

Contribution à l'étude hydrobiologique des lacs salés du sud de l'Altiplano bolivien

A. ILTIS (1), F. RISACHER (2) et
S. SERVANT-VILDARY (1)

RÉSUMÉ

Dans la zone volcanique située au sud-ouest de l'Altiplano bolivien, un ensemble de petits bassins salifères bien individualisés a donné naissance à une série de lacs salés de faible étendue et peu profonds situés en bordure de la frontière chilienne. Le climat de cette région est particulièrement sec et froid. La salinité globale des eaux varie de 7 à 10 g.l⁻¹ pour les lacs les moins concentrés jusqu'à plus de 100 g.l⁻¹. D'après la nature des sels dissous, on distingue des milieux chlorurés sodiques (c'est le cas le plus fréquent), des milieux carbonatés sodiques et des milieux sulfatés sodiques. Le pH des eaux est toujours élevé et varie entre 8,15 et 10,80.

Le plancton végétal est constitué par des Chlorophycées unicellulaires flagellées, quelques Dinophycées et Cyanophycées et surtout par des Diatomées ; parmi celles-ci, une centaine d'espèces a été identifiée mais un nombre restreint d'entre elles atteint des pourcentages élevés dans les peuplements. On peut ainsi distinguer des lacs à *Nitzschia* dominant, des lacs à *Amphora*, des lacs à *Navicula* et des lacs à *Stauroneis*. De plus, deux espèces de *Surirella* sont abondantes. Il a été trouvé une bonne corrélation entre la flore diatomique des sédiments superficiels et celle du phyto-plancton même avec un décalage de plusieurs années entre les prélèvements de sédiment et les récoltes de plancton.

Les biomasses phytoplanctoniques présentes apparaissent relativement faibles. L'intensité du rayonnement solaire, les basses températures moyennes des eaux et l'amplitude des variations journalières de celles-ci paraissent être des éléments défavorables aux développements d'algues. Le zooplancton est constitué par des Rotifères (seulement dans les milieux les moins salés), des Copépodes et des *Artemia*. De nombreux Nématodes aquatiques sont observés à proximité du fond.

Les consommateurs terminaux de ces écosystèmes sont les oiseaux aquatiques, principalement des flamants roses, dont trois espèces sont abondantes sur ces milieux.

MOTS-CLÉS : Lacs salés — Physico-chimie — Algues — Biomasses phytoplanctoniques — Zooplancton — Oiseaux aquatiques — Andes — Bolivie — Amérique du Sud.

SUMMARY

CONTRIBUTION TO THE HYDROBIOLOGICAL STUDY OF THE BOLIVIAN ALTIPLANO SOUTHERN SALINE LAKES

On the volcanic area located at the south western part of the Bolivian Altiplano, a group of small saliferous basins has given rise to a series of small, shallow saline lakes situated along the border of Chile. The climate of this area is particularly dry and cold. The total salinity of waters ranges from 7-10 g.l⁻¹ for the less concentrated lakes to more than 100 g.l⁻¹. From the nature of dissolved salts, sodium chloride (the most frequent), sodium carbonate, or sodium sulfate lakes can be distinguished. The pH of waters is always high, and ranges between 8,15 and 10,80.

The algal plankton comprises unicellular flagellated Chlorophyta, some Dinophyceae and Cyanophyceae, but mainly Diatoms ; among them, about a hundred species has been determined but a restricted number of them reaches

(1) ORSTOM, 24, rue Bayard, 75008 Paris.

(2) Géologue ORSTOM, Institut de Géologie, 1, rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex.

high percentages in the algal populations. Thus, there are lakes with *Nitzschia* dominating and others with *Amphora*, or *Navicula*, or *Stauroneis* dominating. Moreover, two species of *Surirella* are abundant. A significant correlation has been found between the diatom flora of superficial sediments and the flora of the phytoplankton, even when there is a difference of several years between sampling sediments and plankton collections.

Phytoplanktonic biomass found in the saline lakes is relatively low. The intensity of solar radiation, the amplitude of diurnal variations, and the low mean temperatures of the water seem to be unfavourable to algal development. The zooplankton comprises *Rotatoria* (only in the less saline lakes), copepods and *Artemia*. Many aquatic nematodes have been observed near the bottom.

The terminal consumers of these ecosystems are aquatic birds, mainly pink flamingoes. Three species of these are abundant on the lakes.

KEY WORDS : Saline lakes — Chemistry — Algae — Phytoplanktonic biomasses — Zooplankton — Aquatic birds — Andes — Bolivia — South America.

RESUMEN

CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO HIDROBIOLOGICO DE LOS LAGOS SALADOS DEL SUR DEL ALTIPLANO BOLIVIANO

En la parte Sur Oeste del Altiplano boliviano, cerca de la frontera chilena, se han instalado numerosas lagunas saladas, llamadas salares, en un conjunto de pequeñas cuencas bien individualizadas, en un paisaje esencialmente volcánico; el clima es particularmente seco y frío.

En los salares menos concentrados, la salinidad de las aguas varia entre 7 y 10 g/l, pero en algunas puede sobrepasar 100 g/l. La naturaleza de las sales disueltas permite distinguir lagunas cloruradas sodicas (las mas frecuentes), sulfatadas sodicas y carbonatadas sodicas. El pH de las aguas es siempre elevado y varia entre 8,15 y 10,80.

El plancton vegetal comprende Cloroficeas unicelulares flageladas, algunas Dinoficeas, Cianoficeas y sobre todo Diatomeas representadas por unas 100 especies de las cuales solo un numero reducido alcanza porcentajes elevados en las poblaciones. Por este motivo, podemos hablar de lagunas de *Nitzschia*, de *Amphora*, de *Navicula* y de *Stauroneis*. El género *Surirella*, encontrado en todas las lagunas, esta representado esencialmente por dos especies.

Existe una buena correlación entre la flora de Diatomeas que encontramos en los sedimentos superficiales y el fitoplancton a pesar de que las muestras se han recogido con cinco años de diferencia.

La biomasa fitoplanctonica de las lagunas estudiadas es relativamente baja. La insolación intensa y las temperaturas medias bajas podrian ser elementos desfavorables para el desarrollo de las algas. El zooplancton comprende Rotíferos (unicamente en los medios pocos salados), Copépodos y *Artemia*. Se han observado numerosos Nematodos acuáticos cerca del fondo.

Los ultimos consumidores de estos ecosistemas son las aves acuáticas, principalmente los flamencos rosados representados por tres especies.

PALABRAS CLAVES : Lagunas saladas — Fisico-química — Algas — Biomosas fitoplanctonicas — Zooplancton — Aquaticas aves — Andes — Bolivia — America del Sur.

INTRODUCTION

Il existe de nombreux lacs salés dans plusieurs pays d'Amérique du Sud, tels le Pérou, la Bolivie, l'Argentine par exemple. Malheureusement, si les milieux salés continentaux d'Amérique du Nord, d'Australie, d'Afrique et d'Europe ont jusqu'à présent fait l'objet d'études plus ou moins approfondies, l'hydrobiologie des lacs salés latino-américains reste encore très mal connue. Le but de la présente note sur les collections d'eau du sud des hauts plateaux boliviens est de réunir les éléments connus à ce jour sur la limnologie de cette région. Toutes les parties de l'écosystème de ces lacs ont été considérées mais l'absence de connaissances dans de nombreux domaines fait que certains aspects ont été

moins développés que d'autres. Dans leur plus grande partie, les travaux effectués ont été réalisés dans le cadre d'un accord entre l'Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) de La Paz et l'ORSTOM.

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

L'Altiplano bolivien est un vaste bassin fermé d'altitude élevée (3.700 à 4.500 m) compris entre les cordillères orientale et occidentale des Andes. Ce haut plateau est constitué, au point de vue géologique, d'un bassin sédimentaire affecté surtout dans sa partie sud par un volcanisme récent à l'endroit où les deux cordillères se rejoignent.

Du nord au sud, on distingue la succession de plusieurs systèmes hydrologiques, bassins ou portions

de bassins endoréiques, succession accompagnée d'un accroissement de la salinité des milieux aquatiques lié à une diminution des apports pluviométriques.

On rencontre ainsi, au nord, la plus grande des deux parties du lac Titicaca, ou Grand Lac Titicaca, vaste étendue d'eau douce de 7.081 km² de superficie, avec une profondeur maximale de 284 m et un volume global estimé à 883.10⁹ m³, puis le Petit Lac Titicaca (ou Huinamarca), milieu oligohalin (en moyenne 1,2 g.l.⁻¹ de sels dissous) d'une superficie de 1.367 km² pour une profondeur maximale de 42 m et un volume global de 12,4.10⁹ m³ (BOULANGÉ et AGUIZE JAEN 1981). Ces deux parties du lac ne communiquent ensemble que par un détroit d'environ 800 m de large. Vient ensuite le lac Poopo, mésohalin au nord, hyperhalin au sud, alimenté par le Desaguadero, émissaire du Huinamarca, dont la superficie varie entre 2.650 et 2.030 km² suivant le niveau, le volume entre 257 et 132.10⁷ m³ et la profondeur maximale entre 1,60 et 2,20 m (BOULANGÉ, RODRIGO, VARGAS 1978). Au sud-ouest du lac Poopo s'étendent les grands lacs salés asséchés de Coipasa (2.000 km²) et surtout de Uyuni, la plus grande croûte de sel du monde avec 10.000 km² de superficie. Enfin, dans la zone volcanique située tout au sud de la Bolivie, un ensemble de petits bassins salifères bien individualisés a donné naissance à une série de lacs salés de faible étendue répartis dans la région bordant la frontière avec le Chili entre 21° et 22°45' de latitude sud et 67° à 68° de longitude ouest (fig. 1).

Ces derniers lacs salés ou « salars » situés dans la région du nord et sud Lipez ont fait l'objet de plusieurs études géologiques (RISACHER, 1978 ; AHLFELD, 1956 ; RETTING *et al.*, 1980 ; BALLIVIAN et RISACHER, 1981). Plusieurs de ces milieux ont été prospectés au point de vue biologique en novembre 1982 en vue d'analyser la composition des peuplements aquatiques animaux et végétaux.

DONNÉES CLIMATIQUES

Le climat de la partie sud de l'Altiplano est particulièrement sec et froid ; il est caractérisé par des pluies peu abondantes, un niveau d'ensoleillement élevé et des vents forts. Les pluies (100 mm en moyenne par an) se produisent en général aux mois de décembre, janvier et février, les précipitations étant presque nulles le reste de l'année.

Les températures de l'air sont parmi les plus basses de celles enregistrées en Bolivie. Les valeurs minimales observées en hiver (mai à août) peuvent atteindre - 25 à - 30 °C la nuit, 10 °C étant dans la journée une valeur habituelle. En été, les températures sont plus modérées mais les gelées nocturnes restent fréquentes et les variations journalières

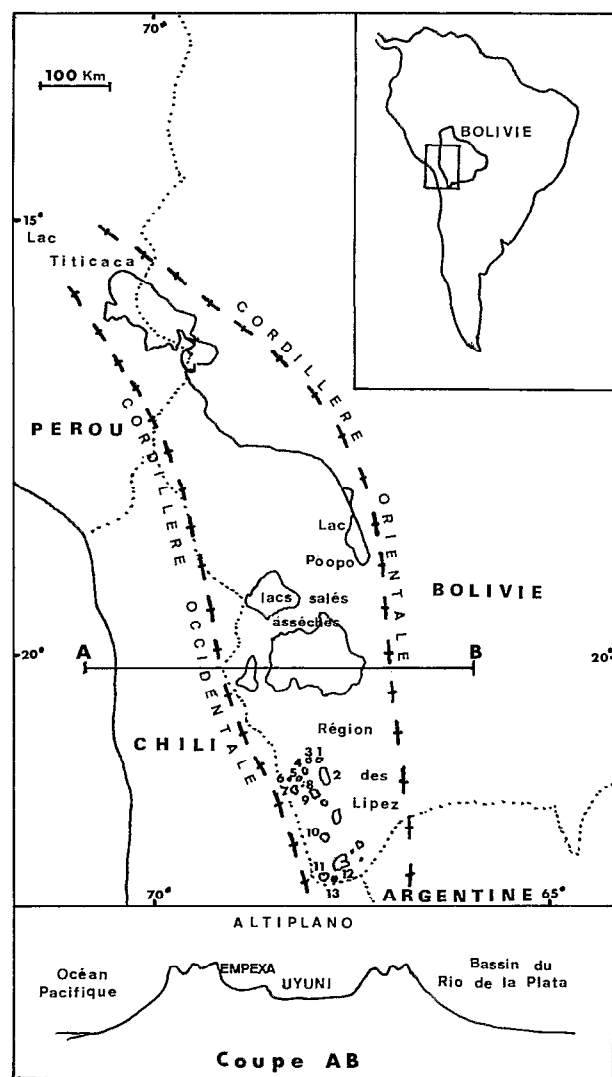


FIG. 1. — Carte de situation (d'après BALLIVIAN et RISACHER, 1981) : 1 : Chulluncani ; 2 : Pastos Grandes ; 3 : Cañapa ; 4 : Hedionda Norte ; 5 : Chiar Khota ; 6 : Ballivian ; 7 : Ramaditas ; 8 : Pujio et Honda Norte ; 9 : Cachi laguna ; 10 : Laguna Colorada ; 11 : Laguna Verde ; 12 : Challviri ; 13 : Puripica

durant cette saison peuvent aller de - 3 °C à + 20 °C.

Les vents, dont l'intensité est maximale durant les mois d'hiver, ont pour direction dominante nord-est — sud-ouest.

CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES LACS SALÉS

Les eaux des lacs salés proviennent surtout de nappes phréatiques et accessoirement de remontées

thermales ; les éléments dissous proviennent essentiellement de l'altération des roches des bassins versants.

Les « salars » du sud ouest bolivien peuvent être de quatre types différents (BALLIVIAN et RISACHER, 1981) (fig. 2) :

type 1 (fig. 2.1) : lacs salés au fond plus ou moins imperméable les séparant d'une nappe d'eau douce souterraine plus étendue, cette nappe alimentant le

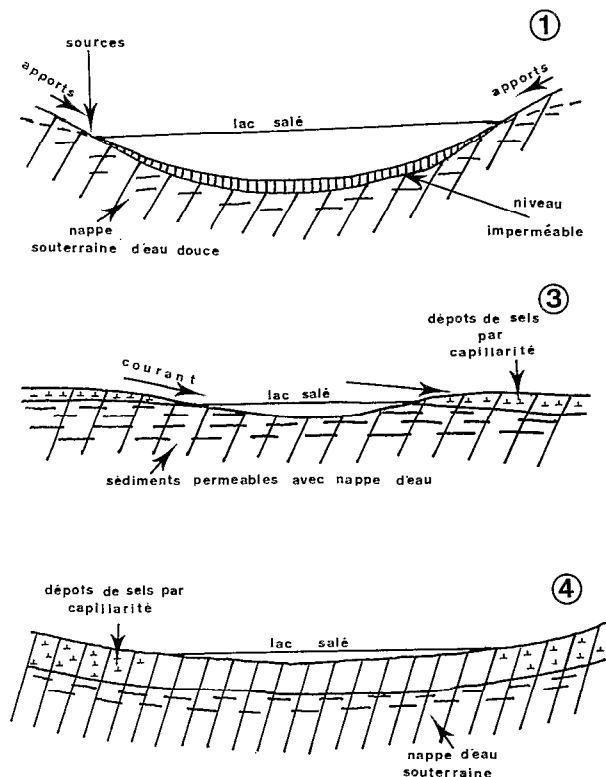


FIG. 2. — Types de lacs existant dans la région du Lipez. Schéma des types 1, 3 et 4 (d'après BALLIVIAN et RISACHER, 1981)

lac par des infiltrations au niveau des rives. Les interactions eau-sédiment sont faibles. La profondeur maximale peut être de plusieurs mètres (exemples : Laguna Verde et Collpa laguna) ;

type 2 : lacs salés asséchés formés d'une épaisse croûte de sel qui renferme une saumure résiduelle interstitielle. C'est le cas des grands « salars » d'Uyuni et de Coipasa situés dans la région centrale de l'Altiplano. Ils se trouvent en dehors de la zone des Lipez étudiée ici et, de plus, présentent peu d'intérêt au point de vue hydrobiologique, étant seulement recouverts d'une mince pellicule d'eau de façon passagère après les pluies ;

type 3 (fig. 2.3) : lacs salés constitués par un affleurement de la nappe phréatique sur des sédiments détritiques perméables (sables et graviers) formant une dépression. Ce sont des lacs peu profonds (exemple : Cachi laguna) ;

type 4 (fig. 2.4) : lacs salés situés sur des sédiments imperméables et indépendants de la nappe captive située sous ceux-ci. Il existe de fortes interactions entre eau et sédiment. C'est le cas le plus fréquent dans la région des Lipez (exemple : Pastos Grandes, Cañapa, Honda).

Des types intermédiaires existent entre ces trois catégories ; ainsi le lac d'Hédionda Norte est intermédiaire entre les types 1 et 3.

En dehors des lacs du premier type qui peuvent présenter une profondeur de quelques mètres, la hauteur d'eau dans la plupart de ces milieux est au maximum de cinquante centimètres environ. Le fond est constitué par une couche diatomitique de plusieurs millimètres d'épaisseur constituée de frustules vides de Diatomées.

CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

Transparence

Elle est très variable selon les développements d'algues et l'agitation du milieu par le vent. Par temps calme, il est le plus souvent possible de voir le fond mais dès que le vent se lève, les sédiments superficiels sont remis en suspension et donnent à l'eau une teinte blanchâtre. A Cachi Laguna et Laguna Colorada, la transparence n'est que de quelques centimètres, en raison des développements phytoplanktoniques dans le milieu.

Température

Elle est sujette à des variations importantes au cours de la journée. En novembre, époque à laquelle une série d'échantillons a été prélevée, il n'est pas rare qu'une mince pellicule de glace se forme à la surface de l'eau au cours de la nuit, puis la température du milieu atteint 9 à 12 °C vers 9 à 10 h et enfin 19 à 22 °C vers 13 ou 14 h. Elle se maintient à ce niveau jusque vers 16 à 17 h, puis diminue ensuite rapidement.

Durant l'hiver (mai à août), les températures de l'eau baissent considérablement. Certains lacs sont gelés pendant toute la saison hivernale et même au-delà (de mars à octobre pour Cachi Laguna). D'autres ne sont gelés que pendant les mois les plus froids (juin-juillet) : leur température varie de 5 °C en moyenne en avril à 0 °C en juin-juillet et remonte à 5 °C en août.

Teneurs globales en sels dissous

Elles ont été estimées par l'intermédiaire de la conductivité électrique. Les valeurs de celle-ci dans différents milieux prospectés en novembre 1982 ont été comparées, après correction de température, à celles de solutions témoins de NaCl à diverses concentrations. Il s'agit d'une approximation, la relation entre conductivité et salinité variant selon la nature des sels dissous (chlorures, carbonates ou sulfates). Dans le cas présent, c'est pour les lacs carbonatés (Cachi Laguna) et sulfatés (Cañapa, Chulluncani) que cette estimation est la moins précise. Dans le tableau I figurent, classées par ordre croissant, les salinités globales des différents lacs exprimées en équivalents NaCl. Les teneurs observées en novembre 1982 varient de 7 g.l⁻¹ dans le petit lac de Chulluncani à 137 g.l⁻¹ à Laguna Colorada. Les valeurs observées au cours d'études antérieures (BALLIVIAN et RISACHER, 1981) sont ajoutées à ce tableau.

TABLEAU I

Teneur globale en sels dissous de différents lacs salés de la région du Lipez (Sud de la Bolivie)

Lacs	Teneur globale en sels estimée g.l ⁻¹	
	Novembre 1982	Études antérieures
Chulluncani (petit lac)...	7	11,6
Honda.....	12	21,4
Cañapa.....	13	11,5
Pujio.....	18	31,1
Ramaditas.....	20	27,7
Ballivian.....	28	45,3
Lag. Verde.....	46,5	66,0
Hedionda.....	57	67,2
Cachi Laguna.....	86	43,5 et 322
Chiar Khota.....	119	69,3
Lag. Colorada.....	137	120

Il n'existe pas, à notre connaissance, d'indications sur les variations saisonnières ou interannuelles de la teneur en sels dissous ; en pratique, la pluviométrie intervient relativement peu dans le régime hydrologique de ces lacs alimentés par des nappes souterraines et c'est l'évaporation qui joue un rôle important vis-à-vis de la salinité. Il s'agit en effet de lames d'eau pelliculaires très sensibles aux variations du rapport évaporation sur alimentation, une réduction de la hauteur d'eau de 1 cm entraînant par exemple une variation de salinité de 10 % dans une nappe d'eau profonde de 20 cm. Il en résulte des différences appréciables dans les salinités observées à diverses périodes comme on peut le remarquer pour les teneurs en sels figurant sur le tableau I.

De plus, il est probable que des variations locales existent dans ces nappes d'eau peu profondes selon la proximité ou l'éloignement de sources ou d'éven-

tuels affluents d'eau douce, et des observations plus détaillées seraient nécessaires pour définir avec plus d'exactitude la salinité de ces milieux.

Nature des sels dissous

Plusieurs séries de dosages ont été réalisées sur les eaux des lacs salés étudiés (RISACHER, 1978 ; BALLIVIAN et RISACHER, 1981). Plusieurs types d'eau ont ainsi été inventoriés parmi les milieux existant dans cette région :

le type chloruré sodique : c'est le cas le plus répandu (Chiar Khota, Ramaditas, Laguna Verde, Pujio, Honda Norte, Ballivian, Laguna Colorada) ;

le type carbonaté sodique : c'est le cas de Cachi Laguna, Collpa laguna ; Hedionda Sur et Khara laguna ;

le type sulfaté sodique représenté par le lac de Cañapa et Chulluncani.

La représentation graphique de KUFFERATH (1951), à partir des proportions relatives des principaux ions exprimés en mé.l⁻¹, permet de schématiser ces trois types et de les classer dans les catégories suivantes (fig. 3) :

les eaux diioniques natritiques où dominent les ions carbonatés et sodiques ;

les eaux diioniques halitiques où chlore et sodium sont les éléments dominants. Une quantité non négligeable de sulfates peut exister dans les eaux de certains milieux, tel le « salar » de Chiar Khota par exemple ;

les eaux triioniques chloro-sulfatées sodiques où le sodium est pratiquement le seul cation existant, les anions majeurs étant les chlorures et les sulfates, avec cependant toujours prédominance des chlorures lorsque ces éléments sont exprimés en millimoles.

Il existe des compositions ioniques intermédiaires entre ces catégories ; les eaux de Hedionda Norte ont ainsi une composition intermédiaire entre diionique halitique et triionique chloro-sulfaté sodique, la proportion de sulfates étant relativement importante dans ces eaux.

En conclusion, d'après la concentration en sels dissous et la nature des anions dominants, on peut distinguer, suivant le principe adopté pour les eaux salées intérieures africaines (ILTRIS, 1972) parmi les milieux prospectés en novembre 1982 :

un lac mésohalin	Honda Norte
un lac mésosulfaté	Cañapa, Chulluncani (petit lac)
des lacs polyhalins	Ramaditas, Pujio, Ballivian
des lacs hyperhalins	Lag. Verde, Chiar Khota, Lag. Colorada, Hedionda Norte
un lac hypercarbonaté	Cachi Laguna

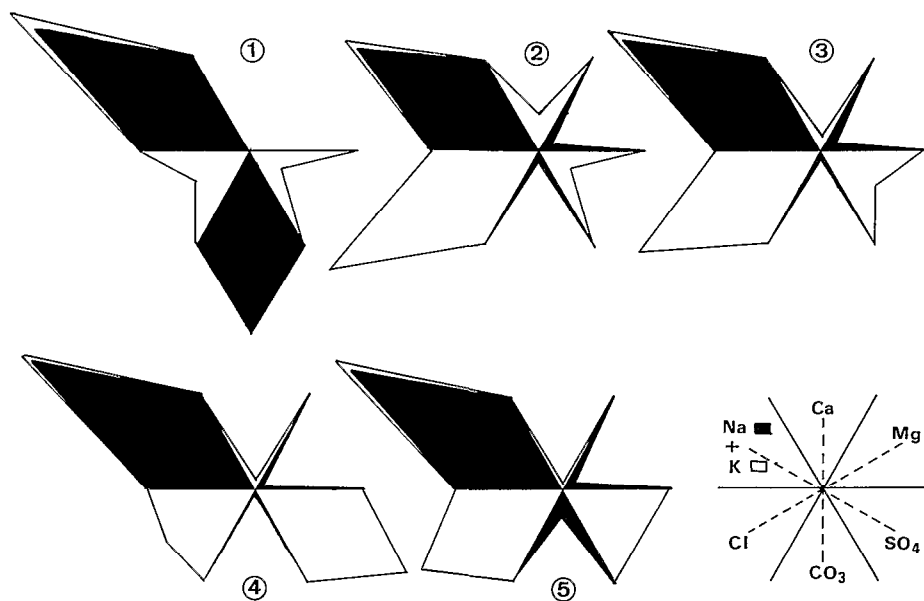


FIG. 3. — Représentation graphique et classification en types d'eau (KUFFERATH, 1951), établies d'après les pourcentages des ions exprimés en me.l⁻¹ : 1 : Type diionique natritique : Cachi laguna ; 2 : Type diionique halitique : Ramaditas, Ballivian, Honda Norte, Pujio, Laguna Colorada, Laguna Verde ; 3 : Même type, mais avec une teneur en sulfates plus élevée : Chiar Khota ; 4 : Type triionique chloro-sulfaté-sodique : Cañapa, Chulluncani ; 5 : Type intermédiaire entre halitique et chloro-sulfaté-sodique : Hedionda Norte. L'ion borique n'est pas pris en compte dans ces représentations

en admettant *a priori* que les prélèvements effectués sont représentatifs de chacun des milieux.

pH

Les valeurs du pH des eaux des lacs sont assez élevées et varient selon les milieux entre 8,15 et 10,80. Deux facteurs contrôlent l'élévation du pH ; tout d'abord le chimisme des saumures : plus le rapport carbonates sur calcium est élevé et plus le pH sera élevé afin de maintenir l'équilibre entre le CO₂ dissous et le CO₂ de l'air. Mais cet équilibre n'est pas toujours maintenu et l'on observe souvent une désaturation importante en CO₂ due à la forte agitation des lames d'eau et à l'action photosynthétique des organismes végétaux. Cette désaturation contribue à élever le pH encore davantage, surtout dans le cas de solutions chloro-sulfatées sodiques.

CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES

Phytoplancton

COMPOSITION DE LA FLORE

A l'exception des Diatomées dont il sera question plus loin, la flore algale des eaux salées de la région du Lipez est extrêmement pauvre. Même si certains

de ces milieux possèdent des peuplements phytoplanctoniques très denses, le nombre d'espèces présentes dans chaque milieu est réduit à 3 ou 4. On peut signaler trois groupes d'algues en plus des Diatomées. Les Chlorophytes d'abord, représentées dans les nappes lacustres uniquement par des formes unicellulaires flagellées : *Chlamydomonas* sp., *Dunaliella* sp., *Chlamydonephris* sp. ; cette dernière étant très dense dans Laguna Colorada principalement. Des filamenteuses des genres *Spirogyra* et *Mougeotia* peuvent être observées dans les sources et les suintements d'eau douce des rives.

Une Dinophycée de l'ordre des Péridinales, *Gymnodinium* sp., est le seul taxon appartenant au groupe des Pyrrophytes trouvé dans ces lacs, toujours en quantité limitée dans nos échantillons. Des Cyanophycées avec *Gomphosphaeria aponina* Kützinger trouvé rarement et seulement dans les milieux les moins salés et les filamenteuses *Nodularia harveyana* var. *sphaerocarpa* (Bornet et Flahault) Elenkin et *Oscillatoria* plur. sp. sont observées dans la plupart des milieux étudiés.

DIATOMÉES

Une étude des Diatomées provenant de sédiments superficiels récoltés en 1978 dans treize lacs salés de la région du Lipez (SERVANT-VILDARY, 1983) a

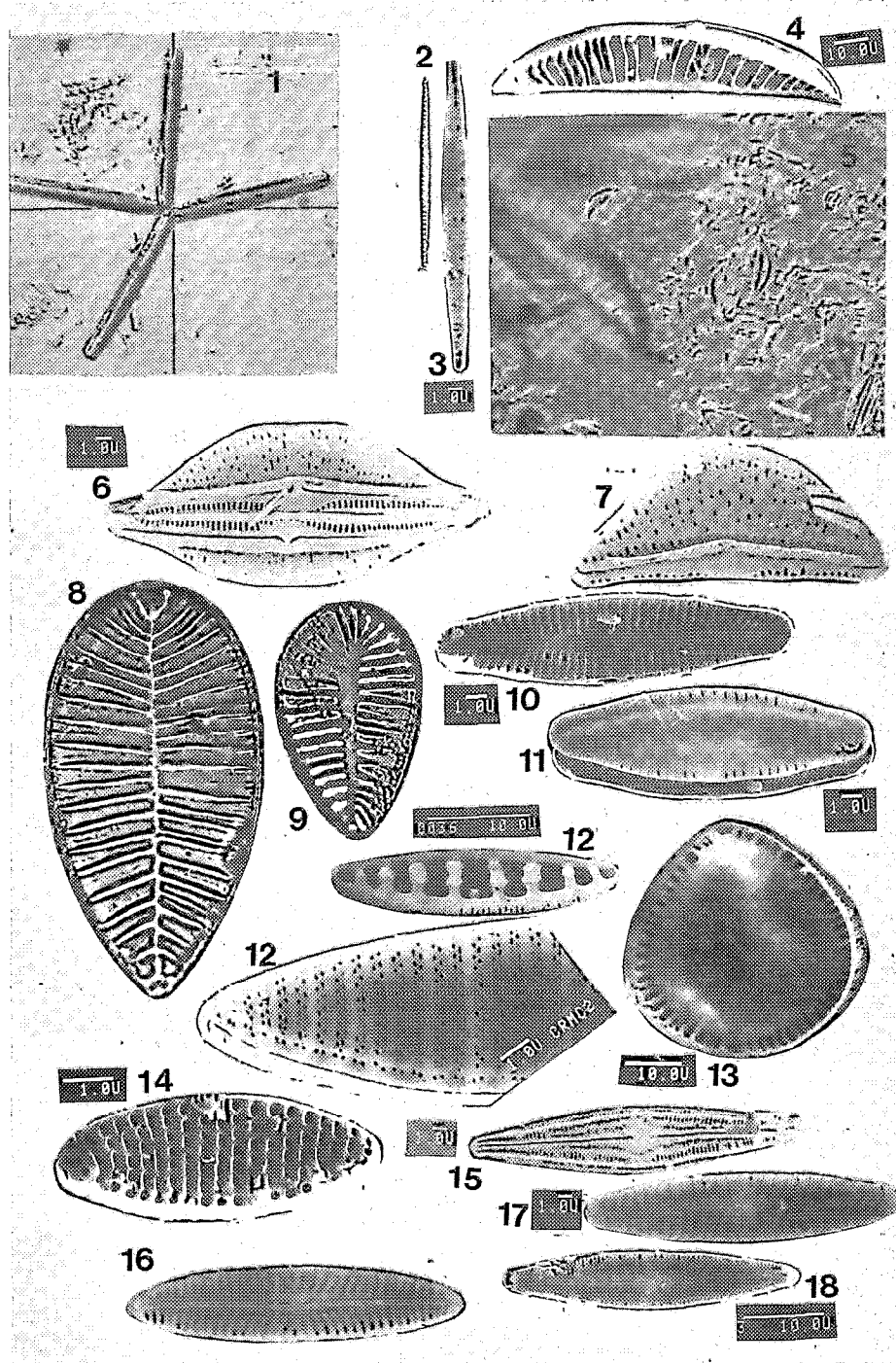


FIG. 4. — Diatomées des « salars » sud-boliviens. 1 à 3 : *Nitzschia* nov. sp. ; 4 : *Rhopalodia wetzeli* Hust. (vue interne) ; 5 : Peuplement à *Amphora* et *Rhopalodia wetzeli* dominants dans le lac d'Hédionda Norte ; 6 et 7 : *Amphora carvajalana* Patrick ; 8 : *Surirella wetzeli* Freng. ; 9 : *Surirella sella* Freng. ; 10 et 11 : *Achnanthes chilensis* Hust. ; 12 a : *Denticula elegans* var. *valida* Ted. (vue interne) ; 12 b : *Denticula thermalis* Kütz. ; 13 : *Surirella ovata* var. *utahensis* Grun. (vue interne) ; 14 : *Nitzschia inconspicua* Grun. ; 15 : *Brachysira aponina* (Kütz.) Round. ; 16 : *Navicula digitoradiata* (Greg.) Schmidt ; 17 : *Navicula cincta* (Ehr.) Kütz. ; 18 : *Stauroneis legeri* Hust.

montré que ces milieux sont très favorables au développement de ces algues. Une centaine d'espèces a été identifiée mais un nombre restreint d'entre elles atteint des pourcentages élevés dans les peuplements. La flore diatomique de chacun des lacs peut être caractérisée par un ou deux taxons largement dominants en effectif par rapport aux autres. Il est ainsi possible de définir, d'après la composition des sédiments en Diatomées, des lacs à *Nitzschia* (Ballivian, Ramaditas, Laguna Verde), des lacs à *Amphora* (Chiar Khota, Honda Norte, Hedionda Norte, Pujio, Puripica), des lacs à *Navicula* (Chulluncani, Cañapa, Pastos Grandes, Laguna Colorada) et des lacs à *Stauroneis* (Cachi Laguna).

Deux grandes espèces du genre *Surirella* (*S. sella* Frenguelli et *S. welzeli* Frenguelli) jouent un rôle important dans la biomasse des milieux chlorurés et sulfatés, en raison de leur grande taille (50 à 80 μm de long) et leurs effectifs élevés. Elles paraissent absentes des milieux carbonatés sodiques (Cachi Laguna par exemple). Le nombre de frustules de ces deux espèces rapporté à un gramme de sédiment superficiel a été estimé dans différents lacs étudiés classés en fonction de la teneur des eaux en ions $\text{Cl} + \text{SO}_4$ exprimée en g.l^{-1} . Le nombre de *Surirella* apparaît très élevé pour des teneurs en $\text{Cl} + \text{SO}_4$ comprises entre 0,7 et 43 g.l^{-1} (fig. 4) à l'exception du lac de Puripica et de la partie centrale du « salar » de Pastos Grandes, l'hétérogénéité des salinités dans ce dernier lac pouvant peut-être expliquer leur rareté.

La flore diatomique vivant dans l'eau de plusieurs de ces lacs, prélevée au filet à plancton en 1982, a été comparée à la flore de sédiments superficiels récoltés en 1978. Des tableaux comparatifs entre les pourcentages relatifs des effectifs des différents taxons composant les peuplements de Diatomées ont ainsi été établis pour les lacs de Ramaditas, Cañapa, Chulluncani, Honda Norte et Cachi Laguna (tabl. II). Le calcul des coefficients de corrélation de Bravais Pearson après transformation $\log(1+x)$ entre les deux séries de pourcentages de chacun des lacs montre une corrélation très bonne ($r = 0,91$ et $0,82$) pour les lacs de Honda Norte et Ramaditas, un peu moins bonne pour Cañapa ($0,72$) et Chulluncani ($0,52$) et négative pour Cachi Laguna ($-0,87$).

Il apparaît donc que la flore des sédiments peut être considérée comme représentative de celle existant dans la nappe d'eau et que, malgré les quatre années qui séparent les deux séries de prélèvements, la flore présente une grande stabilité qui reflète celle des paramètres physico-chimiques. En dehors de légères modifications au niveau des fréquences relatives de quelques espèces, les taxons dominants ne sont pas modifiés et la classification des lacs, d'après les peuplements de Diatomées, reste identique. Seul, le lac de Cachi Laguna présente

des proportions différentes entre les Diatomées de l'eau et des sédiments, les espèces présentes restant identiques ; phénomène à relier sans doute aux importantes variations de salinité existant dans ce milieu (cf. tabl. I). Dans d'autres lacs dont la composition diatomique n'est pas donnée sur le tableau II, la même similitude a été observée entre la flore du fond et celle de la couche d'eau. On peut simplement signaler que le lac d'Hédionda, à *Amphora* dominant, présente un pourcentage de *Rhopalodia welzeli* plus élevé dans l'eau tandis qu'à Laguna Verde, où *Nitzschia* est dominant, *Achnanthes chilensis* est en proportions plus importantes dans l'eau que dans le sédiment.

BIOMASSES ALGALES PRÉSENTES ET COMPOSITION

Les biomasses cellulaires présentes dans dix lacs ont été estimées à partir d'échantillons d'eau récoltés entre le 22 et le 26 novembre 1982. Des numérations ont été faites au microscope inversé et les résultats en nombre de cellules ou de filaments par litre ont été convertis en biomasses exprimées en mg.l^{-1} , après calcul du volume moyen de chacun des taxons trouvés (tabl. III).

Les biomasses apparaissent relativement faibles pour des lacs salés en zone tropicale ; sept d'entre eux possèdent en effet des biomasses d'algues vivantes inférieures à $0,8 \text{ mg.l}^{-1}$ tandis que seul Cachi Laguna possède à peine $0,3 \text{ g.l}^{-1}$ de phytoplancton (fig. 5).

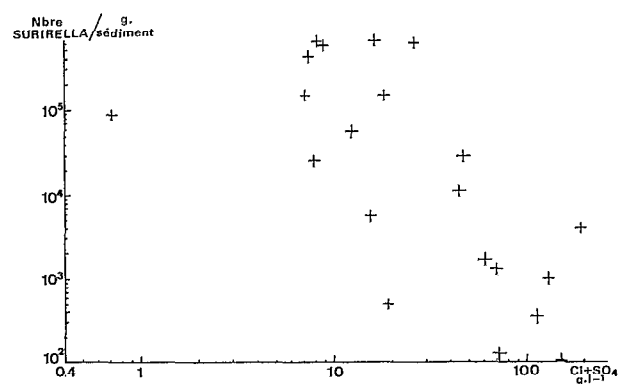


FIG. 5. — Nombre de *Surirella sella* et *welzeli* observé dans les sédiments superficiels en fonction de la teneur de l'eau en ions $\text{Cl} + \text{SO}_4$.

Dans des lacs carbonatés africains situés en zone intertropicale dans la région du lac Tchad, il n'a pas été trouvé de biomasses inférieures à 400 mg.l^{-1} lorsque la teneur en sels globale des eaux était supérieure à 30 g.l^{-1} et les lacs mésocarbonatés ont

TABLEAU II

Pourcentages relatifs des différentes espèces de Diatomées présentes dans les sédiments superficiels et les eaux des lacs de Ramaditas, Cañapa, Cachi Laguna, Chulluncani et Honda norte

Liste des espèces	Sédiments superficiels 1978	Eau 1982
Chulluncani		
<i>Navicula pseudolanceolata</i> Lange Bert.....	13,0 %	18,5 %
<i>Nitzschia hungarica</i> Grun.....	25	5,3
<i>Navicula cineta</i> (Ehr.) Kütz.....	15	24,3
<i>Navicula novadepiciens</i> Hust.....	0,9	5,7
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun.....	0,9	1
<i>Surirella ovata</i> var. <i>ulahensis</i> Grun.....	14	6,2
<i>Nitzschia</i> cf. <i>valdestriata</i> Lange Bert.....	3,8	4
<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Smith.....	7,6	9,8
<i>Amphora frenguelli</i> Forti.....	2,5	10
<i>Amphora atacamana</i> Patrick.....	0,9	2,3
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> (Kütz.) Pfitz.....	0,8	0,5
<i>Nitzschia accedens</i> var. <i>chilensis</i> Patrick.....	0	2,3
<i>Navicula</i> sp.....	0	3,4
<i>Navicula mutica binodis</i> Hust.....	2,5	1,1
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grun.....	0,4	1,7
<i>Nitzschia valdecostata</i> Lange Bert.....	0	1,7
<i>Nitzschia</i> sp. 3.....	0,4	1,7
<i>Surirella welzeli</i> Freng.....	4,1	0,5
<i>Nitzschia grunowii</i> (Cleve) Hasle.....	0,8	0
<i>Pinnularia brebissonii</i> Kütz.....	1,6	0
<i>Amphora boliviana</i> var. <i>elongata</i> Serv. Vild.....	5,8	0
Honda		
<i>Amphora carvajaliana</i> 1 Patrick.....	68 %	60 %
<i>Amphora carvajaliana</i> 2 Patrick.....	3,4	5,2
<i>Navicula carvajaliana</i> Patrick.....	1,3	0,7
<i>Navicula salinicola</i> var. <i>boliviana</i> Patrick.....	1,6	0,3
<i>Surirella sella</i> Freng.....	2	6,4
<i>Navicula cryploccephala</i> Kütz.....	1,2	2,5
<i>Cymbella lunata</i> W. Smith.....	2,5	0,9
<i>Nitzschia accedens</i> var. <i>chilensis</i> Patrick.....	0,2	0,9
<i>Navicula digitoradiata</i> (Greg.) A. Schmidt.....	3,8	2,1
<i>Achnanthes lemmermani</i> Hust.....	12,6	15,8
<i>Surirella welzeli</i> Freng.....	0,1	0,3
<i>Scoliopleura peisonis</i> Grun.....	1	1,3
<i>Nitzschia pusilla</i> Kütz.....	—	0,9
<i>Amphiprora</i> sp.....	—	0,3
<i>Cyclotella stelligera</i> (Cl.) Grun.....	0,5	0,5
<i>Rhopalodia welzeli</i> Hust.....	—	0,3
<i>Navicula</i> sp.....	—	1,1
<i>Amphora atacamana</i> Patrick.....	1	0,5
<i>A. atacamana</i> var. <i>minor</i> (nov. var.).....	0,2	—
<i>Nitzschia quadrangula</i> Lange Bert.....	0,2	—
<i>Denticula elegans</i> Kütz.....	0,2	—
<i>Navicula mutica</i> var. <i>nivalis</i> (Ehr.) Hust.....	0,2	—
Ramaditas		
<i>Nitzschia</i> nov. sp.....	84 %	63 %
<i>N. quadrangula</i> Lange Bert.....	1,4	—
<i>Brachysira aponina</i> (Kütz.) Round.....	3,7	8,9
<i>Achnanthes lemmermani</i> Hust.....	0,5	1,6
<i>Denticula elegans</i> var. <i>valida</i> Ted.....	3,5	6,8

Liste des espèces	Sédiments superficiels 1978	Eau 1982
Ramaditas		
<i>Nitzschia</i> sp. 2.....	— %	2,7 %
<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.	1	—
<i>Navicula crüptcephala</i> Kütz.....	0,5	3,2
<i>Cymbella lunata</i> W. Smith.....	0,5	0,6
<i>Nitzschia valdecostata</i> Lange Bert.....	—	0,5
<i>Nitzschia punctata</i> (W. Smith) Grun.	0,5	0,5
<i>Amphora carvajaliana</i> Patrick.....	—	2,7
<i>Surirella sella</i> Freng.....	3	4,2
<i>Denticula elegans</i> Kütz.....	0,7	3,8
<i>Achnanthes lanceolata</i> Breb.....	0,5	1
<i>Achnanthes speciosa</i> Freng.....	0,2	0,5
Cañapa		
<i>Navicula carvajaliana</i> Patrick.....	17 %	20 %
<i>Navicula pseudo lanceolata</i> Lange. Bert.....	31	20
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.....	16	13
<i>Nitzschia accedens</i> var. <i>chilensis</i> Patrick.....	4	12
<i>Nitzschia frustulum</i> Kütz.....	0,2	1
<i>Fragilaria pinnata</i> Ehr.....	—	1
<i>Surirella wetzeli</i> Freng.....	4	17
<i>Nitzschia hungarica</i> Grun.....	8	2,7
<i>Brachysira aponina</i> (Kütz.) Round.....	—	1
<i>Navicula salinicola</i> var. <i>boliviana</i> Patrick.....	6	4
<i>Achnanthes speciosa</i> Freng.	—	1
<i>Nitzschia valdecostata</i> Lange Bert.....	3	1
<i>Fragilaria brevistriata</i> Grun.....	3,3	2
<i>Navicula cincla</i> (Ehr.) Kütz.....	4	—
<i>Achnanthes delicatula</i> Kütz.....	0,4	—
<i>Amphora atacamana</i> Patrick	2	—
<i>Nitzschia epithemioides</i> Grun..	0,8	3,3
<i>Stauroneis legleri</i> Hust.	0,3	1
Cachi Laguna		
<i>Stauroneis legleri</i> Hust.....	77 %	4 %
<i>Nitzschia accedens</i> var. <i>chilensis</i> Patrick.....	3	93
<i>Stauroneis</i> sp.....	19	3

TABLEAU III

Biomasses algales présentes dans les eaux de différents lacs salés de la région du Lipez (Sud de la Bolivie)

	Salinité estimée	Biomasse	%	%	%
	g.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	Cyano.	Chloro.	Diatomées
Honda Norte.....	12	0,284	—	35	65
Cañapa.....	13	0,758	—	—	100
Pujio.....	18	0,331	—	42	58
Ramaditas.....	20	0,341	—	33	67
Ballivian.....	28	0,120	7	78	15
Laguna Verde.....	46,5	0,178	—	47	53
Hedionda Norte.....	57	0,537	—	97	3
Cachi laguna.....	86	293,853	1	97	2
Chiar Khota.....	119	8,230	—	7	93
Laguna Colorada	137	85,776	—	99	1

rarement présenté des teneurs en phytoplancton inférieures à 100 mg.l^{-1} (ILTIS, 1974). Des densités d'algues très élevées, malheureusement non chiffrées, sont signalées dans les lacs natronés du Kenya (JENKIN, 1932, 1936). Il est à noter que le maximum est observé ici dans un milieu carbonaté sodique.

L'intensité du rayonnement solaire, alliée à des températures relativement basses, peut sans doute être considérée comme une des principales causes de la teneur relativement basse en phytoplancton observée dans ces milieux peu profonds. Au lac Titicaca, dont l'altitude est inférieure de 300 à 700 m à celle des « salars » de la région du sud-Lipez, le rayonnement solaire est par temps clair 10 à 15 % supérieur à celui reçu au niveau de la mer (CARMOUZE *et al.*, 1983). Rappelons que la pluviométrie du sud Lipez est en moyenne de 100 mm par an et que la nébulosité est très faible. L'inhibition de la production algale, qui serait due principalement aux radiations ultraviolettes (STRICKLAND, 1965), est un phénomène mis en évidence depuis plusieurs dizaines d'années dans la couche superficielle des océans et dans certains lacs du Chili (THOMASSON, 1956).

Les Cyanophycées sont considérées comme le groupe d'algues pouvant supporter les éclaircissements les plus importants ; des dominances et des fleurs d'eau de ce groupe sont connues dans de nombreux milieux tropicaux (DAMAS, 1964 ; LIND, 1968 ; GANF, 1974 ; ILTIS, 1974, 1977 ; MOSS, 1979) ; toutefois, bien que les Cyanophycées soient signalées comme le composant principal de la flore de plusieurs lacs antarctiques (VINOGRADOV, 1957) et puissent même parfois dominer dans le Grand Lac Titicaca (RICHERSON *et al.*, 1977), il semble que les basses températures moyennes et l'amplitude des variations journalières soient un élément défavorable à leur multiplication en masse dans les « salars » sud boliviens. Le fait que les algues de ce groupe constituent d'épais feutrages autour du griffon des sources chaudes près de Pastos Grandes et disparaissent à mesure que l'on s'en éloigne tend à confirmer cette supposition.

Signalons enfin qu'il n'existe pas de données sur la teneur en éléments nutritifs, nitrates et phosphates, disponibles dans les milieux étudiés ici.

La composition des biomasses est donc caractérisée par la dominance très nette de Chlorophycées flagellées et surtout de Diatomées (fig. 4). Celles-ci sont dominantes dans six lacs sur 10 étudiés ; elles peuvent même, comme c'est le cas dans le « salar » de Cañapa, constituer la totalité de la biomasse algale présente. Cette dominance des Diatomées est comparable à celle existant dans des milieux chlorurés ou carbonatés sodiques de la zone tempérée (PIERRE, 1970 ; KUSEL-FETZMANN, 1979).

A titre de comparaison, dans les lacs profonds tels le lac Titicaca, les lacs d'altitude du nord de

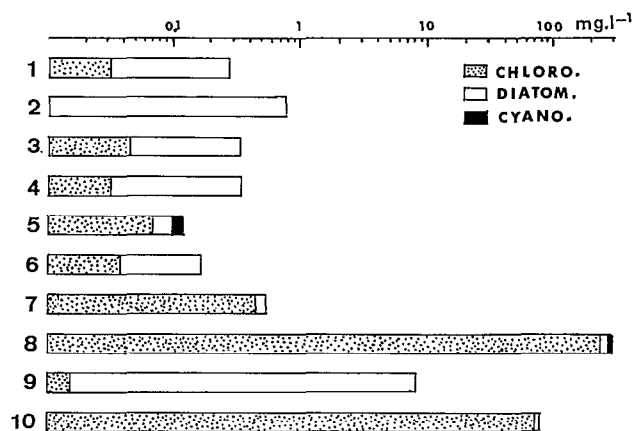


FIG. 6. — Biomasses d'algues vivantes présentes dans dix lacs salés du Lipez fin novembre 1982. Les proportions des différents groupes d'algues sont représentées par rapport à la longueur totale de chaque rectangle, sans tenir compte de l'échelle log. 1 : Honda Norte ; 2 : Cañapa ; 3 : Pujio ; 4 : Ramaditas ; 5 : Ballivian ; 6 : Laguna Verde ; 7 : Hedionda Norte ; 8 : Cachi Laguna ; 9 : Chiar Khota ; 10 : Laguna Colorada

l'Altiplano ou le Huinamarca oligohalin, ce sont en général les Chlorophycées qui dominent dans les biomasses (TUTIN, 1940 ; REYSSAC et DAO, 1977 ; RICHERSON *et al.*, 1977 ; LAZZARO, 1981).

Zooplancton

ROTIFÈRES

Ils n'ont été trouvés que dans les milieux les moins salés. Dans le petit lac de Chulluncani où la teneur totale en sels dissous était de l'ordre de 7 g.l^{-1} , on a récolté le 22 novembre 1982 les espèces suivantes, en plus de Bdelloïdes non identifiables sur les échantillons fixés :

Epiphanes senta O. F. Müller
Lophocaris salpina Ehrenberg
Colurella obtusa Gosse
Cephalodella catellina O. F. Müller

Ce sont des espèces eurytopes et cosmopolites,

COPÉPODES

Des copépodes de couleur rouge vif ont été observés, ainsi que leurs différents stades juvéniles, dans plusieurs lacs. Deux espèces, *Boeckella cf. titicacae* Harding et *B. poopoenis* Marsh sont présentes, la première dans les milieux les moins salés ($7,5 \text{ g.l}^{-1}$ maximum), la seconde dans les milieux où la teneur en sels s'étend de 5,6 à plus de 60 g.l^{-1} (BAYLY, comm pers.). Dans nos échantillons, cette

dernière espèce devient rare à Laguna Verde (salinité : 46 g.l⁻¹) ; elle est absente lorsque la concentration en sels dissous est plus élevée (Hedionda Norte, Cachi Laguna, Chiar Khota, Laguna Colorada).

Cette couleur particulière est une adaptation aux quantités élevées de radiations ultraviolettes ; elle apparaît chez plusieurs espèces de crustacés signalées dans des lacs de montagne : *Daphnia tibetana* et *Chydorus sphaericus* dans l'Everest (LÖFFLER, 1969), *Daphnia peruviana* en Amérique du Sud (LÖFFLER, 1960), *Boeckella dilatata* au sud-ouest de Nouvelle-Zélande (STOUT, 1975).

ANOSTRACÉS

Artemia salina Linnaeus a été observé dans quelques lacs ayant des salinités très diverses : Chulluncani, Cañapa, Hedionda Norte ; il a été trouvé à l'état de rareté dans Laguna Colorada et n'a pas été inventorié dans les autres lacs. En dehors de la région du Lipez, ce crustacé est également abondant dans la partie sud du lac Poopo, dans la partie centrale de l'Altiplano, par des salinités comprises entre 40 et 76 g.l⁻¹. On observe une relation inverse entre la taille moyenne de l'*Artemia* et la salinité du milieu : 17 mm au petit lac de Chulluncani (7 g.l⁻¹) et 7 mm à Hedionda (57 g.l⁻¹).

L'absence de cette espèce dans beaucoup de lacs très proches des précédents et apparemment de même type au point de vue physico-chimique est ici difficilement explicable en l'état de nos connaissances actuelles.

NÉMATODES

Des nématodes aquatiques, de 800 à 1.200 μ de longueur sur 25 à 45 μ m de diamètre ont été observés dans de nombreux échantillons prélevés en novembre 1982 jusqu'à des salinités de plus de 100 g.l⁻¹. Un spécimen a ainsi été trouvé dans un échantillon de plancton de Chiar Khota (environ 119 g.l⁻¹).

L'abondance des nématodes dans les lacs d'altitude tropicaux est signalée en Asie et en Afrique de l'Est (LÖFFLER, 1964, 1968, 1969).

Vertébrés

OISEAUX

Une liste d'oiseaux, aquatiques ou fréquentant la bordure des « salars », a été dressée par PENA (1961) à partir d'observations à Laguna Colorada et Laguna Verde ; il s'agit de :

Anas versicolor puna Tschudi
Anas flavirostris oxyptera Meyen
Fulica cornuta Bonaparte
Lophonella specularioides allicola Ménégau

Recurvirostra andina Philippi et Landbeck
Larus serranus Tschudi
Cinclodes fuscus albiventris Philippi et Landbeck
Phrygilus dorsalis Cabanis

Toutes ces espèces sont relativement peu abondantes ; comme beaucoup des lacs salés et peu profonds du monde, les « salars » du Lipez sont colonisés, en toutes saisons mais surtout en été, par les flamants roses. On trouve essentiellement trois espèces, *Phoenicoparrus andinus* (Philippi) Bonaparte, *P. jamesi* (Slater) et *Phoenicopterus chilensis* Molina, toutes trois étant très répandues.

Un recensement effectué sur ces lacs par HURLBERT, 1981 indique des effectifs pouvant dépasser 21.000 flamants à Laguna Colorada (tabl. IV).

P. andinus et *P. jamesi* se rencontrent rarement en dehors de l'Altiplano tandis que *P. chilensis* a une répartition plus large en Amérique du Sud (HURLBERT et KEITH, 1979).

Ils se nourrissent d'organismes tombés accidentellement (graines, insectes) ou vivant normalement dans ces lacs : Copépodes, Anostracés, Nématodes et algues, principalement des Diatomées. Parmi celles-ci, *P. andinus* filtrerait en priorité les frustules dont la taille est supérieure à 80 μ m, alors que *P. jamesi* utiliserait essentiellement les formes dont la taille est inférieure à 60 μ m (HURLBERT, 1982) mais il semble en fait que les différentes espèces de flamants n'exercent pas de véritable sélection parmi les peuplements diatomiques présents dans ces milieux (SERVANT-VILDARY, 1984).

CONCLUSIONS

Les collections d'eaux salées de l'Altiplano bolivien sont constituées par un ensemble dense de lacs peu profonds situés dans la région volcanique reliant les cordillères occidentales et orientales des Andes au sud de la Bolivie. Les milieux existant se caractérisent par les teneurs globales en sels des eaux élevées, les salinités inférieures à 10 grammes par litre étant rarement observées et se limitant le plus souvent à des zones très ponctuelles où filtrent des nappes souterraines. Comme dans la plupart des régions de lacs salés dans le monde, l'éventail des teneurs en sels dissous existant dans cet ensemble est très ouvert, et parmi une dizaine de lacs prospectés fin 1982, on a observé des teneurs globales estimées allant de 7 à plus de 130 grammes par litre. Il est probable que les salinités sont encore plus élevées dans des milieux temporaires ou même d'autres lacs non prospectés au cours de notre étude.

La composition ionique de l'eau peut présenter, suivant les lacs, des différences notables ; si le sodium

TABLEAU IV

Effectifs de flamants roses recensés à différents lacs du Lipéz en décembre 1978 et février 1979.
La différence existant entre la somme des trois espèces et le total correspond aux individus non déterminés (HURLBERT, 1981)

Lacs	Effectifs			Total
	<i>P. chilensis</i>	<i>P. andinus</i>	<i>P. jamesi</i>	
Laguna Verde (décembre).....	422	585	10	1.617
(février).....	256	244	20	820
Hedionda Norte (février).....	4	0	0	5
Laguna Colorada (février).....	130	184	19.227	21.051
Cachi Laguna (février).....	20	650	2.000	2.870
Ramadilas (décembre).....	17	0	0	17
(février).....	50	12	0	66
Honda Norte (décembre).....	8	56	32	96
(février).....	20	95	2	117
Canapa (décembre).....	5	15	76	96
(février).....	125	5	2	134
Chulluncani (février).....	1.161	56	86	1.303
Pujio (décembre).....	0	60	12	72
(février).....	23	4	0	27
Pastos Grandes (février).....	0	7	108	1.800

est toujours dominant comme cation, ce sont soit les chlorures, soit les carbonates ou, à un degré moindre, les sulfates qui dominent parmi les anions, le type chloruré sodique étant le plus fréquent. Ce fait peu commun dans les autres zones de lacs salés étudiés dans le monde où les ions dominants sont toujours identiques dans une région donnée ne peut qu'accroître l'intérêt de la connaissance de ces écosystèmes sud boliviens. Ainsi, l'influence de la composition anionique sur la flore et la faune peut être analysée dans des milieux où la morphologie des lacs et les facteurs climatiques sont identiques.

D'après les premières observations effectuées, les peuplements animaux et végétaux présentent une diversité spécifique très faible. C'est un cas général dans les milieux salés. Citons par exemple le cas du lac Nakuru, milieu natroné de l'est africain où quatre espèces représentent plus de 99 % de la biomasse de l'écosystème (VARESCHI et VARESCHI, 1984).

Copépodes, *Artemia* et Nématodes dominent dans la faune aquatique (les Rotifères ne sont représentés que dans les milieux très peu salés) tandis que certains groupes communs dans d'autres milieux salés sont absents (Hémiptères Corixidés ou Diptères Éphyridés par exemple). Chez les algues, Diatomées ou Chlorophycées flagellées (malheureusement impossible à déterminer après fixation) dominent tandis que les Cyanophycées, souvent en masse dans les eaux natronées africaines, sont pratiquement absentes ici. Les densités sont en général faibles, conséquence probable de l'altitude élevée et des températures basses.

Bien que les données récoltées à ce jour sur le fonctionnement de ces écosystèmes soient à peu près inexistantes, on peut, en raison de la faible diversité

des peuplements présents et de la simplicité biologique de ces lacs, faire les hypothèses suivantes sur les relations trophiques existantes. Les consommateurs secondaires (et tertiaires) de l'écosystème sont uniquement les oiseaux aquatiques, principalement les flamants roses dont l'impact sur le milieu est l'objet de plusieurs études en cours. Leur prédation s'effectue au niveau des peuplements d'algues (Diatomées et Chlorophycées), des Copépodes, *Artemia* et Nématodes et enfin des éléments bactériels ou détritiques du fond. Les consommateurs primaires se nourrissent d'algues (Chlorophycées principalement), de bactéries et d'éléments détritiques. Les producteurs primaires sont soit des Chlorophycées flagellées, sans doute bien utilisées, et des Diatomées, exploitées partiellement par les oiseaux et dont la majeure partie des peuplements participe à la formation de la couche diatomitique qui tapisse le fond.

Les études faites sur ces milieux situés dans des zones désertiques et d'accès difficile restent très limitées et cette note ne constitue qu'un essai de mise au point sur les connaissances actuellement existantes. Il est à souhaiter que l'hydrobiologie de ces lacs soit à l'avenir l'objet de recherches plus complètes.

REMERCIEMENTS

Nous remercions M^{lle} ODINETZ, de l'ORSTOM, M. BAYLY, Monash University, Clayton, Australie et M. POURRIOT, du CNRS, pour les déterminations systématiques qu'ils ont bien voulu effectuer sur nos échantillons.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'ORSTOM le
2 août 1984

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AHLFELD (F.), 1956. — Sodaseen in Lipetz (Bolivia). *Neues Jb Mineral*, 617 : 128-136.
- BALLIVIAN (O.), RISACHER (F.), 1981. — Los salares del Altiplano Boliviano. ORSTOM, Paris, 246 p. *multigr.*
- BAYLY (I.A.E.), 1979. — Further contribution to a knowledge of the Centropagid genera *Boeckella*, *Hemiboeckella* and *Calamoecia* (Athalassic Calanoid Copepods). *Austr. J. Mar. Freshwater Res.*, 30 : 103-27.
- BOULANGE (B.), AQUIZE JAEN (E.), 1981. — Morphologie, hydrographie et climatologie du lac Titicaca et de son bassin versant. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 14 (4) : 269-297.
- BOROWITZKA (L. J.), 1981. — The Microflora : Adaptations to Life in extremely Saline Lakes. *Hydrobiologia*, 81-82 : 33-46.
- BOULANGE (B.), RODRIGO (L. A.), VARGAS (C.), 1978. — Morphologie, formation et aspects sédimentologiques du lac Poopo (Bolivie). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, 10 (2) : 69-78.
- CARMOUZE (J.-P.), AQUIZE (E.), ARZE (C.), QUINTANILLA (G.), 1983. — Le bilan énergétique du lac Titicaca. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 16 (2) : 135-144.
- COLE (G. A.), BROWN (R. J.), 1967. — The chemistry of *Artemia* habitats. *Ecology*, 48 : 858-861.
- DAMAS (H.), 1964. — Le plancton de quelques lacs d'Afrique Centrale. *Verh. Internat. Verein Limnol.*, 15 : 128-138.
- GANF (G. G.), 1974. — Phytoplankton biomass and distribution in a shallow eutrophic lake (Lake George, Uganda). *Oecologia*, 16 : 9-29.
- GEDDES (M. C.), 1981. — The Brine Shrimps *Artemia* and *Parartemia* : Comparative Physiology and Distribution in Australia. *Hydrobiologia*, 81-82 : 169-179.
- GEDDES (M. C.), DE DEKKER (P.), WILLIAMS (W. D.), MORTON (D. W.), TOPPING (M.), 1981. — On the chemistry and biota of some saline lakes in Western Australia. *Hydrobiologia*, 81-82 : 201-222.
- HAIRSTON (N. G.), 1981. — The interaction of Salinity, Predators, Light and Copepod Color. *Hydrobiologia*, 81-82 : 151-158.
- HURLBERT (S. H.), KEITH (J. O.), 1979. — Distribution and spatial patterning of Flamingoes in the Andean Altiplano. *The Auk*, 96 : 328-342.
- HURLBERT (S. H.), 1981. — Andean lake and flamingo. Investigations Technical Report n° 2.
- HURLBERT (S. H.), 1982. — Limnological Studies of Flamingo diets and distributions. *Nat. geogr. Soc. Res. Reports*, 14 : 351-356.
- ILLIS (A.), 1972. — Algues des eaux natronées du Kanem (Tchad). Première partie. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, 6 (3-4) : 173-246.
- ILLIS (A.), 1974. — Le phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). Thèse doct. Univ. Paris VI, CNRS, AO. 9523, 312 p. *multigr.*
- ILLIS (A.), 1977. — Peuplements phytoplanctoniques du lac Tchad. 3. Remarques générales. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, 11 (3) : 189-199.
- JENKIN (P. M.), 1932. — Reports on the Percy Sladen Expedition to some Rift Valley lakes in Kenya in 1929. I. Introductory account of the biological survey of five freshwater and alkaline lakes. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, ser. 10, 9 : 533-553.
- JENKIN (P. M.), 1936. — Reports on the Percy Sladen Expedition to some Rift Valley lakes in Kenya in 1929. 7. Summary of the ecological results, with special references to the alkaline lakes. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, ser. 10, 18 : 133-181.
- KUPFERATH (J.), 1951. — Représentation graphique et classification chimique rationnelle en types des eaux naturelles. 1. Représentation graphique de la composition chimique des eaux. 2. Classification chimique rationnelle des eaux naturelles. *Bull. Inst. Roy. Sci. Nat. Belg.*, 27 (43) et 27 (45), 6 et 8 p.
- KUSEL-FETZMANN (E.), 1979. — The algal vegetation of Neusiedlersee. In : Neusiedlersee ed. by Löffler. *Monographiae Biologicae* 37, W. Junk, The Hague. Boston. London : 171-202.
- LAZZARO (X.), 1981. — Biomasses, peuplements phytoplanctoniques et production primaire du lac Titicaca. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 14 (1) : 349-380.
- LIND (E. M.), 1968. — Notes on the distribution of phytoplankton in some Kenya waters. *Br. Phycol. Bull.*, 3 (3) : 481-493.

- LÖFFLER (H.), 1960. — Limnologische Untersuchungen um chilenischen und peruanischen Binnengewässern. *Ark. Geophysik.*, 3, 10 : 155-254.
- LÖFFLER (H.), 1964. — The limnology of tropical high mountain lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 15 : 176-193.
- LÖFFLER (H.), 1968. — Die Hochgebirgsseen Ostafrikas. *Hochgeb. Fschg.*, 1 : 1-65.
- LÖFFLER (H.), 1969. — High altitude lakes in Mount Everest region. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 17 : 373-385.
- MOSS (B.), 1979. — Algae in Lake Chilwa and the waters of its catchment area. In : Lake Chilwa ed. by Kalk, McLachlan et Howard-Williams. Monographiae Biologicae 35, W. Junk, The Hague, Boston, London : 95-103.
- PATRICK (R.), 1961. — Results of research in the Antofagasta ranges of Chile and Bolivia. II. Diatoms (Bacillariophyceae) from the alimentary tract of *Phoenicoparrus jamesi* (Slater). *Postilla Yale Peabody Museum*, 49 : 43-56 ; 1 pl.
- PENA (L. E.), 1961. — Results of research in the Antofagasta ranges of Chile and Bolivia. I. Birds. *Postilla Yale Peabody Museum*, 49 : 3-42.
- PETROVIC (G.), 1981. — On the Chemistry of Some Salt Lakes and Ponds in Yugoslavia. *Hydrobiologia*, 81-82 : 195-200.
- PIERRE (J.-F.), 1970. — Répartition des algues dans quelques formations saumâtres de Lorraine. *Bull. Acad. Soc. Lorraine Sc.*, 9 (1) : 168-173.
- RETTIG (S. L.), JONES (B. F.), RISACHER (F.), 1980. — Geochemical evolution of brines in the salar of Uyuni, Bolivia. *Chem. Geol.*, 30 : 57-79.
- REYSSAG (J.), DAO (N. T.), 1977. — Sur quelques pêches de phytoplancton effectuées dans le lac Titicaca (Bolivie-Pérou) en décembre 1976. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, 11 : 285-290.
- RICHERTSON (P. J.), WIDMER (C.), KITTEL (T.), 1977. — The limnology of lake Titicaca (Peru-Bolivia). *Instit. Ecol. Publ.*, 14 : 78 p., *multigr.*
- RISACHER (F.), 1978. — Le cadre géochimique des bassins à évaporites des Andes boliviennes. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, 10 (1) : 37-48.
- SCUDDER (G. G. E.), 1969. — The fauna of saline lakes on the Fraser Plateau in British Columbia. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 17 : 430-439.
- SERVANT-VILDARY (S.), 1978. — Les Diatomées des dépôts lacustres quaternaires de l'Altiplano bolivien. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, 10 (1) : 25-35.
- SERVANT-VILDARY (S.), 1983. — Les Diatomées des sédiments superficiels de quelques lacs salés de Bolivie. *Bull. Sciences géologiques*, VLP, Strasbourg.
- SERVANT-VILDARY (S.), 1984. — Les Diatomées des lacs sursalés boliviens. Sous-classe Pennatophycidées. I. Famille des Nitzschiacées. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. XIV, n° 1 : 35-53.
- STOUT (V. M.), 1975. — A preliminary account of some lakes at different altitudes in southwest New Zealand. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19 : 1452-1460.
- STRICKLAND (J. D. H.), 1965. — Production of organic matter in the primary stages of the marine food chain. In : *Chemical Oceanography*, ed. Riley and Skirrow, Academic Press, London. New York : 478-610.
- THOMASSON (K.), 1956. — Reflexions on Arctic and Alpine Lakes. *Oikos*, 7 (1) : 117-142.
- TUTIN (T. G.), 1940. — The Algae. In : Reports of the Percy Sladen Trust expedition to lake Titicaca, 1937. *Trans. linn. Soc. London*, 3^e sér., 1 (11) : 191-202.
- VARESCHI (E.), 1982. — The ecology of Lake Nakuru (Kenya). III. Abiotic factors and primary production. *Oecologia* (Berlin), 55 : 81-101.
- VARESCHI (E.), VARESCHI (A.), 1984. — The ecology of Lake Nakuru (Kenya). IV. Biomass and distribution of consumer organisms. *Oecologia* (Berlin), 61 : 70-82.
- VINOGRADOV (M. Y.), 1957. — Ozera antarkticheskogo oazisa. *Priroda*, 10 : 89-92.
- WIDMER (C.), KITTEL (T.), RICHERTSON (P. J.), 1975. — A survey of the biological limnology of lake Titicaca. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19 : 1504-1510.
- WILLIAMS (W. D.), 1981. — The limnology of saline lakes in Western Victoria. *Hydrobiologia*, 81-82 : 233-259.
- WRIGHT (S. W.), BURTON (H. R.), 1981. — The Biology of Antarctic Saline Lakes. *Hydrobiologia*, 81-82 : 319-338.