

# LES LACS BALEDJAM, GAGOUBA, MBALANG, TABÉRÉ et TIZON RÉGION DE N'GAOUNDÉRÉ - PROVINCE DE L'ADAMAOUA.

Denis WIRRMANN - ORSTOM BP 1857 YAOUNDÉ, CAMEROUN.

## I L'ENVIRONNEMENT

### Le cadre physique

Le plateau de l'Adamaoua, est un horst d'origine volcano-tectonique qui s'étend de 6 à 8° N de latitude et de 12 à 15° de longitude E, à une altitude moyenne de 1000 mètres environ. Cette surface est composée de blocs juxtaposés à différents niveaux, limités par des failles de directions majeures N 73° E (linéament de l'Adamaoua) et N 58° E à l'est, N 28° E, E-W et N 135° E pour la partie occidentale et enfin par une faille de direction N 117° E bien marquée sur l'ensemble du plateau (Le Maréchal, 1976). Un escarpement de 600 mètres, dominant le graben de la Mbéré encore appelé "fosse crétacée du Sud Adamaoua" (Vincent, 1968), marque la limite méridionale du plateau. Le secteur de N'gaoundéré situé à environ 1200 m d'altitude moyenne, est bordé au nord et à l'est par des compartiments culminant à 1400 mètres au-dessus du fossé de la Bénoué.

Le socle est formé, d'une part, de granites disposés selon une bande d'environ 50 km de large, d'orientation générale NW-SE, bordée par des roches appartenant au complexe de base précambrien (roches métamorphiques variées, Lasserre, 1961) et d'autre part, d'un complexe volcanique. Les roches éruptives sont regroupées en trois ensembles correspondant à deux grandes étapes de formation :

- la série des "basaltes des plateaux" (Temdjim, 1986) équivalents de la série noire inférieure définie antérieurement (Gèze, 1943 ; Guiraudie 1955 ; Lasserre, 1961 ; Le Maréchal, 1976), est représentée par des coulées de basaltes à olivine, peu épaisses (200 mètres de puissance au maximum) ou "trapps", très altérées. Elles résultent d'un volcanisme fissural lié à des fractures nourricières orientées au NW-SE (N 120° E), d'âge Miocène Supérieur (6,5 MA) selon les analyses présentées par Temdjim (1986) ;

- la série intermédiaire, d'extension moindre (série blanche moyenne des auteurs anciens), correspond à un volcanisme plus acide formant des reliefs importants comme celui de Nganha (1923 m) associés à des pointements trachytiques secondaires et dont la mise en place, datée également du Miocène Supérieur (Temdjim, 1986), correspondrait à la phase terminale de l'épisode précédent ;

- le dernier terme volcanique ou encore série noire supérieure, est représenté par d'importants dépôts de produits pyroclastiques (cendres, lapilli, blocs) dus à un volcanisme strombolien ayant donné naissance à de nombreux puys de dimensions modestes (en moyenne une centaine de mètres d'élévation) associé à des cratères formés de dépôts d'origine phréato-magmatique issus d'un dynamisme de type maar\*. L'ensemble de ces structures parfois coalescentes est aligné le long de la direction de faille N 117° E. Leur âge de mise en place est daté du Pléistocène Moyen (0,9 MA, Temdjim, 1986), mais vu la jeunesse de leurs formes, il est probable que certains de ces édifices soient d'un âge plus jeune encore. Les lacs Baledjam, Gagouba, Mbalang, Tabéré et Tizon sont tous des lacs de maar.

### Le climat

Le plateau de l'Adamaoua est soumis à un climat tropical humide d'altitude à deux saisons, la saison sèche ayant une amplitude de 4 mois au minimum, le maximum de précipitations étant enregistré en août (Suchel, 1988). Les données présentées ci-dessous, sont obtenues à la station météorologique de N'gaoundéré (07° 21' N - 13° 14' E à 1114 m d'altitude) ; les résultats antérieurs à 1970 sont extraits du document "Fleuves et Rivières du Cameroun" (Olivry, 1986).

Il n'y a pas de prédominance franche des direction du vent ; les vents de secteur nord-est dominant en janvier et octobre, les vents de secteur sud-ouest dominant en avril et en juillet, les calmes ou vents de vitesse inférieure à 1 m/s, représentant 41 % du total annuel.

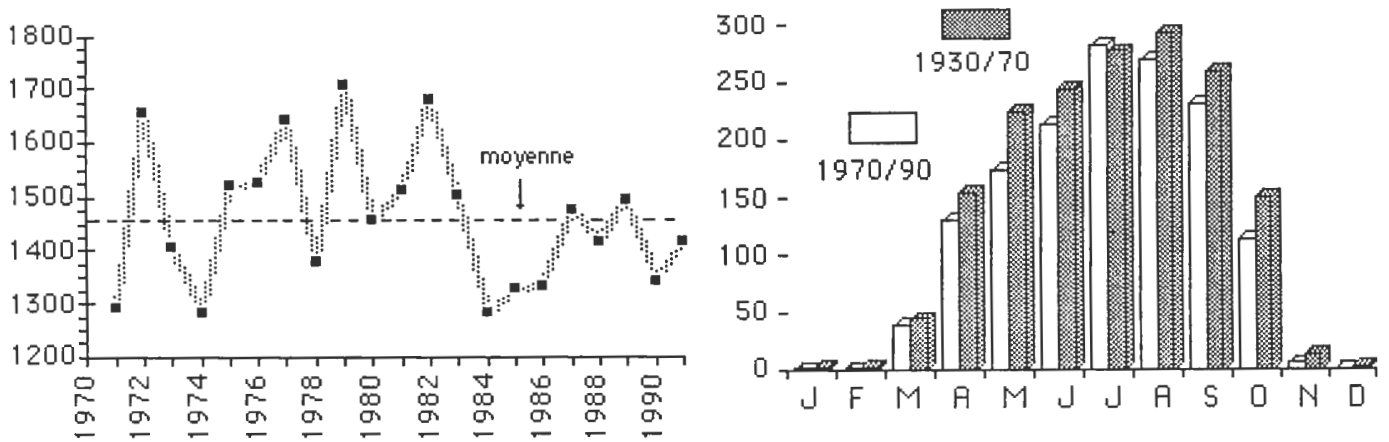
L'humidité relative présente une plage de maximums qui s'étend de mai à octobre (valeurs variant de 95 à 98 %) avec un minimum en janvier (18 %). L'amplitude annuelle des variations mensuelles du minimum d'humidité relative est élevée : 50 %. La tension de vapeur est maximale de mai à septembre (de 20,2 à 20,8 mb), le minimum étant celui de janvier (8,5 mb). L'évapotranspiration potentielle annuelle, calculée selon la formule de Turc (*in* Olivry, *op. cit.*) serait de 1510 mm. Les travaux récents de Santiago (1992) précisent ces estimations sur la base des résultats mesurés à la station météorologique de N'gaoundéré et des données satellitaires de l'année 1988 : l'évapotranspiration potentielle annuelle est de 1412 mm, le maximum correspondant au moins de janvier (177 mm) et le minimum au mois d'août (84 mm) pour des valeurs

\* Un maar est un cratère volcanique formé par une ou plusieurs explosions, suite au contact d'une nappe d'eau avec la lave chaude de la cheminée reliant le cratère au magma. La pression engendrée par la production de vapeur d'eau déclenche une explosion, la lave ne s'épanchant pas obligatoirement à l'air libre. Morphologiquement un maar est caractérisé par une dépression sub-circulaire circonscrite en grande partie par un croissant de pyroclastites, aux flancs internes abrupts, formé d'éjecta volcaniques à stratifications entrecroisées incluant des lapilli accrétonnés et associés à de gros blocs de roches provenant du socle.

d'évapotranspiration réelle de respectivement 840 mm, 112 mm (maximum de avril et mai) et 3 mm (minimum en février).

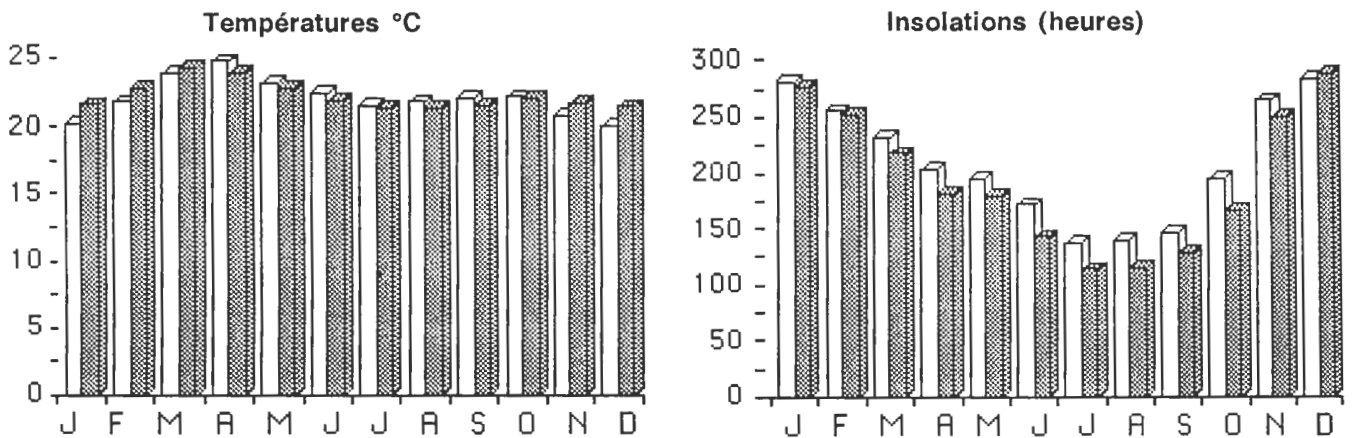
L'irrégularité interannuelle des pluies est faible. Pour la période 1928-1970 la moyenne annuelle des précipitations est de 1577 mm et comparativement à ces données, les valeurs obtenues pour la période 1970-1991, sont inférieures : 1458 mm de précipitations moyennes annuelles.

### PLUVIOMÈTRE MOYENNE (mm) ANNÉES HYDROLOGIQUES



Pour 26 années d'observation (période 1930/1970), la température moyenne annuelle est de 22,2°C. Les températures moyennes mensuelles montrent des variations d'amplitude relativement importante aussi bien pour les moyennes minimales que maximales. Le maximum s'observe dès le mois de mars, qui marque la fin de la saison sèche et le minimum s'observe en août, mois marqué par des précipitations abondantes. L'écart diurne moyen mensuel minimum (8,8° C) est enregistré en août alors que la valeur maximale correspond au mois de janvier (17,6° C). L'amplitude moyenne annuelle est de 13° C pour une amplitude des températures moyennes des mois extrêmes de seulement 2,9° C (Olivry, *op. cit.*). L'insolation est forte, juillet étant le mois le moins ensoleillé ; pour les deux périodes considérées les moyennes annuelles sont de 2314 et 2507 heures d'ensoleillement respectivement.

### MOYENNES MENSUELLES : 1930/70 1970/90



La comparaison des deux séries de données suggère que globalement le climat de la région a évolué dans le sens d'une péjoration caractérisée par la diminution des précipitations annuelles moyennes et par un gain du temps d'ensoleillement avec du point de vue thermique des températures moyennes annuelles équivalentes.

### La phytogéographie

Cette région appartient à une forme dégradée de la savane arbustive soudano-guinéenne ou "shrubs-savanas" des anglophones (Letouzey, 1968). Dans certains vallons épargnés par le défrichement, il existe encore une flore de type semi-caducifoliée.

La flore herbacée est représentée essentiellement par un tapis graminéen à *Andropogonées* associé à des

pelouses à *Sporobolus*, très sensible à l'action anthropique (culture du manioc et élevage).

La **flore ligneuse** s'individualise difficilement ; les principales espèces rencontrées sont *Daniellia oliveri* (parfois sous forme de peuplements purs de grands arbres bien individualisés dans une savane généralement assez claire), *Lophira lanceolata*, *Pithecellobium eriorachis*, *Syzygium macrocarpa*, *Terminalia dewevrei*, *Terminalia macroptera*, en association parfois avec *Albizzia chevalieri*, *Albizzia coriaria*, *Entada* et divers *Lannea*. D'après nos observations de terrain *Terminalia* est surtout représenté dans ce secteur par *Terminalia albida* Scott Elliot (encore dénommé *T. Engl. et Diels*) ou *Bala* en fulfuldé.

## II LE DOMAINE LACUSTRE

### Les paramètres physiques

La base topographique utilisée est une carte au 1/50 000 (présentée hors texte) réalisée à partir de la compilation des feuilles au 1/50 000 NB 33 XX NGAOUNDÉRÉ 2a (édition 1959), 2b (éd. 1960), 2c (éd. 1959 révisée partiellement en 1971) et 2d (éd. 1960), publiées par l'Institut Géographique National (Paris).

Les superficies des plans d'eau sont mesurées en utilisant une grille établie sur la base d'une maille carrée de deux centimètres de côtés (soit 1 km<sup>2</sup>), chaque carré contenant 25 points répartis de façon équidistante (soit un point équivalant à 4 hectares).

Les données relatives aux profondeurs (Fig. 2) sont issues des travaux de Kling (1987) et Pourchet *et al.* (1991). La profondeur relative est définie comme la profondeur maximale exprimée en % du diamètre moyen du lac, le centre du lac étant généralement plus proche du fond que de l'une de ses rives ; le développement volumétrique, correspond au rapport du volume du lac à celui d'un cône de mêmes surface et hauteur selon la relation :  $DV = 3 \times \text{profondeur moyenne} / \text{profondeur maxi}$  (Hutchinson, 1957). Les valeurs obtenues, supérieures à 1,5, sont caractéristiques de lacs profonds et petits ; la zone de berge est réduite à une petite frange et les profondeurs augmentent très rapidement. Le fond des lacs, très plat et étendu, équivaut pratiquement à la superficie du plan d'eau, et rend compte du phénomène de comblement du cratère initial par des sédiments.

### Les paramètres limnologiques

Ils sont extraits du travail de Kling (1987), seul ouvrage exhaustif concernant 38 lacs camerounais, répartis dans les secteurs W et central du Cameroun, dont 8 lacs pour la région de Ngaoundéré.

La conductivité (exprimée en valeurs ajustées pour 25°C), l'alcalinité et le pH ont été mesurés sur le terrain. Les concentrations en fluorures, chlorures et sulfates sont mesurées par chromatographie ionique et celles en Ca, Mg, Fe et Al par absorption atomique ou par spectrométrie plasma et/ou ionique. Les teneurs en Na et K ont été déterminées par émission de flamme et la silice par colorimétrie. L'azote et le phosphore dissous (respectivement exprimés par NO<sub>3</sub>-N et PO<sub>4</sub>-P) sont quantifiés après oxydation de l'eau au peroxyde disulfate de potassium puis par analyse au Technicon. La quantité de H<sub>2</sub>S a été mesurée, après réaction alcaline, sur papier indicateur de virage. La chlorophylle *a* est mesurée après extraction à l'éthanol. L'appellation particules correspond aux refus de filtre  $\geq 1,2 \mu\text{m}$ . La transparence de l'eau est évaluée par un disque de Secchi de 20 cm de diamètre ; la limite inférieure de la zone euphotique est la profondeur pour laquelle seul 1% de la radiation de surface est rémanente (Talling, 1971).

Les profils de températures sont établis pour la zone centrale des lacs (Kling, 1987 ; Pourchet *et al.*, 1991). Tous ces lacs sont stratifiés, la thermocline se situant entre 7,5 et 9,5 mètres (Figs. 2 et 3). Comparativement aux températures moyennes calculées en tenant compte d'un gradient en fonction de l'altitude, les températures observées sont similaires à celles de nombreux lacs africains (Lewis, 1973). À l'exception des lacs Gagouba et Baledjam, toutes les températures hypolimniques sont inférieures de plus de 2°C à la température moyenne théorique, calculée selon l'équation de régression  $T^{\circ}\text{C} = 27,9 - 0,004 \times (\text{altitude})$  en corrigeant l'altitude de 49 m par degré de latitude, ce qui pourrait traduire une incidence climatique locale (?). Le gradient de température est prononcé, la diminution est de 3°C en moyenne à la limite inférieure du métalimnion, entre 8 et 12 mètres de profondeur. La variation diurne des températures de surface est de l'ordre de 1°C.

Il faut mentionner l'existence temporaire d'une inversion de stratification thermique pour les eaux de surface du lac Tizon. Elle résulterait soit d'une perte de chaleur par évaporation ou sous l'action du vent, soit d'un refroidissement consécutif à des pluies ; ce lac présente également une deuxième thermocline se développant alors au-dessus de la première, lorsque l'épilimnion relativement froid est soumis à un réchauffement, suite par exemple à la baisse d'intensité du vent.

La permanence d'une stratification thermique ne permet pas d'évaluer la possibilité de la différenciation de masses d'eaux chimiquement distinctes. Cependant, d'après des résultats préliminaires du dosage du tritium (résultats inédits de Evans & Kling, cités *in* Kling 1987), les eaux hypolimniques se sont mélangées avec les eaux de surface durant les 30 à 35 dernières années.

Les plus fortes concentrations en oxygène dissous (Fig. 2) ont été mesurées dans le métalimnion des lacs Baledjam, Tabéré et Tizon ; les zones hachurées sur les graphiques représentent des états de saturation supérieurs à 100 % comparativement aux eaux de surface. Dans l'hypolimnion les conditions sont anoxiques et pour le lac Baledjam cette

caractéristique apparaît à 10 mètres de profondeur, soit dès la limite inférieure du métalimnion.

Selon la classification trophique des lacs établie d'après la transparence de l'eau, les concentrations en N, P et chlorophylle *a* proposée par Vollenweider (1979), ces lacs sont oligotrophes, avec des variations dues au brassage saisonnier amenant des eaux hypolimniques riches en nutriments en surface, mais les variations saisonnières et annuelles de la chimie des eaux restent très limitées.

La conductivité est faible. Les eaux sont douces, leur chimie est comparable à celle des eaux diluées des zones à fortes précipitations avec toutefois une concentration notablement faible en  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , en comparaison avec les lacs tropicaux et tempérés (voir le tableau ci-dessous d'après Kling, 1987).

compositions ioniques exprimées en % par rapport au total anionique et cationique :  
LACS (37 bassins) PRÉCIPITATIONS (10 échantillons)

	Moyenne	Mini	Maxi	Coefficient de variation	Moyenne	Mini	Maxi	Coefficient de variation
$\text{HCO}_3$	93,5	52,1	99,3	11,1	50,8	26,4	96,8	45,4
Cl	4,6	0,7	34,2	157,1	27,5	1,1	50,0	51,4
$\text{SO}_4$	1,9	0,0	17,0	216,3	21,7	2,2	54,7	77,8
Ca	35,4	21,1	52,2	20,3	68,0	49,0	75,0	11,3
Mg	31,7	7,2	51,5	39,6	3,8	0,4	8,6	64,7
Na	24,0	7,6	41,7	42,1	17,6	10,6	22,2	19,8
K	8,9	3,7	31,0	71,8	107	4,3	28,4	66,2

La majorité des ions sont apportés par l'altération des roches du bassin versant (de 52 à 99% d'ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$ ) ou par les apports atmosphériques. Les teneurs en Al et Si sont étroitement corrélées avec la conductivité. Les bicarbonates comptent pour 82-93% des anions,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  représentent respectivement 27 et 17% des anions. Dans les précipitations les cations sont dominés par  $\text{Ca}^{2+}$  (72%) et  $\text{Na}^+$  (17%) alors que dans les lacs les teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont équivalentes.

Les valeurs des rapports  $\text{SO}_4/\text{Cl}$  sont très faibles comparativement à celles des précipitations et ce phénomène n'est pas expliqué. En l'absence de preuve d'une "dilution" de l'apport météorique par l'arrivée d'eaux métamorphiques très déficitaires ou de phénomènes de réduction des sulfates dans l'hypolimnion anoxique qui conduirait à un dégazage de  $\text{H}_2\text{S}$  dans l'atmosphère à la faveur de turnover ou bien encore par perte dans les sédiments sous forme de sulfures métalliques, il est impossible de dire où sont piégés ces sulfures.

Bien qu'une légère stratification vis à vis des ions inorganiques soit notée, ces lacs sont stables chimiquement.

D'un point de vue thermodynamique la majorité des eaux sont proches de l'équilibre avec la kaolinite. Les solutions des lacs plus concentrés s'approchent de l'équilibre avec les smectites sodiques et les feldspaths potassiques, mais il n'y a pas de preuve de néoformation de minéraux sodiques dans la colonne d'eau et/ou dans les sédiments. La décroissance fractionnée des teneurs en  $\text{Na}^+$  dans les lacs est interprétée comme une simple réponse binomiale à l'augmentation de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  apportés par la pluie et les eaux de ruissellement. La lithologie du bassin versant peut avoir dans certains cas un effet notable. Les lacs entourés de terrains granitiques et calcaires (cas du lac Baledjam) contiennent une plus forte proportion relative de  $\text{Ca}^{2+}$  par rapport à  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ , alors que lorsque les roches volcaniques dominent,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$  seront les cations prépondérants.

L'équilibre des carbonates, calculé selon les équations de Garrels et Christ (1965) montre que les lacs Gagouba, Mbalang et Tizon sont supersaturés vis à vis de la calcite. Mais le pH est trop bas pour qu'il y ait saturation au niveau de l'hypolimnion, ce qui fait que toute calcite produite dans l'épilimnion se dissout en atteignant le fond.

Pour la sidérite il y a insaturation, toutefois les estimations sont à considérer avec prudence car le fer colloïdal n'est pas retenu par les filtres de  $1,2 \mu\text{m}$ , cependant dans tous les cas, l'influence de la précipitation minérale sur la composition chimique des eaux de surface est très faible.

## Le zooplancton

Les associations zooplanctoniques ont été déterminées après récolte dans un filet à plancton de  $33 \mu\text{m}$  de maille (Kling, 1987). La faible diversité spécifique est comparable à celle des autres lacs tropicaux et les communautés sont plus simple que celles rencontrées dans les lacs de zone tempérée, ce phénomène n'étant pas expliqué (Lewis, 1979).

Les **Cladocères** reconnus sont des espèces tropicales et subtropicales cosmopolites. Les plus communes sont *Moina micrura*, *Oncocypis sp.* et *Ceriodaphnia cornuta*. La diversité spécifique est très faible, seuls les lacs Gagouba et Tabéré sont colonisés par trois espèces planctoniques. Mis à part *Oncocypis*, toutes les autres espèces rencontrées sont mentionnées pour la première fois au Cameroun si l'on excepte le lac Tchad, et une espèce de Daphnidae, *Daphnia laevis* Birge, a été découverte dans le lac Tabéré.

Les **Rotifères**, des Métazoaires dont la taille varie généralement de 100 à 160  $\mu\text{m}$  et atteignant au plus 1 mm, présentent malgré une faible diversité spécifique, des communautés bien distinctes selon les lacs. Il n'y a pas de relation directe entre la conductivité et le nombre d'espèces rencontrées, le nombre moyen d'espèces étant de 3,7 par lac. Les lacs Mbalang et Gagouba renfermant chacun 9 espèces, sont les plus riches. Les espèces planctoniques le plus représentées sont *Brachionus falcatus*, *Anuræopsis cœlata*, *Keratella tropica* et *Hexarthra mira*. Les lacs Gagouba, Tabéré et Baledjam, géographiquement clos, ont une structure de communauté de Rotifères similaire.

Les **Copépodes** (crustacés à l'allure de petites crevettes) appartiennent aux espèces *Tropodiatomus sp.* largement répandu en Afrique, mais *Tropodiatomus processifer* est le seul Calanoïde reconnu au Cameroun ; six genres et sept espèces de Cyclopoïdes sont également identifiés : *Mesocyclops* très répandu dans toute l'Afrique (van de Velde, 1984) mais plusieurs formes inconnues de *Tropocyclops* et *Thermocyclops* sont dénombrées.

Parmi les six espèces de **Rhizopodes** (Protozoaires) à tests identifiées, avec une importance numérique très faible, trois sont présentes dans les lacs Baledjam (1 espèce) et Tabéré (2 espèces).

Les effets des prédateurs vis à vis de ces groupes ne sont pas connus et il faut noter que, par exemple, les lacs ayant le plus grand nombre de Rotifères planctoniques et de Cladocères sont colonisés par *Chaoborus* (larve d'insecte prédatrice). Apparemment d'autres facteurs que la chimie des eaux et/ou le rôle des prédateurs contrôlent la nature des communautés zooplanctoniques dans ces lacs.

## La sédimentation lacustre

Les taux de sédimentation et l'âge des dépôts sont estimés à partir des profils radiochimiques obtenus pour les 20 centimètres supérieurs de chacune des carottes prélevées (Pourchet *et al.*, 1991). Les données sont obtenues soit par spectrométrie alpha du Pb 210, soit par une mesure simultanée du Pb 210 et du Ra 226 en spectrométrie gamma (tableau I). Le Cs 137 est un radioélément artificiel disséminé essentiellement dans les milieux naturels par les essais thermonucléaires atmosphériques ; le Cameroun étant très éloigné des zones d'expérimentation nucléaires, les retombées en Cs 137 y sont uniquement d'origine stratosphérique, donc homogènes d'un lac à l'autre aux facteurs de diffusion et de collecte par les bassins versants près.

Seul le lac Mbalang a une sédimentation de surface non perturbée. Pour les lacs Gagouba et Tizon, la concentration en Cs 137 n'est pas constante et pour celle en Pb 210 il n'y a pas décroissance ; l'hypothèse d'une diffusion du Pb 210 par oxydo-réduction de l'interface eau-sédiment est envisageable, car s'il y avait phénomène de mixage, il y aurait homogénéisation des teneurs pour ces deux éléments. Pour le lac Tabéré, la perturbation enregistrée est due soit à un phénomène d'oxydo-réduction, soit à des mixages biologiques et/ou mécaniques.

Tableau I : résultats de l'analyse radiochimique d'après Pourchet *et al.* (1991)

	$^{210}\text{Pb}$ non supporté kBq /m <sup>2</sup>	$^{137}\text{Cs}$ kBq /m <sup>2</sup>	$^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$ Bq/kg
GAGOUBA	5,6 ( $\alpha$ ) - 8,6 ( $\gamma$ ); moyenne : 7,1	0,17	50	71
MBALANG	0,4 ( $\gamma$ )	0,001		60
TABÉRÉ	$\geq 13,5$ ( $\gamma$ )	0,21	> 64	75
TIZON	9,6 ( $\alpha$ ) - 12,3 ( $\gamma$ ) ; moyenne : 11,0	0,117	103	69

### III LE LAC BALEDJAM : 07° 08' N - 13° 52' E ; alt. : 1249 m.

#### CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

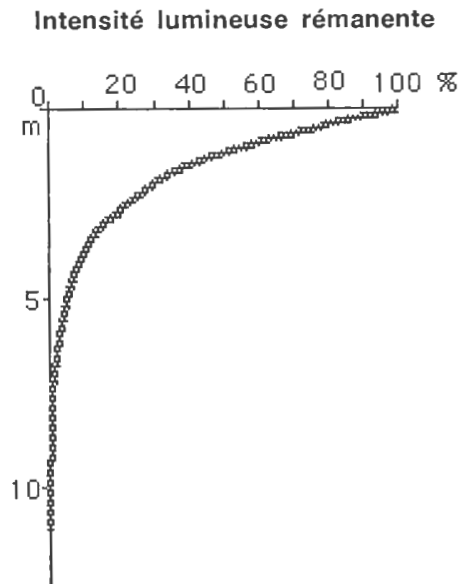
Le bassin versant est occupé à 60% par des graminées, à 40% par des arbres et par moins de 1% par l'agriculture. Les affleurements rocheux représentent moins de 1%.

<b>Hauteur maxi - mini circumlacustre (m) :</b>	1260 - 1240	<b>Superficie ha :</b>	20
<b>Longueur de côte (km) :</b>	1,57	<b>Profondeur maxi - moyenne (m) :</b>	13 -
<b>Profondeur relative % :</b>	2,60		

#### L'HYDROLOGIE

L'échantillon analysé est une eau prélevée le 04 Juin 1985 au centre du lac.

	Épilimnion	Hypolimnion
Conductivité	112	136
pH	7,56	7,00
Température moyenne (°C)	24,05	21,05
Densité moyenne (g/cm <sup>3</sup> )	0,997284	0,997982
Particules (mg/l)	2,3	11,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (µeq/l)	0,4	0,1
SO <sub>4</sub> /Cl	0,035	0,06
Secchi (m) :	2,96	
thermocline établie à	8m	



Les concentrations ioniques sont exprimées en mg.l<sup>-1</sup>, les autres données en µgrammes par litre. La première ligne se rapporte à l'eau de surface, la deuxième à l'hypolimnion.

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	F <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> S	Al	Fe	N	P	Chlorophylle a
67,1	0,42	0,02	7,61	6,23	1,80	2,45	15,69	0,04	0,05	624	26	169	6,5	2,6
81,7	0,69	0,006	8,95	6,70	2,00	2,66	16,91	0,06	0,05	669	3,0	1854	17,8	

#### LE ZOOPLANCTON

Les **Rotifères** sont représentées par 7 espèces dont 6 planctoniques. Une espèce planctonique de **Cladocères**, est dénombrée et un seul **Copépode** a été reconnu :

abondance relative (%) des Rotifères planctoniques : *Anuraeopsis coelata* : 80 ; *Brachionus angularis* : 1 ; *B. falcatus* : 5 ; *Polyarthra vulgaris* : 1 ; *Pompholyx sulcata* : 7 ; *Trichocerca similis* : 6 ; *T. sp.* : < 1.

abondance relative (%) des Cladocères : *Ceriodaphnia nr quadrangula* : < 1.

autres : **poissons** : 0 selon une estimation visuelle du littoral ; **Cyclopoïdes** : *Tropocyclops sp.* : < 1% ; *Chaoborus* : < 1% ; **Rhizopodes** : *Diffflugia corona* : < 1% , **Ciliés** (Protistes) : < 1%.

## IV LE LAC GAGOUBA (Baledjam sur la carte IGN) : 07° 07' N - 13° 42' E ; alt. : 1170 m.

### CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

Le bassin versant est occupé à 60% par des graminées, à 35% par des arbres et par moins de 1% par l'agriculture (les pâturages riverains sont postérieurs à 1960), les affleurements rocheux représentant les 5% restants.

<b>Hauteur maxi - mini circumlacustre (m) :</b>	1252 - 1170	<b>Superficie ha :</b>	14
<b>Longueur de côte (km) :</b>	1,3	<b>Profondeur maxi - moyenne (m) :</b>	104 -
<b>Profondeur relative % :</b>	25,12		

### L'HYDROLOGIE

L'échantillon analysé est une eau prélevée le 03 Juin 1985 au centre du lac.

	Épilimnion	Hypolimnion	Intensité lumineuse rémanente
Conductivité	168	185	
pH	7,32	7,15	
Température moyenne (°C)	24,60	21,15	
Densité moyenne (g/cm <sup>3</sup> )	0,997147	0,998173	
Particules (mg/l)	1,7	1,9	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (µeq/l)	0,2	2,9	
SO <sub>4</sub> /Cl	0,017	0,175	
Secchi (m) :	5,55		
thermocline établie à	9,5m		

Les concentrations ioniques sont exprimées en mg.l<sup>-1</sup>, les autres données en µgrammes par litre. La première ligne se rapporte à l'eau de surface, la deuxième à l'hypolimnion.

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	F <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> S	Al	Fe	N	P	Chlorophylle <sup>a</sup>
105,6	0,43	0,01	12,52	8,94	5,16	2,75	24,70	0,06	0,05	786	23	90,7	23,5	0,5
109,8	0,59	0,14	15,91	9,38	4,96	2,76	24,98	0,08	0,05	848	22	964	12,0	

### LE ZOOPLANCTON

Les **Rotifères** sont représentées par 9 espèces planctoniques. Trois espèce de **Cladocères** planctoniques et trois espèces de **Copépodes** sont dénombrées :

abondance relative (%) des Rotifères planctoniques : *Anuraeopsis caelata* : 28 ; *Brachionus falcatus* : 16 ; *Filinia longiseta* : 4 ; *F. opoliensis* : 1 ; *Hexarthra mira* : 4 ; *Horaeella brehmi* : 1 ; *Keratella tecta* : 1 ; *K. tropica* : 30 ; *Pompholyx sulcata* : 16 ; .

abondance relative (%) des Cladocères : *Ceriodaphnia comuta* : < 1 ; *Diaphanosoma excisum* : < 1 ; *Moina micrura* : < 1.

autres : **poissons** : < 1% selon une estimation visuelle du littoral ; **Cyclopoïdes** : *Mesocyclops ogunnus* : <1%, *Thermocyclops sp.* : < 1% ; **Calanoïdes** : *Tropodiaptomus processifer* : < 1%.



### LA SÉDIMENTATION LACUSTRE

Deux carottes, longues respectivement de 74 et 100 cm ont été prélevées en 1989, par 104 m de profondeur (Pourchet *et al.* 1991 ; Ngos, 1991).

La lithologie est homogène, sans laminations, seuls trois niveaux millimétriques plus clairs sont observés à 19, 20 et 37cm dans la carotte la plus courte. Les dépôts sont fins (Fig. 3) : en moyenne il y a 40% de particules inférieures à 50 µm, pour 35% et 25% respectivement de fraction comprise entre 50-160 µm et 160-500 µm. Le taux de sédimentation est de 23,9 mg.cm<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>, ce qui correspond à un âge de 943 ans A. D. (*Anno Domini*, c'est à dire de notre ère) à la base du plus long prélèvement. Les 20 centimètres supérieurs du sédiment sont légèrement perturbés, il n'y a pas décroissance des teneurs en <sup>210</sup>Pb.

L'analyse sédimentologique se rapporte à la carotte de 74 cm (Ngos, 1991). L'observation des frottis de sédiment total et l'analyse par diffraction aux R. X. mettent en évidence la présence de kaolinite, de gibbsite, de vivianite (sous forme de grandes gerbes) et de sidérite (petits cristaux quadrangulaires) associés à du quartz, des feldspaths et des traces de goéthite ; de nombreux tissus végétaux et phytolites sont également reconnus.

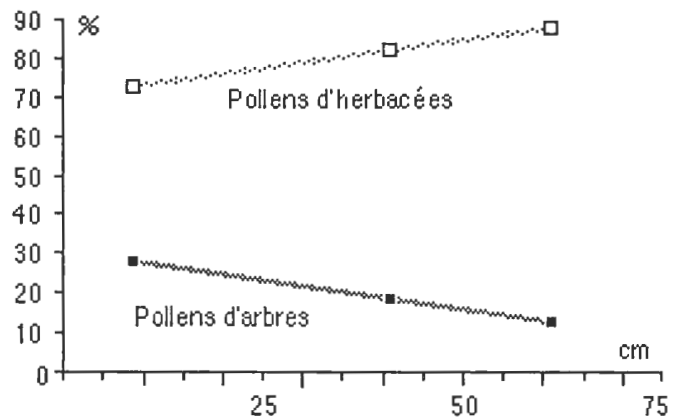
Le quartz représente de 11 à 21% du sédiment total. Aux forts pourcentages rencontrés entre 0 et 10 cm (≈ 18%), succèdent des valeurs faibles jusqu'à 40 cm (≈ 14% en moyenne), puis il y a augmentation des teneurs qui fluctuent autour d'une moyenne de 18% jusqu'à la base de la carotte. Des apports de quartz repérés par l'augmentation du nombre de grains de taille supérieure à 160 µm sont notés à 9, 12, 23, 43, 53 et 73 cm. La kaolinite représente en moyenne 4% du sédiment total, les variations de proportions étant parallèles à celles du quartz, les valeurs extrêmes étant de 1,5% et 9% (quantification par spectrométrie infrarouge). Le lac reçoit en moyenne 101,1 tonnes de sédiment par an.

Les teneurs moyennes en carbone et azote sont respectivement de 11 et 0,87%. Après une forte décroissance du sommet de la carotte jusqu'à 10 cm (de 14,5 à 8,5%), les teneurs en C augmentent régulièrement jusqu'à 30 cm (15%), puis diminuent jusqu'à 60 cm (minimum absolu de ≈ 6,8%) et ensuite fluctuent faiblement autour d'une moyenne de 10,5% jusqu'à la base de la carotte. L'amplitude des variations en N est très faible, de 0,4 à 1,4%.

La microflore varie d'un niveau à l'autre, les frustules étant intacts ou cassés. En plus de nombreux kystes de *Chrysophycées*, algues d'eau douce typiques de lacs d'altitude, les principales espèces reconnues sont : *Fragilaria elliptica*, *Gomphonama angustatum*, *Aulacoseira granulata valida*, quelques *Microstauron*, *Eunotia robusta*, *Anomoeneis brachysira*, et *Achnanthes minutissima*.

Les niveaux 9 cm, 41 cm et 61 cm ont été analysés en palynologie (Reynaud, 1991 et graphe ci-dessous).

Cette maille d'échantillonnage très large ne permet pas une interprétation fine des résultats obtenus mais la tendance générale se traduit par une augmentation des proportions de pollens de plantes arborées de la base de la carotte jusqu'au sommet, au détriment des herbacées.





## V LE LAC MBALANG : 07° 19' N - 13° 44' E ; alt. : 1115 m.

### CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

Le bassin versant est occupé à 85% par des graminées, à 15% par des arbres et par moins de 1% par l'agriculture. Les affleurements rocheux représentent moins de 1%. La bordure du lac est colonisée par une couronne très dense de plantes aquatiques.

<b>Hauteur maxi - mini circumlacustre (m) :</b>	1170 - 1120	<b>Superficie ha :</b>	40
<b>Longueur de côte (km) :</b>	2,95	<b>Profondeur maxi - moyenne (m) :</b>	52 - 30
<b>Profondeur relative % :</b>	5,5	<b>Développement volumétrique :</b>	1,73

### L'HYDROLOGIE

L'échantillon analysé est une eau prélevée le 30 Mai 1985 au centre du lac.

	Épilimnion	Hypolimnion	Intensité lumineuse rémanente
Conductivité	167	194	
pH	7,85	6,92	
Température moyenne (°C)	24,20	18,95	
Densité moyenne (g/cm <sup>3</sup> )	0,997247	0,998415	
Particules (mg/l)	2,1	3,1	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (μep/l)	0,1	0,2	
SO <sub>4</sub> /Cl	0,006	0,013	
Secchi (m) : 3,45			
thermocline établie à 9,5m			

Les concentrations ioniques sont exprimées en mg.l<sup>-1</sup>, les autres données en μgrammes par litre. La première ligne se rapporte à l'eau de surface, la deuxième à l'hypolimnion.

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	F <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> S	Al	Fe	N	P	Chlorophylle a
97,0	0,61	0,005	10,68	8,72	5,40	4,02	13,40	0,13	0,10	742	3,0	112	6,6	0,5
103,7	0,55	0,01	13,18	8,55	5,24	4,96	20,25	0,07	0,10	800	3,0	867	103	

### LE ZOOPLANCTON

Les **Rotifères** sont représentées par 10 espèces dont 9 planctoniques. Une espèce de **Cladocères**, planctonique, est dénombrée et un seul **Copépode** a été reconnu :

abondance relative (%) des Rotifères planctoniques : *Anuraeopsis coelata* : 4 ; *A. fissa* : 5 ; *Brachionus angularis* : 1 ; *Brachionus falcatus* : 14 ; *Filinia opoliensis* : 2 ; *Gastropus stylifer* : 2 ; *Hexarthra mira* : < 1 ; *Keratella tecta* : 58 ; *K. tropica* : 1 ; *Pompholyx sulcata* : 11 ; *Trichocerca sp.* : < 1.

abondance relative (%) des Cladocères : *Moina micrura* : < 1.

autres : **poissons** : 0 selon une estimation visuelle du littoral ; *Oligotrich* : < 1% ; **Cyclopoïdes** : *Thermocyclops sp.* : < 1%.

### LA SÉDIMENTATION LACUSTRE

Une carotte longue de 80 cm a été prélevée en 1989 par 52 mètres de fond (Pourchet *et al.*, 1991). La répartition des fractions granulométriques est régulière avec une légère augmentation de la proportion en particules grossières vers la base de la carotte (Fig. 3). La fraction inférieure à 50 µm représente en moyenne 45% du sédiment et les fractions comprises entre 50-160 µm et 160-500 µm forment respectivement 25 et 30% du total. Les 20 cm supérieurs du sédiment ne sont pas perturbés, les profils de la radioactivité sont réguliers.

### VI LE LAC TABÉRÉ : 07° 08' N - 13° 42' E ; alt. : 1155 m.

#### CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

Le bassin versant est occupé à parts égales par des graminées et des arbres. L'agriculture et les affleurements rocheux représentent moins de 1%.

<b>Hauteur maxi - mini circumlacustre (m) :</b>	1211 - 1160	<b>Superficie ha :</b>	8
<b>Longueur de côte (km) :</b>	0,9	<b>Profondeur maxi - moyenne (m) :</b>	62 -
<b>Profondeur relative % :</b>	21,6		

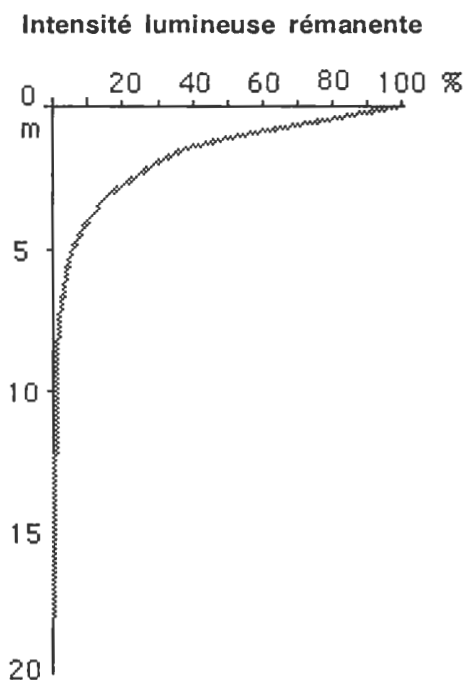
#### L'HYDROLOGIE

L'échantillon analysé est une eau prélevée le 02 Juin 1985 au centre du lac.

	Épilimnion	Hypolimnion
Conductivité	142	206
pH	7,32	6,63
Température moyenne (°C)	24,40	18,60
Densité moyenne (g/cm <sup>3</sup> )	0,997197	0,998483
Particules (mg/l)	1,3	16,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (µeq/l)	0,8	0,8
SO <sub>4</sub> /Cl	0,045	0,051

Secchi (m) : 3,45

thermocline établie à 7,5m



Les concentrations ioniques sont exprimées en mg.l<sup>-1</sup>, les autres données en µgrammes par litre. La première ligne se rapporte à l'eau de surface, la deuxième à l'hypolimnion.

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	F <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> S	Al	Fe	N	P	Chlorophylle a
87,6	0,66	0,04	9,94	8,17	5,0	2,65	27,67	0,07	0,05	705	46	191	9,0	0,5
112	0,58	0,04	11,60	8,81	5,60	2,80	26,84	0,06	0,05	764	237	4042	11,7	

#### LE ZOOPLANCTON

Les Rotifères sont représentées par 4 espèces planctoniques ; trois espèces planctoniques de Cladocères et deux

Copépodes sont dénombrés :

abondance relative (%) des Rotifères planctoniques : *Brachionus falcatus* : 57 ; *Keratella tecta* : < 1 ; *K. tropica* : 14 ; *Pompholyx sulcata* : 29.

abondance relative (%) des Cladocères : *Ceriodaphnia nr quadrangula* : < 1 ; *Daphnia laevis* Birge : < 1 ; *Oncocypis sp.* : < 1.

autres : poissons : 0 selon l'estimation visuelle du littoral ; Cyclopoïdes : *Microcyclops varicans* : < 1% ; *Chaoborus* : < 1% ; Calanoïdes : *Tropodiatomus processifer* : < 1 % ; Rhizopodes : *Centropyxis sp.*, *Diffugia sp.* : < 1 %.

### LA SÉDIMENTATION LACUSTRE

Il existe une carotte longue de 81 cm, prélevée en 1989 par 62 mètres de fond (Pourchet *et al.*, 1991). Les variations granulométriques sont importantes comparativement aux carottes des autres lacs ; la proportion de particules grossières (160-500 µm) est dominante sauf pour l'intervalle 60-70 cm (Fig. 3). Les 20 cm supérieurs sont légèrement perturbés, il n'y a pas de croissance des teneurs en <sup>210</sup>Pb.

### VII LE LAC TIZON : 07° 15' N - 13° 35' E ; alt. : 1175 m.

#### CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

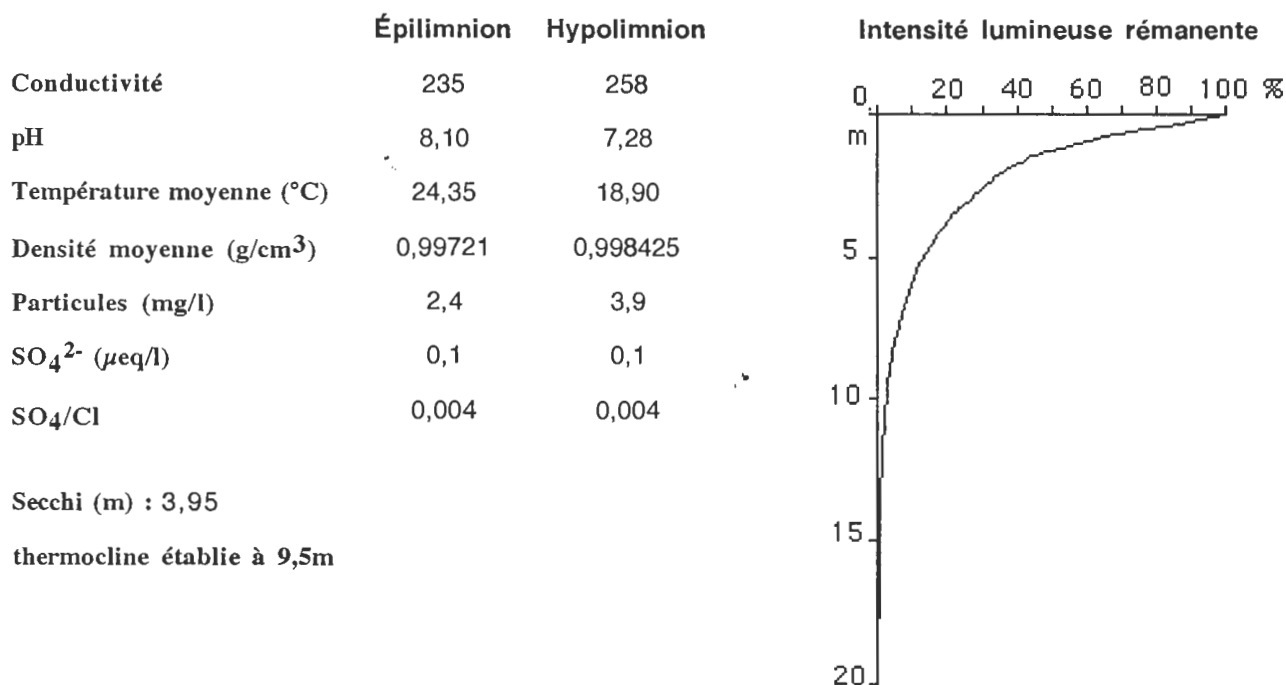
Le bassin versant est occupé à 40% par des graminées, à 60% par des arbres et par moins de 1% par l'agriculture. Les affleurements rocheux représentent moins de 1%.

<b>Hauteur maxi - mini circumlacustre (m) :</b>	1261 - 1180	<b>Superficie ha :</b>	10
<b>Longueur de côte (km) :</b>	0,75	<b>Profondeur maxi - moyenne :</b>	48 - 26
<b>Profondeur relative % :</b>	20,1	<b>Développement volumétrique :</b>	1,64

Situé à 7 km au sud de Ngaoundéré, le lac Tizon occupe le maar de Mardja, structure la plus caractéristique des maars de l'Adamaoua oriental (Temdjim, 1986). Le cratère, d'environ 400 mètres de diamètre, est découpé à l'emporte-pièce dans le substratum granitique. Un croissant pyroclastique dont l'épaisseur atteint 30 m à l'est, le borde sur plus de la moitié de la circonférence : il est formé par l'alternance de dépôts clairs (éjecta d'éléments arrachés aux parois de la chambre d'explosion et du conduit éruptif) et de niveaux plus sombres (éléments basaltiques trempés - lapillis, bombes - caractéristiques de l'activité phréatomagmatique génératrice du maar).

#### L'HYDROLOGIE

L'échantillon analysé est une eau prélevée le 28 Mai 1985 au centre du lac.



Les concentrations ioniques sont exprimées en  $\text{mg.l}^{-1}$ , les autres données en  $\mu\text{grammes}$  par litre. La première ligne se rapporte à l'eau de surface, la deuxième à l'hypolimnion.

$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{SiO}_2$	$\text{F}^-$	$\text{H}_2\text{S}$	Al	Fe	N	P	Chlorophylle <i>a</i>
149,5	0,90	0,005	20,74	10,55	11,4	7,42	27,39	0,24	0,10	928	27	108	48,2	0,5
149,5	0,81	0,005	22,39	9,46	11,4	7,06	30,84	0,37	0,10	972	16	836	109	

## LE ZOOPLANCTON

Les **Rotifères** sont représentées par 5 espèces planctoniques. Une espèce planctonique de **Cladocères** est dénombrée et un seul **Copépode** a été reconnu :

abondance relative (%) des Rotifères planctoniques : *Anuraeopsis caelata* : 76 ; *A. navicula* : 4 ; *Brachionus angularis* : < 1 ; *Lecane bulla* : < 1 ; *Pompholyx sulcata* : 21.

abondance relative (%) des Cladocères : *Moina micrura* : < 1.

autres : poissons : < 1% selon l'estimation visuelle du littoral ; Cyclopoïdes : *Thermocyclops sp.* : < 1% ; *Chaoborus* : < 1%.

## LA SÉDIMENTATION LACUSTRE

Une carotte longue de 52 cm a été prélevée en 1989 par 48 mètres de fond (Pourchet *et al.*, 1991). La sédimentation est caractérisée par la finesse des dépôts : en moyenne 95% de particules inférieures à  $50 \mu\text{m}$ , les 5% restants étant représentés uniquement par la fraction 50-160  $\mu\text{m}$  (Fig. 3). Les 20 cm supérieurs sont faiblement perturbés, il n'y a pas décroissance des teneurs en  $^{210}\text{Pb}$ .

RÉFÉRENCES

GARRELS R. M. & CHRIST C. L., 1965.- Solutions, minerals and equilibria. Freeman Cooper, San Francisco, pp.450.

GEZE B., 1943.- Géographie physique et géologie du Cameroun occidental. Mém. Muséum d'Hist. nat., Paris, Série 17, pp.272.

GUIRAUDIE C., 1955.- Carte géologique de reconnaissance du Cameroun au 1/500 000, feuille Ngaoundéré-ouest et notice explicative. Dir. Min. Géol. Cameroun, pp.23

HUTCHINSON G. E., 1957.- A treatise on limnology, V. 1-Geography, Physics and Chemistry. Wiley and Sons (ed.), New-York, pp.1115.

KLING G. W., 1987.- Comparative limnology of lakes in Cameroon, West Africa. Ph. D., Dpt. of Zoology, Duke University, pp.482.

LASSERRE M., 1961.- Étude géologique de la partie orientale de l'Adamaoua (Cameroun Central). Thèse d'Univ., Clermont-Ferrant, pp.125.

LE MARECHAL A., 1974.- Géologie et géochimie des sources thermominérales du Cameroun. Thèse de Doctorat d'État, Université Paris VI, pp.165 + annexes.

LETOUZEY R., 1968.- Étude phytogéographique du Cameroun. Lechevalier, Paris, pp.508.

LEWIS W. M. Jr., 1973.- The thermal regime of lake Lanao (Phillipines) and its theoretical implications for tropical lakes. Limnol. Oceanogr., 18 : 200-217.

-1979.- Zooplankton community analysis, Springer Verlag, New-York.

NGOS S., 1991.- Études des paléoenvironnements lacustres du Cameroun au Quaternaire récent. Rapport dact., Dpt. des Sciences de la Terre, Univ. de Yaoundé, pp.19.

MAHÉ G., 1991.- La variabilité des apports fluviaux au golfe de Guinée utilisée comme indice climatique. p. 147-161 in "Pêcheries Ouest-Africaines. Variabilité, Instabilité et Changement", P. Cury et C. Roy (éds.), ORSTOM.

MAHÉ G. & OLIVRY J.-C., 1990.- Le fleuve Ogooué au Gabon. Reconstitution des débits manquants et mise en évidence de variations climatiques à l'équateur. Hydrol. continentale, 5, 2 : 105-124.

OLIVRY J.-C., 1986.- Fleuves et rivières du Cameroun. Monographies Hydrologiques ORSTOM N° 9, MESRES-ORSTOM, pp.733 + 2 cartes hors texte.

POURCHET M., PINGLOT J.-F., GIRESSÉ P., NGOS S., MALEY J., NAAH E. & PUGNO J.-C., 1991.- Programme sur les lacs à risques d'éruption gazeuse au Cameroun et en France. Évaluation des risques et des tentatives de prévision des éruptions gazeuses (résultats scientifiques). Rapport dact., CNRS, Univ. J. FOURIER, Grenoble, pp.19.

REYNAUD I., 1991.- Introduction à l'étude des relations homme-milieu naturel dans les forêts du Cameroun. Étude palynologique des sédiments du lac Ossa au cours des derniers siècles. Mémoire de DEA "Archéologie et Environnement", Acad. Montpellier, pp.66 + annexes.

SANTIAGO A., 1992.- Estimation des bilans hydriques au Cameroun et essai de cartographie. Veille Climatique Satellitaire, ORSTOM - Météo France, 42 : 68-92.

SIRCOULON J., 1992.- Évolution des climats et des ressources en eau. Afrique Contemporaine, N° 161 spécial, "L'Environnement en Afrique", La Documentation Française, p 57-76.

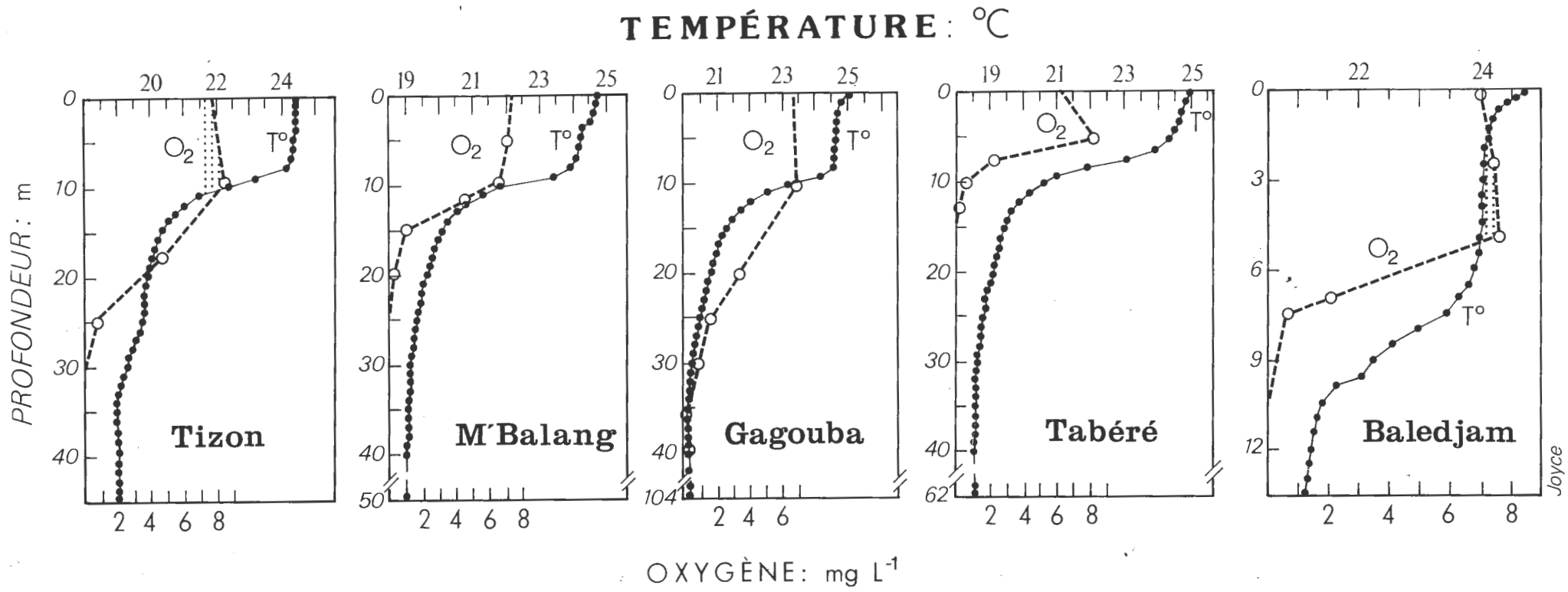
SUCHEL J.-F., 1988.- Les climats du Cameroun. Thèse de Doctorat d'État, Univ. de Bourgogne, 1988, 4 tomes, pp.1177.

TALLING J. F., 1971.- The underwater light climate as a controlling factor in the production ecology of freshwater phytoplankton. Mitt. Int. Ver. Limnol., 19 : 214-243.

TEMDJIM R., 1986.- Le volcanisme de la région de Ngaoundéré (Adamaoua-Cameroun). Étude volcanologique et pétrologique. Thèse de Spécialité, Univ. Clermont-Ferrand II, 185 pp. + annexes, 2 cartes hors texte.

van de VELDE I., 1984.- Revision of the African species of the genus *Mesocyclops* Sars, 1914 (Copepoda : Cyclopidae). Hydrobiologia, 109 : 3-66.

VINCENT P. M., 1968.- Attribution au Crétacé de conglomérats métamorphiques de l'Adamaoua (Cameroun). Ann. Fac. Sci. Yaoundé, 1 : 69-76.

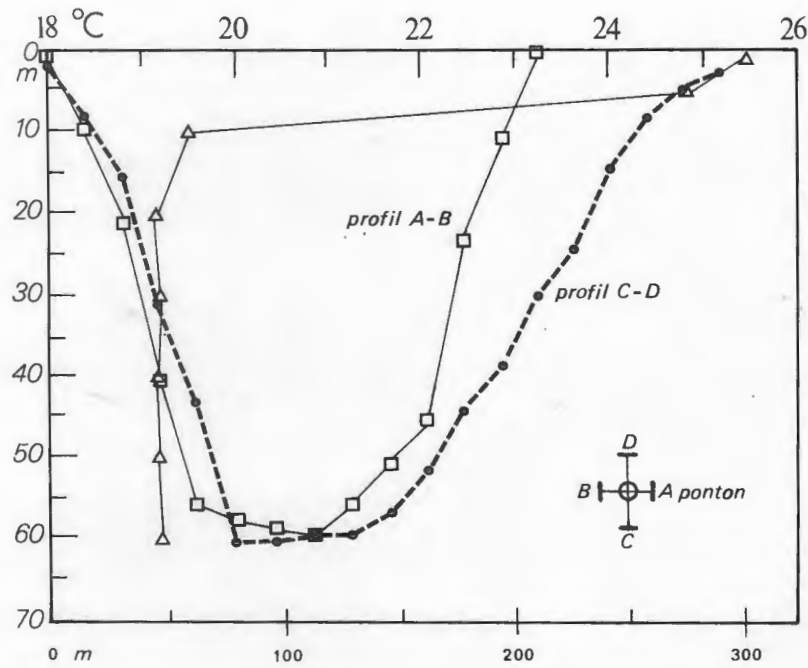
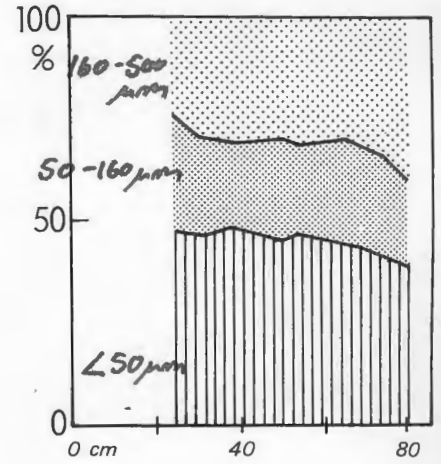
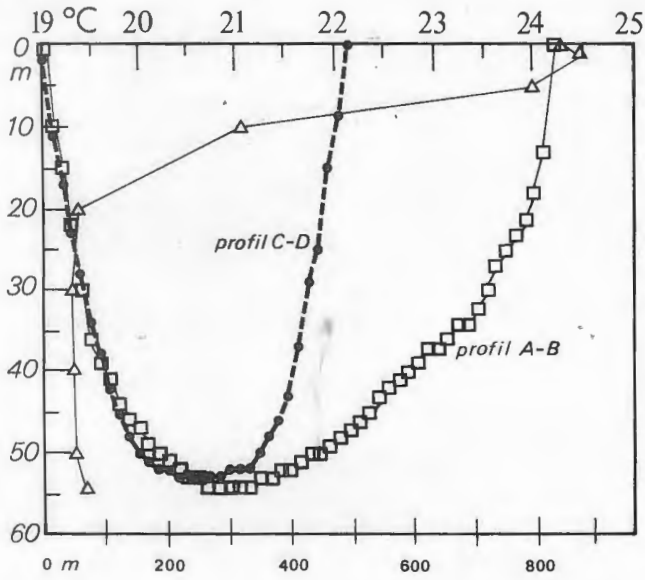


Joyce

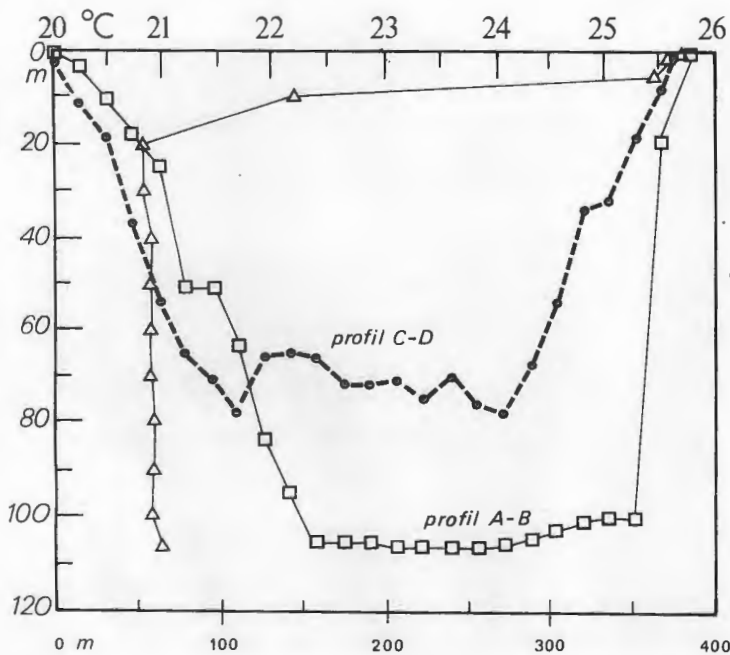
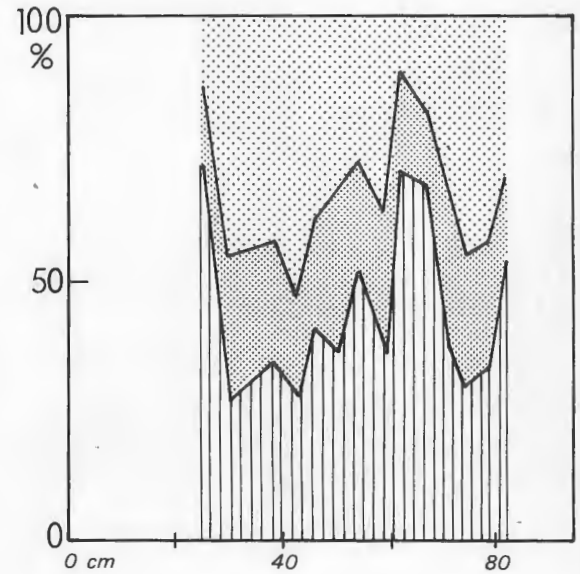
# BATHYMÉTRIE - TEMPÉRATURE

# SÉDIMENTOLOGIE

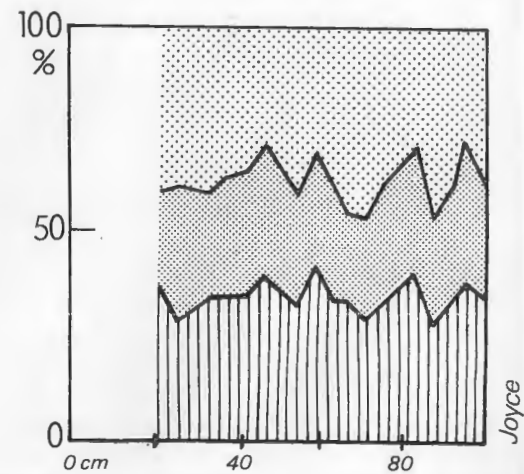
## M'BALANG



## TABÉRÉ



## GAGOUBA





# TIZON

