

ÉTUDE LIMNOLOGIQUE DES EAUX DU LAC DU ARROZ (1) (Ile du Careiro — Amazonie Centrale — Brésil)

Ubrirajara BOECHAT LOPES (2), Umberto de MENEZES SANTOS (2), André NOVIKOFF (3)

(2) *Professeurs Assistants, Université de l'Amazonie-Manaus.*

(3) *Géologue O.R.S.T.O.M., Instituto de Geociencias, Departamento de Geoquímica. UFBA, Salvador, Brésil.*

RÉSUMÉ

La limnologie des eaux du lac du Arroz (riz) dans l'île du Careiro en Amazonie Centrale est fortement conditionnée par les variations saisonnières des apports du rio Solimoes (Amazone), auquel le lac est relié par un canal en eau, pratiquement toute l'année. La variation annuelle du niveau du lac est de 7 à 9 mètres.

Le niveau maximum des eaux est atteint en juin-juillet, puis elles commencent à baisser à partir du mois d'août et sont au plus bas en décembre. Les analyses d'eau montrent bien la variation des propriétés physiques, chimiques et biologiques des eaux du lac en fonction du régime d'alimentation de la rivière. En période de hautes eaux et de calme, la séparation entre épilimnium et hypolimnium est nette et apparaît une bonne stratification de la température, des ions et de la matière organique. Mais en période de vents prolongés le brassage des eaux provoque une remontée de l'hydrogène sulfuré et parallèlement une chute de l'oxygène dans les zones proches de la surface du lac.

En période de basses eaux, à partir de la fin du mois de septembre, une grande quantité de poissons pénètre dans le lac pour y frayer, surtout des Loricariidae, appelés localement Acari Bodo. Ils creusent des trous de 20 cm dans la vase du fond du lac pour y déposer leurs oeufs, ce qui a pour effet de provoquer la remise en suspension du matériel fin et pour conséquence de favoriser l'activité biologique, marquée en particulier, par le développement des graminées flottantes. Ces phénomènes biologiques font que la concentration des éléments dissous ou complexés par la matière organique dans les eaux du lac est différente de celle des eaux des grandes rivières amazoniennes. Par exemple, on y trouve plus de fer, de magnésium moins de silice que dans ces dernières.

MOTS-CLÉS : Limnologie — Lac — Amazone — Brésil.

RESUMO

As condições limnológicas do Lago do Arroz, Ilha do Careiro (Amazonia Central) são determinadas pelo Rio Solimoes (Amazonas) pois encontra-se conectado com o mesmo, praticamente o ano todo, obviamente, as flutuações do nível do rio afetam diretamente o lago. A variação do nível da água ascende em torno de 7 a 9 metros anualmente. Em janeiro, inicia o ciclo da cheia alcançando o nível máximo entre junho/julho e a partir de agosto, inicia o ciclo da vazante alcançando os níveis mínimos em dezembro. A evolução destes dois ciclos são os principais responsáveis pelas grandes variações físicas, químicas e biológicas ali ocorridas.

As análises químicas revelam, claramente, as variações sazonais no Lago do Arroz. Estagnação, com nitida separação entre o epilimnion e o hipolimnion, estratificação de temperatura, conteúdo de sais totais e a presença de agentes complexantes notáveis. Os ventos podem provocar uma completa turbulência no lago misturando as águas com subida do gás sulfídrico até a proximidade da superfície e decréscimo do oxigênio nas águas.

(1) Dans le cadre de la Convention passée entre l'O.R.S.T.O.M. et l'U.F.Ba. (Brésil).

Quando as aguas sao baixas, à partir de fim de setembro, o lago recebe uma intensa migração de peixes da familia dos Loricariidae, que recebe o nome vulgar de Acari Bodo, este peixe provoca uma intensa resuspensão no sedimento do lago, devido cavarem buracos na lama, de até 20 centímetros de profundidade, para e desova, causando uma circulação total no lago o que favorece a atividade biologica e consequentemente a fixação dos elementos dissolvidos ou quelatados nas aguas do lago comparadas aquelas de rios na Amazonia sao diferentes. Acham-se por exemplo, mais de ferro e magnésio e menos de silício.

ABSTRACT

The limnological conditions of Lago do Arroz (Rice Lake) on Careiro Island in Central Amazona is determined by fluctuation of the Solimoes (Amazon) river due to its almost yearlong connection with the river.

The lake level oscillates between 7 and 9 meters annually. The flooding system begins in January reaching its maximum level in late June or early July. From August on the water level receds, reaching its minimum level in December. This cycle is responsible for the great physical, chemical and biological variations observed in the lake.

During high water and quiet periods, there is an evident separation between epilimnion and hypolimnion, temperature stratification, dissolved salt contents and the occurrence of organic complexing agents. But, during prolonged windy periods the mixing of waters provokes the rising of hydrogen sulfide and consequently the decrease of oxygene, close to the superficie of the lake

When the waters are low, at the end of September, a great quantity of fishes penetrates into the lake, especially fishes of the Loricariidae family, known by the name "Acari Bodo". These fishes make burrows in the mud about 20 centimeters deep for laying their ova. The result is an intensive turmoil in the lake sediment and consequently an increase in biological activity, in particular a great development of floating graminaceas.

All these biological phenomenous make for quiet different concentrations of dissolved elements in the lake waters as compared with the concentrations observed in Amazon waters. For example, more iron, magnesium, less silica.

KEY WORDS : Limnology — Lake — Amazona — Brazil.

РЕЗЮМЕ

ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДЫ ОЗЕРА АРРОС
(Остров Карейро — Центральная Амазонка — Бразилия)

Лимнология воды озера Аррос (рис) на острове Карейро в Центральной Амазонке сильно зависит от сезонных изменений объема наносов принесенных рекой Рио Солимоэп (Амазонка), к которой озеро почти постоянно соединено полным каналом. Ежегодное изменение уровня озера — от 7 до 9 метров.

Вода достигает самый высокий уровень в течение месяцев июня и июля, потом она становится понижаться от месяца августа и достигает самый низкий уровень в декабре. Анализы воды хорошо отражают изменение физических, химических и биологических свойств воды озера в зависимости от режима питания реки. В период высоких волн и затишья, разница между эпилимнионом и гиполимнионом — явная, и хорошая стратификация температуры, понов и органического вещества появляется. Однако, в течение длительных ветровых периодов, перемешивание воды причиняет поднятие сульфидного водорода и одновременное падение кислорода в близких к поверхности озера слоях.

В период низкого уровня, от конца сентября, большое число рыб всплывают в озеро чтобы вымести икру, особенно Loricariidae, названные Acari Bodo жителями. Они роют дыры в 20 см в иле на дне озера чтобы класть яйца, так что мелкие частицы снова находятся в состоянии суспензии, в результате чего биологическая активность развивается, что особенно вызывает развитие плавучих злаковых растений. Из-за этих биологических явлений, концентрация растворенных или комплексированных органическим веществом элементов в воде озера отличается от концентрации в воде крупных амазонских рек. Например, больше железа и магния, меньше кремнезема находится в озере, чем в последних.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА : Лимнология — Озеро — Амазонка — Бразилия.

INTRODUCTION

Le lac du Arroz (Riz) est situé sur l'île du Careiro, en Amazonie Centrale par 3°10' Lat. S., 59°40'10'' Long. W. Les eaux du rio Solimoes (Amazone) y parviennent par l'igapé Grande, après avoir traversé une série de lacs, celui étudié étant le dernier. L'étude de ces lacs est importante car étant très poissonneux, ils représentent une source importante de protéines dans l'alimentation de la population de Manaus.

GÉNÉRALITÉS

La figure 1 situe le lac dans l'île du Careiro, île située au confluent du rio Negro et du rio Solimoes, le rio Amazonas résultant de la jonction des deux rios précédents. La ville de Manaus est située à peu de distance à l'ouest sur le rio Negro.

La surface du lac varie considérablement en cours d'année; à partir d'images radar, on peut estimer

qu'elle est en moyenne de 4,5 km². Le canal qui le lie au rio Solimoes est en général d'accès facile, sauf en cas de très forte baisse des eaux où il est obstrué par les graminées flottantes.

Les conditions climatiques sont identiques à celles de Manaus. Climat chaud, humide. Les pluies sont abondantes mais il existe une saison sèche à pluies occasionnelles allant d'août à octobre. La profondeur minimale du lac est de l'ordre de 1 mètre (en novembre, décembre) et la maximale de 7 à 9 mètres (juin). Normalement les eaux baissent jusque vers décembre puis remontent pour atteindre leur maximum en juin.

Le vent est à dominante nord-est, parfois nord, comme en février ou août; sa vitesse est en général faible (quelques m/s), il atteint parfois 35 m/s.

Le lac est entouré de terrains formés par des alluvions récentes recouvertes de forêts quand ils sont inondables, sinon transformés en pâturages.

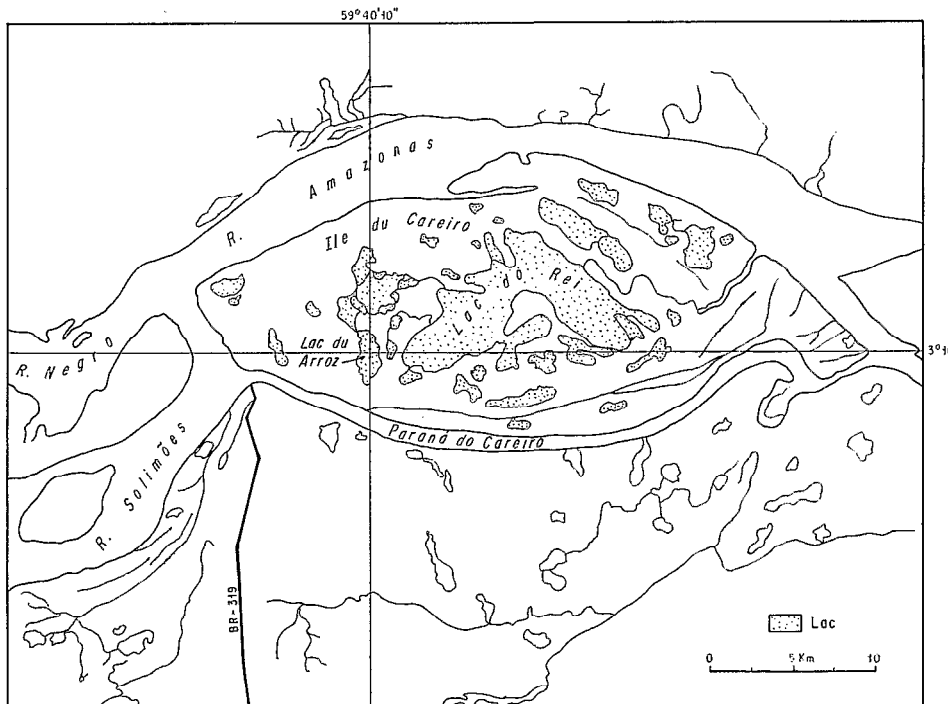


FIG. 1.

TRAVAUX ANTÉRIEURS

SIOLI (1950, 1957, 1968) puis FITKAU (1960) furent les premiers à étudier les lacs amazoniens. GEISLER (1969) s'est préoccupé de la liaison entre la turbulence des eaux sous l'effet du vent, leur déficience en oxygène et les hécatombes de poissons observées épisodiquement. JUNK (1970) s'est intéressé à l'écologie des graminées flottantes et à leur effet sur les eaux,

SANTOS (1973, 1977) a étudié l'effet de la température, de l'état de la matière organique sur le comportement des poissons. Il a aussi mis l'accent sur l'effet du vent dans la remontée de l'hydrogène sulfuré vers la surface du lac.

RIBEIRO (1978) s'est penché sur la reconnaissance des facteurs favorables au développement du phytoplancton, en particulier les nutriments minéraux et la lumière.

MATÉRIEL

Les échantillons d'eau ont été prélevés au centre du lac, tous les mois, de juin 1978 à mars 1979, sur un profil vertical avec un espacement de 1 mètre. En fonction du type d'analyse, l'échantillon d'eau après fractionnement a été stabilisé par des composés appropriés. Un certain nombre d'éléments importants tels le sodium et le potassium n'ont pas pu être analysés pour des raisons matérielles, ce qui empêche évidemment de vérifier la balance entre anions et cations.

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Transparence

La notion de transparence est liée à deux facteurs différents : la couleur des eaux et la quantité de

matériel transporté par ces eaux; c'est ce dernier facteur qui, dans le cas présent, va être prédominant. En définitive, la mesure de ce phénomène nous donne une idée sur la variation du transport solide.

Le lac se trouvant assez loin du rio qui lui apporte la majeure partie du matériel en suspension, il est normal que celui qui y parvient soit fin. Cet apport de sédiment est maximum entre mai et juillet, ce qui va diminuer la transparence qui, mesurée au disque de Secchi, est de l'ordre du mètre. C'est en période de basses eaux que la transparence est minimum (15 centimètres au mois de décembre) ceci étant dû à la remise en suspension des sédiments par le vent et par les poissons qui y pénètrent en grande quantité dès le mois de septembre et creusent au moment du frais des trous de 20 cm de profondeur. La transparence est maximum entre janvier et mai, où elle atteint 1,65 m.

TABLEAU I

Températures en °C des eaux du lac du Arroz.

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	29,8	31,0	30,1	28,6	31,0	31,0	31,4	30,0	29,2	30,4	30,6	30,3	29,0	29,5	28,8
1	29,9	30,6	29,6	28,0	30,0	30,8	30,6	29,6	29,2	30,0	30,1	30,0	28,8	29,2	29,4
2	28,6	30,0	29,2	28,0	29,6	30,5	29,0	29,4					28,5	29,0	28,6
3	28,0	29,4	28,4	28,0	28,0	30,0	28,4						28,2	28,4	28,0
4	28,5	28,2	28,0	28,0	27,5									27,8	
5	27,0	28,0	28,0	28,0											
6	26,9	28,0	27,0	27,8											
7	26,8	27,2	26,4												
M	28,12	29,05	28,29	28,05	28,85	30,57	29,85	29,73	29,2	30,2	30,35	30,15	28,62	28,78	28,95

M : moyenne.

Température

Le tableau I donne les valeurs de la température des eaux pendant la période étudiée. La plus grande différence de température entre la surface et le fond (3,8 °C) a été observée par temps calme, en période de hautes eaux. MARLIER (1965), dans un lac moins profond (lac do Redondo) trouve 1,8 °C alors que SCHMIDT (1973) observe des différences de 4° dans le lac do Castanho, comparable à celui étudié. Les écarts maximums absolus observés ne sont pas tellement différents, le maximum était de 31,4 °C à la surface du lac et le minimum 26,4 °C au fond. A certaines époques de l'année, en période de hautes eaux, sous l'effet de l'agitation de l'eau par le vent du nord, la température a tendance à s'homogénéiser sur une assez grande épaisseur (cas du 16 août). Ce

phénomène, très important car il est suivi d'une hécatombe de poissons, s'appelle « friagem ».

Le 8 mars 1979 apparaît une inversion de température provoquée par d'abondantes chutes de pluie ayant refroidi les eaux de la surface du lac.

Le pH et le gaz carbonique

Les valeurs du pH oscillent entre 4,59 et 6,41; les plus basses sont observées en fin d'étiage quand les quantités de matière organique et de fer en solution augmentent. A l'époque des hautes eaux, le pH varie faiblement dans une gamme de valeurs proches de 6, c'est à ce moment qu'il est le plus élevé. Les pH mesurés par d'autres auteurs dans les eaux des lacs amazoniens sont en général plus élevés, ils atteignent et dépassent 7 (maximum de 7,7 RIBEIRO, *op. cit.*) et

TABLEAU II
Variation du pH des eaux du lac du Arroz.

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	03.02	09.03
0	6,10	6,21	6,00	5,70	6,05	6,05	5,95	5,70	6,00	5,00	4,65	4,60	5,90	6,10	6,35
1	6,15	6,20	6,10	6,00	6,15	5,95	6,00	5,75	6,00	5,38	4,50	4,65	6,10	6,20	6,60
2	6,00	6,30	5,95	6,15	6,20	5,85	6,00	5,80					5,95	6,23	6,50
3	5,95	6,10	5,78	6,20	5,95	5,55	6,00						5,80	6,24	6,30
4	6,10	6,10	5,70	6,30	5,90										6,30
5	6,10	6,00	5,75	6,60	5,85										
6	6,05	6,00	5,65	6,50											
7	6,05	5,84	5,78												
M	6,05	6,09	5,84	6,21	6,02	5,85	5,99	5,75	6,00	5,19	4,57	4,62	5,94	6,21	6,41

M : moyenne.

TABLEAU III
Teneur en CO₂ (en ppm) des eaux du lac du Arroz

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	1,30	1,60	5,00	3,00	4,00	2,00	1,50	4,50	2,30	3,70	2,00	2,60	3,00	4,00	1,40
1	1,80	2,00	5,00	4,00	4,00	2,00	1,50	3,00	2,20	3,80	2,00	2,70	3,20	4,00	1,60
2	2,20	2,00	6,00	4,30	3,50	2,50	1,70	2,00					3,20	4,00	1,50
3	2,30	3,30	8,00	4,50	8,00	9,00	1,70						3,00	4,40	2,50
4	2,00	2,00	8,60	4,50	9,00									4,40	
5	3,00	3,20	7,00	4,50	11,50										
6	3,60	2,50	9,00	4,70											
7	2,70	3,00	8,40												
M	2,36	2,45	7,12	4,21	6,66	3,87	1,60	3,16	2,25	3,75	2,00	2,65	3,10	4,16	1,75

M : moyenne.

en particulier à l'étiage, où ils sont supérieurs à 6. Nous voyons donc que le lac du Arroz se distingue des lacs voisins, différence due à une plus grande quantité d'acides organiques dissous dans ses eaux.

Le CO₂ réagit avec CO₃Na₂ pour donner un bicarbonate qui est dosé en présence d'un indicateur coloré, la phénol-phtaléine qui passe au rose en fin de réaction.

On observe qu'aux pH élevés correspondent des eaux pauvres en CO₂ et vice versa. Dans le détail, on s'aperçoit que ceci n'est pas toujours vrai. Globalement, on constate que les concentrations en CO₂ sont plus élevées en période de hautes eaux et plus faibles à l'étiage.

L'oxygène et l'hydrogène sulfuré

Ces deux gaz ont été groupés dans le même paragraphe car ils sont de propriétés opposées et il ne peut y

avoir en même temps excès de l'un et excès de l'autre. L'oxygène a été dosé par la méthode de Winkler.

En période normale de hautes eaux, on constate que comme pour les températures, la teneur en oxygène présente une nette stratification, les concentrations, nulles au fond, augmentent régulièrement vers la surface. Ces concentrations, fortes à l'étiage, sont maximums au moment du remplissage du lac et plus faibles à l'époque des hautes eaux. Les minimums sont observés à l'époque du « friagem », fort brassage des eaux par le vent du nord quand elles sont hautes, avec mort de nombreux poissons. A l'étiage, la turbulence ne provoque pas de chute de concentration de l'oxygène.

Une forte oxygénation des eaux est observée le 8 mars. Elle apparaît en même temps qu'une baisse anormale des eaux du rio Solimoes et de fortes chutes de pluie qui refroidissent les eaux de la surface du lac.

TABLEAU IV

Teneur en oxygène (en ppm) des eaux du lac du Arroz

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	3,95	5,53	4,20	1,20	4,85	6,90	-	4,60	5,38	4,95	6,27	-	5,55	4,53	8,15
1	3,65	5,80	3,60	0,72	4,84	4,95	-	3,40	5,38	4,28	5,85	-	4,42	4,41	8,04
2	2,33	2,55	3,00	0,48	3,54	3,20	-	1,80					3,79	4,14	7,77
3	2,06	0,98	2,18	0,56	1,00	1,60	-						0,69	3,36	4,94
4	0,99	0,44	0,89	0,20	0,21									1,00	
5	0,40	0,13	0,26	0,10	0,06										
6	0	0,20	0,20	0											
7	0	0	0												
M	1,67	2,23	1,79	0,26	2,42	5,08	-	3,26	5,38	4,97	6,00	-	3,65	3,48	7,22

M : moyenne.

TABLEAU V

Différence de température entre 0 et 7 m de profondeur et moyenne des teneurs en O₂ des eaux du lac du Arroz durant la période d'étude

Date	29.06	19.07	02.06	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
ΔT	2,8	3,8	3,7	0,8	3,0	1,0	3,0	0,6	0	0,4	0,5	0,3	0,8	1,7	1,8
M O ₂	1,67	2,23	1,79	0,26	2,42	5,08	-	3,26	5,38	4,97	6,00	-	3,66	3,48	7,22

ΔT : Différence de température dans un profil vertical des eaux du lac.

M O₂ : Moyenne des concentrations en oxygène d'un profil vertical des eaux du lac.

La relation possible entre la différence de température et la moyenne de la concentration de l'oxygène des eaux du lac prélevées sur un même profil vertical à différentes époques de l'année, est illustrée par les données du tableau V.

Les teneurs en O₂ dissous dans les eaux sont d'autant plus faibles que celles-ci présentent un fort gradient vertical de température. Le cas anormal de « friagem » (le 16 août) sera discuté par la suite. H₂S est dosé par iodométrie (Standard Methods, 1975)

Sur la figure 2 sont groupées les concentrations de O₂, H₂S et Fe ainsi que T °C dans différents échantillons d'eaux prélevés à des profondeurs différentes le même jour. La séparation de ces 4 facteurs entre un épilimnium oxygéné jusqu'à 2 mètres et un hypolimnium, en dessous, appauvri en oxygène et riche en fer et hydrogène sulfuré est nette.

La figure 3 permet de comprendre ce qui se produit lors du phénomène appelé « friagem » : brassage des eaux quand elles sont hautes, accompagné de mort de nombreux poissons. La partie A correspond à la répartition de la température, oxygène et hydrogène sulfuré en période normale, dans la partie B, ils ont

été mesurés en période de « friagem ». Cette période est marquée par une égalisation de la température le long du profil, une remontée de l'hydrogène sulfuré jusque près de la surface, et parallèlement, une chute de la concentration de l'oxygène, la conjonction des deux phénomènes provoque l'asphyxie des poissons. Nous retrouvons là des faits signalés ailleurs dans la région (GEISLER, *op. cit.*; SCHMIDT, *op. cit.*; SANTOS, 1977).

Les sels

La salure des eaux est faible comme le montrent les mesures de conductivité figurant dans le tableau VI.

Les valeurs minimales sont observées au moment de l'étiage et de la remontée des eaux. Les maximums apparaissent à l'étiage au moment où il y a brassage des eaux et remise en mouvement des sédiments. Le reste du temps, en particulier à l'époque des hautes eaux, les valeurs de la conductivité sont relativement faibles.

Les méthodes utilisées pour les dosages des différents composants des sels sont les suivantes :

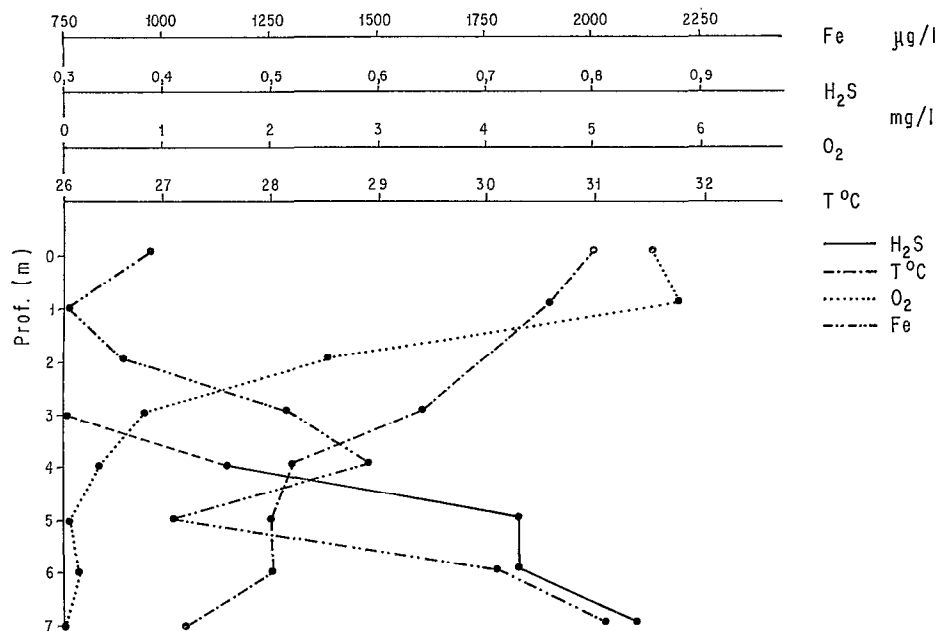


FIG. 2. — Variation des concentrations de O_2 , H_2S , Fe et des températures des eaux du lac du Arroz le 19 juillet 1978.

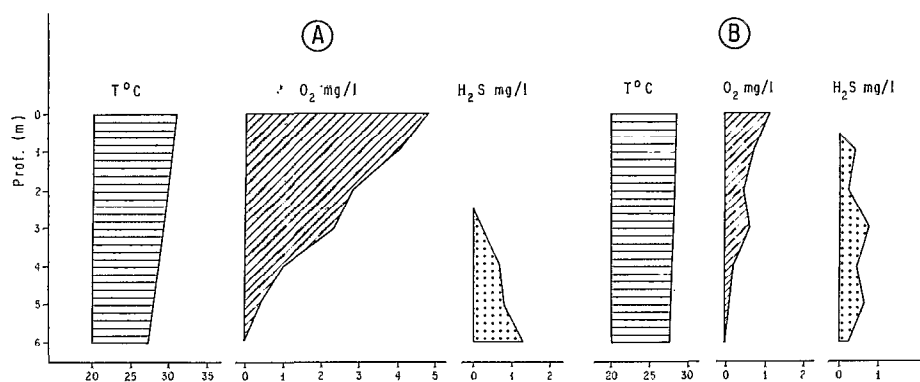


FIG. 3. — (A) Température et concentration en O_2 et H_2S des eaux du lac du Arroz en période normale ; (B) Sous l'effet du vent du Nord, la turbulence des eaux provoque : l'homogénéisation de la température de l'eau du lac ; la remontée de H_2S jusqu'à la surface et la diminution de O_2 .

Ca, titrimétrie par complexation à l'E.D.T.A. en présence de l'indicateur bleu-noir au chrome et après précipitation du Mg ;

Mg, titrimétrie par complexation à l'E.D.T.A., en présence de l'indicateur noir eriochrome T, du résultat obtenu on retire le Ca déjà dosé ;

Cl, dosage des chlorures par $AgNO_3$ en présence d'un indicateur, le chromate de potassium (méthode de Mohr) ;

Alcalinité totale, dosage titrimétrique par des acides dilués en présence d'indicateur coloré (mélange de rouge de méthyl et de vert de bromo-crésol).

HCO_3^- et CO_3^{2-} sont calculés comme indiqué dans Standard Methods (1975).

La répartition moyenne dans les eaux du lac, de Ca^{++} , Mg^{++} et Fe d'une part et de HCO_3^- et CO_3^{2-} et Cl^- d'autre part, est représentée sur la figure 4, tant à l'étiage (décembre) qu'en période de hautes eaux (juin).

Le fer total dosé comprend le fer soluble total aussi bien sous forme de cation que de complexes organiques. Bicarbonates et carbonates sont abondants en périodes de hautes eaux, leur concentration décroît fortement à l'étiage. Le chlore reste constant et peu abondant.

TABLEAU VI
Conductivité électrique (m-mho/cm) des eaux du lac du Arroz

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	46,25	45,45	43,46	50,09	46,40	54,98	45,96	48,23	42,92	89,15	67,45	76,86	57,50	52,21	46,04
1	42,00	44,93	43,46	49,08	47,75	54,93	47,84	50,05	42,92	89,15	65,60	79,84	57,90	54,96	46,20
2	44,92	45,98	46,20	49,08	50,00	55,46	47,35	50,05					57,90	55,88	45,28
3	45,61	45,03	48,75	49,08	51,30	57,83	48,78						58,62	54,04	36,96
4	46,33	47,87	43,46	50,09	51,30									55,88	
5	47,66	45,98	48,95	49,60	53,50										
6	49,25	45,03	49,34	51,61											
7	45,69	45,41	49,34												
M	46,35	45,83	47,24	49,80	50,06	55,61	47,60	49,44	42,92	89,15	66,52	78,25	58,13	54,59	44,12

M : moyenne.

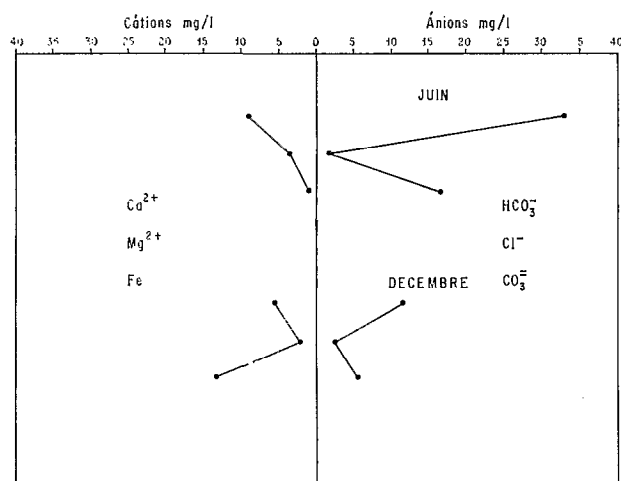


FIG. 4. — Relation entre la concentration des cations et anions en période de hautes et basses eaux, dans le lac du Arroz.

En période de hautes eaux, calcium et magnésium sont les cations les plus importants, le fer étant peu abondant, mais à l'étiage, la teneur en Ca et Mg diminue alors que le fer augmente considérablement. Comme nous le verrons par la suite, c'est sous forme de complexe organique qu'il est de très loin le plus abondant. Il n'a malheureusement pas été possible de doser deux cations importants : le sodium et le potassium.

La figure 5 permet de voir un peu plus en détail la répartition annuelle de HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} .

La concentration du calcium varie entre 9 mg/l en période de hautes eaux et 6 mg/l à l'étiage. Sa variation suit d'assez près celle de l'anion bicarbonate. La

relation entre les deux ions a été signalée, entre autres, par HOLLAND (1978).

Les teneurs en Ca sont à peu près comparables aux moyennes citées par LIVINGSTONE (1963) et GIBBS (1972) pour les eaux de l'Amazone alors que les quantités de bicarbonates correspondent à celles citées par le dernier auteur et sont supérieures à celles de LIVINGSTONE (*op. cit.*).

Les variations du magnésium, 5,6 à 1 mg/l suivent *grosso modo*, celles du calcium ; les valeurs minimales des concentrations de ces deux cations sont légèrement décalées dans le temps. Les quantités de ce cation, trouvées dans les eaux du lac, sont supérieures à celles attribuées par les deux auteurs précédents aux eaux de l'Amazone.

Le chlore varie dans de faibles proportions, de 1,45 à 3,52 mg/l, SCHMIDT (*op. cit.*) et SANTOS (1973) trouvent des quantités comparables dans d'autres eaux de lacs de la région ainsi que LIVINGSTONE (*op. cit.*) dans les eaux de l'Amazone.

Le phosphore

Le phosphore total a été dosé par attaque de l'échantillon par HNO_3 puis HClO_4 , l'ensemble est complexé par le molybdate puis coloré en bleu par réduction du phosphomolybdate par du chlorure stanneux.

Le phosphore total, dont les concentrations dans les eaux du lac sont représentées dans le tableau VII, est abondant à l'étiage quand prolifèrent les graminées flottantes et aussi quand il y a remise en suspension des sédiments par le vent et les poissons. Avec la remontée des eaux et la reprise des pluies, les teneurs en phosphore total restent élevées, ceci étant dû à un lessivage du matériel animal et végétal déposé

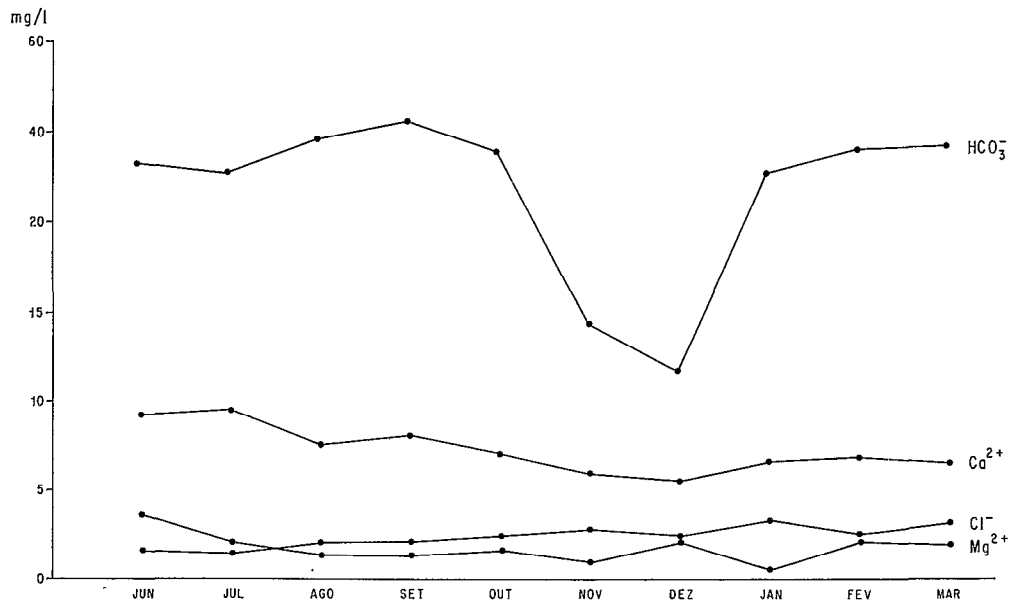


Fig. 5. — Concentrations de HCO₃⁻, Cl⁻, Ca²⁺ et Mg²⁺ dans les eaux du lac du Arroz de juin 1978 à mars 1979.

TABLEAU VII

Teneur en Phosphore Total des eaux du lac du Arroz (en ppb)

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.03	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	57	23	23	32	50	35	20	23	80	91,0	193	143	78	78	58
1	51	67	32	27	46	37	18	80	104	89,20	193	132	90	40	28
2	29	32	23	32	47	52	24	80					75	70	65
3	45	27	25	62	29	40	17						59	93	51
4	45	41	10	33	42									113	
5	41	33	12	53	13										
6	57	51	10	53											
7	53	39	5												
M	47	39	17	43	38	41	20	61	92	74	193	137	75	79	52

M : moyenne.

sur les berges du lac et recouvert par les eaux montantes.

Le dosage du phosphore soluble est le même que celui du phosphore total mais seule est analysée la partie filtrant à travers une membrane à pores de 0,45 µm.

Comme pour le phosphore total, le phosphore soluble est très abondant à l'étiage, mais au moment de la remontée des eaux, tandis que le phosphore total est élevé, la forme soluble passe à l'état de trace. Ceci serait dû pour HUTCHINSON (1975), à une croissance très rapide d'algues et de phytoplancton qui

consomment au fur et à mesure de sa formation le phosphore le plus facilement assimilable.

Durant la période de hautes eaux, le phosphore soluble augmente considérablement dans la zone anaérobie, par rapport à la surface, en cela il suit très nettement le fer comme le montre la figure 6.

Le fer

Trois formes de fer ont été séparées : le fer total, le fer soluble et le complexé (tableaux IX, X, XI).

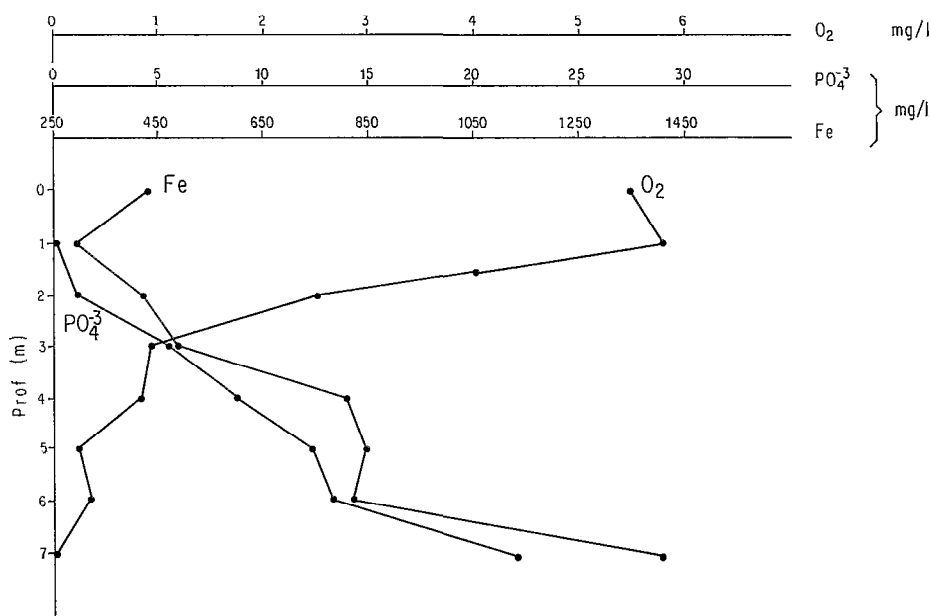
Le fer total, après oxydation, est complexé par

TABLEAU VIII

Phosphore Soluble dans les eaux du lac du Arroz (en ppb)

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	5,50	0	10,74	12,80	0	0	7,78	8,69	42,50	74	82,30	68,58	22,65	5,71	0
1	3,43	0	9,14	0	4,80	0,91	19,20	9,37	35,40	74	81,01	66,29	6,85	5,71	0
2	13,25	2,06	8,91	0	10,06	4,11	10,74	0					12,11	15,54	0
3	3,43	5,71	11,43	4,57	3,43	0	11,20						6,40	13,49	0
4	15,25	9,14	6,17	3,43	16,00									7,54	
5	14,86	12,57	8,00	0	9,83										
6	29,03	13,49	4,57	7,54											
7	25,37	22,17	4,71												
M	13,77	8,14	7,96	4,05	7,35	1,25	12,23	6,07	38,65	90,10	81,65	67,43	12,05	9,60	0

M : moyenne.

FIG. 6. — Valeurs de O₂, PO₄³⁻ et Fe dans les eaux du lac du Arroz le 19 juillet 1978.

SCN et donne un thiocyanate rouge dosé colorimétriquement.

Les teneurs des eaux en fer total sont très élevées, cela plus particulièrement au moment de la remise en suspension du matériel du fond du lac. Avec l'élévation du niveau des eaux les quantités de fer total diminuent considérablement. Dans un profil vertical on constate que cet élément augmente notablement avec la profondeur.

Le fer complexé correspond à la différence entre le fer total et le fer soluble, dosé par le SCN sur le filtrat traversant une membrane à pores de 0,45 µm.

Le fer complexé par la matière organique suit les variations du fer total. Très abondant à l'étiage, il représente 80 % du fer, mais en période de hautes eaux, il n'en représente plus que 50 %. Les grandes quantités observées à l'étiage s'expliquent par la remise en suspension facile du matériel organique très fin précipité au fond du lac. Les fortes variations de la concentration du fer total observées en allant vers le fond du lac, sont beaucoup moins accusées dans le cas du fer complexé.

Le fer soluble suit évidemment les fluctuations du fer total, avec des minimums en hautes eaux provo-

TABLEAU IX
Teneur en Fer Total (en ppm) des eaux du lac du Arroz

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	0,694	0,942	0,986	1,043	1,353	1,554	1,594	1,544	3,129	8,198	9,834	15,794	3,054	2,637	2,891
1	0,790	0,697	0,699	1,818	1,180	1,554	1,401	1,728	3,367	8,202	11,622	15,198	3,017	2,850	2,500
2	1,386	0,819	1,371	1,758	1,073	1,669	1,401	1,550					3,240	2,682	2,444
3	1,153	1,284	1,877	1,982	2,351	3,328	1,728						3,129	2,622	2,950
4	1,311	1,445	2,801	1,788	3,092									3,367	
5	1,204	1,177	2,719	1,692	6,034										
6	1,752	1,788	4,812	1,781											
7	1,785	2,187	4,857												
M	1,259	1,292	2,508	1,694	2,547	2,031	1,531	1,607	3,248	8,200	10,728	15,493	3,110	2,834	2,697

M : moyenne.

TABLEAU X
Fer Complexé (en ppm) dans les eaux du lac du Arroz

Prof.	29.03	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	0,539	0,504	0,596	0,769	1,043	0,210	1,168	0,930	1,803	6,708	6,482	12,442	0,223	0,715	0,984
1	0,555	0,399	0,501	1,520	0,875	0,831	0,981	1,185	1,956	5,818	9,842	12,576	0,410	0,929	0,960
2	1,234	0,330	1,123	1,472	0,823	0,939	1,014	1,014					0,595	0,751	0,740
3	0,837	0,789	1,280	1,729	1,802	2,798	1,311						0,820	0,691	1,162
4	0,459	0,629	1,010	1,442	2,079									1,296	
5	0,277	0,325	1,172	1,346	2,711										
6	0,447	0,960	1,820	1,364											
7	0,353	0,876	1,873												
M	0,601	0,609	1,296	1,377	1,589	1,344	1,119	1,043	1,885	6,263	8,162	12,509	0,512	0,876	0,961

M : moyenne.

TABLEAU XI
Teneur en Fer Soluble (en ppb) des eaux du lac du Arroz

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	06.02	08.02
0	155	438	390	274	310	754	425	614	1326	1490	3352	3352	2831	1922	1907
1	134	298	143	298	304	733	420	542	1401	2384	1780	2622	2607	1931	1743
2	152	429	248	286	250	730	387	536					2645	1931	1704
3	316	495	599	253	551	530	417						2309	1931	1788
4	852	816	1791	346	1013									2071	
5	927	852	1547	346	3323										
6	1335	828	2992	417											
7	1392	1311	2964												
M	669	638	1212	317	958	687	412	564	1363	1937	2566	2987	2598	1957	1785

M : moyenne.

qués par l'arrivée d'eaux peu chargées, celles de pluie et celles du rio Solimoes et c'est à ce moment que le rapport fer soluble/fer complexé est le plus élevé, ceci étant particulièrement vrai dans le cas des échantillons de profondeur. La stratification des teneurs dans un profil vertical est très nette et le fer soluble peut être très abondant au fond du lac, en particulier par eaux calmes.

La liaison fer soluble, fer total est claire. En période calme, parallèlement à l'augmentation vers le bas de SH_2 , on observe celle du fer soluble. Il est donc logique de penser qu'il y a réduction du fer ferrique, peu soluble, par le SH_2 et formation de fer ferreux, beaucoup plus soluble.

Le cas du 16 août est intéressant : ce jour-là, on constate une chute très brutale du fer soluble, jusqu'en profondeur, alors que les complexes organiques du fer diminuent peu. Comme on peut l'observer sur la figure 3 B, malgré le fort brassage des eaux par le vent, la concentration de l'oxygène dans les eaux superficielles diminue, alors que l'hydrogène sulfuré augmente. Il est donc normal de penser que la dimi-

nution du fer soluble est liée à la moindre disponibilité en H_2S , oxydé par l'oxygène arrivant dans les couches profondes du lac par suite d'un fort brassage des eaux provoqué par le vent. Les concentrations en fer des eaux du lac sont élevées et les composants de très loin les plus abondants étant les complexes organiques du fer ; ceci provoque l'apparition de teneurs anormalement élevées du fer en solution vraie et cela dans la zone superficielle riche en oxygène.

Le manganèse

Le Mn est oxydé par du périodate et donne du permanganate dosé photométriquement.

Dans l'ensemble, la dynamique du manganèse est comparable à celle du fer, mais les teneurs en sont nettement plus faibles. LEVINSON (1974) et WETZEL (1975) pensent que cet élément forme des complexes hydroxylés avec la matière organique et les éléments de transition. La corrélation manganèse et azote total (comparaison des tableaux XII et XIII) est bonne, ce qui confirmerait les idées des auteurs précédents.

TABLEAU XII

Teneur en Mn (en ppb) des eaux du lac du Arroz

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	148	88	124	40	212	160	200	312	440	760	760	460	380	210	108
1	88	48	60	220	184	172	264	412	420	350	560	464	500	325	148
2	68	48	84	140	172	212	180	436					380	240	180
3	136	100	60	108	258	452	256						420	260	172
4	124	100	80	40	264										213
5	96	100	128	136	480										
6	188	104	160	132											
7	80	108	136												
M	116	87	104	116	263	249	225	387	430	560	660	462	420	250	152

M : moyenne.

SIOLI (1968) a constaté que le manganèse est peu abondant dans les eaux des rivières amazoniennes, ce qui explique la diminution de sa concentration dans le lac lors de la remontée des eaux, par effet de dilution.

Les composés azotés

Outre l'azote total, les nitrites, les nitrates, l'ammoniac et l'azote organique ont été dosés.

Les méthodes d'analyse. Les nitrites sont dosés photométriquement après diazotisation. Les nitrates

sont réduits en nitrite par un amalgame de cadmium puis dosés comme précédemment, ils représentent la différence entre les nitrites totaux et les nitrites réels.

L'azote ammoniacal est dosé colorimétriquement en présence de réactif de Nessler.

Par la méthode de Kjeldahl sont dosés l'azote organique + l'azote ammoniacal

$N_{\text{organique}} = NK_j - N_{\text{ammoniacal}}$.

L'azote est égal à la somme

$NK_{\text{jeldahl}} + N_{\text{nitrites}} + N_{\text{nitrates}}$.

Les nitrites. De petites quantités de nitrites sont détectées toute l'année dans les eaux du lac : 6 ppb au fond du lac en période de hautes eaux (juin, juillet), 8,5 ppb à 2 mètres de profondeur en janvier et moins de 1 ppb le reste du temps.

Les nitrates. Les concentrations en nitrates les plus élevées ont été rencontrées en janvier à la surface du lac, lors de la remontée des eaux avec 120 ppb, la moyenne du profil vertical étant de 61 ppb; les plus basses sont observées à la fin de la période des hautes eaux.

Ces teneurs sont supérieures à celles rencontrées dans les eaux des lacs situés en amont, mais elles restent nettement inférieures à celles citées par HOLLAND (*op. cit.*), qui donne une moyenne de 700 ppb pour les rivières d'Amérique du Sud.

L'ammoniaque. En comparant les données du tableau III et celles du tableau XIII, on constate que c'est à l'époque où le pH est le plus bas que les teneurs en ammoniaque sont les plus fortes, atteignant jusqu'à 2,9 mg/l; puis à l'époque des hautes eaux, avec un pH plus élevé, elles tombent à 0,042 mg/l de moyenne au mois d'août; les différences entre extrêmes sont très grandes.

On peut penser que la très forte augmentation de la concentration de l'ammoniaque lors de l'étiage est liée à la présence d'un grand nombre de poissons, de là, de nombreuses déjections favorisant sa formation.

L'azote organique. L'azote organique comprend une grande variété de produits de décomposition de la matière organique provenant en grande partie de

TABLEAU XIII
Teneur en NH_3 (en ppb) des eaux du lac du Arroz

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	91,6	86,0	65,0	72,0	59,8	97,4	113,4	142,0	171,0	2373,0	2383,0	2916,0	431,5	223,0	94,0
1	62,6	104,8	47,0	51,8	52,6	70,2	96,4	122,0	172,0	2392,0	2465,0	2815,0	344,5	218,0	100,0
2	54,8	45,6	44,8	56,6	53,2	78,2	95,0	102,0					456,0	213,0	104,0
3	58,0	50,0	36,2	54,0	55,4	81,0	92,8						477,0	224,0	106,0
4	72,4	40,4	31,4	46,0	49,8									223,0	
5	56,8	41,0	34,0	48,4											
6	58,0	60,4	33,2	49,0											
7	46,0	38,6	38,2												
M	62,5	57,1	42,4	53,9	53,2	81,7	99,4	122,0	171,5	2382,0	2424,0	2865,0	427,2	220,2	101,0

M : moyenne.

TABLEAU XIV
Teneur en N organique (en ppm) des eaux du lac du Arroz

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	1,133	0,680	0,659	1,372	1,332	1,956	1,904	1,075	3,239	2,777	3,463	0,424	2,353	2,317	1,576
1	1,084	0,821	0,980	1,044	0,806	1,600	1,818	1,628	2,855	2,619	2,546	0,525	2,753	2,322	1,570
2	0,808	1,207	0,654	1,075	1,232	1,592	1,715	1,648					3,024	2,327	1,497
3	1,167	0,812	0,568	1,425	0,989	2,529	1,831						2,133	2,282	1,425
4	0,933	0,689	0,736	1,242	0,994									2,282	
5	0,855	0,697	0,759	1,118	1,066										
6	0,916	0,617	0,658	1,023											
7	0,887	0,802	0,892												
M	0,970	0,791	0,737	1,185	1,062	1,919	1,815	1,809	3,046	2,699	3,004	0,305	2,565	2,306	1,517

M : moyenne.

TABLEAU XV

Teneur en N Total (en ppm) des eaux du lac du Arroz

Prof.	29.06	19.07	02.08	16.08	02.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	1,225	0,777	0,729	1,446	1,393	2,059	2,023	2,799	3,418	5,165	5,850	3,646	2,911	2,587	1,713
1	1,127	0,932	1,029	1,098	0,859	1,671	1,917	1,765	3,042	5,029	5,019	3,349	3,153	2,598	1,680
2	0,866	1,266	0,700	1,132	1,235	1,675	1,913	6,756					3,485	2,575	1,620
3	1,226	0,872	0,895	1,480	1,046	2,610	1,922						2,679	2,539	1,547
4	1,011	0,741	0,768	1,289	1,044									2,545	
5	0,922	0,752	0,845	1,169	1,114										
6	0,983	0,680	0,697	1,074											
7		0,943	0,855	0,932											
M	1,039	0,59	0,783	1,241	1,115	2,003	1,944	3,773	3,230	5,097	5,439	3,497	3,059	2,568	1,640

M : moyenne.

la décomposition des graminées flottantes. Les teneurs maximums sont observées à l'étiage et les minimums en période de hautes eaux. En fin d'étiage, on constate une chute très nette de l'azote organique par rapport aux deux prélèvements qui l'encadrent et c'est à ce moment-là que la teneur en ammoniacque est maximum; les causes exactes de ce phénomène ne sont pas connues.

L'azote total. Le tableau XV montre la répartition de l'azote total dans les eaux du lac au cours de la période d'étude.

Les résultats diffèrent peu de ceux de l'azote organique car les nitrites et nitrates sont peu abondants. La figure 7 montre la variation mensuelle moyenne des différents composés analysés.

Les résultats trouvés pour l'azote total et l'azote organique sont plus élevés que ceux cités pour d'autres lacs amazoniens, par MARLIER (*op. cit.*), SANTOS (1977); ceci tient à la plus grande quantité de graminées flottantes existant dans le lac du Arroz.

La figure 8 visualise les différences dans les teneurs en nitrites, nitrates et le pH de trois lacs d'Amazonie centrale à l'époque des hautes eaux, en dehors de différences dans le pH, on constate que le lac du Arroz se distingue des deux autres par la présence d'une quantité importante de nitrates en profondeur. Il est bon de noter que LIVINGSTONE (*op. cit.*) cite pour les eaux de rivières d'Amérique du Sud une concentration moyenne de 0,7 ppm de NO_3^- , nettement supérieure à celle trouvée ici.

La silice

Le tableau XVI contient des données analytiques concernant la silice dans les eaux du lac.

La silice forme avec le molybdate d'ammonium un complexe coloré que l'on dose.

Les variations de la concentration de SiO_2 sont relativement importantes entre 1,7 ppm à 6,5 ppm. Les teneurs moyennes les plus basses (1,8 ppm en juillet) correspondent à une époque de grand développement de diatomées et de phytoplancton, grands consommateurs de silice. C'est au moment de la remontée des eaux que les concentrations en sont les plus élevées, ceci grâce à l'apport d'eau du rio Solimoes, plus riche en SiO_2 (SCHMIDT, 1973). En définitive, ce seront les variations du développement des végétaux fixant la silice qui vont régler les variations des teneurs en silice des eaux du lac qui sont toujours inférieures à celles citées par GIBBS (1972) pour les eaux de l'Amazone (11,2 ppm en moyenne et minimum de 9,1 ppm).

La demande chimique en oxygène

La demande chimique d'oxygène représente la quantité de matériel oxydable par le permanganate de potassium. Elle est maximum aux mois de novembre et décembre, mois de forte activité biologique, puis elle décroît pour atteindre le minimum au mois d'octobre.

Dans la figure 9 sont comparées la demande d'oxygène (consommation de K_2MnO_4), la matière organique soluble et l'azote total dans les eaux du lac. La corrélation entre ces trois variables est assez bonne, surtout en période d'étiage.

Les sédiments

Quatre prélèvements de matériel en suspension ont été effectués à l'époque des hautes eaux dans le lac

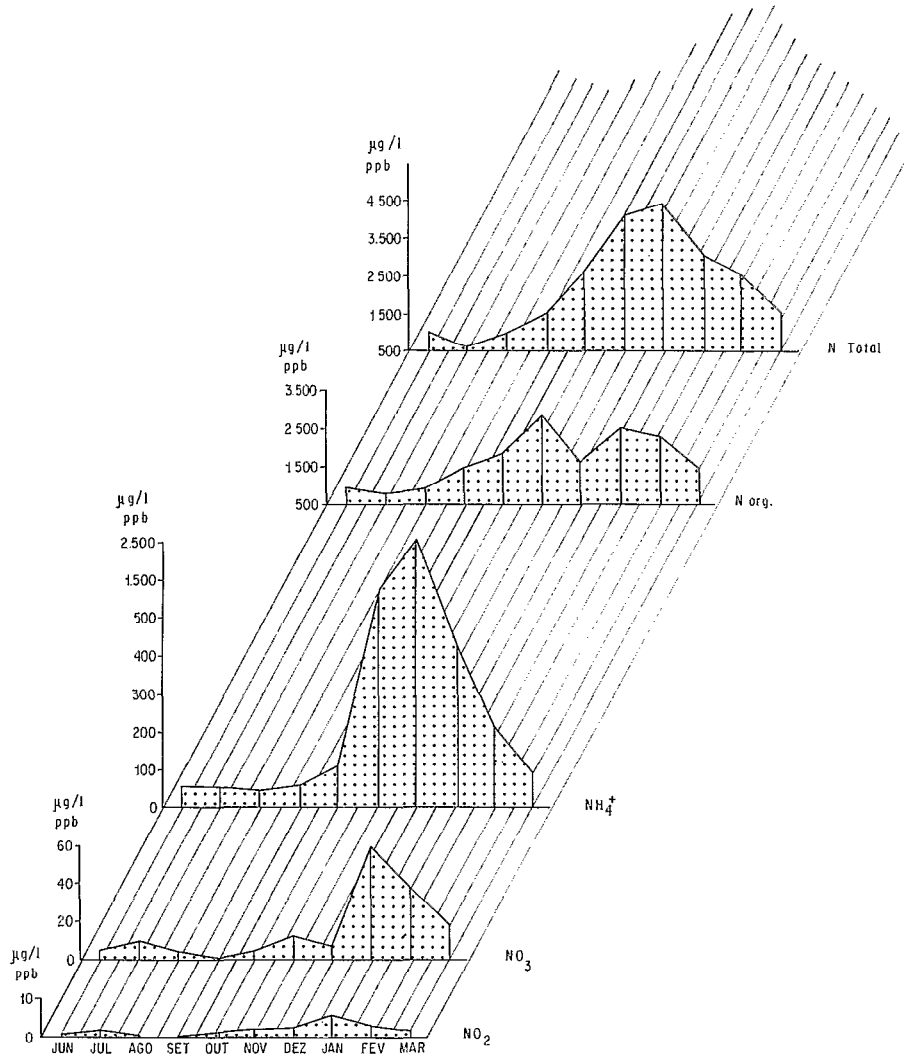


FIG. 7. — Répartition mensuelle de l'azote total et de ses différents composés dans les eaux du lac du Arroz au cours de la période d'étude.

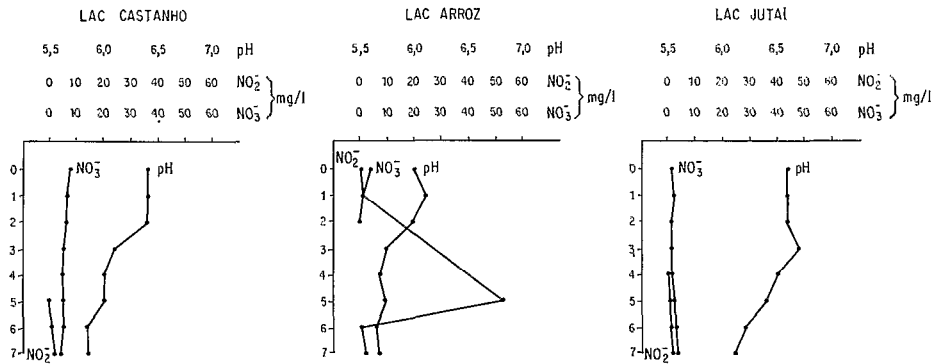


FIG. 8. — Comparaisons des valeurs de NO₂⁻, NO₃⁻ et du pH dans trois lacs de l'Amazonie Centrale.

TABLEAU XVI

Teneur en Silice (en ppm) des eaux du lac du Arroz

Prof.	29.05	19.07	02.08	16.08	07.09	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	4,25	1,72	1,82	4,30	4,48	5,13	4,89	4,83	4,66	2,30	3,12	3,12	6,10	5,13	3,89
1	4,25	1,73	1,76	4,36	4,36	4,93	4,83	4,25	4,72	2,24	2,89	3,36	6,13	5,31	3,89
2	4,34	1,74	1,89	4,48	4,03	4,99	4,78	4,30					5,91	5,13	3,83
3	4,48	1,82	1,76	4,78	4,33	4,99	4,53						6,48	5,31	3,83
4	4,73	1,84	1,89	4,78	4,33									5,31	
5	4,66	1,85	1,56	4,78	4,36										
6	4,66	1,54	1,78	4,78											
7	4,55	1,89	2,02	4,78											
M	4,46	1,80	1,86	4,63	4,31	5,01	4,76	4,46	4,69	2,27	3,00	3,24	6,15	5,24	3,86

M : moyenne.

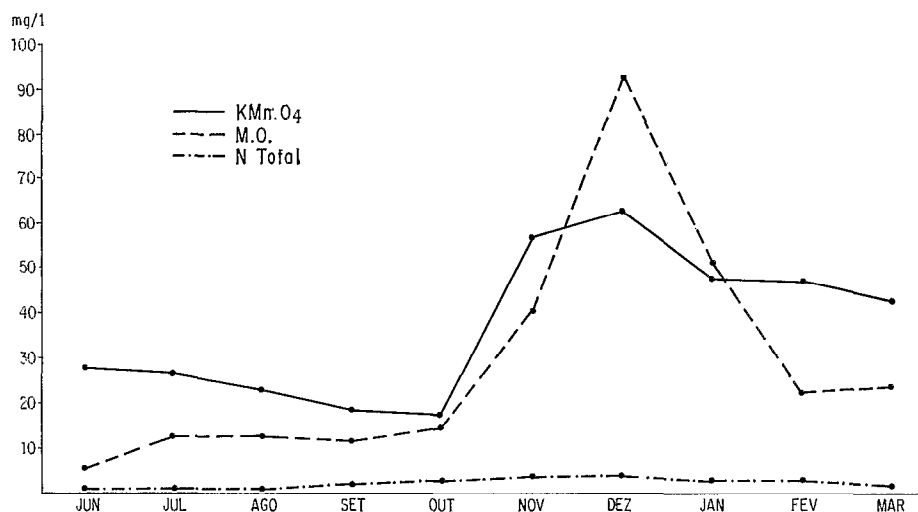


FIG. 9. — Variation de la concentration de la matière organique soluble, du N total et de la consommation de permanganate de potassium dans les eaux du lac du Arroz, au cours de la période d'étude.

étudié ainsi que dans trois lacs voisins. La composition des quatre échantillons est comparable. Compte tenu de la faible quantité de matière, il n'a pas été possible de faire d'étude quantitative. Par comparaison avec d'autres échantillons connus, on constate la présence, par ordre d'importance : d'une quantité variable mais prépondérante de quartz, de micas, plus ou moins interstratifiés avec de la vermiculite, de la kaolinite, un peu moins abondante, un peu de montmorillonite, des traces de gibbsite, de feldspaths.

GIBBS (1967) a divisé le bassin amazonien en trois zones d'apport de sédiments. La région de montagne apportant des sédiments d'origine andine, contenant mica, quartz, montmorillonite, kaolinite, plagioclase,

feldspath, chlorite; la région tropicale livrant de la montmorillonite, de la kaolinite, des micas, du quartz et un système mixte intermédiaire entre les deux précédents. La région étudiée se trouve en fait, à la confluence de tous les systèmes avec une importance plus marquée du régime montagneux et du mixte. Les différences observées avec les profils minéralogiques de GIBBS (*op. cit.*) portent sur la quasi-absence de chlorite et la faible quantité de montmorillonite dans les sédiments des eaux des lacs; ce qui tendrait à prouver que l'influence des régions à climat tropical dans la nature des sédiments locaux est plus importante que prévu par l'auteur cité. Compte tenu du peu d'échantillons disponibles, il n'est pas possible d'être affirmatif en la matière.

CONCLUSION

Le lac du Arroz, un des nombreux lacs parsemant la partie basse de l'Amazonie centrale, s'ouvre sur le rio Solimoes, cours supérieur de l'Amazone avant sa confluence avec le rio Negro, près de Manaus, par un canal long de plusieurs kilomètres. Évidemment, la qualité des eaux du lac va dépendre pour beaucoup de celle apportée par le rio Solimoes, en particulier lors de la remontée des eaux, mais à l'étiage, cette influence du rio sur le lac est beaucoup moins nette car les relations entre les deux sont plus difficiles.

Les sédiments déposés au fond du lac proviennent du Solimoes, compte tenu de la longueur du canal qui les relie, ceux qui arrivent au lac sont fins et leur spectre minéralogique paraît moins typiquement andin que ne le laisseraient supposer les données bibliographiques, mais le peu d'analyses existant ne permettent pas de conclure.

Un certain nombre de facteurs locaux, biologiques et physico-chimiques vont transformer les eaux arrivant du rio. Le développement de la vie végétale et animale, graminées flottantes, diatomées, etc., favorise l'extraction de certains éléments de l'eau; c'est ce que l'on note pour la silice et le calcium dont les teneurs sont inférieures à celles des rivières amazoniennes. D'un autre côté, la destruction du matériel vivant libère des acides organiques, ce qui provoque une diminution du pH qui, globalement, est parmi les plus bas observés dans la région, alors que le taux de matière organique est élevé ainsi que celui de complexes organo-ferriques. La décomposition de la matière organique au fond du lac, dans

une zone très pauvre en oxygène, provoque l'apparition d'hydrogène sulfuré dont la présence va influencer sur celle de l'oxygène et du fer dissous dont les quantités augmentent comme l' H_2S .

Un des facteurs physiques qui va le plus agir sur la qualité des eaux est leur brassage. Il provoque en période de hautes eaux une certaine égalisation des températures et surtout une remontée de l' H_2S vers la surface, une chute de l'oxygénation des eaux et en conséquence, la mort de nombreux poissons. A l'étiage, dans des eaux beaucoup moins profondes, leur brassage par le vent et surtout le cavage de la vase par de nombreux poissons fousseurs venus frayer à cette époque de l'année, provoquent une remise en suspension des sédiments fins, accompagnés d'une forte oxygénation des eaux ce qui favorise un grand développement de la vie marqué par l'abondance dans les eaux de l'azote total, de l'ammoniaque du phosphore.

Nous voyons ainsi l'importance de certains facteurs physiques ou biologiques, souvent difficilement mesurables, sur l'évolution géochimique des eaux des lacs amazoniens.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Direction et le personnel de l'Université de l'Amazone, de l'Institut Technologique de l'Amazone, de l'Institut National de Recherches de l'Amazone et du Département de Géochimie de l'Institut de Géosciences de Salvador, Bahia (Brésil), pour leur aide.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 26 mai 1982*

BIBLIOGRAPHIE

- FIKTAU (E. J.), 1960. — Neues Material zur Geochemischen Gliederung Amazonien Vortrag. 2 Symposium « Über biogeographische und landschaftsökologische Probleme in Südamerika », Saarbrücken.
- GEISLER (R.), 1969. — Untersuchungen über den Sauerstoffgehalt, den biochemischen Sauerstoffverbrauch von Fischen in einem tropischen Schwarzwasser (Rio Negro, Amazonien). *Arch. Hydrol.*, 66 : 307-325.
- GIBBS (R. J.), 1967. — The geochemistry of the Amazon River System, Part I, The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 78 : 1203-1232.
- GIBBS (R. J.), 1972. — Water chemistry of the Amazon Rivers, *Geoch. Cosmochim. Acta*; 36 : 1061-1066.
- GIBBS (R. J.), 1977. — Transport phases of transition metals in the Amazon and Yukon rivers. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88 : 829-843.
- HOLLAND (H. D.), 1978. — The chemistry of the Atmosphere and Oceans, Wiley-Interscience, New York, 351 p.
- HUTCHINSON (G. E.), 1957. — A Treatise on Limnology. John Wiley and Sons, New York, 1015 p.
- JUNK (W.), 1970. — Investigation on the Ecology and Production, Biology of the « Floating-Meadows ». (Paspalo Echinochloetum) on the Middle Amazon. Part. I : The Floating Vegetation and its Ecology, *Amazoniana*, Kiel, 4 : 9-102.
- LEVINSON (A. A.), 1974. — Introduction to exploration geochemistry. Applied Publishing Ltd., Wilmette, U.S.A., 614 p.
- LIVINGSTONE (D. A.), 1963. — Chemical composition of rivers and lakes : Data of geochemistry, 6th ed., *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 440 G, 64 p.
- MARLIER (G.), 1965. — Études sur les lacs de l'Amazonie Centrale. *Cadernos da Amazonia*, Manaus, II : 1-57.

- RIBEIRO (J. S. B.), 1978. — Fatores ecologicos, produção primaria e fitoplanton em cinco lagos da Amazonia Central. Estudo preliminar. Dissertação apresentada ao programa de pos-graduaãao em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Sao Carlos para obtenção do grau de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais, *multigr.*, 143 p.
- SANTOS (U. de M.), 1973. — Beobachtungen über Wasserbewegungen, chemische Schichtungen und Fischwanderungen in Varzea. Senn am Mittleren Solimoes (Amazonas), *Oecologia*, Berlin, 13 : 239-246.
- SANTOS (U. de M.), 1977. — Aspecto limnologico do grande Lago do Jutai (Amazonia Central), face as alteraçoes quimicas do meio hidrico da regioao. Dissertação apresentada a Escola Superior de Agricultura « Luiz de Queiro », Universidade de São Paulo, para obtenção do grau de Mestre em Energia Nuclear na Agricultura, *multigr.* 73 p.
- SCHMIDT (G. W.), 1973. — Primary production of phytoplanton in the three types of Amazonic water. II. The limnology of a tropical floodplain lake in Central Amazonia (Lago do Castanho) ; *Amazoniana*, Kiel, 4 (2) : 139-203.
- STOLI (H.), 1950. — Das Wasser im Amazonasgebiet, *Forsthr.* 26 : 274-280.
- STOLI (H.), 1957. -- Sedimentation im Amazonasgebiet, *Geol. Rundschau* 45 : 608-633.
- STOLI (H.), 1968. — Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon Region, *Amazoniana*, Kiel, I (2) : 267-277.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-14th Edition, 1975, APHA-AWWA-WPCF, Washington, 1193 p.
- VINER (A. B.), 1975. — The supply of minerals to tropical rivers and lake (Uganda), *Vehr. Intern. Ver. Limnol.*, 23 : 23 : 227-261.
- WETZEL (R. G.), 1975. — Limnology, Saunders, Philadelphie, 743 p.
- WILLIAMS (P. M.), 1968. — Organic and inorganic constituents of the Amazon Rivers, *Nature*, 218 : 937-938.