

***Quelques caractéristiques physico-chimiques
d'un lac de varzea en Amazonie centrale
(Lago do Rei, île de Careiro)***

Olga ODINETZ COLLART (1) (2),
Luiz Carlos MOREIRA (2)

RÉSUMÉ

L'île de Careiro, dans la région de Manaus, a fait l'objet en 1985-88 de recherches multidisciplinaires concernant les conditions écologiques et économiques de la production d'une île de varzea. Le Lago do Rei, occupant près de 100 km² dans la partie centrale de l'île pendant les crues, dépend d'autant plus du régime de l'Amazone, et de ce fait de la pluviosité du haut bassin amazonien, qu'il est relié toute l'année au cours principal. Les eaux du lac sont caractérisées par une importante isothermie tout le long de l'année. La teneur en oxygène dissous montre des variations saisonnières et nyctémérales en relation avec l'activité photosynthétique du phytoplancton. Des sursaturations sont observées pendant le maximum des basses et des hautes eaux, et les valeurs minimales en mars-avril, quand les eaux du fleuve envahissent la varzea. La conductivité augmente lors de la rentrée des eaux du fleuve et lors de leur sortie du lac. Le pH présente des valeurs maximales en mars et minimales en juillet-août en relation avec l'intensité de la photosynthèse dans le lac. Ces conditions limnologiques typiques d'un grand lac de varzea permettent au Lago do Rei d'être un système particulièrement productif.

MOTS-CLÉS : Eaux douces — Amérique du Sud — Amazonie — Lac des plaines d'inondation — Limnologie.

SUMMARY

A FLOOD-PLAIN LAKE HYDROCLIMATE IN CENTRAL AMAZONIA (LAGO DO REI, CAREIRO ISLAND)

Multidisciplinary investigations have been conducted in 1985-88 on Careiro Island, in the region of Manaus, concerning the ecological and economical condition of the floodplain island production. The Lago do Rei, connected year-round to the Amazon, covers almost 100 km² in the middle part of Careiro during the high waters. Its limnological conditions depend on the main river water regime, and thus on the rainfall affecting the upper Amazon Basin. Water temperature is almost constant during the year. Dissolved oxygen shows seasonal and diurnal fluctuations related to the photosynthetic activity of the phytoplankton. Supersaturations are observed during both low and high water levels. The lowest values are noted in march-april, when the river waters enters into the varzea. Conductivity increases during periods of strong inflow or outflow from the lake. pH shows minimum values in march and maximum in july-august in relation with photosynthesis in the lake. These typical limnological conditions of a rather large floodplain lake permit the Lago do Rei to sustain a high biological production.

KEY WORDS : Fresh-waters — South America — Amazonia — Floodplain lake — Limnology.

(1) Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, ORSTOM, 213 rue La Fayette, Paris 75480 Cedex 10, France.

(2) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, DBL CP 478, Manaus AM-69000, Brasil.

INTRODUCTION

Les nombreux lacs situés sur les bords de l'Amazone, dans la plaine alluviale actuelle (varzea), dépendent des eaux blanches d'origine andine, riches en sédiments en suspension et en nutriments dissous, surtout pour ceux qui sont reliés directement au cours principal pendant toute l'année. Leur cycle hydrologique est déterminé principalement par le régime de l'Amazone, dont le niveau varie de 10 à 12 m en moyenne dans la région de Manaus, emplissant et vidant leur bassin chaque année. Cependant, l'apport de l'eau de pluie dans le lac et sur les terres environnantes ne peut être ignoré. En revanche l'influence d'éventuels petits affluents directs, qui pourraient modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau du lac, est souvent négligeable.

Les premières données scientifiques concernant la dynamique de la varzea proviennent des travaux de STOLI (1951, 1957 et 1967). Dans la région de Manaus, un certain nombre de systèmes ont fait l'objet d'études limnologiques détaillées, ainsi le Lago Redondo (MARLIER, 1965, 1967 et 1968), le Lago do Castanho (SCHMIDT, 1972, 1973 a et b), le Lago Tupé (RAI et HILL, 1981), le Lago Januari (RAI et HILL, 1982) et le Lago Cristalino (RAI et HILL, 1984). Par ailleurs, diverses informations ont été publiées relatives à l'oxygène, au pH, à la température et à la conductivité du lac de Januaca (GESSNER, 1960), des Lago Calado et Lago Xiborena (JUNK, 1970) et du Lago do Rei (ANNIBAL, 1983). Enfin des travaux de synthèse (SALATI *et al.*, 1983; JUNK, 1982; Sioli ed., 1984) démontrent la grande importance de la varzea non seulement dans l'ensemble de l'écosystème aquatique mais également pour la population humaine, en tant que milieu particulièrement productif notamment en poisson (PETRERE, 1982).

En 1985-1988, l'île de Careiro, dans la région de Manaus, a fait l'objet de recherches multidisciplinaires concernant les conditions écologiques et économiques de la production d'une île de varzea. Les résultats présentés dans ce travail décrivent la dynamique de quelques paramètres limnologiques : oxygène dissous, conductivité, pH et température, en différents endroits du Lago do Rei, dans le Paraná do Rei qui le relie à l'Amazone, ainsi que dans le cours principal du fleuve lui-même.

DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'île de Careiro, 41 km de long sur 17 km de large dans ses dimensions maximales, est une île alluvionnaire de varzea typique, la première située après la

confluence de Solimoens avec le Rio Negro, à une dizaine de kilomètres de Manaus (fig. 1). Les données fournies par le poste météorologique de Vila do Careiro, installé par l'INPA, indiquent une température moyenne annuelle de l'air de 26° 6 C, une humidité relative de 80% et des précipitations annuelles d'environ 2000 mm, les valeurs mensuelles maximales de ces dernières étant observées en février-mars et les valeurs minimales en juillet-août.

Le Lago do Rei occupe la partie centrale de Careiro, sur une superficie d'environ 100 km² pendant la crue, formant alors un réseau complexe avec les nombreux petits lacs adjacents. Le Lago do Rei est relié toute l'année à l'Amazone par un exutoire unique, le Paraná do Rei. Pendant les basses eaux, le lac est passablement asséché : la profondeur moyenne avoisine 1 m alors que les valeurs maximales atteignent 10-12 m pendant la crue, cette variation correspondant à l'amplitude moyenne du niveau de l'Amazone dans la région de Manaus. Le niveau de l'eau dépend essentiellement des précipitations affectant la partie haute du bassin amazonien : pendant toute la période d'étude, le niveau de l'eau mesuré dans le Paraná do Careiro a varié de façon identique à celui du Rio Negro, mesuré à Manaus (fig. 2). Il monte généralement depuis le début novembre jusqu'à mi-juin. Les eaux restent hautes jusqu'à mi-août, puis baissent de nouveau. Un étiage exceptionnel a été enregistré fin 1987, le niveau le plus bas étant 3 m en dessous de la valeur moyenne « normale » de basses eaux.

MÉTHODOLOGIE

L'étude de l'évolution saisonnière des paramètres physico-chimiques de l'eau a été réalisée sur la base de tournées bimensuelles effectuées de janvier à décembre 1987. L'emplacement des stations d'échantillonnage a été choisi pour tenter de suivre la dynamique de l'eau du lac au cours d'un cycle annuel. Elles ont été déterminées de la façon suivante (fig. 1) :

— la station A, située à l'extrémité du Lago do Rei, à l'entrée du Lago do Pedro près de la Terra Nova ;

— la station B, localisée à l'entrée du lac, directement sous l'influence du Paraná do Rei lorsque celui-ci amène les eaux blanches du fleuve vers l'intérieur de l'île ;

— la station C, dans le Paraná do Rei, à 100 m de sa confluence avec l'Amazone ;

— la station D, dans l'Amazone, à quelque 50 m en amont de l'embouchure du Paraná do Rei et à 20 m de la rive de l'île.

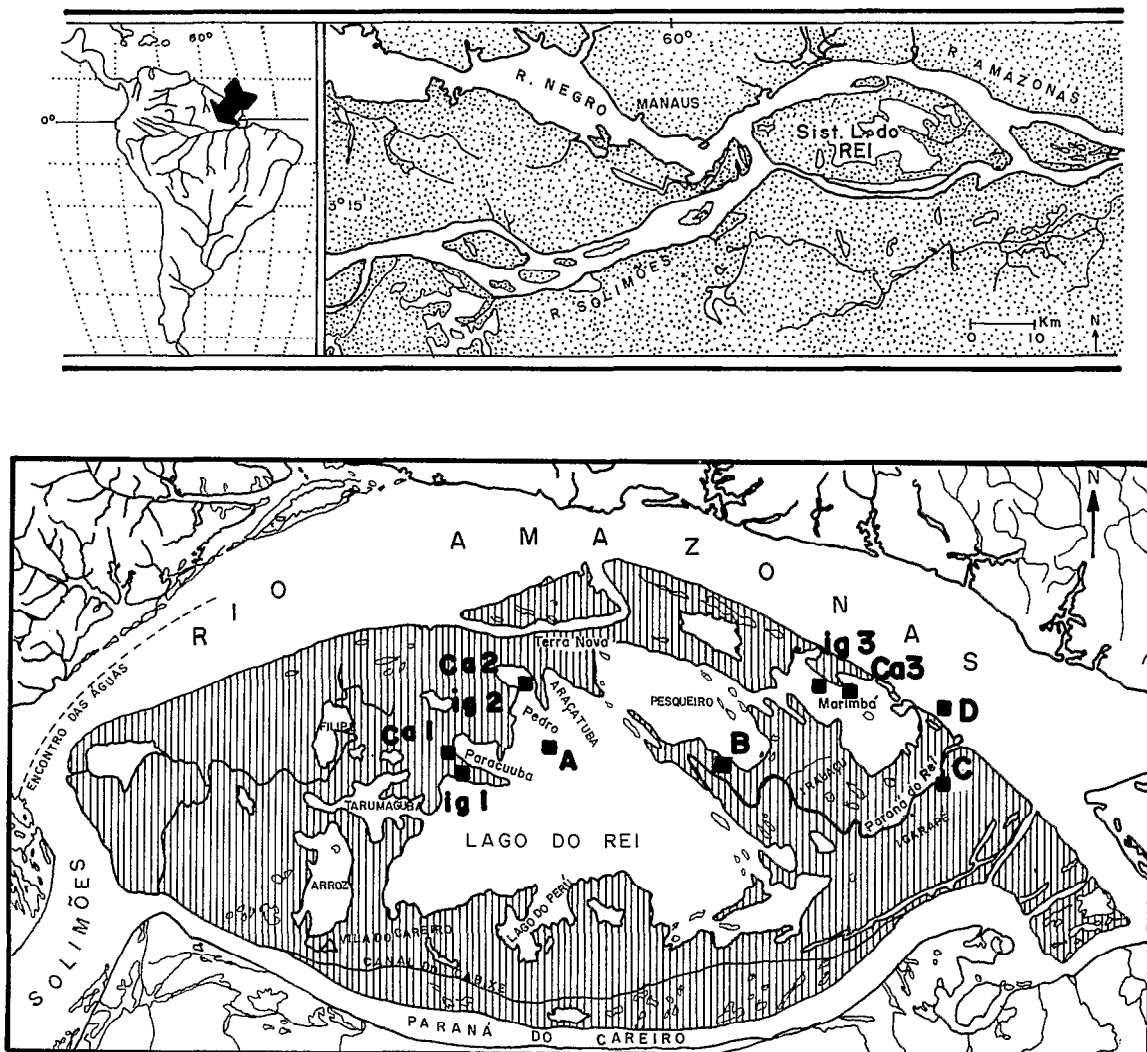


FIG. 1. — Localisation géographique de l'île de Careiro et des stations d'échantillonnage
 Situation of the Careiro island and of the sampling sites

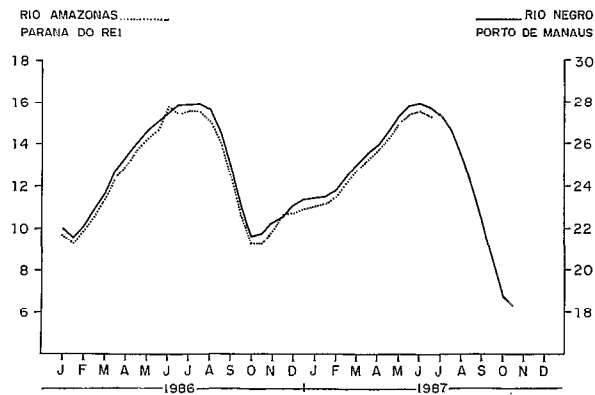


FIG. 2. — Variations saisonnières du niveau d'eau (cotes en m) dans le Paraná do Careiro et le Rio Negro à Manaus en 1986-87. D'après les données du Service National de Météorologie de Manaus

Seasonal variations of the water level (m) in the Paraná do Careiro and the Rio Negro river at Manaus in 1986-87. Data from the National Service of Meteorology of Manaus

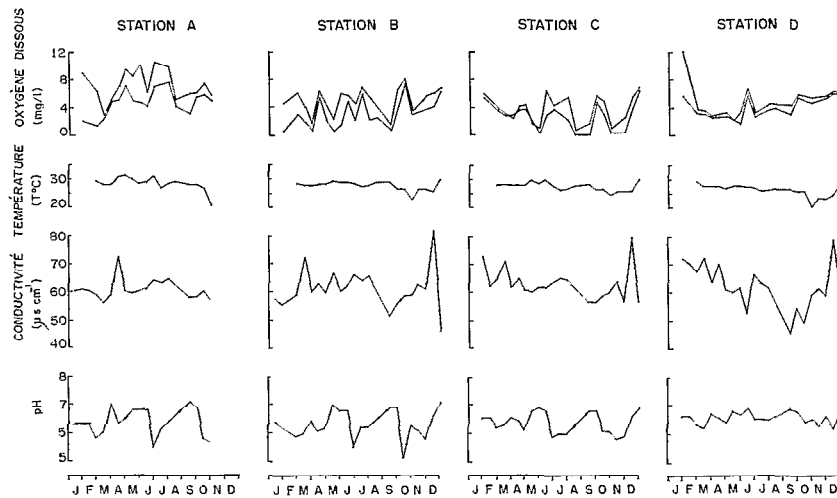


FIG. 3. — Variations saisonnières de la teneur en oxygène dissous (mg/l) en surface (—) et à 4 m de profondeur (---), de la température (°C), de la conductivité ($\mu\text{S}20$) et du pH, à l'extrémité (St.A) et à l'entrée (St.B) du Lago do Rei, dans le Paraná (St.C) et l'Amazonie (St.D). Les mesures ont été effectuées entre : 8 h 20 et 8 h 40 en St.A, 8 h 50 et 9 h 10 en St.B, 9 h 30 et 9 h 50 en St.C, 9h50 et 10h10 en St.C

Seasonal variations of the dissolved oxygen (mg/l) at the surface (—) and at a depth of 4 m (---), of the temperature (°C), the conductivity (μS) and the pH at the surface, at the end (St.A) and the entrance (St.B) of the Lago do Rei, in the Paraná (St.C) and the Amazon river (St.D). The measurements have been done between : 8 h 20 and 8 h 40 at St.A, 8 h 50 and 9 h 10 at St.B, 9 h 30 and 9 h 50 at St.C, 9 h 50 and 10 h 10 at St.C

L'oxygène dissous, le pH et la conductivité ont été mesurés dans ces quatre stations en surface, à 4 m et au fond, lorsque la profondeur maximale excédait 4 m, et uniquement en surface et au fond, lorsque celle-ci était inférieure à 4 m. Seule la température des eaux superficielles fut notée. Les valeurs de ces quatre variables sont portées sur la figure 3.

La température et l'oxygène ont été mesurés *in situ* avec une précision respective de 0,1 °C et de 0,1 mg/l, à l'aide d'un oxymètre portable YSI modèle 450. Au début des tournées le pH fut mesuré également *in situ* à l'aide d'un pHmètre portable WTW type PH 57. Puis des échantillons d'eau furent prélevés à l'aide d'une bouteille de Van Dorn et rapportés au laboratoire où le pH fut déterminé avec une précision de 0,1 à l'aide du même pHmètre. La conductivité a été mesurée également au laboratoire avec une sensibilité de 0,01 μS (20°) à l'aide d'un conductivimètre Eydram type LF 91.

Les collectes et les mesures ont été effectuées le matin, en moyenne entre 8 h 20 et 8 h 40 à la station A ; 8 h 50 et 9 h 10 à la station B ; 9 h 30 et 9 h 50 à la station C ; 9 h 50 et 10 h 10 à la station D.

D'autres stations furent déterminées dans des habitats marginaux du lac : trois au bord des tapis flottants de macrophytes ou *capim* (CA1, CA2 et CA3), et trois dans la forêt inondée ou *igapo* (IG1,

IG2 et IG3), dans le Lago de Paracuuba, le Lago Pedro et le Lago Marimba.

Dans chacune de ces six stations, la teneur en oxygène dissous a été mesurée le soir entre 17 h et 19 h, de mètre en mètre depuis la surface jusqu'à 4 m de fond. Chaque mesure a été répétée trois fois à quelques mètres de distance. Le pH et la température furent mesurés uniquement en surface avec une ou deux observations. En l'absence de différence significative entre les trois stations du même habitat (*capim* ou *igapo*) pour une même profondeur, les valeurs moyennes des trois variables ont été représentées sur la figure 4. La profondeur maximale de l'eau en chaque station a été notée à chaque tournée.

L'étude des variations nycthémerales des paramètres physico-chimiques de l'eau a été réalisée pendant 6 cycles journaliers : lors de la montée des eaux (les 25.2.87, 25.3.87 et 15.4.87), pendant le pic de la crue (le 14.5.87) et en basses eaux (les 9.10.87 et 29.10.87) dans les trois habitats suivants :

- au bord du tapis des macrophytes (station CA1),
- à la lisière de la forêt inondée (station IG1),
- en pleine eau (station A).

Des profils de température, d'oxygène dissous et de pH ont été établis avec des mesures effectuées de 4 h en 4 h, dans les eaux superficielles (en fait à 10 cm en dessous de la surface), à 2 m ainsi qu'à 4 m.

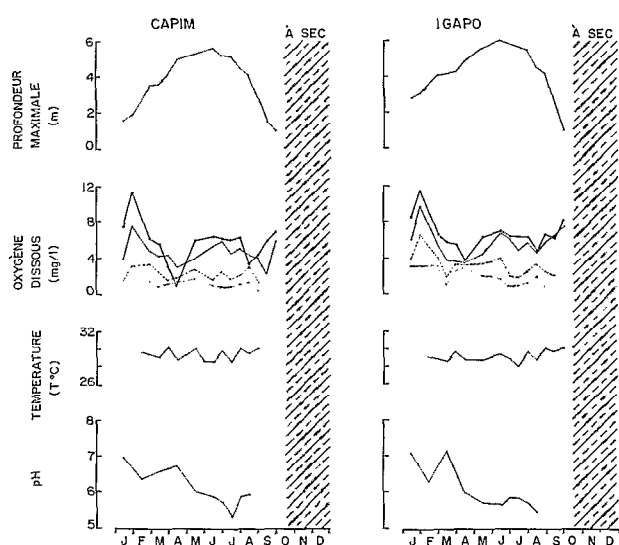


FIG. 4. — Variations saisonnières de la teneur moyenne en oxygène dissous (mg/l) en surface (—), à 1 m (—), à 2 m (---) et à 3 m de profondeur (....); de la température, du pH en surface, et de la profondeur maximale au bord des macrophytes et dans l'igapo dans le Lago do Rei, Careiro

Seasonal variations of the dissolved oxygen (mg/l) at the surface (—), at depths of 1 m (—), 2 m (---) and 3 m (....), of the temperature (°C), the pH at the surface, and of the mean water depth at the edge of the floating meadows (capim) and the inundated forest (igapo)

RÉSULTATS

La température

La température de l'eau en surface ne montre aucune variation saisonnière significative (test de Freedman; $P > 0,05$) ni dans l'ensemble des quatre stations A, B, C et D (fig. 3), ni dans les habitats marginaux, au bord des tapis de macrophytes ou de l'igapo (fig. 4). Les conditions sont proches de l'isothermie tout le long de l'année. Les températures relevées sont respectivement :

28 ± 2 °C aux stations A et B entre 8 h 20 et 9 h 10;

$27,6 \pm 1,5$ °C à la station C entre 9 h 30 et 9 h 50;

$26,7 \pm 2,1$ °C à la station D entre 9 h 50 et 10 h 10;

$29,2 \pm 1$ °C dans Capim (station CA1, 2 et 3) entre 17 et 18 h;

$29,4 \pm 1$ °C dans Igapo (stations IG1, 2 et 3) entre 17 et 18 h;

Néanmoins, des variations brutales peuvent apparaître en liaison avec les conditions météorologiques.

Ainsi, le 29.10.87 un violent orage suivi de fortes précipitations a refroidi jusqu'à 21 °C les eaux superficielles dans la station A et 20,5 °C dans l'Amazonie! Mais ces phénomènes sont d'ordre journalier et n'affectent pas la stabilité thermique annuelle.

Les profils de température établis de 4 h en 4 h, en pleine eau, au bord du tapis des macrophytes et à la lisière de la forêt inondée, montrent que des conditions d'homothermie prédominent entre 22 h et 6 h dans les trois habitats, la température étant identique depuis les eaux superficielles jusqu'à 4 m de profondeur. A 10 h apparaît une stratification thermique qui n'excède jamais 1 °C entre 0 m et 4 m. Suivant les conditions d'ensoleillement et de mélange des eaux, l'augmentation de température entre 6 h et 10 h peut atteindre jusqu'à 2,5 °C à 0 m et 2 °C à 2 m ainsi qu'à 4 m. Entre 10 h et 14 h, l'eau peut se réchauffer encore de 2 °C en surface, généralement de 0,5 °C à 1 °C à 2 m — ou exceptionnellement de 2 °C en l'absence de stratification de la masse d'eau — et de 1 °C au maximum à 4 m. L'ensemble des 17 profils établis tout le long de l'année montre des amplitudes journalières de la température qui peuvent atteindre 4 °C en surface, 3 °C à 2 m et 2 °C à 4 m, les valeurs maximales étant observées à 14 h et les minimales entre 2 et 6 h.

A conditions météorologiques égales, un réchauffement plus important est généralement noté au bord du tapis de macrophytes. Les amplitudes journalières moyennes de la température sont différentes d'un habitat à l'autre :

— 2,2 °C à 0 m; 1,6 °C à 2 m et 1 °C à 4 m au bord des macrophytes;

— 1,9 °C à 0 m; 1,37 °C à 2 m et 1 °C à 4 m à la lisière de l'igapo;

— 1,7 °C à 0 m; 1,6 °C à 2 m et 0,75 °C à 4 m en pleine eau.

La stratification thermique maximale observée dans un cycle de 24 h atteint en moyenne :

— 0,6 °C entre 0 et 2 m et 0,25 °C entre 2 et 4 m au bord des macrophytes;

— 0,4 °C entre 0 et 2 m et 0,5 °C entre 2 et 4 m à la lisière de l'igapo;

— 0,5 °C entre 0 et 2 m et 0,6 °C entre 2 et 4 m en pleine eau.

L'oxygène

La teneur en oxygène dissous de l'eau de surface des stations A, B, C et D montre un modèle significatif de variation saisonnière (test de Freedman : $\chi^2 = 23,5$; $0,025 < P < 0,05$). Les valeurs maximales sont observées en janvier, juin et octobre,

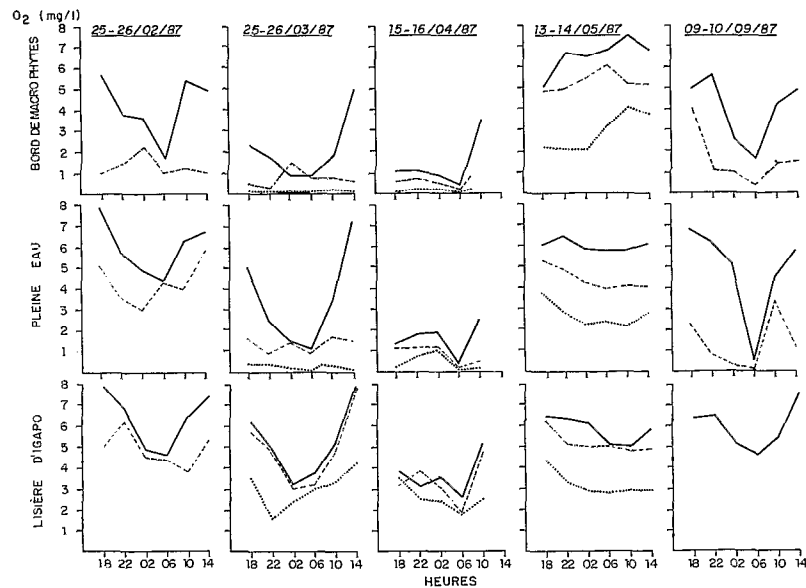


FIG. 5. — Variations nycthémerales de la teneur en oxygène dissous (mg/l) en surface (—), à 2 m (---) et à 4 m de profondeur (....) au bord des macrophytes (CAI), à la lisière de la forêt inondée (IGI) et en pleine eau (St.A)
Daily variations of the dissolved oxygen (mg/l) at the surface (—), at depths of 2 m (---) and 4 m (....) at the edge of the floating meadows (CAI), of the inundated forest (IGI) and in open water (St.A)

et les valeurs minimales en mars et fin août-début septembre (test non paramétrique de Tukey, $P < 0,05$) (fig. 3).

En janvier 1987, au début de la montée des eaux, la teneur en oxygène dissous atteint 9 mg/l dans le lac (St. A) et 12,1 mg/l aux abords de l'île, dans l'Amazone. Des valeurs de sursaturation moins élevées sont observées de nouveau pendant les hautes eaux, en juin et juillet à l'extrémité du lac. Dans les habitats marginaux, des teneurs maximales de 11,6 mg/l, largement supérieures à la saturation, furent également mesurées en janvier-février; les valeurs minimales apparaissent en mars-avril, lors de la rentrée massive de l'eau du fleuve dans le lac de varzea. Une chute secondaire de l'oxygène dissous est enregistrée en août. A l'étiage, en septembre-octobre, les valeurs remontent de nouveau à un niveau de saturation (fig. 4).

La stratification de l'oxygène dissous entre la surface et une profondeur de 4 m est plus forte dans le lac que dans le Paraná et l'Amazone, où les eaux sont davantage mélangées sous l'influence du courant. Dans les habitats marginaux, les valeurs de l'oxygène sont homogènes de la surface jusqu'à 4 m de fond en mars-avril, lors de la rentrée massive de l'eau du fleuve dans les lacs de la plaine alluviale.

Les profils d'oxygène établis de 4 h en 4 h, en pleine eau, au bord du tapis des macrophytes et à la

lisière de la forêt inondée, montrent des variations nycthémerales en relation avec l'activité photosynthétique : la teneur en oxygène augmente considérablement pendant la journée pour atteindre le maximum entre 14 h et 18 h, aussi bien en surface qu'à 2 m (fig. 5). Par ailleurs, les valeurs d'oxygène dissous diminuent avec la profondeur. Sous le tapis des macrophytes, l'eau est pratiquement anoxique dès 2 m de profondeur de février à avril. En mai, des teneurs de 3-4 mg/l sont observées jusqu'à 4 m de fond. A la lisière de la forêt inondée, la valeur maximale journalière de la teneur en oxygène dissous reste autour de 4 à 5 mg/l jusqu'à 4 m de profondeur. La stratification de l'oxygène en pleine eau dépend plus des conditions atmosphériques, aucune végétation n'amortissant l'effet du vent. Dans les trois habitats, les valeurs maximales ont été observées en février et les valeurs minimales, en avril. En septembre, seule la couche superficielle est riche en oxygène; près du fond, à un mètre plus bas, les conditions avoisinent l'anoxie.

La conductivité

La conductivité du Lago do Rei dépend largement de celle de l'Amazone. Le cours principal est caractérisé par une concentration relativement faible

en électrolytes, qui a varié entre 46 μS en septembre et 79 μS en décembre. Dans l'ensemble des stations A, B, C et D, la conductivité montre un modèle significatif de variation saisonnière (test de Freedman : $\chi^2 = 23,4$; $0,01 < P < 0,05$). Les valeurs maximales sont observées en janvier, mars et juillet-août, et les valeurs minimales en septembre-octobre (test non paramétrique de Tukay ; $P < 0,05$).

En janvier, la conductivité présente des valeurs hautes (70 μS) dans l'Amazone et à l'entrée du Paraná, puis diminue. L'eau du lac, plus pauvre en électrolytes (55-60 μS) est essentiellement sous l'influence des pluies. Au mois de mars, une augmentation de la conductivité (72 μS) est enregistrée dans l'Amazone, à l'entrée du Paraná et du lac, en relation avec la montée des eaux. Ce pic n'est ressenti qu'en avril soit un mois plus tard, à l'extrémité du lac à la station A. Les valeurs restent moyennes jusqu'en juillet-début août où elles augmentent de nouveau au moment de la remise en suspension des sédiments lors de l'inversion de courant qui se dirige maintenant du lac vers le fleuve. Les conductivités minimales (46 μS) sont observées en septembre pendant les basses eaux, puis elles augmentent brusquement en novembre-décembre. De façon générale, la teneur en électrolytes mesurée dans le lac reste toujours inférieure à celle mesurée à la même période dans l'Amazone (fig. 3).

Le gradient vertical de la conductivité est très faible et non significatif : la diminution des valeurs entre la surface et 4 m de profondeur avoisine 2 μS .

Le pH

Le pH est un facteur limitant pour un grand nombre d'organismes aquatiques des eaux amazoniennes. Des valeurs comprises entre 5,2 et 7,1 ont été mesurées dans les eaux de surface à Careiro. Dans le Lago do Rei (St. A, B et C, capim et igapo), elles montrent un modèle significatif de variation saisonnière avec un maximum en mars et un minimum en juillet-août pendant le pic de la crue (fig. 3 et 4). La diminution du pH avec la profondeur est très faible et non significative, dépassant rarement 0,3 unité entre la surface et 4 m de fond. En revanche, le pH montre des variations nycthémerales dans les eaux superficielles. Les valeurs minimales mesurées le matin vers 6 h et les valeurs maximales observées dans l'après-midi montrent l'effet d'une activité biologique importante par rapport au pouvoir tampon de l'eau. Cependant l'amplitude de ces variations ne dépasse pas 1,3 unité.

DISCUSSION

Les résultats de cette étude permettent de dégager plusieurs caractéristiques limnologiques du Lago do Rei : d'une part une isothermie importante, et d'autre part la saisonnalité des valeurs d'oxygène dissous, de conductivité et de pH dont la dynamique est intimement liée au cycle des crues.

REINKE (1962) note la prédominance des variations nycthémerales de la température par rapport au cycle saisonnier dans les eaux amazoniennes, phénomène généralement observé dans les régions tropicales. SCHMIDT (1973b) décrit également des conditions d'isothermie dans le Lago do Castanho, près de Manaus, avec des températures moyennes annuelles analogues à celles observées à Careiro. L'amplitude moyenne des variations journalières dans le Lago do Rei est néanmoins relativement faible. Les chutes brutales de température qui peuvent apparaître en liaison avec les conditions météorologiques sont des phénomènes d'ordre journalier et n'affectent pas la stabilité thermique annuelle.

Les variations de la teneur en oxygène dissous sont liées à des phénomènes biologiques en rapport avec la dynamique des crues, les valeurs maximales étant mesurées pendant l'étiage, puis pendant les hautes eaux. ANNIBAL (1983) décrit des sursaturations en oxygène à Careiro également en période de basses eaux, d'octobre à février. Pendant toute son étendue, la teneur en oxygène dissous ne descend pas en dessous de 5 mg/l dans les eaux superficielles, montrant des valeurs nettement supérieures à celles observées en 1987 aux mêmes endroits. Les concentrations en oxygène mesurées par MARLIER (1967) dans le Lago Redondo sont en revanche toujours inférieures à la saturation. Malheureusement l'heure à laquelle les mesures ont été effectuées n'est pas indiquée, limitant les possibilités de discussion. Dans le Lago do Castanho, SCHMIDT (1973b) observe également les teneurs maximales supérieures ou proches de la saturation pendant l'étiage, en octobre, et pendant les hautes eaux de juillet. L'auteur relie ces sursaturations en oxygène, qu'il décrit comme occasionnelles, à une considérable accumulation de phytoplancton favorisée par des conditions exceptionnelles de circulation et de stratification de la masse d'eau. Le même phénomène est observé dans les eaux noires du Lago Tupé (RAI et HILL, 1981). SUAREZ MERA (*comm. pers.*) met également en relation les sursaturations en oxygène du système de Careiro, avec des proliférations particulièrement intenses d'algues cyanophytes qu'il a observées à plusieurs reprises au cours de l'année 1987.

En général, la production de phytoplancton dans les lacs d'Amazonie centrale est plus importante pendant la période des basses eaux, les valeurs maximales étant observées au tout début de la crue, en dépit des conditions optiques défavorables créées par la resuspension de la couche supérieure du sédiment (SCHMIDT, 1969, 1973b; RAI et HILL, 1981, 1982 et 1984). Au milieu de la crue, la production primaire de phytoplancton diminue dans la varzea, lors de la dilution de l'eau des lacs par celle du fleuve. On observe alors une forte déplétion en oxygène, liée au développement intense du périphyton et des bactéries, favorisé par un apport massif de matière organique aussi bien du cours principal que des berges inondées (RAI et HILL, 1981, 1984). Les macrophytes aquatiques flottants se développent avec la montée des eaux, disputant au phytoplancton la lumière et les nutriments. Ainsi, *Paspalum repens*, *P. fasciculatum* et *Echinochloa polystachya*, prédominants dans les milieux étudiés à Careiro, présentent une croissance optimale pendant le pic de la crue, alors que le courant dans le lac est minimal (JUNK, 1984).

Les variations saisonnières de la conductivité observées à Careiro sont largement dépendantes des échanges entre le lac et les milieux voisins (capim, igapo, Amazone). La teneur en électrolytes augmente lors de l'entrée massive dans le lac de l'eau du fleuve, riche en électrolytes et en matières en suspension; elle diminue pendant les hautes eaux, puis augmente de nouveau pendant la décrue, lors de la remise en suspension des sédiments par le courant inverse. ANNIBAL (1983) observe des variations saisonnières semblables de la conductivité, ainsi qu'une augmentation de la teneur en électrolytes au fond du lac un mois après le pic mesuré en mars dans l'Amazone et le Paraná do Rei.

Le même auteur décrit dans le système de Careiro des variations de pH comprises entre 5,3 et 8,2 — les valeurs maximales étant observées en mars pendant la crue et les valeurs minimales pendant les basses

eaux de novembre. Ce phénomène confirme la relation entre l'activité photosynthétique du phytoplancton et le pH, la valeur de ce dernier diminuant quand l'intensité de la photosynthèse dépasse le pouvoir tampon des eaux (SCHMIDT, 1973b). Aucune variation saisonnière significative des valeurs de pH n'a été observée dans le Lago do Castanho (SCHMIDT, 1973b). L'auteur rapporte en revanche des variations nyctémérales supérieures à celles mesurées dans le Lago do Rei, supérieures à deux unités (de 6,3 à 8,8) pendant les basses eaux. Les études de MARLIER (1967) dans le Lago Redondo relatent uniquement des variations de pH comprises entre 6,4 et 7.

Les paramètres limnologiques étudiés dans la varzea de Careiro présentent des valeurs semblables à celles observées dans d'autres lacs de varzea d'Amazonie centrale. La dynamique des processus biologiques qui modifient la teneur en oxygène — prolifération de phytoplancton, apparition des tapis de macrophytes — est liée non pas à des changements saisonniers de températures, comme dans les régions tempérées, mais au cycle des crues et des échanges avec les milieux voisins, conditionnés par les précipitations du haut bassin amazonien et sur la région elle-même. L'importante superficie du Lago do Rei, plus de 100 km² exposés à l'action du vent pendant les crues, en fait un réservoir particulièrement favorable à une production biologique élevée, notamment en poissons (MÉRONA, 1988).

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé à l'Instituto de Pesquisas da Amazônia (INPA) dans le cadre d'un programme ORSTOM/INPA/Institut MAX PLANK avec une contribution financière de la Communauté Économique Européenne. Les auteurs remercient l'équipe de limnologie associée à l'Institut Max Plank pour sa collaboration dans les analyses de laboratoire.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 15 mai 1989

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANNIBAL (S. R.), 1983. — Avaliação bio-ecológica e pesqueira das «Pescadas» (*Plagioscion squamosissimus* Heckel, 1840 e *Plagioscion montei* Soares, 1978) no «sistema Lago do Rei» ilha do Careiro. Dissertação de mestrado, Manaus, INPA. AM BRASIL.
- GESSNER (F.), 1960. — Limnologische Untersuchungen am Zusammenfluss des Rio Negro und das Amazonas. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 45 : 55-79.
- JUNK (W. J.), 1970. — Investigations on the ecology and production — biology of the «floating meadows» (*Paspalo-Echinochloelum*) on the Middle Amazon. I. The floating vegetations and its ecology. *Amazoniana*, 2 : 449-495.
- JUNK (W. J.), 1982. — The Amazonian floodplains : their ecology, present and potential use. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 15 (4) : 283-404.
- MARLIER (G.), 1965. — Études sur les lacs de l'Amazonie Centrale *Cadernos da Amazonia* (Manaus, Brasil) 5 : 1-49.
- MARLIER (G.), 1967. Ecological studies on some lakes of the Amazon Valley. *Amazoniana*, 1 : 91-115.
- MARLIER (G.), 1968. — Études sur les lacs de l'Amazonie Centrale *Cadernos da Amazonia* (Manaus, Brasil) 11 : 1-57.
- MERONA (B. de), 1988. — Les poissons. In : Conditions écologiques et économiques de la production d'une île de varzea : l'île de Careiro. Rapp. Tech. ORSTOM, Paris : 72-182.
- PETRERE (M. Jr.), 1982. — Ecology of the fisheries of the river Amazon and its tributaries in the Amazonas state (Brazil). PhD Thesis, Univ. East Anglia, USA : 96 p.
- RAI (H.) et HILL (G.), 1981. — Physical and chemical studies of Lago Tupé; a Central Amazonian black water ria lake. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 66 (1) : 37-82.
- RAI (H.) et HILL (G.), 1982. — On the nature of the ecological cycle of Lake Janauari; a Central Amazonian ria/varzea lake. *Tropical Ecol.* 23 (1) : 1-50.
- RAI (H.) et HILL (G.), 1984. — Primary production in the Amazonian aquatic ecosystem. In : Sioli, H. (ed.) The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin : 311-325.
- REINKE (R.), 1962. — Das Klima Amazoniens. Diss. Tübingen (Germany), 1-201.
- SALATI (E.), SCHUBART (H. R. O.), JUNK (W. J.) et OLIVEIRA (A. E.), 1983. — Amazonia. CNPq, Editora Brasiliense : 327 p.
- SCHMIDT (G. W.), 1969. — Vertical distribution of bacteria and algae in a tropical lake. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* 54 : 791-797.
- SCHMIDT (G. W.), 1972. — Seasonal changes in water chemistry of a tropical lake (Lago do Castanho, Amazonia, South America). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 18 : 613-621.
- SCHMIDT (G. W.), 1973 a. — Primary production of phytoplankton in the three types of amazonian waters. II. Limnology of a tropical flood-plain lake in central Amazonia (Lago do Castanho). *Amazoniana*, 4 (2) : 139-204.
- SCHMIDT (G. W.), 1973 b. — Primary production of phytoplankton in the three types of amazonian waters. III. Primary productivity of phytoplankton in a tropical flood-plain lake of central Amazonia, Lago do Castanho, Amazonas, Brazil. *Amazoniana*, 4 (4) : 379-404.
- SIOLI (H.), 1951. — Zum Alterungsprozess von Flüssen und Flusstypen im Amazonasgebiet. *Arch. Hydrobiol.* 45 : 267-283.
- SIOLI (H.), 1957. — Sedimentation im Amazonasgebiet. *Geol. Rdsch.* 45 : 608-633.
- SIOLI (H.), 1967. — Bemerkungen zur Typologie amazonischer Flüsse. *Amazoniana* 1 : 74-83.
- SIOLI (H.), 1984. — The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. W. J. Junk Pub : 763 p.