

***Hydrochimie des lacs
dans la région de Trinidad
(Amazonie bolivienne)
Influence d'un fleuve andin : le Rio Mamoré***

Jean-Loup GUYOT (1), Daniel CORBIN (2),
Jorge QUINTANILLA (3), Hector CALLE (4)

RÉSUMÉ

La caractérisation physico-chimique des cours d'eau et des lacs de la région de Trinidad (plaine du Mamoré central) a permis de distinguer deux grands types d'eaux. Les eaux d'origine andine (le Rio Mamoré et les lacs qu'il alimente) qui sont relativement bien minéralisées ($> 100 \text{ mg.l}^{-1}$), de type bicarbonaté calcique et avec de fortes teneurs relatives en calcium, magnésium et sulfates. Les eaux de la plaine (Rio Mocovi et les lacs peu profonds éloignés du Rio Mamoré) qui sont de type variable, toujours faiblement minéralisées ($< 50 \text{ mg.l}^{-1}$), et avec de fortes teneurs relatives en fer et en potassium. L'évolution de l'hydrochimie de ces différents milieux, plus ou moins proches, étudiée au cours de deux cycles hydrologiques, montre une forte influence du Rio Mamoré en période de hautes eaux (de janvier à avril) sur les milieux lacustres adjacents, liée à l'existence de zones d'inondation.

Mots clés : Amazonie — Bolivie — Hydrochimie — Hydrologie — Inondation — Lac — Eaux douces.

RESUMEN

HIDROQUÍMICA DE LAS LAGUNAS EN LA REGIÓN DE TRINIDAD
(AMAZONÍA BOLIVIANA).
INFLUENCIA DE UN RÍO ANDINO : EL RÍO MAMORÉ

La caracterización físico-química de los ríos y lagunas de la región de Trinidad (planicie del Mamoré central) ha permitido distinguir dos grandes tipos de aguas. Las aguas de origen andino (el Rio Mamoré y las lagunas que lo alimentan) que son muy mineralizadas ($> 100 \text{ mg.l}^{-1}$), de tipo bicarbonato cálcico, con fuertes concentraciones relativas en calcio, magnesio y sulfatos. Las aguas de la planicie (Rio Mocovi y lagunas poco profundas alejadas del Rio Mamoré) que son de tipo variable, débilmente mineralizadas ($< 50 \text{ mg.l}^{-1}$), con fuertes concentraciones relativas en hierro y potasio. La evolución de la hidroquímica de estos diferentes medios estudiados, en el curso de dos ciclos hidrológicos, muestra una fuerte influencia del Rio Mamoré en periodo de aguas altas (de Enero a Abril) en los medios lacustres adyacentes, ligada a las zonas de inundación.

PALABRAS CLAVES : Amazonía — Bolivia — Hidroquímica — Hidrología — Inundación — Laguna — Agua dulce.

-
- (1) ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier, France.
(2) CRODT, ORSTOM, BP 2241, Dakar, Sénégal.
(3) IIQ-UMSA, CP 303, La Paz, Bolivie.
(4) SENAMHI, CP 996, La Paz, Bolivie.

ABSTRACT

WATER CHEMISTRY OF LAKES AROUND TRINIDAD
(BOLIVIAN AMAZONIA)
AND THE INFLUENCE OF THE ANDEAN RIVER MAMORE

In the streams and lakes of the Trinidad region (Central Mamore Plain) two main types of water were identified : a) waters of Andean origin (the River Mamore and its connected lakes) are relatively concentrated ($> 100 \text{ mg.l}^{-1}$), with calcium and bicarbonate dominance followed by magnesium and sulphate. b) waters from the plains (Mocovi River and shallow lakes further away from the River Mamore) are of a more variable type ($< 50 \text{ mg.l}^{-1}$), with high relative contents of iron and potassium. The chemical evolution of these aquatic biotopes, studied during two hydrological cycles, showed a strong influence of the Mamore River on the lacustrine environment during the high water season (from January to April), linked with the occurrence of the flooding zones.

KEY WORDS : Amazonia — Bolivia — Water chemistry — Hydrology — Flooding — Lake — Fresh waters.

INTRODUCTION

La caractérisation physico-chimique des cours d'eau et des lacs de l'Amazonie a débuté au Brésil à partir d'observations basées sur le pH et la couleur des eaux (SIOLI, 1950) qui ont permis de définir trois grands types d'eaux : les *eaux blanches*, les *eaux claires*, et les *eaux noires*. Cette classification des eaux d'Amazonie a été à l'origine d'un grand nombre de travaux afin d'expliquer l'influence des différents paramètres biogéographiques sur la qualité des eaux (SIOLI, 1968; SCHMIDT, 1972b; JUNK et FURCH, 1980; STALLARD et EDMOND, 1983; FURCH, 1984).

D'autre part, les régimes hydrochimiques, en relation avec les régimes hydrologiques, ont fait l'objet de plusieurs études concernant les principaux fleuves : Rio Solimoes (GIBBS, 1972), Rio Negro (UNGEMACH, 1972), haut bassin du Rio Madeira (ROCHE et FERNANDEZ, 1988). D'autres travaux ont porté sur l'évolution hydrochimique des lacs, en relation ou non avec un grand fleuve adjacent (SCHMIDT, 1972a; RAI et HILL, 1980; FURCH, 1982; BOECHAT LOPES *et al.*, 1982; FURCH *et al.*, 1983; JUNK, 1984a).

Certaines études ont montré le rôle des variations saisonnières des régimes hydrologiques et hydrochimiques sur les rendements de pêche établis pour des grands fleuves : Rio Amazonas (SMITH, 1979; JUNK, 1984b), Rio Madeira (GOULDING, 1979), Rio Mamoré (LAUZANNE *et al.*, 1985; LAUZANNE et ROBLES, 1986), ou encore dans des lacs de l'Amazonie brésilienne (MARLIER, 1965; MARLIER, 1968).

Dans la région de Trinidad, plaine du Mamoré central (fig. 1), les résultats obtenus, de 1986 à 1988, dans le cadre du programme climatologique et hydrologique de Bolivie (PHICAB : ORSTOM, SENAMHI, IHH-IIQ-UMSA) et de la convention de recherche piscicole (ORSTOM, UTB, CORDEBENI), repré-

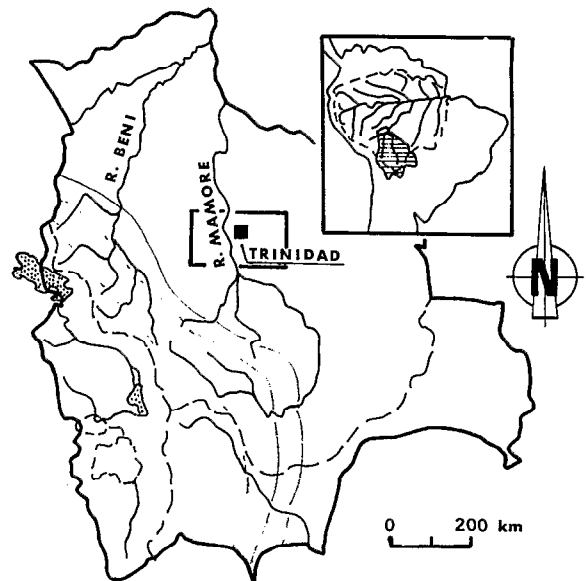


FIG. 1. — Carte de situation de la région de Trinidad, en Bolivie.

*Location map of the Trinidad area, Bolivia.
Mapa de ubicación de la región de Trinidad, Bolivia.*

sentent un apport à la connaissance des caractéristiques de ces systèmes fleuves-lacs, fréquents en zone tropicale et d'un grand intérêt biologique.

PRÉSENTATION DE LA RÉGION DE TRINIDAD

La ville de Trinidad (département du Béni) est située dans la vaste plaine amazonienne, appelée *lla-*

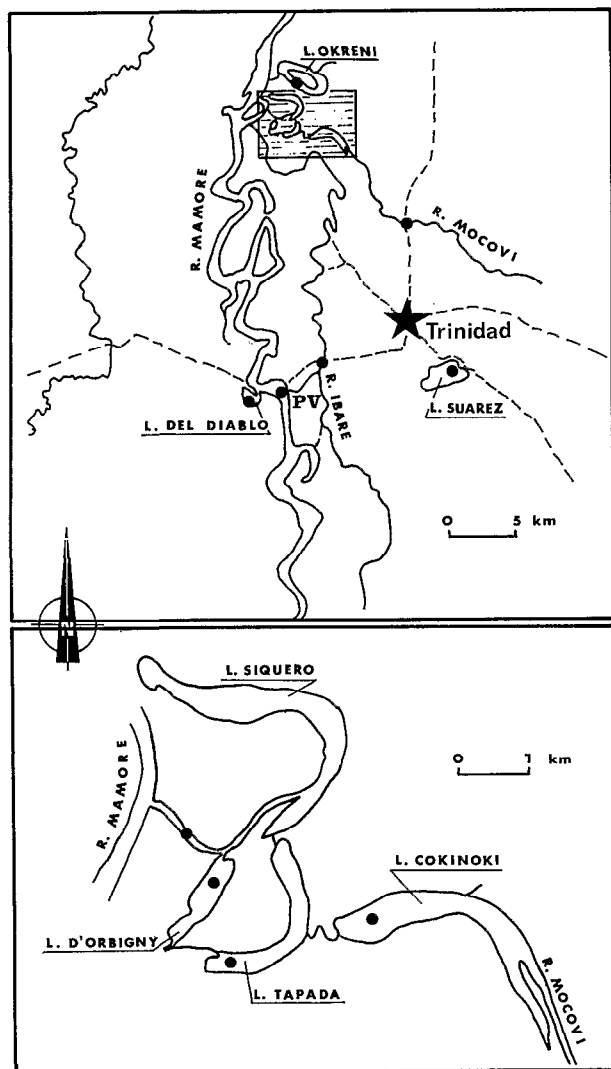


FIG. 2. — Carte de localisation des points de prélèvement de la région de Trinidad (d'après CORBIN *et al.*, 1988).
PV = Puerto Varador.

Water sampling stations in the Trinidad area.
Mapa de localización de los puntos de muestreo de la región de Trinidad.

nos, en bordure du fleuve Mamoré et à une altitude voisine de 150 m (fig. 2). Autour de cette agglomération, s'étend une région plate soumise à un climat tropical humide, avec des précipitations moyennes de l'ordre de 1800 mm.an⁻¹ (ROCHE et ROCHA, 1985) et une température moyenne de 26 °C (GARCIA, 1985). La distribution mensuelle des précipitations à Trinidad, pour la période 1983-1987 (fig. 3), montre l'existence d'une saison des pluies bien marquée, s'étendant généralement de novembre à mars. Les

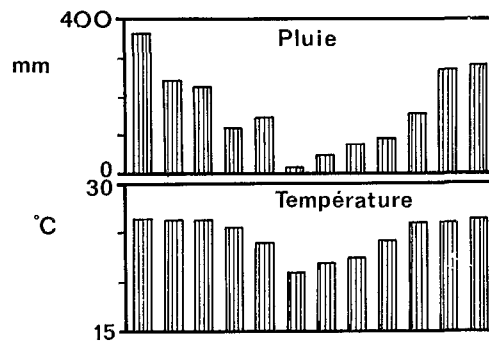


FIG. 3. — Distribution mensuelle des précipitations (en mm) et des températures (en °C) à Trinidad pour la période 1983-1987, d'après les données de la AASANA.

Rainfall (mm) and temperature (°C) monthly distribution for Trinidad, period 1983-1987.

Distribución mensual de las precipitaciones (mm) y de las temperaturas (°C) en Trinidad, periodo 1983-1987.

trois mois les plus humides fournissent 45 % des précipitations annuelles alors que les trois mois les plus secs n'en représentent que 7 %. La répartition des températures mensuelles suit celle des précipitations, les mois les plus froids étant aussi les plus secs.

Près de Trinidad, au niveau de la station hydro-métrique de Puerto Varador, le Rio Mamoré draine un bassin de 159 000 km² dont 41 % sont situés dans la cordillère orientale des Andes boliviennes. Pour la période 1983-1987, le débit moyen observé à cette station était de 3 500 m³.s⁻¹ (BOURGÈS, 1989). Les trois mois de plus hautes eaux (de janvier à mars) représentent 43 % du module annuel alors que les trois mois de plus basses eaux (d'août à octobre) n'en représentent que 8 % (GUYOT *et al.*, 1989 b).

La plaine de Trinidad est entièrement formée de sédiments plio-quaternaires d'origine andine. Elle est couverte de savane avec des franges de forêt en bordure des cours d'eau.

L'ÉCHANTILLONNAGE ET LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Pour mener à bien cette étude, six campagnes d'échantillonnage ont été réalisées sur l'ensemble des lacs de la région de Trinidad, de septembre 1986 à mai 1988. Pour la même période, les cours d'eau ont fait l'objet d'un échantillonnage plus suivi : une quinzaine de prélèvements sur les rios Mocoivi et Ibaré, et une soixantaine d'échantillons décennaux pour le Rio Mamoré. Tous les échantillons ont été prélevés en surface, au milieu des lacs, ou en bordure des cours d'eau.

Les mesures de température, pH et conductivité électrique ont été réalisées *in situ*.

Les matières en suspension (MES) ont été déterminées par filtration (filtres en fibre de verre GFC) et par pesée. Les autres analyses ont été effectuées sur des échantillons préalablement filtrés (0,45 µm). Les dosages de l'alcalinité ont été réalisés par volumétrie avec un acide fort en présence d'indicateurs colorés. Le calcium, le magnésium et le fer ont été déterminés par absorption atomique, le sodium et le potassium par émission de flamme. Les chlorures, les sulfates et la silice dissoute ont été dosés par colorimétrie. Les méthodes utilisées sont celles préconisées par J. RODIER (1975), mis à part le dosage colorimétrique des chlorures (HACH, 1983). La minéralisation, ou salinité, a été obtenue par la somme des concentrations des éléments dosés.

LES ÉCOSYSTÈMES ÉTUDIÉS ET LEUR FACIÈS HYDROCHIMIQUES

Afin de caractériser d'un point de vue physico-chimique l'ensemble des milieux aquatiques de la région de Trinidad, divers écosystèmes ont été étudiés. Il s'agit des Rios Mamoré, Ibaré et Mocovi ainsi qu'un certain nombre de lacs adjacents aux caractéristiques morphologiques et hydrodynamiques différentes (fig. 4 et tabl. I).

Les cours d'eau

Les eaux du *Rio Mamoré* sont relativement minéralisées, riches en matières en suspension et de type bicarbonaté calcique.

Le *Rio Mocovi*, cours d'eau typique de la plaine amazonienne drainant un bassin d'environ 1 000 km², avec de faibles teneurs de matières en solution et en suspension, présente un faciès bicarbonaté sodique et des eaux légèrement acides. De fortes valeurs relatives en fer et en potassium, provenant de la décomposition des matières organiques, sont également observées. Ces deux éléments apparaissent comme caractéristiques des eaux faiblement minéralisées de la plaine amazonienne (FURCH *et al.*, 1983; STALLARD et EDMOND, 1983; GUYOT *et al.*, 1987).

Le *Rio Ibaré* est un fleuve de plaine qui draine un bassin de 5 320 km² et qui est largement sous l'influence de *Rio Mamoré* en période d'inondation, aussi des inversions de courant sont-elles fréquemment observées au niveau de Puerto Almacen en montée de crue du *Rio Mamoré*. De ce fait, la physico-chimie de ses eaux traduit une situation mixte, intermédiaire entre celles observées sur les rios Mamoré et Mocovi.

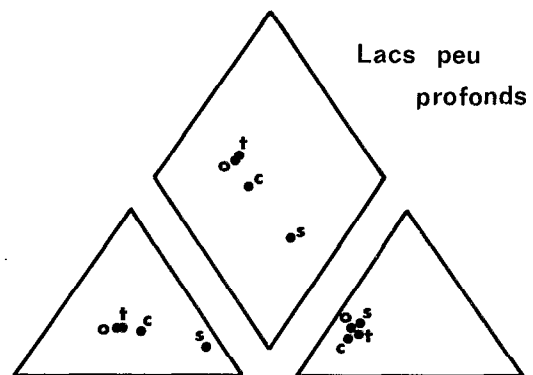
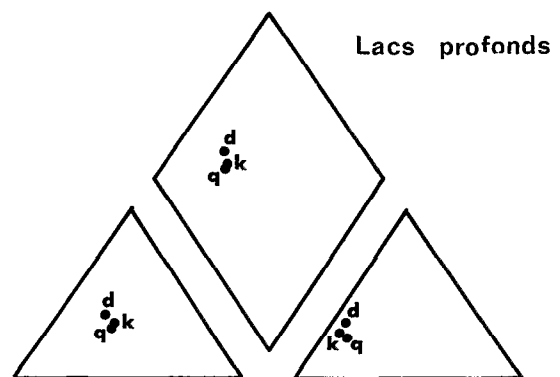
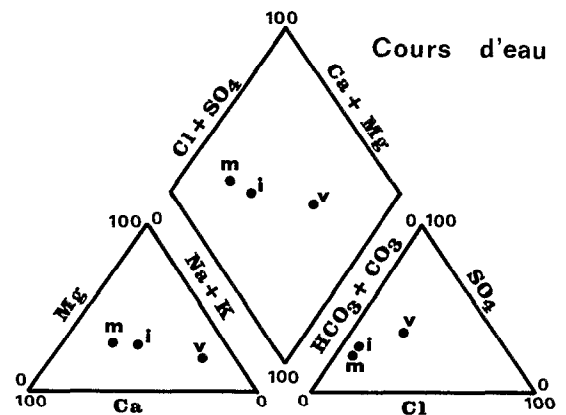


FIG. 4. — Faciès hydrochimiques moyens (diagramme de Piper) des cours d'eau, lacs profonds et lacs peu profonds de la région de Trinidad. m = *Rio Mamoré*, i = *Rio Ibaré*, v = *Rio Mocovi*, d = Laguna del Diablo, q = Laguna Siquero, k = Laguna Okreni, s = Laguna Suarez, c = Laguna Cokinoki, t = Laguna Tapada, o = Laguna d'Orbigny.

Water chemistry (Piper diagram) of the rivers, deep and shallow lakes of the Trinidad area.

Diagrama hidro-químico de Piper de los rios, lagunas profundas y poco profundas de la región de Trinidad.

TABLEAU I

Caractéristiques physico-chimiques (moyenne, minimum et maximum) des différents milieux aquatiques de la région de Trinidad, de septembre 1986 à mai 1988 (n = nombre d'échantillons)

Physical-chemical characteristics (mean, minimum, maximum) of the water bodies of the Trinidad area, from September 1986 to May 1988 (n = samples)

Características fisicoquímicas (promedio, minimum, maximum) de los medios acuáticos de la región de Trinidad, de Septiembre 1986 a Mayo 1988 (n = número de muestras)

Nom	température (°C.)	pH	M.E.S. (mg.l ⁻¹)	MIN.	Faciès
Mamoré n=63	Moy. 26.4 Min. 23.0 Max. 30.0	6.8 5.6 8.0	480 29 2200	110 74 170	bicarbonaté calcique
Ibaré n=16	Moy. 27.4 Min. 24.1 Max. 31.3	6.3 5.6 6.8	110 6 830	72 39 140	bicarbonaté calcique
Mocovi n=15	Moy. 27.1 Min. 24.1 Max. 28.9	5.9 5.8 6.2	110 37 270	39 29 65	bicarbonaté sodique
Diablo n=2	Moy. 27.0 Min. - Max. -	6.5 - -	180 43 310	100 100 110	bicarbonaté calcique
Siquero n=7	Moy. 28.2 Min. 24.9 Max. 32.9	6.7 6.0 7.2	420 18 1700	80 69 96	bicarbonaté calcique
Okreni n=6	Moy. 28.6 Min. 25.6 Max. 30.2	6.9 5.8 8.0	49 7 150	89 52 120	bicarbonaté calcique
Suarez n=6	Moy. 27.4 Min. 19.8 Max. 32.2	6.2 5.6 6.8	87 - -	26 12 41	bicarbonaté sodique
Cokinoki n=6	Moy. 28.4 Min. 26.3 Max. 29.7	6.1 5.2 6.7	27 4 85	55 44 74	bicarbonaté sodique
Tapada n=6	Moy. 28.3 Min. 25.7 Max. 29.5	6.5 6.3 7.5	37 6 100	71 51 82	bicarbonaté calcique
Orbigny n=7	Moy. 28.3 Min. 26.3 Max. 29.9	6.6 6.0 7.3	92 40 230	79 66 86	bicarbonaté calcique

Les lacs

Les lacs étudiés appartiennent à deux groupes.

LES LACS PROFONDS

Il s'agit de vestiges d'anciens méandres du Rio Mamoré, qui sont toujours en relation hydrologique et à proximité du cours principal. Leur profondeur moyenne est de l'ordre de 5 mètres en basses eaux. Les eaux de ces milieux sont toujours de type bicarbonaté calcique et présentent des teneurs voisines de celles observées dans le Rio Mamoré. La *Laguna del Diablo*, la *Laguna Siquero* et la *Laguna Okreni* appartiennent à cette catégorie.

LES LACS PEU PROFONDS

Ces lacs sont visiblement aussi d'anciens méandres, mais en partie colmatés et plus anciens que ceux qui sont à l'origine des lacs dits profonds. Leur profondeur à l'étiage est de l'ordre de 1 mètre et ils peuvent être hydrologiquement indépendants (*Laguna Suarez*) ou bien être alimentés par le Rio Mocovi (*Laguna Cokinoki*, *Laguna Tapada* et *Laguna d'Orbigny*). Dans ce dernier cas et lors des basses eaux, l'exutoire du système formé par ces lacs est le Rio Mamoré. En période de crue, le sens du courant s'inverse et ce système est au contraire alimenté par le Rio Mamoré. Les eaux de ces lacs vont donc pré-

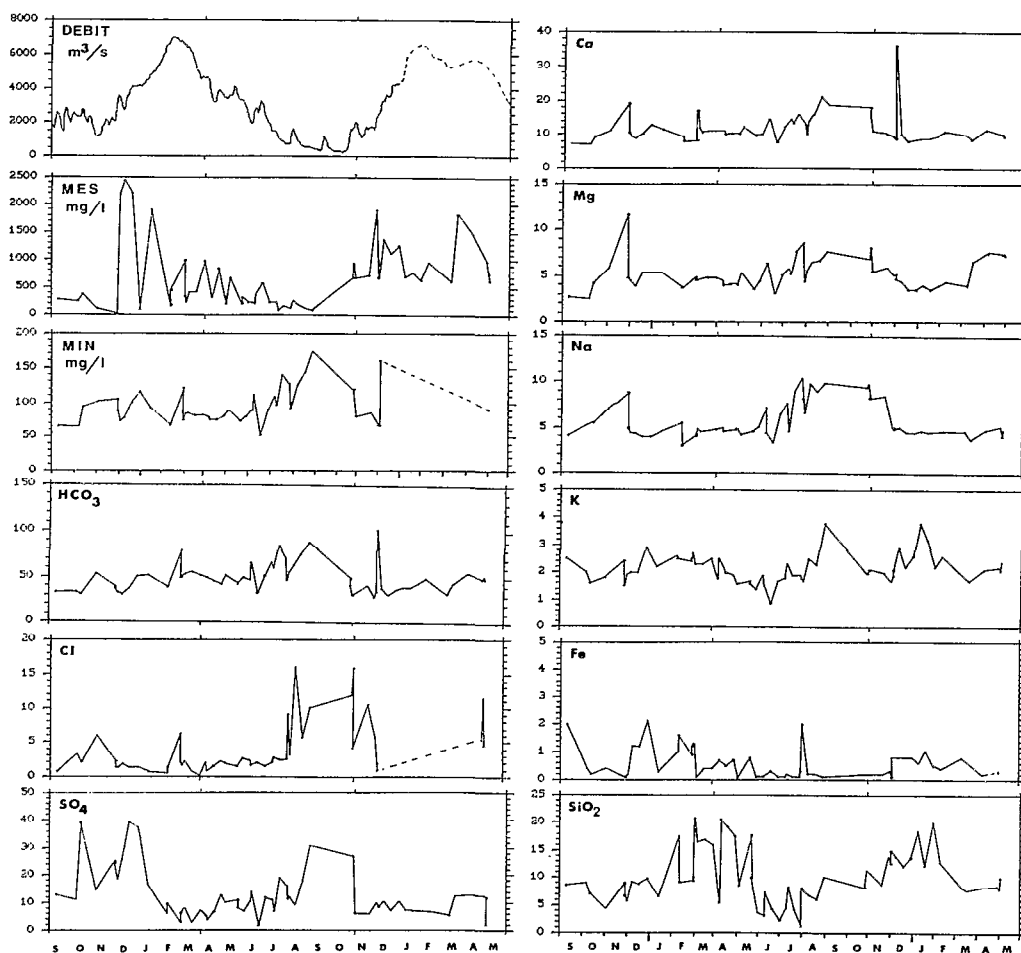


FIG. 5. — Évolution du débit ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), des matières en suspension, de la minéralisation et des éléments majeurs (en $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$), du Rio Mamoré à Puerto Varador, au cours des cycles hydrologiques 1986-1987 et 1987-1988.
 Discharge ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), TSS, TDS and major elements ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) evolution, of the Mamore river at Puerto Varador, 1986-1987 and 1987-1988 hydrological cycles.

Evolución del caudal ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), de las materias en suspensión y en solución, y de los elementos mayores ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Río Mamoré en Puerto Varador, durante los ciclos hidrológicos 1986-1987 y 1987-1988.

senter des faciès différents de l'amont vers l'aval, et suivant les saisons, en fonction des influences respectives des rios Mocovi et Mamoré (CORBIN *et al.*, 1988; GUYOT *et al.*, 1988).

ÉVOLUTION DE L'HYDROCHIMIE DU RIO MAMORÉ AU COURS DU CYCLE HYDROLOGIQUE

L'évolution de la physico-chimie des eaux du Rio Mamoré a pu être étudiée au cours de deux cycles hydrologiques (fig. 5), de septembre 1986 à mai 1988,

à partir des données de la station PHICAB de Puerto Varador.

Les teneurs en matières en suspension (MES) sont très variables et suivent grossièrement l'hydrogramme en présentant des valeurs maximales lors de la montée des eaux. Les teneurs en matières dissoutes sont plus stables : les concentrations maximales sont observées en période d'étiage et les crues entraînent une baisse de la salinité (ROCHE *et al.*, 1986; GUYOT *et al.*, 1989a). Les bicarbonates et le calcium, qui représentent une grande part des matières dissoutes, ont des diagrammes très comparables à celui des minéralisations, de même que le magnésium et le sodium. Les chlorures et les sulfates

ont des distributions de même type, ce qui permet de penser que l'origine des chlorures est à rechercher dans la nature lithologique des bassins andins et non dans les précipitations (STALLARD et EDMOND, 1981). Le potassium, avec des teneurs globalement plus stables au cours du cycle hydrologique, présente cependant des pics, à la fois en période de hautes et de basses eaux. Le fer dont les teneurs sont faibles, montre également des pics de concentration qui correspondent à la montée des eaux. La silice dissoute enfin, avec de fortes variations, présente une évolution synchrone à celle des débits.

L'étude de la physico-chimie des eaux du Rio Mamoré près de Trinidad met en évidence de grandes variations des teneurs en MES et une forte altération du régime hydrochimique au cours du cycle hydrologique. La minéralisation et les ions majeurs (HCO_3 , Cl , SO_4 , Ca , Mg , Na) suivent une variation inverse à l'hydrogramme, correspondant à un phénomène de dilution de ces éléments par les eaux de pluie. Par contre, le fer et le potassium présentent des teneurs plus faibles et plus stables avec toutefois quelques pics de concentration lors de la montée des eaux, qui peuvent correspondre à l'arrivée d'eaux stagnantes restées en contact avec la végétation et qui ont été chassées par l'onde de crue.

INFLUENCE DU RIO MAMORÉ SUR L'HYDROCHIMIE DES COURS D'EAU ET DES LACS ADJACENTS

En l'absence de stations hydrométriques sur les rios Ibaré et Mocovi, et compte tenu du faible nombre d'échantillons collectés dans ces cours d'eau et dans les lacs adjacents (moins d'une dizaine de prélèvements), il est impossible d'étudier l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de ces milieux au cours des deux cycles hydrologiques. Toutefois, il semble que les variations des matières en suspension et de la salinité soient plus faibles que dans le Rio Mamoré.

En période de hautes eaux, la quasi-totalité des écosystèmes aquatiques étudiés sont sous l'influence directe du Rio Mamoré, ce qui se traduit par une augmentation des teneurs en matières dissoutes et en suspension.

En période de basses eaux, une augmentation des teneurs en MES peut être observée dans les lagunes peu profondes et le Rio Mocovi, probablement en raison du vent, souvent violent en cette saison, qui entraîne une remise en suspension des sédiments meubles du fond (MARLIER, 1965; GEISLER, 1969; BOECHAT LOPES *et al.*, 1982).

Les courbes d'évolution des teneurs en matières dissoutes et en suspension ainsi que celles des

concentrations en potassium, établies pour l'ensemble du système Rio Mocovi — Laguna Cokinoki — Laguna Tapada — Laguna d'Orbigny — Laguna Siquero — Rio Mamoré — Laguna Okreni, et pour trois périodes caractéristiques (novembre 1986, janvier et mars 1987), indiquent clairement l'existence d'inversions du gradient hydrochimique au cours du cycle hydrologique (fig. 6).

En novembre 1986, les eaux de cette fin de période d'étiage sont très basses et l'écoulement général s'effectue en direction du Rio Mamoré dans lequel se vidangent tous les lacs. Les teneurs en MES sont alors faibles sur l'ensemble du système et la minéralisation augmente progressivement de l'amont vers l'aval. Les concentrations en potassium sont plus fortes dans les lacs que dans les cours d'eau. Dans la zone étudiée, le potassium semble être un indicateur des milieux confinés, à faible taux de renouvellement.

En janvier 1987, la saison des pluies a commencé et le Rio Mamoré est en début de crue, présentant de fortes teneurs en MES. L'écoulement général s'est inversé dans la partie aval du système et le Rio Mamoré alimente la Laguna Okreni et la Laguna Siquero. Le Rio Mocovi alimente normalement la Laguna Cokinoki et la Laguna Tapada. Les profils des teneurs en MES et en matières dissoutes témoignent de la pénétration des eaux du Rio Mamoré dans les lacs Okreni, Siquero et d'Orbigny. Le système Mocovi-Cokinoki-Tapada reste encore non perturbé. Les concentrations en potassium décroissent sur l'ensemble du système, sauf dans le Rio Mamoré et dans la Laguna Okreni. Seule la Laguna d'Orbigny, qui n'est pas le siège d'un écoulement notable, garde une teneur élevée.

En mars 1987, alors que les eaux du Rio Mamoré sont à leur niveau maximal, il n'existe plus d'écoulement canalisé dans le lit du fleuve, mais une zone d'inondation qui s'étend sur l'ensemble des écosystèmes étudiés. Les teneurs en MES restent faibles bien que légèrement supérieures dans le Rio Mamoré. Le profil des courbes de minéralisation montre que la totalité du milieu lacustre est sous l'influence des inondations, seul le Rio Mocovi n'est pas affecté. Les teneurs en potassium, plus élevées que lors de la montée des eaux, présentent une diminution progressive de l'amont vers l'aval.

Des phénomènes analogues ont été observés sur les lacs de zone inondable en Amazonie brésilienne (*varzeas*). Ces lacs, qui sont en relation hydrologique avec le Rio Solimoes (Amazone), présentent également de fortes variations de leurs caractéristiques hydrochimiques au cours du cycle hydrologique. La montée des eaux du fleuve, se traduit en général par une augmentation de la minéralisation des eaux des lacs (SCHMIDT, 1972 a; FURCH, 1982), comme cela est

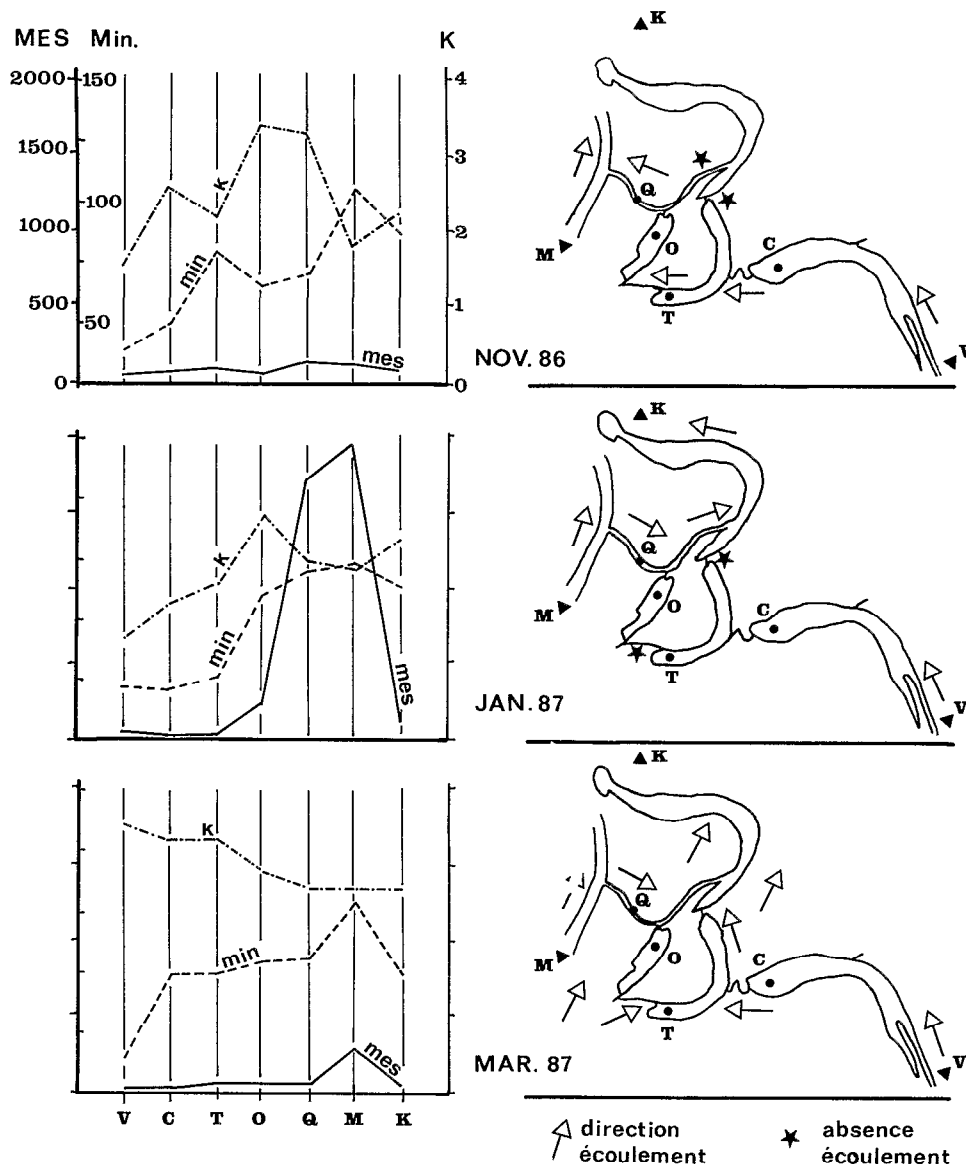


FIG. 6. — Distribution spatiale des matières en suspension, de la minéralisation et des teneurs en potassium (en mg.l^{-1}), dans le système Mocovi-Cokinoki-Tapada-d'Orbigny-Siquero-Mamoré-Okreni, en fin d'étiage (novembre 1986), en montée des eaux (janvier 1987) et en hautes eaux (mars 1987). V = Rio Mocovi, C = Laguna Colinoki, T = Laguna Tapada, O = Laguna d'Orbigny, Q = Laguna Siquero, M = Rio Mamoré, K = Laguna Okreni.

TSS, TDS and potassium contents (mg.l^{-1}) distribution in the Mocovi-Cokinoki-Tapada-d'Orbigny-Siquero-Mamoré-Okreni system, during low water levels (November 1986), the flood rising (January 1987) and the high water level (March 1987).

Distribución espacial de las materias en suspensión y en solución, y de las concentraciones en potasio (mg.l^{-1}), en el sistema Mocovi-Cokinoki-Tapada-d'Orbigny-Siquero-Mamoré-Okreni, durante época de aguas bajas (Noviembre 1986), época de crecida (Enero 1987) y época de aguas altas (Marzo 1987).

le cas à Trinidad. Cette augmentation de la salinité correspond en fait aux ions majeurs (HCO_3 , Ca, Mg, ...), alors que certains éléments comme le fer (BOECHAT LOPES *et al.*, 1982), ou le potassium, pré-

sentent des valeurs maximales en basses eaux, comme dans les lagunes peu profondes de la région de Trinidad.

Quelquefois, les maximums de concentration dans

les eaux des lacs sont observés en basses eaux, les périodes d'inondation se traduisent alors par une baisse des teneurs en solution (FURCH *et al.*, 1983).

Contrairement à ce qui est observé en Amazonie brésilienne, notamment dans la région de Manaus, les maximums pluviométriques à Trinidad correspondent à peu près aux maximums hydrologiques du Rio Mamoré. Ainsi, les phénomènes de dilution des eaux des lacs, par les précipitations directes, avant l'arrivée de la crue du fleuve, ne sont pas observés dans la région de Trinidad.

CONCLUSION

La région de Trinidad est drainée par des cours d'eau de différentes origines et aux caractéristiques hydrochimiques contrastées. Aux *eaux blanches*, relativement bien minéralisées et à forte teneur en matières en suspension du fleuve Mamoré provenant de la cordillère des Andes, s'opposent les *eaux claires*, faiblement chargées en matières en solution et en suspension, du Rio Mocovi, typique de la plaine amazonienne présentant des concentrations relatives en fer et en potassium plus élevées.

Au cours du cycle hydrologique, la montée des eaux du Rio Mamoré, dont l'amplitude est de 12 mètres à Puerto Varador, va entraîner une inversion du sens des écoulements entre le fleuve et les lacs adjacents, qui aura pour conséquence de modifier considérablement la physico-chimie de ces différents milieux aquatiques. Des phénomènes analogues ont été observés sur des lacs de l'Amazonie brésilienne en relation avec les inondations du Rio Solimoes (*varzeas*). Ces écosystèmes présenteront donc des variations de température, pH, conductivité et MES différentes au cours du cycle hydrologique, en fonction de leur distance et de leur degré de liaison hydrodynamique avec le Rio Mamoré. Ces variations influent directement sur les peuplements biologiques de ce complexe fleuves-lacs de l'Amazonie bolivienne. Les meilleurs rendements de pêche obtenus dans cette région (LAUZANNE *et al.*, 1985; LAUZANNE et ROBLES, 1986) sont ceux des lacs profonds qui sont en relation directe avec le Rio Mamoré quand survient la montée des eaux.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 8-II-1990

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOECHAT LOPES (U.), MENEZES SANTOS (U.) & NOVIKOFF (A.), 1982. — Étude limnologique des eaux du lac du Arroz (Ile de Careiro, Amazonie centrale, Brésil). *Cah. ORSTOM. sér. Géol.* 12 (2) : 147-164.
- BOURGES (J.), 1989. — La investigación hidrológica en el Beni : ejemplos de aplicación para el desarrollo de infraestructuras y previsión de crecidas. Rapp. PHICAB, Bolivie, *multigr.* Tercer Simposio de la *Investigación Francesa en Bolivia*, Santa Cruz, Junio 1989 : 9-22.
- CORBIN (D.), GUYOT (J.L.), CALLE (H.) & QUINTANILLA (J.), 1988. — Datos físico-químicos de los medios acuáticos de la zona del Mamoré central (Región de Trinidad, Amazonía boliviana). Rapp. ORSTOM Bolivie N° 8, 58 p. *multigr.*
- FURCH (K.), 1982. — Jahreszeitliche chemische Veränderungen in einem Varzea-See des mittleren Amazonas (Lago Calado, Brasilien). *Arch. Hydrobiol.*, 95 (1/4) : 47-67.
- FURCH (K.), 1984. — Water chemistry of the Amazon basin : the distribution of chemical elements among freshwaters. Sioli, H. (ed.), *The Amazon* : 167-199.
- FURCH (K.), JUNK (W.J.), DIETERICH (J.) & ROCHERT (N.), 1983. — Seasonal variation in the major cation (Na, K, Mg and Ca) content of the water of Lago Camaleao, an Amazonian floodplain-lake near Manaus, Brazil. *Amazoniana*, 8 (1) : 75-89.
- GARCIA (W.), 1985. — Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Mamoré. Tesis de grado, UMSA, La Paz. Rapp. PHICAB, 110 p., *multigr.*
- GEISLER (R.), 1969. — Untersuchungen über den Sauerstoffgehalt, den biochemischen Sauerstoffverbrauch von Fischen in einen tropischen Schwarzwasser (Rio Negro, Amazonien). *Arch. Hydrobiol.*, 66 : 307-325.
- GIBBS (R.J.), 1972. — Water chemistry of the Amazon river. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 36 : 1061-1066.
- GOULDING (M.), 1979. — Ecología de pesca do rio Madeira. Rapp. INPA, 172 p.
- GUYOT (J.L.), BOURGES (J.) & ROCHE (M.A.), 1989 a. — Transporte de sedimentos y materias disueltas en la cuenca amazónica de Bolivia. Tercer Simposio de la *Investigación Francesa en Bolivia*, Santa Cruz, Junio 1989 : 1-8.

- GUYOT (J. L.), BOURGES (J.), CALLE (H.), CORTES (J.), HOOREL-BECKE (R.) & ROCHE (M. A.), 1989b. — Transport of suspended sediments to the amazon by an Andean river : the River Mamore, Bolivia. *River Sedimentation*, IRTCES, Beijing, November 1989.
- GUYOT (J. L.), CALLE (H.), QUINTANILLA (J.) & CALLICONDE (M.), 1987. — Resultados de una campaña de muestreo en período de aguas bajas en la Amazonía boliviana. *Revista Boliviana de Química*, 7 (1) : 36-50.
- GUYOT (J. L.), CORBIN (D.), QUINTANILLA (J.), CALLICONDE (M.) & CALLE (H.), 1988. — Caracterización físico-química de los ríos y lagunas de la cuenca Amazónica de Bolivia. Rapp. ORSTOM Bolivie, *multigr.* Segundo Simposio de la Investigación Francesa en Bolivia, La Paz, Abril 1988 : 98-106.
- HACH Company, 1983. — Manuel de l'analyse de l'eau. Éd. Hach., Cofradis France, Paris, 443 p.
- JUNK (W. J.), 1984a. — Ecology of the varzea, floodplain of Amazonian white-water rivers. Sioli H. (ed.), *The Amazon* : 215-243.
- JUNK (W. J.), 1984b. — Ecology, fisheries and fish culture in Amazonia. Sioli H. (ed.), *The Amazon* : 443-476.
- JUNK (W. J.) & FURCH (K.), 1980. — Química da água e macrofitas aquáticas de rios e igarapés na Bacia Amazônica e nas áreas adjacentes. *Acta Amazônica*, 10 (3) : 611-633.
- LAUZANNE (L.), CANTRELLE (I.) & ROBLES (E.), 1985. — Algunos resultados de pesca de las redes experimentales empleadas por el convenio piscícola de Trinidad, Bolivia. Rapp. ORSTOM Bolivie, 26 p., *multigr.*
- LAUZANNE (L.) & ROBLES (E.), 1986. — Resultados de pesca de las redes de mallas pequeñas del convenio piscícola de Trinidad, Bolivia. Rapp. ORSTOM Bolivie, 25 p. *multigr.*
- MARLIER (G.), 1965. — Étude sur les lacs de l'Amazonie centrale. *Cadernos da Amazonia*, 5 : 51 p.
- MARLIER (G.), 1968. — Études sur les lacs de l'Amazonie centrale. II. Le plancton. III. Les poissons du lac Redondo et leur régime alimentaire. *Cadernos da Amazonia*, 11 : 57 p.
- RAI (H.) & HILL (G.), 1980. — Classification of Central Amazon Lakes on the basis of their microbiological and physico-chemical characteristics. *Hydrobiologia*, 72 : 85-99.
- ROCHE (M. A.), FERNANDEZ (C.), APOTEKER (A.), ABASTO (N.), CALLE (H.), TOLEDE (M.), CORDIER (J. P.) & POINTILLART (C.), 1986. — Reconnaissance hydrochimique et première évaluation des exportations hydriques et salines des fleuves de l'Amazonie bolivienne. Rapp. PHICAB, 257 p. *multigr.*
- ROCHE (M. A.) & FERNANDEZ (C.), 1988. — Water resources, salinity and salt yields of the rivers of the bolivian Amazon. *Jour. Hydrol.*, 101 : 305-331.
- ROCHE (M. A.) & ROCHA (N.), 1985. — Mapa pluviométrico de Bolivia y regiones vecinas. 1 hoja offset 1/4 000 000. PHICAB.
- RODIER (J.), 1975. — L'analyse de l'eau. Éd. Dunod, Paris, 629 p.
- SCHMIDT (G. W.), 1972a. — 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.), 1972b. — Amounts of suspended solids and dissolved substances in the middle reaches of the Amazon over the course of one year (August 1969-July 1970). *Amazoniana*, 3 (2) : 208-223.
- SIOLI (H.), 1950. — Das Wasser im Amazonasgebiet. *Forschungen und Fortschritte*, 21/22 : 274-280.
- SIOLI (H.), 1968. — Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. *Amazoniana*, 1 (3) : 267-277.
- SMITH (N. J. H.), 1979. — A pesca no rio Amazonas. Rapp. INPA, 154 p.
- STALLART (R. F.) & EDMOND (J. M.), 1981. — Geochemistry of the Amazon. 1) Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. *Jour. Geophys. Res.*, 86 (10) : 9844-9858.
- STALLART (R. F.) & EDMOND (J. M.), 1983. — Geochemistry of the Amazon. 2) The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *Jour. Geophys. Res.*, 88 (14) : 9671-9688.
- UNGEMACH (H.), 1972. — Die Ionenfracht des Rio Negro, Staat Amazonas, Brasilien. *Amazoniana*, 3 (2) : 175-185.