

**ORSTOM en BOLIVIE**

**MISSION DE LA PAZ**

1-06-87

**INFORME No. 3**

**CONVENIO UMSA-ORSTOM**

DATOS SOBRE LA TEMPERATURA,  
EL pH, LA CONDUCTIBILIDAD ELECTRICA  
Y LA TRANSPARENCIA  
DE LAS AGUAS DE SUPERFICIE  
DEL LAGO TITICACA BOLIVIANO

( 1985 — 1986 )

**A. ILTIS**

EN ESPAÑOL Y FRANCES

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

**ORSTOM**

DATOS SOBRE LA TEMPERATURA, EL pH, LA CONDUCTIBILIDAD  
ELECTRICA Y LA TRANSPARENCIA DE LAS AGUAS DE SUPERFICIE DEL  
LAGO TITICACA BOLIVIANO (1985-1986)

1. Introduccion

Medidas de temperatura, de pH, de conductibilidad eléctrica y de transparencia fueron efectuadas durante cinco salidas para muestreos del plancton realizados durante diferentes períodos de 1985 y 1986. La primera salida cubre solamente la parte boliviana del Lago Pequeño o Huiñaimarca (16 estaciones). Las otras cuatro salidas cubren el conjunto de la parte boliviana del lago Titicaca, o sea 28 estaciones para el Lago Pequeño y 19 estaciones para el Lago Grande (Fig. 1).

La primera misión fue efectuada el 4 de abril de 1985, la segunda del 26 al 28 de junio de 1985, la tercera del 9 al 11 de diciembre de 1985, la cuarta del 21 al 23 de abril de 1986 y la última del 14 al 17 de octubre de 1986. Durante el ciclo estacional existente en esta región, la repartición de las precipitaciones anuales definidas por Boulangé y Aquize-Jaen (1981) se efectúa según 4 estaciones :

- Un período de fuertes precipitaciones, de diciembre a marzo (4 meses),
- Un período de transición durante el mes de abril,
- Un periodo seco y frío, de mayo a agosto (4 meses),
- Un período de transición, de septiembre a noviembre (3 meses).

La situación de los muestreos en este ciclo es la siguiente: las dos salidas del mes de abril se ubican al final de la época de lluvias; la salida de fines de junio de 1985 se ubica en plena estación seca y fría; las misiones de octubre de 1986 y principio de diciembre de 1986 se ubican, la primera en pleno período transitorio, la segunda al principio de la época de lluvias, períodos marcados por un aumento sensible de las temperaturas del aire.

~~ORSTOM Fonds Documentaire~~  
~~N° : 93 210 03~~  
Cote : A  
Date :

Para un buen conocimiento de las características (batimetría, hidrología, físico-química) del lago Titicaca, se puede reportar a los trabajos existentes de Richerson, Widmer y Kittel (1977), Boulangé y Aquize-Jaen (1981), Carmouze, Aquize-Jaen, Arce y Quintanilla (1983) y Carmouze, Arce y Quintanilla (1984).

## 2. Métodos

Los muestreos de agua fueron hechos directamente bajo la superficie con ayuda de un balde donde se ha medido la conductibilidad eléctrica expresada en microSiemens ( $\mu\text{S}$ ) por centímetro a 25°C con ayuda de un conductímetro Ponselle para la primera salida, Hoelzle y Chelius para las tres últimas; el pH fue medido con ayuda de un aparato Schott. Las temperaturas de agua fueron tomadas al 1/10 de grado en el medio con ayuda de una sonda Quick Novo en superficie y además, durante 3 salidas, a 2.50 m bajo la superficie. La transparencia fue medida con ayuda de un disco de Secchi de 30 cm de diámetro pintado en partes alternativamente blancas y negras.

## 3. Resultados

### 3.1. Temperaturas

Los resultados de las medidas están agrupados en el cuadro siguiente:

	4-4-85 (16) S	26 al 29-6-85 (47) S -2.50m	9 al 11-12-86 (47) S	21 al 23-4-86 (47) S -2.50m	14 al 18-10-86 (47) S -2.50m
Promedio general		1105 1102	1407	1405 1400	1306 1303
$\sigma$		1.22 1.30	1.03	0.80 0.42	0.87 0.65
Promedio Lago Pequeño	1508	1007 1004	1503	1407 1401	1401 1307
$\sigma$	0.67	0.99 0.96	0.82	0.92 0.46	0.65 0.37
Promedio Lago Grande		1206 1205	1307	1402 1400	1208 1207
$\sigma$		0.39 0.27	0.27	0.40 0.35	0.57 0.47

Las cifras entre paréntesis indican el número de medidas efectuadas. El valor más fuerte observado para la temperatura de superficie es de 17.05 en principio de diciembre de 1985 a horas 15, en la estación 14 del Lago Pequeño. El valor más elevado a 2.50 m de profundidad es de 14.06 en abril de 1986 en las estaciones 6 y 20. Los valores más bajos (8.05 en superficie y a menos 2.50 m) se ubican en la estación 11 en la parte oriental del Lago Pequeño, entre 9 y 10 horas, fin de junio.

Si se compara los promedios obtenidos con las temperaturas dadas en los trabajos anteriores, aparecen algunas diferencias con los valores dados por Carmouze et al. (1983) para el Lago Grande (Fig. 2). En primer lugar, el promedio encontrado para el Lago Pequeño a partir de 16 medidas en abril 1985, aparece anormalmente elevado, por el hecho que estas medidas fueron tomadas durante un solo día y en pequeño número, no es seguro considerar este promedio como representativo de la temperatura promedio existente en las aguas de superficie del Huiñaimarca durante esta época. Los promedios encontrados para el lago Grande en abril (14.02) y en junio (12.06) aparecen más elevados que aquellos observados de 1977 a 1979 (13.085 y 12.000), mientras que los valores encontrados en octubre y diciembre (12.08 y 13.07) son del mismo orden (12.09 y 13.085) que las de 1977 a 1979.

La diferencia máxima encontrada entre la temperatura de las aguas de superficie y 2.50 m de profundidad es de 1.09 en junio de 1985 (estación 25 del Lago Pequeño a las 14h15), 2.01 en abril de 1986 (misma estación a las 18h30) y 1.08 en octubre de 1986 (estación 15 del Lago Pequeño a las 12h30). En las capas de superficie aparece en general una estratificación entre las 12h00 y las 16h30 en el Lago Pequeño; está menos marcada en el Lago Grande donde la diferencia de temperatura entre la superficie y la capa de menos 2.50 m alcanza raramente 0.05. Al comienzo del día y de la noche, la temperatura está en general uniforme en las capas superiores; la mayoría de las veces, el viento se levanta en la tarde y la temperatura se uniforma rápidamente. De hecho, las diferencias entre los promedios en superficie y a menos 2.50m son muy débiles: 0.03 en el Huiñaimarca, 0.01 en el Lago Grande en junio de 1985, 0.06 en el Lago Pequeño y 0.02 en el Lago Grande en abril de 1986, 0.04 u 0.01 en octubre de 1986. El hecho que el lago Pequeño, por su baja superficie y la presencia de numerosas islas, esté menos sometida al efecto del viento, explica que la capa superficial pueda recalentarse mucho más que en el Lago Grande y presente así una diferencia más importante con las capas subyacentes.

El examen comparativo de las temperaturas promedias del lago Pequeño y del Lago Grande lleva a las observaciones siguientes : durante el período más frío del año (fin de junio), existe una diferencia de más o menos dos grados en el promedio de las temperaturas de superficie, o a 2.50 m de profundidad, el lago Pequeño siendo el más frío. En diciembre, al principio de la época de lluvias, la diferencia es de 1.06, el lago Grande siendo esta vez el más frío. En abril, la diferencia entre los promedios de los dos lagos es baja -aproximadamente 0.05 en superficie- y no significativo a menos 2.50 m. En octubre de 1986, la diferencia entre el Huiñaimarca y el lago Grande es de 1.27 en superficie y 1.04 a menos 2.50 m, este último siendo el más fresco.

El lago Grande con un volumen de agua 71 veces superior, una superficie 5 veces más grande y una profundidad 15 veces superior al lago Pequeño, posee una inercia térmica que atenúa la amplitud de las variaciones estacionales más marcadas en el lago Pequeño. Durante los períodos de transición (abril y probablemente agosto-septiembre), las temperaturas de superficie se uniforman entre las dos cuencas lacustres.

### 3.2. pH

Ha sido medido sobre el conjunto de la parte boliviana del lago durante las salidas de diciembre 1985, abril y octubre 1986, a razón de 47 medidas en diciembre y abril, 42 en octubre. Los resultados han sido reportados en el siguiente cuadro.

	9 al 11-12-86	21 al 23-4-86	14 al 17-10-86
Promedio general	8.60	8.36	8.36
σ	0.24	0.18	0.13
Promedio Lago Pequeño	8.68	8.40	8.38
σ	0.28	0.22	0.16
Promedio Lago Grande	8.48	8.30	8.31
σ	0.02	0.08	0.04

Los valores extremos observados son 9,38 en la estación 27 de la bahía de Guaqui (Huiñaimarca) a las 12h15 el 9-12-1985 y 8,08 en la estación 2 (parte este del Huiñaimarca) el 22-5-86 a las 9h45, o sea una amplitud más importante que la observada (8,55 a 8,65) por Lazzaro (1982).

El pH está un poco más elevado en el lago Pequeño que en el lago Grande, por la presencia de un plancton vegetal mucho más denso, susceptible de hacer aumentar los valores del pH durante el día. La superficie de las zonas de vegetación con Characeas y macrofitas acuáticas en ciertas partes del lago Pequeño (Collot, Koriyama y García, 1983) aumentan este fenómeno. La dispersión de las medidas alrededor del promedio que se traduce por valores más elevados de la diferencia-tipo es mucho más fuerte en el lago Pequeño que en el lago Grande.

Estas observaciones confirman además las conclusiones de Lazzaro (ibid.) sobre la relativa estabilidad del pH en el curso del año 1982 : los promedios encontrados para las medidas hechas en abril y octubre 1986 son idénticos; los del mes de diciembre 1985 aparecen un poco más elevados; los análisis cuantitativos del fitoplancton que serán efectuados ulteriormente permitirán ver si la diferencia observada puede ser atribuída a una densidad de algas superior a esta época.

### 3.3. Conductibilidad eléctrica

Ha sido medida durante las salidas de abril 1985, diciembre 1985, abril y octubre 1986; está expresada en  $\mu\text{S cm}^{-1}$  a 25°C. Los resultados obtenidos fueron reportados en el siguiente cuadro; la cifra entre paréntesis indica el número de medidas efectuadas.

	4-4-85 (16)	9 al 11-12-86 (47)	21 al 23-4-86 (47)	14 al 17-10-86 (47)
Promedio general		1514	1401	1490
$\sigma$		51	133	54
Promedio Lago Pequeño	1343	1521	1368	1490
$\sigma$	108	62	150	69
Promedio Lago Grande		1501	1448	1490
$\sigma$		27	84	23

Los valores extremos observados son 950  $\mu\text{S}$  en la estación 18 y 1600  $\mu\text{S}$  en las estaciones 3 y 4 el 21 de abril de 1986, en el lago Pequeño. Los promedios encontrados para cada una de las dos cuencas lacustres presentan, como para las temperaturas, variaciones más marcadas en el lago Pequeño: la conductibilidad promedio de éste varía de 1368 a 1521  $\mu\text{S}$  según las estaciones, o sea una diferencia de 153  $\mu\text{S}$  (las medidas de abril 1985, poco numerosas, no han sido tomadas en cuenta), mientras que aquella del lago Grande varía solamente de 1448 a 1502  $\mu\text{S}$ , o sea 54  $\mu\text{S}$  de diferencia. En octubre, la conductibilidad promedio es idéntica en las dos partes del lago.

Las estaciones 17, 18, 27 y 44, ubicadas a proximidad de la desembocadura de los ríos Catari, Tiwanaku y Suhez, presentan conductibilidades más bajas de 100 a 300  $\mu\text{S}$  que las estaciones vecinas.

#### 3.4. Transparencia del agua

Ha sido medida en junio y diciembre 1985, en abril y octubre de 1986, a todas las estaciones donde la profundidad lo permitía; en efecto, en varias estaciones (estación 2, 10, 11 y 44 por ejemplo), la transparencia era superior a la profundidad y la medida no ha podido ser efectuada. El siguiente cuadro resume el conjunto de los valores encontrados, expresados en metros:

	26 al 29-6-85 (36)	9 al 11-12-86 (37)	21 al 23-4-86 (44)	14 al 17-10-86 (39)
Promedio general	8.01	7.89	8.73	8.61
$\sigma$	3.93	3.97	4.11	3.86
Promedio Lago Pequeño	4.66	4.45	5.63	5.36
$\sigma$	1.90	0.86	1.10	1.44
Promedio Lago Grande	11.77	11.94	13.21	12.39
$\sigma$	1.20	1.53	2.27	1.65
Diferencia Lago Pequeño Lago Grande	7.11	7.50	7.58	7.03

Las cifras entre paréntesis indican el número de medidas efectuadas. Los valores extremos para la desaparición del disco de Secchi son en el lago Pequeño de 1.50 m en junio en la estación 18 y 9.10 m en abril en la estación 7; en el lago Grande, 7.50 m en octubre de 1986 en la estación 43 y 16.50 m en la estación 48 en abril de 1986. En la desembocadura del río Suchez (estación 44), la baja profundidad no ha permitido de medir la transparencia; es muy probable que ésta es, en este lugar, inferior a la mínima observada en las otras partes del lago Grande debido a los aportes sedimentarios del río.

En el lago Pequeño, los valores más bajos que en las estaciones vecinas son observados en las diferentes estaciones del año, pero de manera más marcada durante la estación de lluvias, en las zonas próximas de la desembocadura de los ríos Tiwanaku y Catari. (Estaciones 27, 17 y 18).

Las aguas del lago Grande son entonces en promedio 2.3 a 2.7 veces más claras que las aguas del lago Pequeño en los cuatro períodos tomados en consideración. Se observará que durante los períodos estudiados del año 1986, la transparencia es más elevada que durante dos períodos del año anterior. Este aumento, que es significativo en el lago Pequeño, no lo es para el lago Grande. El hecho de que el lago haya alcanzado en 1986 un nivel particularmente elevado (aproximadamente dos metros más que los años anteriores), podría ser una de las causas de este aumento de la transparencia en la cuenca lacustre menos profunda.

#### 4. CONCLUSIONES

Las medidas efectuadas en las aguas de superficie del conjunto de la parte boliviana del Titicaca durante cinco salidas, ponen en evidencia las diferencias existentes entre las aguas del lago Pequeño y las del lago Grande. Para la transparencia y el pH, las características de una cuenca lacustre en relación a la otra aparecen estables durante todas las estaciones, las aguas del Huiñaimarca siendo de aproximadamente dos veces y media más turbias y un poco más básicas que las aguas del lago Grande, por el contrario, las temperaturas y la conductibilidad eléctrica evolucionan diferentemente en cada uno de los dos medios siguiendo los períodos del año. Durante la estación fría (mayo a agosto), las aguas del lago Pequeño se enfrían más que las del lago Grande y se calientan más durante la estación caliente (diciembre a marzo). Durante la estación seca (mayo a agosto), la concentración de las aguas en sales disueltas es más elevada en el Huiñaimarca que en el lago Grande y más baja durante la estación de lluvias.



El lago Pequeño es pues, por una parte, mucho más heterogéneo (la dispersión con relación al promedio de los valores obtenidos para las diferentes medidas es allí mucho más elevada que en la parte boliviana del lago Grande), y por otra parte, la amplitud de las variaciones estacionales se revela allí, por diversos factores, más importante que en el lago Grande. Durante los períodos de transición (abril-mayo y septiembre a noviembre), hay homogeneización de las condiciones del medio entre el lago Pequeño y el Grande, el período de igualación pudiendo ser un poco diferente siguiendo los factores considerados. Así, en octubre de 1986, el promedio de los valores de la conductibilidad eléctrica de las aguas de superficie es idéntico en el lago Grande y el Huiñaimarca, mientras que las temperaturas del agua son ya más elevadas en el lago Pequeño que en el Grande, el período de igualación para este segundo factor se sitúa probablemente con un mes de anterioridad.

#### Agradecimientos

Agradezco a los señores R. Catari, D. Corbin, A. Couté, y a la señora M. Franken por su ayuda durante las salidas al lago Titicaca.

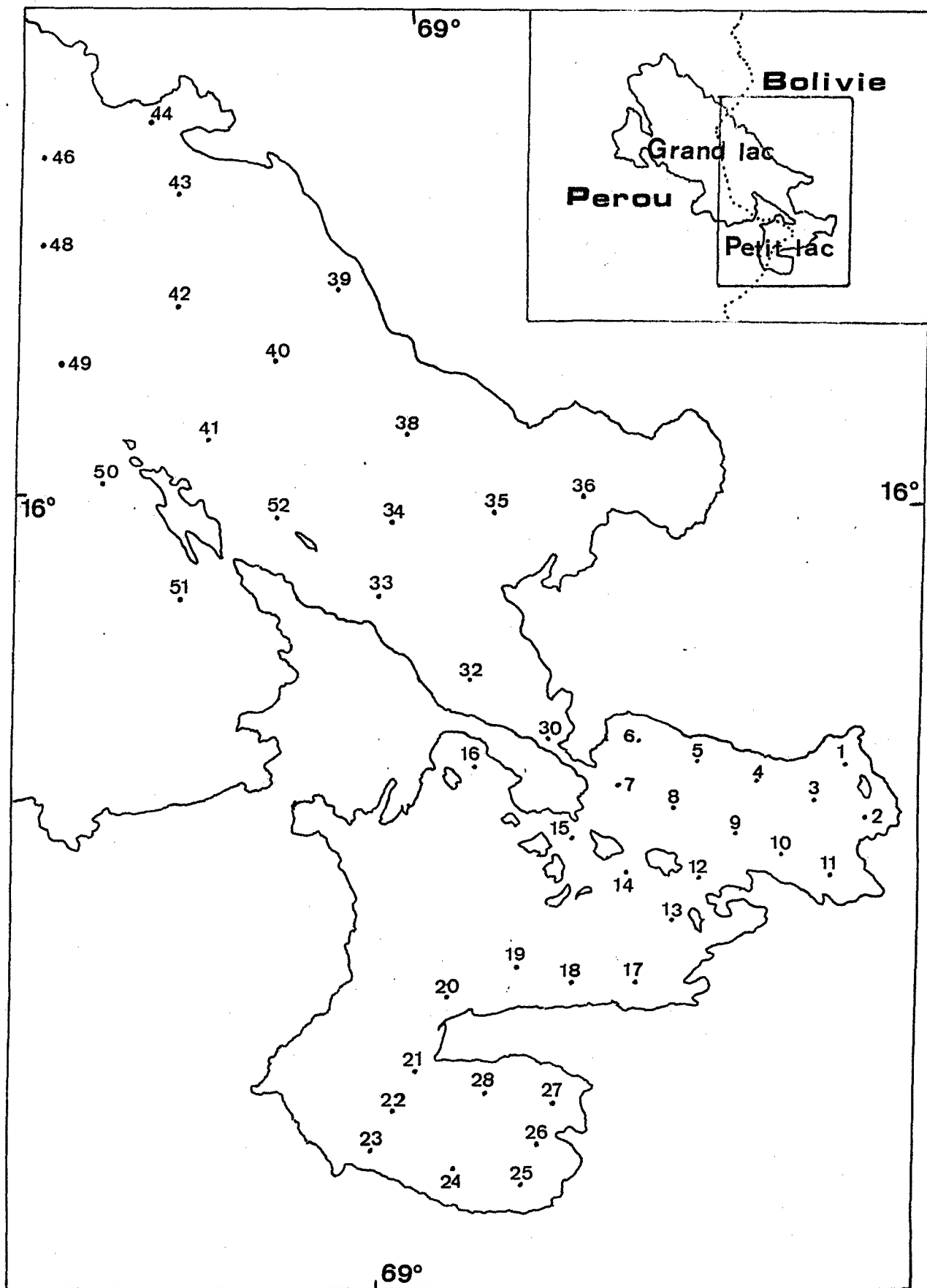


Fig. 1 : Situation des stations.

Fig. 1 : Ubicación de las estaciones.

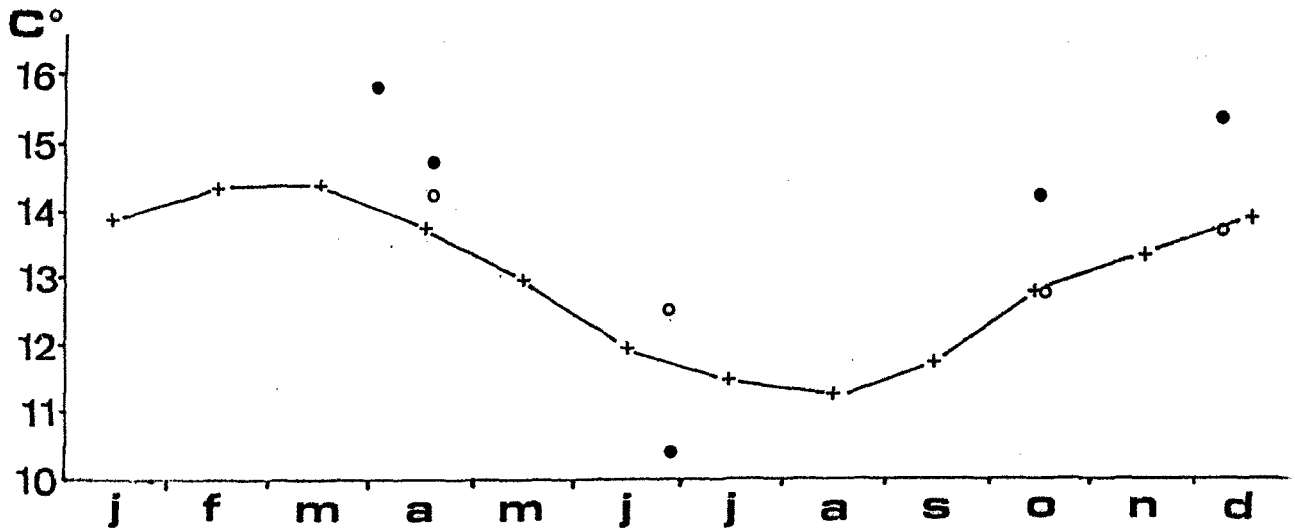


Fig. 2 : En trait plein, températures de l'eau de surface du Grand Lac (1977 à 1979) d'après Carmouze et al. (1983).

Températures moyennes de l'eau de surface observées en 1985-86 ● dans le Petit Lac  
○ dans le Grand Lac

Fig. 2 : En línea completa, temperaturas del agua de superficie del Lago Grande (1977 a 1979) según Carmouze et al. (1983).

Temperaturas promedios del agua de superficie observadas en 1985-86 ● en el Lago Pequeño  
○ en el Lago Grande

## BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

### RESUMEN BIBLIOGRAFICO

- BOULANGE (B.), AQUIZE JAEN (E.), 1981 - Morphologie, hydrographie et climatologie du lac Titicaca et de son bassin versant. Rev. Hydrobiol. Trop. 14 (4) : 269-287.
- CARMOUZE (J.P.), AQUIZE JAEN (E.), 1981 - La régulation hydrique du lac Titicaca et l'hydrologie de ses tributaires. Rev. Hydrobiol. Trop., 14 (4) : 311-328.
- CARMOUZE (J.P.), ARCE (C.), QUINTANILLA (J.), 1981 - Régulation hydrochimique du lac Titicaca et l'hydrochimie de ses tributaires. Rev. Hydrobiol. Trop., 14 (4); 329-348.
- CARMOUZE (J.P.), ARCE (C.), QUINTANILLA (J.), 1984 - Le lac Titicaca : stratification physique et métabolisme associé. Rev. Hydrobiol. Trop., 17 (1) : 3-11.
- CARMOUZE (J.P.), AQUIZE (E.), ARCE (C.), QUINTANILLA (J.), 1983 - Le bilan énergétique du lac Titicaca. Rev. Hydrobiol. Trop., 16 (2); 135-144.
- COLLOT (D.), KORIYAMA (F.), GARCIA (E.), 1983 - Répartitions, bio-masses et production des macrophytes du lac Titicaca. Rev. Hydrobiol. Trop., 16 (3) : 241-262.
- LAZZARO (X.), 1982 - Peuplements, biomasses et productions phyto-planctoniques du lac Titicaca. Thèse Université Paris 6, 144 p., 50 pl., multigr.
- REPELIN (R.), VARGAS (M.L.), PINTO (J.), 1985 - Distribución geográfica y estacional de la abundancia del zooplancton en la parte boliviana del Lago Grande del Titicaca. Convenio IMARPE. UMSA-CAF-SELA. Informe Técnico final. 39 p., 22 pl., multigr.
- RICHERSON (P.J.), WIDMER (C.), KITTEL (T.), 1977 - The limnology of Lake Titicaca (Peru-Bolivia). Institute of Ecology. Univ. California. Publ. no 14, 78 p., multigr.
- RICHERSON (P.J.), NEALE (P.J.), WURTSBAUGH (W.), ALFARO (R.T.), WARWICK (V.), 1986 - Patterns of temporal variation in Lake Titicaca. A high altitude tropical lake. I. Background, physical and chemical processes, and primary production. Hydrobiologia, 138 : 205-220.
- WARWICK (F.V.), NEALE (P.J.), RICHERSON (P.J.), 1984 - Photoinhibition : algal responses to bright light during diel stratification and mixing in a tropical alpine lake. J. Phycol. 20 : 201-211.

DONNEES SUR LA TEMPERATURE, LE pH, LA CONDUCTIBILITE  
ELECTRIQUE ET LA TRANSPARENCE DES EAUX DE SURFACE DU  
LAC TITICACA BOLIVIEN (1985-1986)

1. Introduction

Des mesures de température, de pH, de conductibilité électrique et de transparence ont été effectuées à l'occasion de cinq sorties pour récolte de plancton réalisées à différentes périodes de l'année en 1985 et 1986. La première sortie ne couvre que la partie bolivienne du Petit Lac ou Huinamarca (16 stations). Les quatre autres couvrent l'ensemble de la partie bolivienne du lac Titicaca, soit 28 stations pour le Petit Lac et 19 stations pour le Grand Lac (Fig. 1).

La première mission a été effectuée le 4 avril 1985, la seconde du 26 au 28 juin 1985, la troisième du 9 au 11 décembre 1985, la quatrième du 21 au 23 avril 1986 et la dernière du 14 au 17 octobre 1986. Dans le cycle saisonnier existant dans cette région, la répartition des précipitations annuelles définie par Boulangé et Aquize-Jaen (1981) s'effectue selon 4 saisons :

- Une période de fortes précipitations de décembre à mars (4 mois),
- Une période de transition durant le mois d'avril,
- Une période sèche et froide de mai à août (4 mois),
- Une période de transition de septembre à novembre (3 mois).

La situation des échantillonnages dans ce cycle saisonnier est la suivante : les deux sorties du mois d'avril se situent à la fin de la saison des pluies; la tournée de fin juin 1985 est localisée en pleine saison sèche et froide; les missions d'octobre 1986 et début décembre 1985 sont situées la première au milieu de la période de transition, la seconde en début de saison des pluies, périodes marquées par un relèvement sensible des températures de l'air.

Pour une bonne connaissance des caractéristiques (bathymétrie, hydrologie, physico-chimie) du lac Titicaca, on pourra se reporter aux travaux existant de Richerson, Widmer et Kittel (1977), Boulangé et Aquize-Jaen (1981), Carmouze et Aquize-Jaen (1981), Carmouze, Arce et Quintanilla (1981), Carmouze, Aquize-Jaen, Arce et Quintanilla (1983) et Carmouze, Arce et Quintanilla (1984)

## 2. Méthodes

Les prélèvements d'eau ont été faits directement sous la surface à l'aide d'un seau où l'on a mesuré la conductibilité électrique exprimée en microSiemens ( $\mu\text{S}$ ) par centimètre à 25°C à l'aide d'un conductimètre Ponselle pour la première sortie, Hoelzle et Chelius pour les trois dernières; le pH était mesuré à l'aide d'un appareil Schott. Les températures de l'eau étaient mesurées dans le milieu au 1/10e de degré à l'aide d'une sonde Quick Novo en surface et de plus, durant 3 sorties, à 2,50 m de profondeur. La transparence a été mesurée à l'aide d'un disque de Secchi de 30 cm de diamètre peint en quartiers alternativement blancs et noirs.

## 3. Résultats

### 3.1. Températures

Les résultats des mesures sont regroupés dans le tableau suivant :

	4-4-85 (16) S	26 au 29-06-85 (47) S -2,50m	09 au 11-12-86 (47) S	21 au 23-04-86 (47) S -2,50m	14 au 18-10-86 (47) S -2,50m
Moy. générale		1105 1102	1407	1405 1400	1306 1303
$\sigma$		1,22 1,30	1,03	0,80 0,42	0,87 0,65
Moy. Petit Lac	1508	1007 1004	1503	1407 1401	1401 1307
$\sigma$	0,67	0,99 0,96	0,82	0,92 0,46	0,65 0,37
Moy. Grand Lac		1206 1205	1307	1402 1400	1208 1207
$\sigma$		0,39 0,27	0,27	0,40 0,35	0,57 0,47

Les chiffres figurant entre parenthèses indiquent le nombre de mesures effectuées. La valeur la plus forte observée pour la température en surface est 17,05 début décembre 1985 à 15 heures, à la station 14 dans le Petit Lac. La valeur la plus élevée à 2,50 m de profondeur est 14,06 en avril 1986, aux stations 6 et 20. Les valeurs les plus basses (8,05 en surface et à moins 2,50 m) se situent à la station 11 dans la partie orientale du Petit Lac entre 9 et 10 heures fin juin.

Si l'on compare les moyennes obtenues ici avec les températures données dans des travaux antérieurs, quelques différences apparaissent avec les valeurs données par Carmouze et al. (1983) pour le Grand Lac (Fig. 2). En premier lieu, la moyenne trouvée pour le Petit Lac à partir de 16 mesures en avril 1985, apparaît anormalement élevée; en considération du fait que ces mesures n'ont été prises que durant une seule journée, et en petit nombre, il n'est pas sûr de considérer cette moyenne comme représentative de la température moyenne régnant dans les eaux de surface du Huinaimarca à cette époque. Les moyennes trouvées pour le Grand Lac en avril (14,02) et en juin (12,06) apparaissent plus élevées que celles observées de 1977 à 1979 (13,085 et 12,000) tandis que les valeurs trouvées en octobre et décembre (12,08 et 13,07) sont du même ordre (12,09 et 13,085) que celles de 1977 à 1979.

L'écart maximum trouvé entre la température des eaux de surface et 2,50 m de profondeur est de 1,09 en juin 1985 (station 25 du Petit Lac à 14h15), 2,01 en avril 1986 (même station à 18h30) et 1,08 en octobre 1986 (station 15 du Petit Lac à 12h30). Une stratification dans les couches de surface apparaît en général entre 12h00 et 16h30 dans le Petit Lac; elle est beaucoup moins marquée dans le Grand Lac où la différence de température entre la surface et la couche de moins 2,50 m atteint rarement 0,05. En début de journée et à la tombée de la nuit, la température est en général uniforme dans les couches supérieures; le plus souvent, le vent se lève dans l'après-midi et la température s'uniformise rapidement dès ce moment. De ce fait, les écarts entre les moyennes en surface et à moins 2,50 m sont très faibles : 0,03 dans le Huinaimarca, 0,01 dans le Grand Lac en juin 1985, 0,06 dans le Petit Lac et 0,02 dans le Grand Lac en avril 1986, 0,04 et 0,01 en octobre 1986. Le fait que le Petit Lac, par sa faible superficie et la présence de nombreuses îles, soit moins soumis à l'effet du vent explique aisément que la couche superficielle puisse se réchauffer beaucoup plus que dans le Grand Lac et présenter ainsi un écart plus important avec les couches sous-jacentes.

L'examen comparé des températures moyennes du Petit et du Grand Lac permet les remarques suivantes : au cours de la période la plus froide de l'année (fin juin), il existe une différence d'environ deux degrés dans la moyenne des températures de surface (de 0 à 2,50 m de profondeur) le Petit Lac étant le plus froid. En décembre, en début de saison des pluies, l'écart est de 1,06, le Grand Lac étant alors le plus froid. En avril, l'écart entre les moyennes des deux lacs est faible (environ 0,05 en surface) et non significatif à moins 2,50 m. En octobre 1986, l'écart entre le Huinamarca et le Grand Lac est de 1,27 en surface et 1,04 à moins 2,50 m, ce dernier apparaissant comme le plus frais.

Le Grand Lac avec un volume d'eau 71 fois supérieur, une superficie et une profondeur respectivement 5 et 15 fois plus grandes que le Petit Lac, possède une inertie thermique qui atténue l'amplitude des variations saisonnières, celles-ci étant plus marquées dans le Petit Lac. Durant les périodes de transition (avril et probablement août-septembre), les températures de surface s'uniformisent entre les deux cuvettes lacustres.

### 3.2. pH

Il a été mesuré sur l'ensemble de la partie bolivienne du lac durant les sorties de décembre 1985, avril et octobre 1986 à raison de 47 mesures en décembre et avril et 42 en octobre. Les résultats ont été reportés dans le tableau ci-après.

	9 au 11-12-86	21 au 23-4-86	14 au 17-10-86
Moyenne générale	8,60	8,36	8,36
$\sigma$	0,24	0,18	0,13
Moyenne Petit Lac	8,68	8,40	8,38
$\sigma$	0,28	0,22	0,16
Moyenne Grand Lac	8,48	8,30	8,31
$\sigma$	0,02	0,08	0,04



Les valeurs extrêmes sont 9,38 à la station 27 dans la baie de Guaqui (Huinaimarca) à 12h15 le 9-12-1985 et 8,08 à la station 2 (partie est du Huinaimarca) le 22-5-86 à 9h45, soit une amplitude plus importante que celle observée (8,55 à 8,65) par Lazzaro (1982).

Le pH est en moyenne un peu plus élevé dans le Petit Lac que dans le Grand Lac, en raison de la présence d'un plancton végétal beaucoup plus dense, susceptible de faire augmenter les valeurs du pH au cours de la journée. L'étendue des zones à Characées et à macrophytes aquatiques dans certaines parties du Petit Lac (Collot, Koriyama et Garcia, 1983) ajoutent encore à ce phénomène. La dispersion des mesures autour de la moyenne, qui se traduit par des valeurs plus élevées de l'écart-type, est bien plus forte dans le Petit Lac que dans le Grand.

Ces observations confirment de plus les conclusions de Lazzaro (ibid.) sur la relative stabilité du pH au cours de l'année : les moyennes trouvées pour les mesures faites en avril et octobre 1986 sont identiques; celle du mois de décembre 1985 apparaît un peu plus élevée; les analyses quantitatives du phyto-plancton qui seront effectuées ultérieurement permettront de voir si l'écart observé peut être attribué à une densité d'algues supérieure à cette époque.

### 3.3. Conductibilité électrique

Elle a été mesurée durant les sorties d'avril 1985, décembre 1985, avril et octobre 1986; elle est exprimée en  $\mu\text{S cm}^{-1}$  à 25°C. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant; les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de mesures effectuées.

	04-04-85 (16)	09 au 11-12-86 (47)	21 au 23-04-86 (47)	14 au 17-10-86 (47)
Moyenne générale $\sigma$		1514 51	1401 133	1490 54
Moyenne Petit Lac $\sigma$	1343 108	1521 62	1368 150	1490 69
Moyenne Grand Lac $\sigma$		1501 27	1448 84	1490 23

Les valeurs extrêmes observées sont 950  $\mu\text{S}$  à la station 18 et 1600  $\mu\text{S}$  aux stations 3 et 4 le 21 avril 1986, dans le Petit Lac. Les moyennes trouvées pour chacune des deux cuvettes lacustres présentent, comme les températures, des variations plus marquées dans le Petit Lac : la conductibilité moyenne de celui-ci varie de 1368 à 1521  $\mu\text{S}$  selon les saisons, soit un écart de 153  $\mu\text{S}$  (les mesures d'avril 1985, peu nombreuses, n'ont pas été prises en compte) tandis que celle du Grand Lac ne varie que de 1448 à 1502  $\mu\text{S}$ , soit un écart de 54  $\mu\text{S}$ . En octobre, la conductibilité moyenne est identique dans les deux parties du lac.

Les stations 17, 18, 27 et 44, situées à proximité du débouché des rios Catari, Tiwanaku et Suchez, présentent des conductibilités plus basses de 100 à 300  $\mu\text{S}$  par rapport aux stations voisines.

### 3.4. Transparence de l'eau

Elle a été mesurée en juin et décembre 1985, puis en avril et octobre 1986, à toutes les stations où la profondeur le permettait; en effet, dans plusieurs stations (stations 2, 10, 11 et 44 par exemple), la transparence était supérieure à la profondeur et la mesure n'a pu être effectuée. Le tableau suivant résume l'ensemble des valeurs trouvées, exprimées en mètres :

	26 au 29-06-85 (36)	09 au 11-12-86 (37)	21 au 23-04-86 (44)	14 au 17-10-86 (39)
Moyenne générale	8,01	7,89	8,73	8,61
$\sigma$	3,93	3,97	4,11	3,86
Moyenne Petit Lac	4,66	4,45	5,63	5,36
$\sigma$	1,90	0,86	1,10	1,44
Moyenne Grand Lac	11,77	11,94	13,21	12,39
$\sigma$	1,20	1,53	2,27	1,65
Ecart Petit Lac - Grand Lac	7,11	7,50	7,58	7,03

Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de mesures effectuées. Les valeurs extrêmes pour la disparition du disque de Secchi sont dans le Petit Lac 1,50 m en juin à la station 18 et 9,10 en avril à la station 7; dans le Grand Lac, 7,50 m en octobre 1986 à la station 43 et 16,50 m à la station 48 en avril 1986. Au débouché du rio Suchez (station 44), la faible profondeur n'a pas permis de mesurer la transparence; il est très probable que celle-ci est, à cet endroit, inférieure au minimum observé dans les autres parties du Grand Lac en raison des apports sédimentaires du rio.

Dans le Petit Lac, des valeurs plus faibles que dans les stations voisines sont observées aux différentes saisons de l'année, mais de façon très marquée durant la saison des pluies, dans les zones proches du débouché des rios Tiwanaku et Catari. (Stations 27, 17 et 18).

Les eaux du Grand Lac sont donc en moyenne 2,3 à 2,7 fois plus claires que les eaux du Petit Lac aux quatre périodes prises en considération. On remarquera que durant les périodes étudiées de l'année 1986, la transparence est plus élevée que durant deux périodes de l'année précédente. Cette augmentation, qui est significative dans le Petit Lac, ne l'est pas pour le Grand Lac. Le fait que le lac ait atteint en 1986 un niveau particulièrement élevé (environ deux mètres de plus que les années précédentes), pourrait être une des causes de cette augmentation de la transparence dans la cuvette lacustre la moins profonde.

#### 4. CONCLUSIONS

Les mesures effectuées sur les eaux de surface de l'ensemble de la partie bolivienne du Titicaca durant cinq sorties, mettent en évidence les différences existant entre les eaux du Petit Lac et celles du Grand Lac. Pour la transparence et le pH, les caractéristiques d'une cuvette lacustre par rapport à l'autre apparaissent stables durant toutes les saisons, les eaux du Huinamarca étant environ deux fois et demi plus turbides et un peu plus basiques que les eaux du Grand Lac, par contre les températures et la conductibilité électrique évoluent différemment dans chacun des deux milieux suivant les périodes de l'année. Durant la saison froide (mai à août), les eaux du Petit Lac se refroidissent plus que celles du Grand Lac et se réchauffent plus durant la saison chaude (décembre à mars). Durant la saison

sèche (mai à août), la concentration des eaux en sels dissous est plus élevée dans le Huinamarca que dans le Grand Lac et plus faible durant la saison des pluies.

Le Petit Lac est donc, d'une part, beaucoup plus hétérogène (la dispersion par rapport à la moyenne des valeurs obtenues pour les différentes mesures y est toujours plus élevée que dans la partie bolivienne du Grand Lac), d'autre part, l'amplitude des variations saisonnières y apparaît, pour plusieurs facteurs, plus importante que dans le Grand Lac. Durant les périodes de transition (avril-mai et septembre à novembre), il y a homogénéisation des conditions de milieu entre Grand et Petit Lac, la période d'égalisation pouvant être un peu différente suivant les facteurs considérés. Ainsi, en octobre 1986, la moyenne des valeurs de la conductibilité électrique des eaux de surface est identique dans le Grand Lac et le Huinamarca, alors que les températures de l'eau sont déjà plus élevées dans le Petit Lac que dans le Grand, la période d'égalisation pour ce second facteur se situant probablement un mois auparavant.

### Remerciements

Je remercie MM. R. Catari, D. Corbin, A. Couté, M. Franken pour leur aide durant les sorties sur le lac Titicaca.