Navicula rhynchocephala Kütz.

PATRICK et REIMER, 1966 : « Cette espèce est largement distribuée en eau douce, elle semble préférer des eaux à haut contenu minéral, halophile à indifférente à de petites quantités de chlorure.

GERMAIN, 1936 : « Elle vit sur des fonds de ruisseau, sur boue ou eau calme ».

HUSTEDT, 1930 : « Suss. und leicht brackischen Wasser überall verbreitet ».

SCHOEMAN, 1973 : « is a freshwater species favoring neutral to slightly alkaline waters ». CHOLNOKY, 1968 : « its optimum pH probably lies between 7,3 and 7,6 ».

Cyclotella meneghiniana Kütz.

CHOLNOKY, 1968 : « it may occur in brackish waters, it is not a true brackwater species since it cannot tolerate severe changes in osmotic pressure ». GASSE, 1975 : « Planctonique on littorale, alcalibionte, euryhalobe, N-Heterotrophe facultative ».

La flore diatomique est bien représentative du milieu. *Nitzschia punctata* serait dans le lac Poopo, polyhalobe. Les autres espèces se sont adaptées à un milieu très riche en contenu minéral, la salinité dans cette zone est de 35 g/l, le pH de 8,5, le sodium y est abondant, 840 mM/l.

Si on compare les données chimiques de la zone externe et de la zone interne pour le même mois de juin, la différence réside seulement dans la teneur

de l'ion sodium, plus importante dans la zone externe. C'est peut-être la seule variation de ce paramètre qui a pu provoquer l'explosion des *Nitzschia* et la disparition des *Chaetoceros*. Mais on peut se demander si une variation du sodium, dans les gammes de salinités très élevées où nous nous situons peut vraiment provoquer un changement aussi important de la flore. Ce changement pourrait être lié à la position très littorale des prélèvements. On se trouve en effet dans une zone très sensible aux moindres variations du niveau du plan d'eau, et c'est peut-être ce paramètre qui serait défavorable au développement des *Chaetoceros*.

La zone est (échantillon PN₄)

Cet échantillon fut prélevé en novembre, la salinité était de 45 g/l. Cette zone peu profonde, est colonisée par une abondante flore aquatique. On trouve ici une association diatomique particulière, où domine *Achnanthes hirta* (fig. 3).

<i>Achnanthes hirta</i> 52,5 %	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>linearis</i> 15,8 %.
	<i>Nitzschia punctata</i> 5 %, <i>Nitzschia ovalis</i> 5 %.

Achnanthes hirta Carter

Carter 1970 l'a trouvée pour la première fois vivante dans des fossés en Andorre. Mais l'auteur ne donne pas d'indications sur le milieu. Dans le lac Poopo, c'est une espèce épiphyte, polyhalobe typique.

Les *Cocconeis* trouvent dans cette région colonisée par *Ceratophyllum* un milieu favorable à leur développement, de même que *Achnanthes hirta* qui est une espèce épiphyte, vivant préférentiellement dans des eaux très peu profondes. L'association reflète ici, plus le paramètre profondeur que la salinité du milieu.

La zone Sud (échantillon PN₇)

Cette zone est localisée à l'embouchure du Rio Marquez, dans la partie Sud de la province hydrochimique 3.

Nous observons une différence importante de la composition chimique des eaux aux embouchures des deux principales rivières qui alimentent le lac, de même il existe une grande différence dans la répartition des Diatomées. Au Sud, où la salinité en novembre est de 40 g/l (alors qu'elle est de 23,3 g/l au Nord) on s'attendait à trouver une association composée d'espèces typiquement halophiles. En fait on trouve une association dont le genre dominant *Cocconeis*, est considéré comme préférentiel de milieux d'eau douce, mais qui possède un assez grand pouvoir d'adaptation à des milieux de concentration variée.

<i>Cocconeis diminuta</i>	<i>Nilzschia punctata</i> 25,7 %
20,5 %	
<i>Cocconeis placentula</i> var.	
<i>linearis</i> 18,3 %	<i>Synedra tabulata</i> 8,7 %
<i>Cocconeis placentula</i> var.	
<i>euglypta</i> 8,5 %	<i>Cyclotella meneghiniana</i>
	var. <i>punctata</i> 4,5 %.

Cette association ne semble pas contrôlée de manière déterminante par la salinité du milieu. Elle pourrait plutôt être en relation avec la qualité des apports liquides (la conductivité du Rio Desaguadero est de 1 390 μmhos en mai, alors que celle du Rio Marquez est de 930 μmhos) et peut-être plus précisément avec l'abondance (Rio Desaguadero) ou l'absence (Rio Marquez) de matière organique dans les eaux fluviales.

En résumé, cette association ne pourrait pas être reliée à des salinités élevées si nous ne connaissions pas la composition chimique des eaux où nous l'avons rencontrée. On peut admettre que *Cocconeis* s'est adapté ici à des teneurs particulièrement fortes en éléments dissous, mais cette Diatomée a trouvé un facteur favorable à son développement dans la zone soumise à l'influence du Rio Marquez. En première hypothèse ce facteur pourrait être l'absence de matières organiques, peut-être également une faible quantité d'apport en matières nutritives.

CONCLUSION

Nos premières observations sur le lac Poopo montrent la complexité des relations qui existent entre la flore diatomique et le milieu. Une première constatation s'impose : *l'ensemble du lac est caractérisé par l'abondance des Nilzschia et cela reflète bien le chimisme général des eaux.*

Il faut remarquer la rareté ou l'absence des espèces comme *Anomoeoneis sphaero phora*, *A. costata*, *R. gibberula*, *R. musculus* qui sont particulièrement abondantes dans les mares carbonatées-sodiques du Tchad. Leur absence dans ce lac typiquement chloruré sodique confirme leur affinité à des milieux carbonatés.

Si on compare ces données avec celles que nous avons obtenues sur les sédiments quaternaires (SERVANT-VILDARY, 1978), on remarque que les espèces dominantes sont différentes, surtout pour le lac Tauca. Ce lac, daté de 12 000-10 000 ans B.P. a été la nappe d'eau la plus salée de toutes celles qui

se sont succédées au cours du Quaternaire. Le lac Tauca était caractérisé par *Achnanthes breviceps*, *Cyclotella striata*, *Melosira sulcata*. Ces trois espèces ne se rencontrent pas dans le lac Poopo. La disparition des *Cyclotella* et des *Melosira* peut être due à une plus faible profondeur du lac Poopo comparée à celle du lac Tauca, mais la disparition des *Achnanthes* est inexplicable et ne doit pas être liée à une grande variation de la paléosalinité.

D'autre part, le lac Tauca contenait quelques espèces préférentielles de milieu carbonaté ; celles-ci disparaissent complètement dans le lac Poopo. Y aurait-il eu depuis 12 000 ans un changement dans le chimisme de ces lacs ?

Dans le cadre défini par l'abondance des *Nilzschia*, nous observons des associations très différentes qui ne peuvent pas être reliées de manière évidente à des variations chimiques. Dans certains cas, nous avons rencontré des Diatomées dont la présence était assez inattendue. Tel est par exemple le cas de *Cocconeis*, considéré comme oligohalobe, qui se développe de manière préférentielle dans les eaux les plus salées du lac. Son adaptation à un milieu particulièrement riche en éléments dissous implique l'intervention d'un facteur actuellement inconnu mais qui est en relation avec les apports d'eaux fluviales par le Rio Marquez.

Ces constatations sont très importantes pour la compréhension et l'interprétation des associations de Diatomées des sédiments quaternaires. Il est fréquent que les associations anciennes réunissent des espèces dont la signification écologique est plus ou moins en contradiction sur le plan des paléosalinités globales ou spécifiques, ce qui les rend pratiquement ininterprétables. L'exemple actuel du lac Poopo montre que le chimisme des eaux est reflété seulement par une ou plusieurs espèces particulièrement abondantes. Le développement des autres espèces obéit à des lois plus complexes, qu'il est difficile d'éclaircir et surtout difficile d'en évaluer l'effet sur la différenciation des associations.

Un autre paramètre dont nous n'avons pas parlé dans ce travail concerne la nature du fond. Les relations n'ont pas pu être établies en raison d'une localisation trop imprécise des échantillons qui ont été étudiés. Mais il est dans nos projets de continuer l'étude des Diatomées actuelles du lac Poopo de manière plus approfondie en essayant de faire intervenir ce facteur.

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

BIBLIOGRAPHIE

- BOULANGÉ (B.), RODRIGO (L. A.), VARGAS (C.), 1978. — Morphologie, formation et aspects sédimentologiques du lac Poopó (Bolivie). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 1 : 69-78.
- CARMOUZE (J. P.), 1978. — Circulación de materia (aguasales disueltas) en el sistema fluvio-lacustre del Altiplano boliviano. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 1 : 49-68.
- CARTER (J. R.), 1970. — Diatoms from Andorra. In *Diatomaceae II*, J. Cramer (1970), 835 p.
- CHOLNOKY (B. J.), 1968. — The relationship between algae and the chemistry of natural waters C.S.I.R., 129 : 215-25.
- CHOLNOKY (B. J.), 1960. — Die Okologie der Diatomeen in Binnengewässern. J. Cramer, 677 p.
- CLEVE, Euler A., 1968. — Die Diatomeen von Schweden und Finnland J. Cramer, 5 : 1061 p.
- GASSE (F.), 1975. — L'évolution des lacs de l'Afar Central (Éthiopie et T.F.A.I.) du Plio-Pléistocène à l'Actuel. Thèse d'Ét. Paris VI, 406 p.
- GERMAIN, H., 1936. — Les lieux de développement et de multiplication des Diatomées d'eau douce. *Bull. Soc. Sc. Nat. Ouest Nantes* (1936) — (5) : 200 p.
- HUSTEDT (F.), 1930. — Bacillariophyta (Diatomeae) in die Süßwasserflora Mitteleuropas Hrsg. von Pasher 10 : 466 p.
- HUSTEDT (F.), 1938. — Die fossile Diatomeenflora in den Ablagerungen des Tobasees auf Sumatra. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* XIV. Tropische Binnengewässer VI : 143-90.
- SCHOEMAN (F. R.), 1973. — A systematical and ecological study of the Diatom flora of Lesotho, with special reference to water quality. V. R. Printers, Pretoria, 355 p.
- SERVANT-VILDARY (S.), 1978. — Les Diatomées des dépôts lacustres quaternaires de l'Altiplano bolivien. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 1 : 25-35.

DIATOMÉES DES SÉDIMENTS SUPERFICIELS DU LAS POOPÓ

ANNEXE

LISTE DES DIATOMÉES RENCONTRÉES DANS LE LAG POOPÓ

	PN3	PN2	PJ4	PJ5	PJ1	PN1	PJ2	PN4	PJ7	PN5	PJ8	PN6	PJ9	PN7
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<i>Achnanthes hirta</i>	1,8							52,5						
<i>Amphiprora paludosa</i>										1,4				
<i>Amphora coffaeiformis</i>		0,8			10			3,3				0,4		1,4
<i>Amphora veneta</i>								1,7						
<i>Amphora</i> sp.....														1,7
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> var. <i>sculpta</i>								0,8						
<i>Cocconeis placentula</i>	2,4													
var. <i>euglypta</i>	2,4				25	3,2			12	2,8		0,4		8,5
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>linearis</i>								15,8		1,4		2,2		18,3
<i>Cocconeis diminuta</i>						14,1		3,3						20,5
<i>Cyclotella meneghiniana</i> ... var. <i>bipunctata</i>	0,6				3,3	1				7,4	25	11	2,5	4,5
<i>Cyclotella meneghiniana</i> ... Gomphonema sp.....						2			4			1,6		
<i>Gyrosigma Spencerii</i>	40,9									0,7		7		
<i>Gyrosigma</i> sp.....					6,6	1			12		7,4	0,4		
<i>Navicula bacilliformis</i>										1,6				
<i>Navicula cincta</i>	0,5													
<i>Navicula cuspidata</i>	0,6													
<i>Navicula digitoradiata</i> ... <i>Navicula mutica</i>						2					1,7			
<i>Navicula placentula</i> <i>Navicula radiosa</i>													1,9	
<i>Navicula rynchocephala</i> ... <i>Navicula salinarum</i>									12	0,7				
<i>Navicula simplex</i>	1,2										7,4			
<i>Navicula zanoni</i> <i>Navicula</i> sp.....											1,7			
<i>Nitzschia acuminata</i> <i>Nitzschia angustata</i>										0,7				
<i>Nitzschia apiculata</i>	8,6				16,6	14,6			19,3	2,1				
<i>Nitzschia confinis</i> <i>Nitzschia epiphytica</i>										4,9	0,9		0,8	1,4
<i>Nitzschia epilithioides</i> ... <i>Nitzschia fonticola</i>										3,8				
<i>Nitzschia frustulum</i>	1,2									3,5				
<i>Nitzschia granulata</i> <i>Nitzschia halophila</i>										2,5				
<i>Nitzschia hungarica</i> <i>Nitzschia latens</i>									1,4	2,8		3,2		
<i>Nitzschia ovalis</i> <i>Nitzschia punctata</i>													16,1	
<i>Nitzschia trybionella</i> var. <i>victoriae</i>														
<i>Nitzschia trybionella</i> var. <i>maxima</i>														
<i>Pinnularia borealis</i> <i>Rhopalodia gibba</i>														
<i>Rhopalodia musculus</i> <i>Surirella ovala</i>														
var. <i>crumena</i>	3,1													
<i>Surirella striatula</i> <i>Synedra tabulata</i>					3,3	1			4	2,1	0,4	0,4	1,7	1,4
<i>Chaetoceros?</i>	23,9				3,3	3,2			1	0,3	0,4		3,2	8,7
	5,5					26				28,8		30,9	85	1,4