

## 18. — LE LAC TANGANIKA.

Situé à la frontière orientale du Congo belge, le lac Tanganika s'allonge obliquement du Nord au Sud entre le 3°20' et le 8°45' de latitude Sud; il est compris entre les 29° et 31° de longitude Est. La partie du lac située au Nord d'Albertville est pratiquement axée Nord-Sud; celle du Sud, en direction NNW à SSE. La longueur totale du lac atteint approximativement six cent cinquante kilomètres. Sa largeur n'est pas uniforme, plus étroite au Nord et au Sud, il y atteint seulement trente à quarante kilomètres de large; dans la partie médiane on mesure jusqu'à quatre-vingts kilomètres. L'estimation de la surface du plan d'eau est de trente quatre mille kilomètres carrés; quant à la surface du bassin du lac, elle serait voisine de deux cent cinquante mille kilomètres carrés.

Le bassin Nord a un fond plat et régulier et situé à environ mille deux cent cinquante mètres de profondeur; son point le plus profond, mille trois cent dix mètres, la fosse du BARON DHANIS, est voisin de la côte belge dans la région des escarpements de Yungu (carte hors texte).

Le Sud du lac est formé par le bassin de Zongwe; c'est le bassin le plus profond du lac. Sur une grande surface sa profondeur dépasse mille quatre cents mètres et c'est dans la partie Ouest qu'est située la fosse d'ALEXANDRE DELCOMMUNE. Elle atteint mille quatre cent septante mètres de profondeur et c'est d'ailleurs sur le bord de cette fosse que L. STAPPERS obtint en 1913 une sonde de mille quatre cent trente-cinq mètres (A. CAPART, 1952).

Quant à l'histoire du lac, c'est encore M. ROBERT (1943) qui décrit sommairement comment s'est formée cette énorme cuvette lacustre.

« L'histoire du lac Tanganika paraît être très compliquée et est loin d'être suffisamment connue. On peut cependant, dès à présent, supposer que les phénomènes y relatifs se sont succédé de la manière suivante : Dans l'ancienne bande en dépression, qui était l'amorce du graben actuel, s'étendait un lac qui avait un écoulement vers le Nord et qui alimentait la vallée du Kivu, ainsi que les lacs Edouard et Albert et, enfin, le Nil. Le barrage formé par les venues éruptives, au Sud de la zone où est actuellement localisé le lac Kivu, ainsi que les effondrements relativement récents qui se sont produits localement dans la zone du Tanganika, ont modifié cet ancien état de choses et fait du Tanganika un lac sans écoulement. Plus tard, à l'époque récente où s'est formé le barrage des volcans Mufumbiro au Nord de la région du Kivu, un lac s'est délimité dans cette zone et s'est déversé ensuite, vers le Sud, par la Ruzizi, dans le Tanganika. Ce dernier s'est alors écoulé vers le bassin du Congo par la rivière Lukuga. Le déversement des eaux du Tanganika, par le couloir de la Lukuga, n'a pas tardé à provoquer un abaissement de son niveau. Les affluents du lac ont pu, dès lors, opérer des captures de tronçons de rivières appartenant jusqu'ici au bassin du lac Victoria. C'est ainsi qu'une bonne partie du bassin méridional du Victoria est actuellement drainée vers le Tanganika par la Malagarasi. Par contre, une partie du bassin de la Kagera qui, autrefois, se déversait dans le fossé du graben

africain, comme c'est le cas pour le Nyawarungo, actuellement la véritable source du Nil, coule vers le lac Victoria. A l'heure présente, le bassin versant du Tanganika a une superficie qui est approximativement égale à huit fois celle de la Belgique. »

L. STAPPERS est le premier Belge qui, en 1912, entreprit une exploration hydrobiologique sur le lac Tanganika. Outre ses sondages d'une approximation remarquable, il a analysé des échantillons d'eau du lac et a essayé d'interpréter les résultats (Table 61).

TABLE 61. — Caractéristiques de l'eau du lac Tanganika  
(d'après L. STAPPERS).  
Résultats en mg/litre.

Température °C	1	2	3	4	5	6
	26	26	26,81	25,73	25,8	26,4
Résidu sec g/l ... ..	0,438	0,450	0,469	0,472	0,472	0,462
CO <sub>3</sub> mg/l ... ..	198	195	150	180	180	180
SO <sub>4</sub> ... ..	15	21,8	47	27	36,9	41
Cl .. ...	34	35,5	38	36,9	38,3	36,9
Ca .. ...	18	15,6	17,7	15,6	19	19,8
Mg . ...	39	38,6	38,6	41	38	42
Na . ...	24	26	28	27	28	27
K .. ...	18	19	17	19	17,2	18
SiO <sub>2</sub> ... ..	7,5	2,9	1,9	1,9	traces	1,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .. ...	8,6	1,0	11,9	traces	2,9	3,9

« L'eau du Tanganika, dit-il, est potable. Elle ne renferme que 0,357 g de sels dissous par litre, alors que la limite tolérée est de 0,500 g par litre. La quantité de sels de chaux est minime : en moyenne 50 mg par litre. C'est donc une eau remarquablement douce; elle ne contient, en effet, qu'une moyenne de 3,6 % de Ca parmi ses substances dissoutes, alors que la grande majorité des lacs possèdent de 20 à 35 % de Ca. »

Et L. STAPPERS termine en ajoutant une note particulièrement importante : « l'eau du Tanganika est presque toujours très claire; sa transparence moyenne est de six mètres; elle ne tient en général pas beaucoup de substances organiques ni de microorganismes en suspension. Cependant, à certaines époques de l'année, par temps très calme, le plancton des couches profondes monte à la surface et constitue parfois une véritable bouillie dans le fond des baies où le vent la rassemble. Le plancton est formé surtout par des algues myxophycées et par quelques crustacés copépodes, presque invisibles à l'œil nu. »

Voilà à peu près les seuls renseignements, avec ceux de R.S.A. BEAUCHAMP (1938), que l'on possédait au moment où la *Mission hydrobiologique belge* entreprit ses recherches sur le Tanganika en 1946-1947.

Un des premiers résultats fut l'établissement d'une carte bathymétrique complète (A. CAPART, 1949).

J. KUFFERATH, chimiste attaché à la Mission, a déjà publié le résumé de ses observations dans le volume d'introduction (1952).

Pour le lac Tanganika, au moins pour ce qui intéresse la physicochimie, nous dit J. KUFFERATH, la première tentative dans ce sens fut faite par le Belge L. STAPPERS en 1912. R. S. A. BEAUCHAMP, en 1938, fit une série de sondages chimiques et physiques qui donnèrent la première idée d'ensemble.

Cependant les observations de R. S. A. BEAUCHAMP, fragmentaires dans le temps et fatalement limitées par les possibilités d'un homme seul, ne pouvaient être considérées que comme un dégrossissage du vaste problème tanganykai.

C'est pourquoi la MISSION HYDROBIOLOGIQUE BELGE posa le principe de sondages physicochimiques systématiquement couplés avec les sondages biologiques.

Trois buts essentiels furent proposés à l'étude physicochimique :

1° Contribuer à l'étude du cycle biochimique annuel du lac;

2° Etablir les caractéristiques chimiques et physiques des principaux biotopes particuliers, que les explorations zoologiques et botaniques permettraient de reconnaître;

3° Participer à l'avancement du problème de l'endémisme du Tanganika et notamment en étudiant ses possibilités biochimiques théoriques et les facteurs inhibants éventuels.

L'immense masse d'eau que constitue le lac Tanganika (environ trente mille kilomètres carrés, c'est-à-dire plus de la moitié du volume de la mer du Nord) peut et doit être subdivisée, pour l'étude, en zones diverses, conformément à ce qui a été dit sur les biotopes lacustres.

Toute la surface du lac (zones littorale, sublittorale et pélagique) est fortement oxygénée (à plus de la moitié de la concentration saturante) jusqu'à une profondeur qui varie, selon les saisons et, aussi, selon les endroits, de quarante à cent mètres.

Les couches profondes du lac constituant la zone bathypélagique et qui, toujours suivant les saisons et les endroits, commencent au-dessous d'une profondeur variant de cent à deux cent vingt-cinq mètres, sont constituées d'une énorme masse d'eau putride, privée complètement d'oxygène.

Cette zone est impropre à la vie d'organismes utilisant l'oxygène gazeux. Seules y prospèrent des bactéries anaérobies qui sont notamment responsables de la production d'hydrogène sulfuré toxique, qui caractérise cette zone. Du point de vue utilitaire, il est, en conséquence, inopérant de pêcher dans ces eaux anaérobies : on n'y récolterait tout au plus que de rares cadavres.

Cette zone bathypélagique représente néanmoins la grosse partie du volume total du lac, puisqu'elle en constitue environ les trois quarts.

Les couches superficielles plus ou moins aérées offrent une importance évidente. C'est dans leurs limites, en effet, que se cantonne la vie animale.

L'épaisseur des couches d'eaux aérées est assez variable au Tanganika. A un endroit donné, la répartition des eaux oxygénées peut différer selon l'époque de l'année.

Ces variations saisonnières dans le taux d'aération dépendent à la fois du mélange des eaux durant la saison froide (« turn-over » limité) et en partie de l'activité biologique.

L'influence des vents intervient cependant également.

Les couches aérobies sont, à certaines époques, beaucoup plus épaisses dans le Sud du lac que dans le Nord. Ceci est dû au fait qu'à ce moment de l'année les vents dominants soufflent puissamment du Nord-Est et provoquent des courants laminaires qui « tassent » les eaux aérées pélagiques dans le bassin méridional.

Outre leur teneur notable en oxygène, ces couches superficielles sont caractérisées par leur appauvrissement en un certain nombre de corps dissous ayant un rôle biologique.

On notera tout particulièrement le fait que l'oxygène dissous dépasse notablement le thermocline principal. Alors que ce dernier se situe, selon les saisons et les endroits, entre vingt-cinq et septante-cinq mètres de profondeur, l'oxygénation atteint en moyenne cent nonante mètres.

Cette particularité, dit encore J. KUFFERATH, apparente le Tanganika aux océans et le distingue nettement des lacs-étangs tempérés où, si souvent, le thermocline équivaut à une limite biologique. Remarquons, en passant, un autre trait de parenté avec les océans : le zooplancton, au Tanganika, migre journellement de près d'une centaine de mètres, traversant donc deux fois par jour le thermocline principal, qui, ici encore, ne constitue donc en aucune manière une barrière biologique, contrairement à ce qui se passe dans tant d'étangs et de lacs peu profonds de nos régions tempérées.

C'est essentiellement à la grande profondeur du Tanganika qu'on doit attribuer ces anomalies apparentes et les ressemblances parfois étonnantes qu'il présente avec les océans.

Certaines conclusions déduites des études physicochimiques du lac de la zone pélagique confirment ou éclairent certaines données biologiques.

Les fonds du lac sont occupés par une couche d'eau privée d'oxygène et impropre à la vie animale. Cette couche constitue environ les trois quarts du volume total du lac et est donc le réservoir immense où aboutit pratiquement toute matière vivante après la mort.

C'est en somme un vaste égout ou « pleuvent » sans arrêt les déchets et les cadavres des organismes des couches superficielles.

Cette « pluie » a pour résultat de constituer au fond du lac de vastes plaines d'une fine vase organique putride de couleur noir verdâtre, qui, à la longue, finira sans doute par remplir peu à peu l'énorme fosse du lac.

Il était à redouter que ce processus, en retirant continuellement du cycle de la vie superficielle des matières nutritives, ne diminuât d'autant la capacité productrice du lac. C'est pourquoi des analyses des eaux profondes ont donc été faites, pour juger de la situation.

Pour ce qui est constituants fondamentaux, voici, par exemple, pour la station n° 161, quelques résultats analytiques relatifs à l'eau de surface et, en regard, ceux de l'eau profonde (Table 62).

TABLE 62. — Caractéristiques de l'eau du lac Tanganika. Station n° 161  
(d'après J. KUFFERATH).  
Résultats en mg/litre.

	Surface	1.300 m
Alcalinité cc HCl N/l ... ..	6,81	6,96
Cl mg/l ... ..	27,00	27,9
SO <sub>4</sub> ... ..	3	3
Mg ... ..	42,6	43,2
Ca ... ..	13,0	17,6
O <sub>2</sub> ... ..	7,28	0,0
Silice .. ..	0,3	12
PO <sub>4</sub> ... ..	0,02	0,0
NH <sub>4</sub> ... ..	0,04	0,6
NO <sub>3</sub> ... ..	0,0	0,25

On voit qu'à part une légère augmentation du calcium, ces eaux ont pratiquement la même composition ionique.

Notons que les chiffres ci-dessus confirment d'une manière très satisfaisante les analyses publiées précédemment par R.S.A. BEAUCHAMP sur les compositions relatives d'un échantillon d'eau de surface et d'un échantillon d'eau de sept cents mètres de profondeur.

La petite variation de la teneur en calcium est, comme nous l'avons signalé précédemment, attribuable à un appauvrissement local dans la zone pélagique superficielle du lac, appauvrissement causé par l'assimilation de cet élément par les organismes vivants des couches aérobies.

Le même phénomène se répète parallèlement pour un certain nombre d'autres éléments nécessaires à la vie.

Les résultats de telles analyses ont montré que le Tanganika est assez remarquablement homogène dans sa composition .

A part la modification de l'équilibre oxygène-acide carbonique et l'appauvrissement en quelques éléments d'importance biologique dû à la présence de la vie dans les deux cents mètres supérieurs du lac, la composition ionique est, en effet, pratiquement la même depuis la surface jusqu'aux plus grands fonds.

On peut conclure de cela que, malgré la grande profondeur du lac (c'est le deuxième au monde après le lac Baïkal), une circulation doit exister qui brasse cette masse d'eau et tend à ramener lentement et progressivement à la surface une importante partie des éléments nutritifs qui, sans cette homogénéisation, serait irrémédiablement perdue pour la vie.

Les vents et aussi, pense J. KUFFERATH, certains phénomènes thermiques (plongée des eaux de pluie et des eaux des rivières) doivent être les facteurs moteurs du brassage total, encore que vraisemblablement assez lent, de cette masse énorme de près de trente mille milliards de mètres cubes d'eau.

Et J. KUFFERATH conclut :

Il est donc exclu pour les eaux du Tanganika de parler d'une stratification chimique comparable à celle constatée, par exemple, dans le lac Kivu.

Dans ce dernier, en effet, le fond du bassin lacustre est rempli de couches superposées d'eaux de plus en plus denses et à salinité d'autant plus forte que la profondeur augmente. Il en résulte une stratification stable que ne troublent ni les saisons ni les vents. Le fond du lac Kivu est donc un véritable lac fossile ou, du moins, en passe de le devenir. Tous les éléments nutritifs qui y tombent de la surface sont irrémédiablement soustraits aux cycles biologiques contemporains.

Tout autre est la situation au Tanganika. Malgré sa profondeur beaucoup plus grande, sans doute, grâce à sa plus faible minéralisation et à cause de ses caractéristiques géographiques, et notamment de ses dimensions, il doit être le siège de lents courants qui mélangent sa masse, s'opposent à toute stratification chimique définitive (à l'époque actuelle du moins).

De cette circulation découle un continuel renouvellement des éléments nutritifs dissous dans l'eau, ce qui explique la richesse quantitative relative de sa faune.

Peut-être en a-t-il été autrement dans le passé géologique, avant la formation et le débordement du lac Kivu, quand le lac Tanganika, ayant son niveau stabilisé à environ cinq cents à six cents mètres plus bas qu'actuellement, constituait un lac de bassin clos et très vraisemblablement aussi un lac du type salé. La chose est plausible, mais nous paraît impossible à prouver pour le moment. Quoi qu'il en soit et quelle qu'ait été sa composition à cette époque lointaine, ce qui est bien établi c'est que, de nos jours au moins, mises à part les anomalies biologiques et thermiques de ses couches superficielles, le lac Tanganika doit être considéré comme homogène à grande échelle.

Signalons, en passant, que nous possédons encore une analyse de l'eau du lac à Mpulungu (Rhodésie du Nord) faite par C. K. RICARDO en 1939 (Table 63).

TABLE 63. — Caractéristiques de l'eau du lac Tanganika à Mpulungu  
(d'après C. K. RICARDO, 1939).

Résultats en mg/litre.

Poids spécifique .. ...	1,00044	Al .. ...	0,2
Na . ...	59,9	Cl .. ...	28,3
K .. ...	33,1	SO <sub>4</sub> ...	4,3
Li .. ...	0,4	NO <sub>3</sub> ...	0,3
Ca .. ...	11,9	NO <sub>2</sub> ...	0,003
Mg . ...	41,6	PO <sub>4</sub> ...	0,1
Fe .. ...	0,1	SiO <sub>2</sub> ...	6,6
		CO <sub>3</sub> ...	190,9

Elle est identique à une de celles publiées en 1939 par R.S.A. BEAUCHAMP et exécutée en 1937 à Londres (Table 64).

En 1939, R.S.A. BEAUCHAMP publia un travail important sur l'hydrologie du lac Tanganika. Après avoir exposé l'historique des recherches effectuées jusqu'alors, l'auteur décrit d'abord la météorologie de la région du lac; cette partie de son travail est résumée à la fin du chapitre II de la présente étude. Il n'est pas possible de discuter ici en détail les résultats obtenus à chacune de ses stations hydrographiques sur le lac; il suffira de résumer les conclusions de R.S.A. BEAUCHAMP. En se basant sur les résultats de mesures faites par lui, l'auteur admet comme évident que le lac Tanganika est à décrire comme extrêmement oligotrophe; ce fait est d'autant plus intéressant qu'il s'oppose à l'idée émise en 1931 par A. THIENEMANN, qu'aucun lac tropical, pour autant qu'il ait été examiné, puisse être considéré comme oligotrophe.

Dans le but de montrer les caractères communs aux types oligotrophe, eutrophe et le lac Tanganika, j'ai dressé la table 65, en adoptant les caractéristiques proposées en 1925 par A. THIENEMANN.

En outre, le lac Tanganika montre une plus grande stabilité thermique que n'importe quel autre lac; durant une période de trois mois seulement le brassage a lieu entre l'épi- et l'hypolimnion et le phénomène de circulation totale n'a probablement jamais lieu.

En ce qui concerne l'apport de sels nutritifs à la surface du lac dans son ensemble, il n'y a pas de circulation directe de l'eau ayant été en contact avec les boues du fond. Les sels nécessaires aux couches superficielles proviennent plus que probablement du brassage avec des eaux provenant de profondeurs excédant rarement trois cents mètres.

TABLE 64. — Caractéristiques de l'eau du lac Tanganika  
(d'après R. S. A. BEAUCHAMP, 1939).  
Résultats en mg/litre.

	Government Analyst Dar-es-Salam 1937	Government Chemist London 1937
Eaux de surface		
Poids spécifique . . . . .	—	1,00044
Na . . . . .	—	59,9
K .. . . .	—	33,1
Li .. . . .	—	0,4
Ca . . . . .	14,0	11,9
Mg . . . . .	41,0	41,6
Fe . . . . .	—	0,1
Al .. . . .	—	0,2
Cl .. . . .	31,0	28,3
SO <sub>4</sub> . . . . .	7,0	4,3
NO <sub>3</sub> . . . . .	traces	0,3
NO <sub>2</sub> . . . . .	traces	0,803
NH <sub>3</sub> . . . . .	0,04	—
NO <sub>3</sub> albuminoïdique .. . . .	0,05	—
PO <sub>4</sub> . . . . .	—	0,1
SiO <sub>2</sub> . . . . .	8,0	6,6
CO <sub>3</sub> . . . . .	200,0	190,9
Sels totaux (par addition) . . . . .	—	377,0
Extrait sec à 180° C . . . . .	386,0	—

Ce n'est qu'au Sud du lac que l'eau qui a été en contact avec les couches profondes est ramenée à la surface, car le lac est peu profond ici et la disparition du thermocline est la plus complète. Pour le restant du lac, à l'exception de régions peu profondes, comme la baie de Burton, on peut dire qu'il n'existe pas de circulation directe entre la surface et le fond.

Un refroidissement de l'épilimnion doit se produire après des pluies violentes, et des coups de vent associés à des orages conduisent à une dépression du thermocline. Généralement des conditions stables se maintiennent durant toute

la saison des pluies et, vers la fin du mois de mai, la surface aquatique se refroidit, ce qui conduit à une réduction considérable du thermocline avec toutes les conséquences décrites par R.S.A. BEAUCHAMP dans son travail. A partir de ce moment la quantité de plancton va aller en diminuant rapidement jusqu'à devenir rare. C'est ce que C. K. RICARDO a expérimenté en janvier 1937, près de Mpulungu, où l'on pouvait cependant s'attendre à des quantités de plancton plus grandes qu'ailleurs dans le lac.

R.S.A. BEAUCHAMP attache une grande importance aux eaux plus froides des rivières alimentant le lac, comme on le lira dans la fin de ses conclusions, que je cite ici :

Les observations exposées dans ce travail montrent que le lac possède un degré remarquable de stabilité thermique. Les différences de température entre la surface et le fond sont cependant minimales et au thermocline on ne trouve généralement qu'un gradient d'un degré centigrade en quatre ou cinq mètres. Mais, ajoute R.S.A. BEAUCHAMP, il faut se rappeler qu'aux températures dont il s'agit ici, la différence de poids spécifique de l'eau à une différence de température donnée est grande, comparée à celle obtenue à des températures plus basses observées dans les lacs tempérés. La différence de poids spécifique entre de l'eau à 23° C et 26° C est 0,00075 mg par 100 cc, alors qu'à des températures plus basses il faut doubler cette différence de température pour obtenir une différence similaire entre les poids spécifiques respectifs; entre de l'eau à 10° C et 16° C la différence entre les poids spécifiques est de 0,00076 mg par 100 cc. Il n'est donc pas nécessaire d'avoir une grande différence de température entre épilimnion et hypolimnion dans les lacs tropicaux pour obtenir le même degré de stabilité que dans le cas de lacs tempérés. Durant l'hiver ou saison froide, on trouve dans chaque lac une période au cours de laquelle il est amené à une température uniforme, de sorte qu'une circulation complète est rendue possible. Ce phénomène n'a pas lieu dans le lac Tanganika, malgré le fait que durant la saison froide, ou période de stabilité minimum, les vents dominants en même temps que les brises lac et brises terre soufflent plus intensément qu'au cours de la saison chaude. Le fait que le lac ne subit pas le phénomène de circulation totale est probablement dû à la plus grande partie des eaux des feeders, qui sont plus froides que l'eau de surface du lac; elles s'écoulent le long des parois escarpées de la cuvette lacustre jusqu'à des niveaux au-dessous du thermocline et maintiennent l'eau profonde à une température inférieure à celle de surface.

Comme on a pu le montrer, le brassage avec les eaux profondes ne se produit qu'un peu au-dessous de deux cents mètres de profondeur et uniquement pour une période d'environ deux mois seulement. Pour le restant de l'année, il existe un thermocline bien marqué, avec le résultat que le lac ne sait nourrir qu'un plancton très pauvre et une flore d'algues littorales également pauvre.

Les conditions de vie dans le lac sont extrêmement oligotrophes et pourraient être une des causes déterminantes du développement des nombreuses espèces si différentes. On n'a pu encore établir jusqu'ici un principe général à ce sujet, mais dans des cas de conditions eutrophes on peut avoir une abondance

TABLE 65. — Lac Tanganika. Caractères limnologiques.

Caractère	Lacs oligotrophes	Lac Tanganika	Lacs eutrophes
Morphologie	Profonds. Masse de l'hypolimnion relativement plus grande que l'épilimnion.	Profondeur : 1.310-1.470 m. Épilimnion : de 0 à — 100 m. Hypolimnion : de 200 m, au fond de 1.300-1.470 m.	Moins profonds. Masse de l'hypolimnion petite par rapport à l'épilimnion.
Couleur	Bleue à verte.	Bleue.	Vert-jaune à vert-brun.
Transparence	Grande.	— 20 m.	Petite à minime, de quelques centimètres seulement.
Caractères chimiques	Absence de substances humiques. Eaux relativement pauvres en substances nutritives. Teneurs en Ca variables.	Substances humiques absentes.  11,9-18,0 mg/l Ca.	Eaux riches en substances nutritives.  Riches en Ca, très rarement pauvres.
Détritus en suspension	Quantités minimales.	Absents dans la zone pélagique.	Planctogène, riche.
Vase	Pauvre en substances organiques.	Très pauvre.	Riche en substances organiques autochtones.
Variations de l'oxygène : Été	Diminution progressive de la concentration depuis la surface jusqu'au fond, sans accroissement dans le métalimnion. Concentrations des couches profondes diminuant jusqu'à 70 % (— 60 %). Réductions bactériennes anaérobies minimales dans la vase.	A la surface, concentrations variant autour de la saturation. Diminution progressive jusque vers 200 m. Au delà, l'oxygène fait défaut.	Dans les lacs assez profonds diminution de l'oxygène subite dans le métalimnion. Saturation des couches profondes : 40 %, rarement plus. Réductions considérables.
Hiver	Comme en été.	Réactions inconnues. Au « turn-over », vers octobre, diminution vers 70 % de la saturation.	Dans les lacs assez profonds, comme chez le type oligotrophe; dans les lacs moins profonds, saturation décroissante 0 %.
La diminution de l'oxygène est causée par :	—	Peut-être par la remontée de substances réductrices lors du « turn-over ».	En été, par le plancton et la vase; en hiver, par la vase.
Florule littorale	Minime.	Très minime.	Riche.
Plancton (surtout phytoplancton)	Quantitativement pauvre, présent jusque dans les grandes profondeurs; migrations journalières considérables.	Quantitativement pauvre, sauf lors du « turn-over ». Présent jusque vers 150 m maximum; migrations journalières considérables.	Quantitativement riche; en été dans les couches supérieures, migrations journalières réduites.

d'individus avec relativement peu d'espèces, alors que dans des conditions oligotrophes le nombre d'individus peut rester bas, mais le nombre d'espèces atteindre un chiffre élevé.

R.S.A. BEAUCHAMP pense que les observations faites dans son travail ne permettent pas de dire quel est le facteur qui limite le développement du phytoplancton et des algues littorales : les phosphates sont toujours présents, mais les silicates sont réduits à des quantités minimales; il est possible que l'utilisation totale des nitrates dans les eaux de surface soit la cause de la disparition des algues.

L'auteur note alors que le degré « unique » de stabilité thermique place le lac Tanganika dans une catégorie en elle-même. Tous les grands lacs tropicaux, excepté ceux qui ont une couche profonde très saline (H. DAMAS, 1937), se sont montrés relativement instables (F. RUTTNER, 1931; E. B. WORTHINGTON et L. C. BEADLE, 1932; A. THIENEMANN, 1931 et H. C. GILSON).

En 1940, R.S.A. BEAUCHAMP, dans un article consacré à la chimie et l'hydrologie des lacs Tanganika et Nyassa, tire un parallèle entre ces deux lacs. J'ai déjà exposé, plus haut, son opinion en ce qui concerne le lac Nyassa. Quant au lac Tanganika, il détaille quelques points particuliers à celui-ci. En dehors de la situation géographique d'un lac, dit-il, qui détermine la température moyenne de l'eau et la quantité de lumière, la productivité biologique de tout lac est largement déterminée par les quantités de sels nutritifs présents dans les eaux de surface, sels qui proviennent de la décomposition des sédiments lacustres et des substances dissoutes dans l'eau des feeders. L'importance relative de ces deux sources de substances dissoutes peut varier de lac à lac, mais généralement les sédiments constituent la source la plus importante. Ceci est le cas pour des lacs comme le Tanganika et le Nyassa, où le volume des eaux des affluents est très minime, si on le compare au volume du lac. En ce qui concerne le Tanganika, l'appoint annuel est approximativement égal aux deux millièmes du volume, au lac Nyassa à un six centième. La productivité de ces deux lacs est déterminée par les sels des sédiments et leur transport. Ces sels ne sont d'aucune utilité aussi longtemps qu'ils ne parviennent pas à la surface, où ils peuvent être utilisés par le phytoplancton.

Dans les lacs peu profonds les courants produits sous l'action des vents peuvent conduire à la circulation complète et le brassage complet de l'eau de surface et de fond, mais dans les lacs profonds ce phénomène ne peut se produire que durant l'hiver, lorsque tout le lac a acquis une température uniforme, contrairement à ce qui se passe dans les lacs très profonds, où une circulation complète ne peut jamais avoir lieu. Durant l'été les eaux de surface chauffées diminuent en densité et restent en une couche mince, l'épilimnion s'étendant au-dessous d'une couche froide plus profonde ou hypolimnion. Il n'y a pas ou fort peu de mélange entre ces deux couches, avec le résultat que les sels dissous dans l'eau de l'épilimnion peuvent être complètement absorbés par le phytoplancton, alors que des quantités considérables de sels peuvent être présentes dans les couches plus profondes. L'oxygène dissous peut être abondant dans

l'épilimnion et faire complètement défaut dans l'hypolimnion. Il est par conséquent évident que l'abondance du phytoplancton, l'abondance et la distribution du zooplancton et des animaux benthiques des lacs profonds sont déterminées par le degré de différenciation entre épi- et hypolimnion et la longueur et la période durant laquelle ces deux couches demeurent constantes. Le lac Tanganika et le lac Nyassa diffèrent très fort à ce point de vue.

La transition d'une couche à la suivante est marquée par le changement brusque de température et la quantité de sels et d'oxygène dissous.

Les silicates peuvent varier de 0,2 à 1,0 mg-litre dans les couches superficielles, alors que les eaux profondes peuvent en contenir 20 mg; les quantités de phosphates, de nitrates, etc. subissent des variations correspondantes et les eaux profondes, dépourvues d'oxygène, contiennent des quantités considérables d'ammoniaque et d'hydrogène sulfuré.

Au cours des mois d'été il y a une plus grande différence de température entre l'épi- et l'hypolimnion dans le lac Nyassa qu'au lac Tanganika; l'eau profonde marque un degré en moins et l'eau de surface est, en moyenne, d'un degré plus chaude. Néanmoins, il y a un plus grand brassage entre les deux couches au lac Nyassa, ce qu'on remarque au fait qu'on rencontre de l'oxygène dissous très loin au-dessous du thermocline, alors qu'au Tanganika le thermocline constitue la limite de l'oxygénation. Ce phénomène trouve son explication dans la situation climatique entièrement différente des deux lacs; en effet, le lac Nyassa est soumis, en été, à des vents plus forts et plus variables, en hiver, à des vents plus forts que ne l'est le lac Tanganika. Le Nyassa est situé plus au Sud que le Tanganika et plus près de la côte, de sorte qu'en hiver (avril à septembre) il reçoit le plein effet de l'alizé Sud-Est. Ce dernier, connu localement comme le Mweru, souffle avec une extrême violence, souvent à la fin de la journée, se calmant généralement la nuit. Le lac Nyassa est donc soumis à un plus haut degré de brassage au cours de l'hiver, brassage qui pénètre d'autant plus profondément que le gradient de température diminue. Le Tanganika, étant situé plus au Nord et étant protégé par la région montagneuse méridionale, ne reçoit donc pas la pleine force de ces vents et il y a, par conséquent, beaucoup moins de brassage. Durant les mois d'été, les deux régions sont caractérisées par des orages et de la pluie avec des vents variables généralement du Nord ou du Nord-Est et plus variables qu'au Tanganika.

Il a été démontré que les changements soudains dans la direction des vents occasionnent plus de brassage que les vents constants.

Lorsque le vent souffle continuellement sur un lac, il forme un courant qui circule dans l'épilimnion. Ceci provoque un courant secondaire dans l'hypolimnion, les deux courants demeurent distincts et, dans la région du thermocline, ils coulent dans la même direction, causant peu ou pas d'échange entre ces deux couches. Un changement soudain dans la direction du vent, cependant, peut inverser la direction de rotation du courant épilimnique avec le résultat qu'il est maintenant opposé au courant hypolimnique, de sorte qu'une turbulence est

provoquée dans la région du thermocline et qu'il peut y avoir ainsi un brassage entre l'épi- et l'hypolimnion.

Ainsi les changements constants de la direction du vent durant l'été causent dans le lac Nyassa un brassage considérable, malgré le fait que la température de l'épi- et celle de l'hypolimnion sont très différentes. Toute eau aérée qui parvient à traverser le thermocline sera mélangée à tout l'hypolimnion. Actuellement ceci n'est pas le cas.

On a trouvé occasionnellement que l'hypolimnion était divisé en deux ou plusieurs couches, fait extrêmement important. Si l'oxygène disponible dans les limites supérieures de l'hypolimnion était à distribuer par tout le volume de l'hypolimnion, il serait impossible de garder une concentration en oxygène suffisante pour permettre la vie aux animaux benthiques. Mais lorsque l'oxygène disponible est uniquement réparti dans une partie de l'hypolimnion, il reste des valeurs suffisamment élevées dans cette partie pour permettre la vie animale.

Les différences de température et de composition chimique entre différentes couches de l'hypolimnion peuvent être si minimes qu'il peut être difficile de les déceler dans une seule série d'échantillons.

Mais ces différences deviennent bien distinctes lorsqu'on porte sur un même graphique les valeurs de l'oxygène dissous pour des journées successives. Cela provient du fait que les courants dans chacune des couches tendent à homogénéiser ces dernières. Ce que démontrent la diminution de l'oxygène dans la partie supérieure de la couche envisagée et sa diminution dans la portion inférieure.

La couche supérieure, d'une épaisseur de deux cent cinquante mètres, est nettement subdivisée en quatre couches; cette discontinuité entre ces couches est mise en évidence par la courbe thermométrique. Le transfert de l'oxygène vers les couches plus basses a pu être démontré, comme on pouvait s'y attendre, mais il ne peut se faire qu'aux dépens de la concentration des couches supérieures.

Il est à noter que les eaux de surface du lac Nyassa contiennent moins d'oxygène au cours de l'été que celles du lac Tanganika.

Un changement subséquent dans la direction des vents provoque un renversement dans la stratification décrite plus haut et le brassage peut avoir lieu. La stratification de l'hypolimnion a été suggérée sur des bases théoriques, mais n'a jamais pu être démontrée si clairement.

Toutes ces observations tendent à montrer que le lac Nyassa est plus productif que le lac Tanganika : durant la longue période de stabilité dans ce dernier lac le développement du plancton est très réduit. Ceci est dû apparemment à une déficience de la quantité des sels nutritifs, probablement des nitrates en particulier. A la fin de l'hiver, lorsque le brassage se produit, le phytoplancton commence à croître et est suivi d'un accroissement de la quantité de zooplancton.

Dans le lac Nyassa, néanmoins, durant la dernière période de l'hiver, lorsque le Mweru souffle fortement, le développement du plancton est médiocre, mais dès que les vents deviennent moins forts et qu'un degré de stabilisation est

établi, le plancton commence à croître rapidement. Dans ce dernier cas, il semble que, non la déficience en sels nutritifs, mais bien la violence trop grande du brassage des eaux superficielles, occasionne la restriction du développement du plancton. On peut supposer que le phytoplancton est continuellement dirigé vers les couches inférieures à des profondeurs où la photosynthèse ne peut plus avoir lieu. Cette hypothèse n'est pas évidente, mais on peut trouver peut-être un parallèle avec ce qui se produit dans la mer.

En ce qui concerne la faune benthique, les conditions de vie du Tanganika sont telles qu'aucune vie animale n'est possible au-dessous du thermocline, à cause de la déficience de l'oxygène; au Nyassa, par contre, une vie animale benthique existe et une grande partie de celle-ci est composée de chironomides qui y vivent en quantités énormes.

Enfin, certaines particularités en ce qui concerne la composition chimique de l'eau du Tanganika sont importantes. On a trouvé que le lac contient des quantités relativement grandes de potassium et de magnésium. Ceci est dû en partie à l'accumulation naturelle de ces sels, ce qui était à prévoir dans un lac où la plus grande perte en eau se fait par évaporation, et partiellement à cause des grandes quantités de ces sels introduits par la rivière Ruzizi. Cette rivière est l'exutoire du lac Kivu.

Les concentrations de 33 et 44 mg-litre pour le potassium et le magnésium respectivement ont probablement causé le développement des espèces particulières à ce lac.

On a trouvé qu'au Tanganika la concentration totale des sels est normale pour une eau douce, mais les rapports Mg/Ca et Cl/SO<sub>4</sub> sont élevés et ressemblent à ceux trouvés pour l'eau de mer.

Comme les tributaires ne montrent pas ces proportions, on peut supposer que c'est une activité biologique qui est à la base de cet état de choses. La faune malacologique précipite du calcium et provoque donc une concentration basse, alors que le magnésium non utilisé s'accumule.

Un phénomène, d'une moindre importance cependant, la pauvreté de la flore littorale, est probablement dû au degré anormalement bas d'utilisation du magnésium.

Le rapport élevé chlorures-sulfates n'est pas si facile à élucider. La concentration basse des sulfates, qui est actuellement moindre dans le lac que dans les tributaires, est probablement due à l'utilisation du soufre dans la construction de la matière organique. D'un autre côté, quoique les chlorures soient essentiels pour la vie, peu de chlore est combiné à la matière organique. Les chlorures sont en outre facilement libérés par les sédiments lacustres. Mais le soufre, qui se trouve combiné à beaucoup de protéines, n'est pas aisément libéré et réapparaît le plus souvent sous forme d'hydrogène sulfuré. La plus grande partie de ce dernier corps est probablement reprécipitée dans les sédiments sous forme de sulfure de fer et de cuivre insolubles. Par conséquent, les sulfates sont continuellement enlevés à la solution, soit sous forme de protéines, soit comme sulfures, alors que les chlorures s'accumulent.

Ce processus, à côté de réactions similaires, altère la composition de l'eau et est propre à tous les lacs, mais la période pendant laquelle il peut être effectif dépend de la longueur moyenne du temps que l'eau reste dans le lac.

Dans le lac Tanganika, ce temps est très long, car le volume de l'eau des tributaires est petit en comparaison du volume du lac. En outre l'exutoire est petit et 90 % de l'eau d'appoint des tributaires, y compris l'eau de pluie, sont enlevés par évaporation.

Enfin, dans un rapport très récent (1952), au sujet du développement de l'East African Fisheries Research Organisation, R.S.A. BEAUCHAMP attire encore l'attention sur le Tanganika.

En ce qui concerne la vitesse de croissance du phytoplancton et des algues littorales, nous savons que la lumière, la température et la concentration de certains sels nutritifs dans l'eau la contrôlent. Mais on ne sait pas encore évaluer exactement la valeur de ces facteurs, c'est-à-dire qu'on ne connaît pas la quantité de lumière ou quel degré de température sont requis par les différentes espèces d'algues pour leur développement normal, de même que nous ne connaissons pas les concentrations minima de sels nutritifs dissous nécessaires à leur croissance.

Sous les tropiques, les variations saisonnières de lumière et de température sont relativement petites. Ainsi l'effet de variations dans la concentration des sels peut être déterminé avec exactitude en l'absence de variations excessives de la lumière et de la température. Mais, malheureusement, presque tous les lacs tropicaux sont relativement instables, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de limite nette entre épi- et hypolimnion. Et pour cette raison il n'y a pas de variations considérables dans la composition chimique de leurs eaux. Si l'on voulait toutefois étudier l'influence des sels nutritifs, il faudrait qu'ils varient entre des valeurs si minimes, que celles-ci limitent la croissance du phytoplancton et, même telles, qu'elles ne permettent plus une croissance abondante.

Heureusement, dit R.S.A. BEAUCHAMP, les caractéristiques hydrologiques du lac Tanganika sont telles qu'elles offrent exactement les conditions nécessaires pour élucider ce problème.

Ce lac montre un plus haut degré de stabilité thermique que ce n'est généralement le cas, même dans un lac tempéré, durant la période estivale. Cela est dû aux parois escarpées du bassin lacustre, à sa profondeur considérable et à la température des principaux tributaires, qui est plus basse que celle du lac.

Durant la plus grande partie de l'année, l'épilimnion du lac Tanganika est si étroitement défini et si complètement isolé des eaux plus profondes, que cette couche superficielle s'appauvrit en sels nutritifs essentiels, avec le résultat que le phytoplancton diminue et est bientôt réduit à une quantité négligeable, c'est-à-dire que les sels nutritifs sont réduits à des valeurs qui limitent la croissance des algues.

Durant la saison froide, de très légères variations dans la température, mais plus particulièrement des changements dans la direction du vent, provoquent le

mélange d'eaux de l'hypolimnion, riches en sels nutritifs, avec celles de l'épilimnion, ayant pour résultat immédiat un développement rapide du phytoplancton et des algues littorales.

Le cycle biologique du lac Tanganika, offrant alternativement des conditions désertiques extrêmes et des conditions de grande fertilité, doit avoir une influence marquée sur la vie végétale du lac, mais aussi sur la vie animale, et la quantité de nourriture nécessaire aux poissons doit considérablement varier à différentes époques de l'année.

En résumé, R.S.A. BEAUCHAMP considère le lac Tanganika comme un réservoir expérimental gigantesque à réglage thermostatique, dont la composition de l'eau varie au cours du cycle annuel, créant ainsi des conditions de vie très particulières depuis une extrême stérilité jusqu'à une fertilité élevée.

TABLE 66. — Constituants de l'eau du lac Tanganika et de ses tributaires (d'après R. S. A. BEAUCHAMP).  
Résultats en mg/litre.

	Tributaires	Tanganika, — 700 m	Rapport
Na ... ..	25,0	64,2	2,57
K ... ..	9,0	33,5	3,7
Li ... ..	0,28	0,8	3,0
Ca ... ..	19,0	15,2	0,76
Mg ... ..	17,2	43,7	2,5
Fe ... ..	< 0,1	< 0,1	1,0
Al ... ..	0,3	0,3	1,0
Cl ... ..	14,0	28,0	2,0
SO <sub>4</sub> ... ..	8,2	4,0	0,5
NO <sub>3</sub> ... ..	1,5	1,8	1,2
NO <sub>2</sub> ... ..	0,003	0,006	2,0
PO <sub>4</sub> ... ..	0,06	0,6	10,0
SiO <sub>2</sub> ... ..	26,0	13,5	0,5
CO <sub>3</sub> ... ..	100,0	207,6	2,0
Total ..	220,6	413,3	
Rapports			
	Eau du lac	Eau des tributaires	Eau de mer
Chlorures/Sulfates ..	1,7-1	7-1	7,17-1
Magnésium/Calcium ...	0,9-1	2,9-1	3,19-1

Dans la partie biologique du présent travail, j'aurai l'occasion de comparer les considérations de R.S.A. BEAUCHAMP avec les premiers résultats obtenus par la Mission hydrobiologique belge au lac Tanganika en ce qui concerne la distribution quantitative du phytoplancton et les variations des facteurs chimiques.

Lorsque les résultats des investigations de J. KUFFERATH seront entièrement publiés, on pourra se faire une idée exacte sur le mécanisme du brassage au cours de l'année. Quoi qu'il en soit, j'ai l'intime conviction que les déductions de R.S.A. BEAUCHAMP doivent être retenues, car elles expliquent fort bien ce que j'ai vu au lac.

La table 66, d'après R.S.A. BEAUCHAMP (1946), donne en mg-litre les concentrations des divers constituants de l'eau des tributaires, de l'eau du lac prise à une profondeur moyenne de sept cents mètres et le rapport entre les deux; la partie inférieure de la table montre les rapports entre chlorures-sulfates, d'une part, et magnésium-calcium, d'autre part, respectivement pour les tributaires, le lac et l'eau de mer.

Cette table montre la différence considérable entre la constitution de l'eau du Tanganika et celle des tributaires, la composition de ces derniers étant normale pour les eaux douces. Des processus biologiques auraient donc produit des altérations dans la composition chimique de l'eau, au cours de la très longue période d'existence du lac.

Plus un ion particulier a été utilisé et enlevé à l'eau, plus petit est le rapport. A ce sujet il faut noter que la concentration des sels est probablement arrivée actuellement à un point de saturation. Il est évident que même des ions solubles, comme le sodium et le potassium et les chlorures, sont retenus d'une manière permanente dans les sédiments.

La nature persistante du thermocline est démontrée par la nature de ces derniers : au-dessous d'environ quatre-vingts mètres, le sédiment est très fin et noir; au-dessus de ce niveau il est composé de particules plus grandes et est de couleur grise.

La température du Tanganika et du Nyassa (J. L. BROOKS, 1950) est en permanence au-dessus de 4° C et les couches profondes sont stagnantes, séparées des couches supérieures circulant librement, et pour cela sans oxygène. Les eaux du Tanganika au-dessous de trois cents mètres ont toujours une température de 23,1° C. Pendant l'été la couche des soixante mètres supérieurs atteint une température de 25,75° C. A la base de cette couche à circulation libre, ou épilimnion, la température tombe rapidement avec la profondeur. Entre soixante et quatre-vingts mètres, elle tombe de 25,75° C à 23,75° C. La profondeur du thermocline varie entre quarante et cent mètres dans différentes régions du lac. Un lac est stratifié lorsque la légèreté de la couche chaude supérieure est si grande que le vent ne parvient pas à pousser cette eau peu dense dans l'eau inférieure plus froide et plus dense, et à opérer le mélange.

La différence de densité entre de l'eau à 26° C et celle de l'eau à 23° C est aussi grande que celle entre de l'eau à 16° C et à 10° C. Au-dessous de quatre-

vingts mètres la température tombe lentement à un minimum :  $23,1^{\circ}$  C à trois cents mètres. Le lac Tanganika est stratifié durant onze mois de l'année.

La surface aquatique perd des calories durant l'hiver, devenant ainsi moins légère et capable d'être immergée par le vent jusqu'à des profondeurs plus grandes. A l'époque du brassage maximal, la température tombe graduellement de  $25^{\circ}$  C à la surface jusqu'à  $23,7^{\circ}$  C à une profondeur de cent vingt-cinq mètres. Depuis cette profondeur jusqu'à trois cents mètres, la température descend lentement jusqu'à  $23,1^{\circ}$  C. L'eau de surface à  $25^{\circ}$  C est suffisamment plus légère que l'eau profonde juste au-dessus de  $23^{\circ}$  C, de sorte que le vent ne sait pas les mélanger.

La distribution verticale de l'oxygène dans les cent mètres supérieurs varie d'après les saisons, mais au-dessous de cette limite, l'eau est toujours exempte d'oxygène. Au cours de la stratification, l'épilimnion contient 7 mg  $O_2$ , soit 85 % de la saturation. A quelques mètres au-dessous de la base de cette couche circulante, l'eau est exempte d'oxygène. Ceci donne une limite étroite plus basse à la distribution des organismes aérobies. Durant la période du brassage maximum, la teneur en oxygène tombe rapidement de 7,5 mg à la surface à  $1/3$  de mg à nonante mètres. Cette diminution rapide de la concentration en oxygène avec l'accroissement de la profondeur dans l'eau circulant librement est due au mélange de l'eau aérée à la surface avec l'eau sans oxygène entre soixante et cent mètres. Cela signifie que pour des organismes vivant dans les soixante mètres supérieurs, il y a moins d'oxygène disponible au cours des mois de brassage qu'au cours de la période de stratification. Par exemple, au large, à une profondeur de cinquante mètres, il y a 7 mg d'oxygène en été et seulement 4 mg en hiver. A septante mètres, d'un autre côté, il n'y a pas d'oxygène disponible pendant la stratification, et pendant la période de brassage maximum la concentration en oxygène a seulement atteint 3,5 mg-litre.

#### 19. — LE LAC VICTORIA.

Après le lac Kioga, le Nil reprend allure de grand torrent jusqu'au grand lac Victoria, et ses eaux dévalent par de nombreux rapides et les chutes d'Orveu et de Ripon, en un débit annuel moyen d'environ six cents mètres cubes par seconde.

Le lac Victoria, le plus grand d'Afrique, l'Ukerewe des Arabes, et le réservoir principal du Nil, est situé entre  $0^{\circ}20'$  à  $3^{\circ}$  de latitude Nord et  $31^{\circ}40'$  à  $34^{\circ}52'$  de longitude Est. Il a la forme d'un quadrilatère irrégulier, mais ses rives, sauf à l'Ouest, sont profondément découpées. Sa plus grande longueur Nord-Sud est de quatre cents kilomètres, sa plus grande largeur, deux cents kilomètres. Il est situé dans une dépression de la partie centrale du grand plateau étendu entre les graben oriental et occidental et à une altitude d'environ onze cent seize mètres au-dessus du niveau de la mer. Sa plus grande profondeur connue avec certi-

tude est un peu plus grande que quatre-vingt-un mètres et il est connu pour les tempêtes fortes et soudaines qui rendent la navigation très dangereuse. Il renferme beaucoup d'archipels, situés la plupart du temps le long de la ligne côtière. Le lac est rempli de récifs, la majeure partie tout juste au-dessous de la surface de l'eau, qui est très claire.

La contrée entourant le lac est composée de gneiss, de quartz et de roches schisteuses, couverte de marnes et d'argile rouge, et d'argile dans les vallées.

Les rives du lac se présentent sous divers aspects. La côte Ouest, parfois découpée, est, au Sud, suivie de falaises de nonante mètres de haut, adossées à escarpements abrupts d'une hauteur de nonante mètres et derrière lesquels s'élèvent des montagnes jusqu'à trois fois plus élevées.

Vers le Nord la montagne cède la place à des marais à *Papyrus* et à *Æschynomene*, marquant le delta de la Kagera. Au delà du delta la montagne réapparaît, augmente en hauteur et jusqu'à l'angle Nord-Ouest elle monte jusqu'à environ cent cinquante mètres au-dessus du niveau du lac. La côte occidentale est marquée par des failles de direction Nord-Sud qui longent le lac à une courte distance à l'intérieur des terres (fig. 42).

La côte Nord est profondément découpée et marquée par des hauts plateaux rocheux, à pic dans le lac. Ces hauts plateaux sont étroits et les rivières qui prennent leur source sur leur face Nord drainent le Nord en s'éloignant du lac. Sur un promontoire, environ quarante-huit kilomètres à l'Est du Katanga, se trouve Entebbe, le centre du Protectorat de l'Uganda. Les golfes principaux sur la côte Nord sont la baie de Murchinson et le golfe Napoléon. Ce dernier est profondément dentelé; une baie, celle de Jinja, forme l'exutoire du Nil; ici l'eau se force un chemin sur les Ripon falls à travers la côte rocheuse du lac.

L'angle Nord-Est du lac est plat et nu. Un chenal étroit conduit au golfe de Kavirondo, qui, avec une largeur moyenne d'une dizaine de kilomètres, s'étend sur une longueur de septante-deux kilomètres jusqu'à Kisumu. La montagne domine la rive Sud du golfe et derrière elle la chaîne de Kasungu.

En s'avancant vers le Sud, la rive tend généralement vers le Sud-Ouest; elle est marquée par des couloirs très profonds à parois escarpées et des montagnes. A l'angle Sud-Est est situé le golfe de Speke et à l'angle Sud-Ouest le golfe d'Emin Pacha. Ici la côte est stérile et montagneuse, de longues falaises la prolongent et s'avancent dans le lac.

L'île la plus large, l'île Ukerewe, au Nord du golfe de Speke, est presque une péninsule. Elle est inhabitée, boisée et montagneuse, s'élevant à cent nonante-cinq mètres au-dessus du niveau du lac. A l'angle Nord-Ouest du lac, l'archipel Sessi, composé de soixante-deux îles. La plus large de ce groupe est Bugala. La plupart de ces îles portent un manteau forestier très dense et certaines d'entre elles atteignent une hauteur considérable. L'île Buvuma se trouve à l'entrée du golfe Napoléon et il y a ici de nombreuses autres îles dont les principales sont Bugaia, Lolui, Rusinga et Mfwangani. Les îles sont formées de roches ferrugineuses sur quartzites et schistes cristallins.

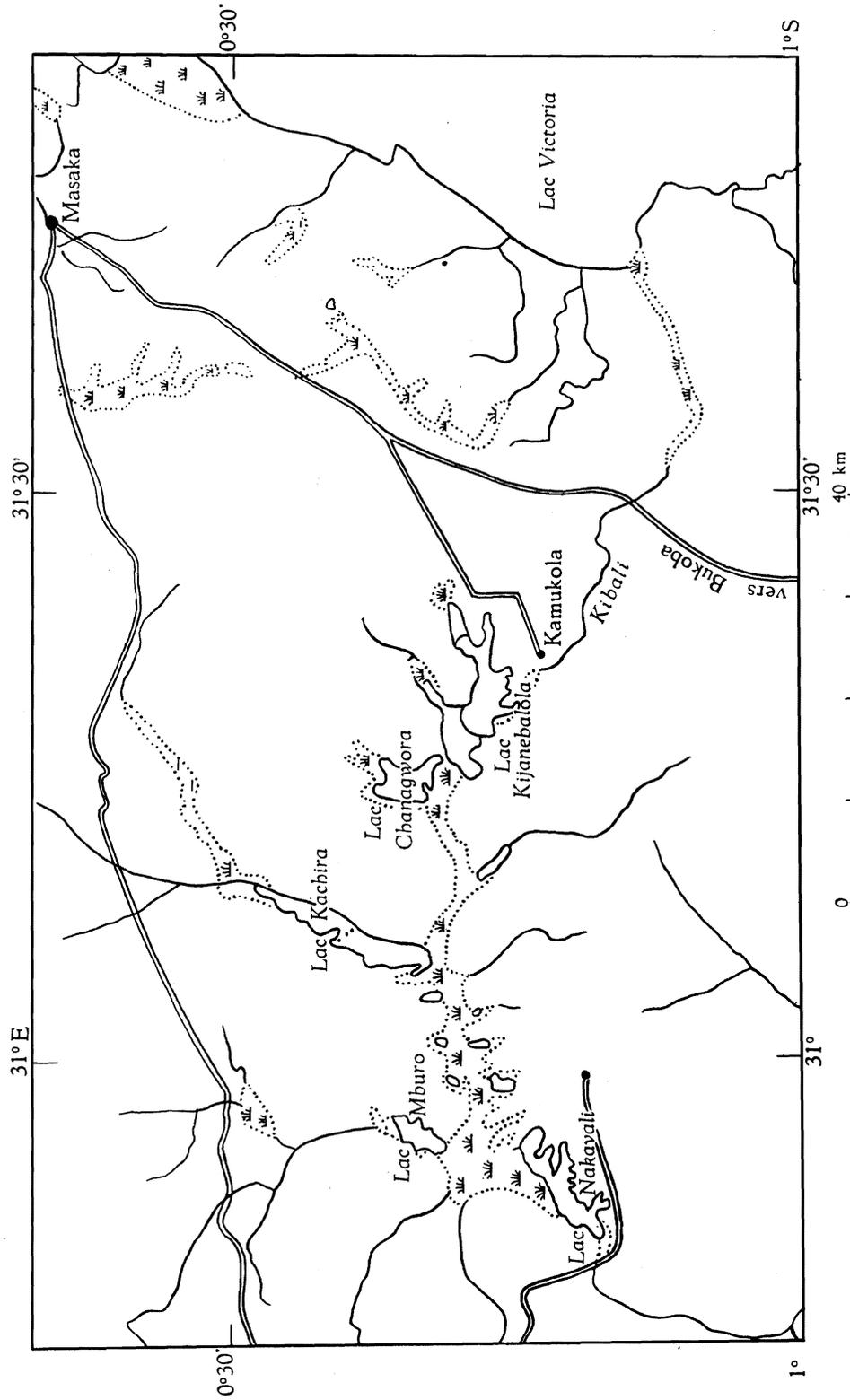


FIG. 42. — Tributaires du lac Victoria sur ses rives Ouest.

La rivière Kagera, le plus grand et le plus important des affluents du lac, prend sa source à l'Est du lac Kivu et a son confluent avec le lac juste au Nord de 1° latitude Sud. Les autres tributaires du lac Victoria à l'Ouest sont les rivières Katonga et Ruizi, toutes les deux au Nord de la Kagera. Entre la Katonga et l'exutoire du Nil, les rivières qui prennent leur source près du lac drainent vers le Nord les eaux de la crête de partage formée ici par la rive du lac.

Au Nord-Est plusieurs rivières atteignent le lac, notamment les Sio, Moia et Lukos (ou Yala). A l'Est le Mara Debugh entre dans le lac entre 1° et 2° de latitude Sud, près de la Kagera, le plus long des tributaires. Au Sud, de nombreuses petites rivières se jettent dans le lac. Le seul exutoire est le Nil.

Le vaste lac Victoria a une superficie de plus de septante-cinq mille kilomètres carrés, situé à mille cent trente-cinq mètres d'altitude.

Peu profonde, septante mètres au maximum, cette mer intérieure n'est, en réalité, qu'une nappe en laquelle s'épanche, sur le plateau central, la Kagera, qui en conditionne, en fait, à peu près seule le régime. L'apport des eaux de l'Elgon par la Nzoia n'a, en effet, d'importance qu'aux pluies, et les autres tributaires du lac ont tous, dans leurs vallées basses recouvertes de *Papyrus*, un cours lent et un débit non seulement faible en lui-même, mais, au surplus, appauvri au même degré que celui des rivières à sudd.

La Kagera, cette « mère du Nil », comme l'appellent les indigènes et dont la source la plus éloignée est à une altitude de deux mille deux cents mètres et à plus de six cent quatre-vingts kilomètres du lac Victoria, reçoit les eaux des territoires du Ruanda-Urundi.

A bas et moyen cours caractérisés par un sudd et des lacs, la Kagera collecte les eaux d'un bassin multiple et singulier.

A son embouchure, cette rivière a un débit moyen de deux cent cinquante mètres cubes à la seconde, une largeur de plus de septante mètres et une profondeur de quatre mètres cinquante.

Le fond du lac est couvert d'une vase fine vert-noir, composée presque entièrement de frustules de diatomées : *Melosira*, *Cyclotella* et *Surirella*, que l'on retrouve à l'état vivant dans le plancton.

On connaît, au point de vue météorologique, une alternance de brises de terre depuis minuit environ jusqu'à midi et des brises de lac au cours de l'après-midi et du soir.

M. GRAHAM (1929) s'est efforcé d'étudier les courants créés par les vents. Dans le chapitre premier du présent travail, j'ai eu l'occasion d'attirer l'attention sur le climat de la région (fig. 43).

On possède quelques données sur les caractéristiques de l'eau du lac Victoria (Table 67).

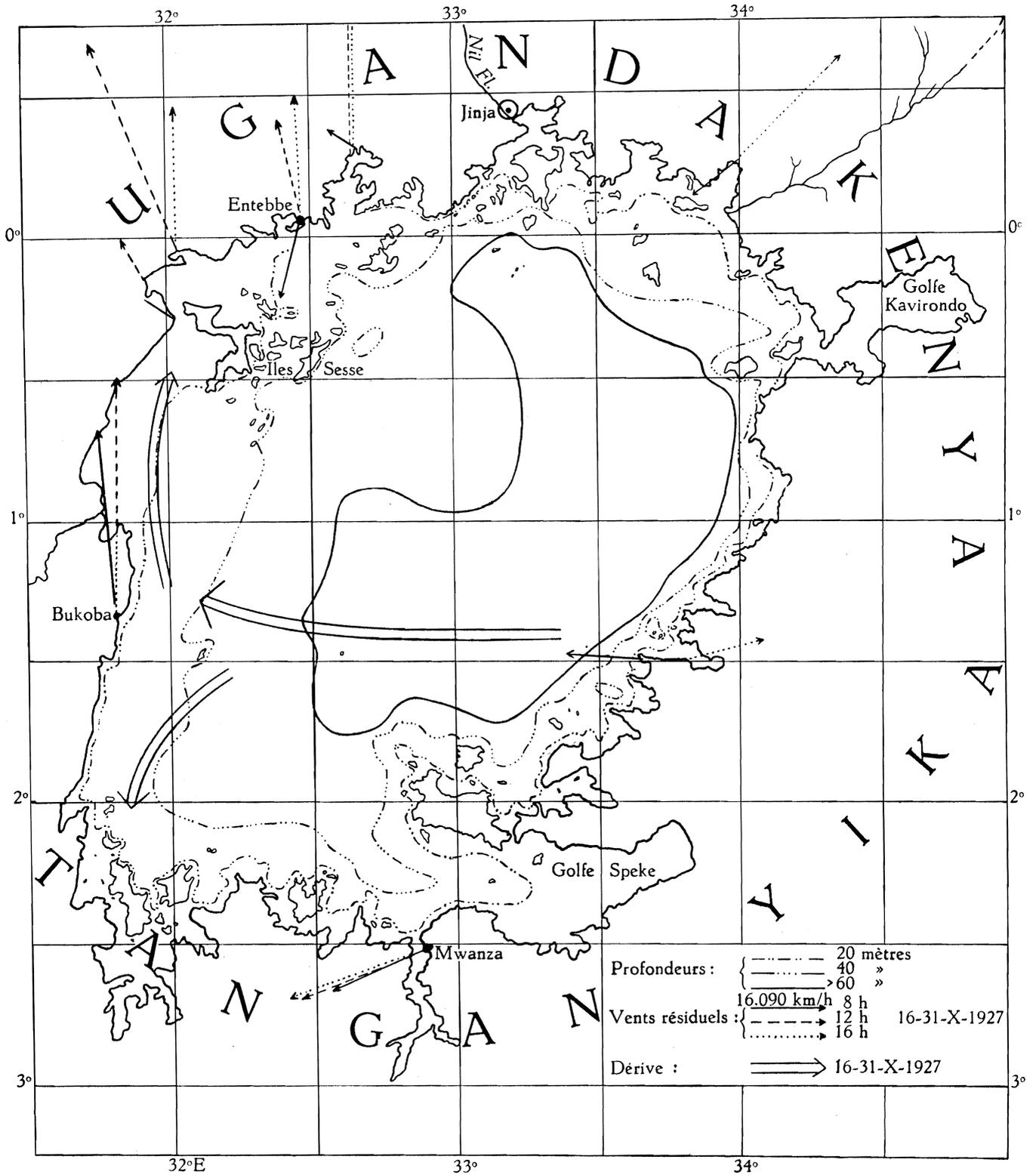


FIG. 43. — Le lac Victoria (d'après M. GRAHAM, 1929).

TABLE 67. — Caractéristiques de l'eau du lac Victoria  
(d'après H. L. DICKEY) (M. GRAHAM, 1929).  
Résultats en mg/litre.

	Station 131 A l'extérieur du golfe de Kavirondo	Station 136 A l'intérieur du golfe de Kavirondo
Solides en suspension ... ..	0,200	1,500
Matières organiques en solution ... ..	58,4	41,600
Sels totaux en solution .. ...	54,4	86,400
Cl.. ... ..	5,0	7,0
CO <sub>3</sub> ... ..	30,1	45,9
SO <sub>4</sub> ... ..	0,96	1,84
Ca. ... ..	7,02	9,25
Mg ... ..	2,30	1,59
Composition probable :		
Carbonate de calcium ... ..	17,55	23,17
Carbonate de magnésium ... ..	7,96	5,50
Carbonate de sodium ... ..	24,61	49,70
Sulfate de sodium ... ..	1,42	2,72
Chlorure de sodium .. ...	8,25	11,55

Le pH était de pH = 9,0 à la surface (station 136), à pH = 7,2 à 67 m de profondeur (station 207).

La rivière Kagera avait un pH de 7,3 (station 193) et 8,7 dans le lac même (station 194).

Au point de vue de la turbidité, M. GRAHAM indique, pour la région pélagique, une valeur de 5,7 à 8,2 m de transparence. Dans le golfe de Speke, baie Magu, on a mesuré la turbidité la plus grande : 0,6 m.

F. W. CLARKE (1924) a donné une analyse de l'eau du lac Victoria, dans laquelle le Na<sup>++</sup> figure comme plus important que tous les autres éléments (Table 68).

Une étude hydrobiologique importante sur le lac Victoria a été publiée en 1930 par E. B. WORTHINGTON, dans laquelle l'auteur expose le résultat de ses recherches sur les baies et la région pélagique.

Les conclusions sont particulièrement intéressantes :

Les baies du lac Victoria appartiennent au type eutrophe défini par K. MUNSTER STRÖM (1928). L'eau a une couleur verdâtre, une transparence minime et

TABLE 68. — Caractéristiques de l'eau du lac Victoria. Composés, en poids (d'après F. W. CLARKE, 1924).

Ions	Poids
CO <sub>3</sub> ... ..	42,10
SO <sub>4</sub> ... ..	1,92
Cl ... ..	9,23
Ca ... ..	6,96
Mg ... ..	5,08
	25,13
SiO <sub>2</sub> ... ..	7,61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	1,92
	<hr/> 100,00

révèle un plancton riche. La teneur en Ca<sup>++</sup> et Na<sup>+</sup> est relativement élevée et celle relative aux phosphates et aux nitrates probablement importante.

La boue du fond est le siège de putréfactions et contient des larves de Chironomides. Toutefois, eu égard au « turn-over » nocturne complet, l'eau des couches profondes ne présente probablement jamais de concentrations basses en oxygène, contrairement à la plupart des lacs eutrophes des régions tempérées.

La région pélagique, au contraire, se rapproche du type oligotrophe par sa profondeur, la couleur bleue et le grand degré de transparence de ses eaux et la pauvreté du phytoplancton en comparaison avec les baies.

Le lac Victoria peut être comparé à un lac très eutrophe tempéré, qui n'est pas assez profond pour être subdivisé en épi- et hypolimnion par un thermocline. Même dans les parties les plus profondes du lac Victoria, il ne se développe pas de thermocline. La boue du fond, comme le montrent les courbes des valeurs du pH, subit des décompositions probables. La vase, cumulée des baies d'ailleurs, est colonisée par les larves de chironomides.

C'est pourquoi la région pélagique devrait être classée, d'après E. B. WORTHINGTON (1930), comme appartenant au type eutrophe plutôt qu'au type oligotrophe tempéré.

E. B. WORTHINGTON ajoute alors une remarque très importante : « From the study of these different types of environment, it seems doubtful whether any of the great tropical lakes except perhaps those like Tanganika with very deep water, can be regarded as true oligotrophic in the same way as can many of the large temperate lakes ».

Dans un article publié en 1952, G. R. FISH expose quelques considérations sur des recherches faites en 1928 et 1931.

La conclusion générale à tirer des recherches est le brassage fréquent des eaux de surface et de fond, de sorte que la stratification dans le lac n'est que temporaire et qu'il n'y a jamais de déficit dans la saturation.

On a trouvé, toutefois, que stratification et déficit de saturation se produisent dans certaines régions côtières par des mécanismes non encore décrits jusqu'ici.

Les observations rapportées ici ont été faites au Buvuma Channel, une région de 30 milles carrés, située à l'extrémité Nord du lac Victoria entre la terre ferme et le chapelet d'îles qui la sépare du lac proprement dit. Ce chenal a une profondeur d'environ vingt mètres, alors que près des îles, le lac a une profondeur de soixante mètres.

De novembre 1950 à avril 1951, l'eau du chenal était brassée complètement avec une température d'environ 26° C avec des concentrations en oxygène de 7 mg-litre en moyenne. Durant cette période le gradient de température n'a jamais dépassé 0,3° C dans cette coupe de vingt mètres; la température des sédiments était un peu inférieure à celle de l'eau surnageante.

Depuis le début du mois de mai, l'eau commence progressivement à se refroidir, d'abord l'eau de fond. Le brassage subséquent amène ensuite le refroidissement de toute la masse aquatique. La concentration de l'oxygène dissous dans l'eau reste élevée depuis la surface jusqu'au fond, malgré la stratification passagère produite en mai par l'apparition soudaine, au fond, d'eau plus froide. En juin la température de l'eau de fond diminue; cette fois cependant elle atteint une valeur moindre que celle des sédiments et il se produit immédiatement une chute dans la concentration en oxygène des eaux profondes. Le mauvais temps occasionne du brassage et les quantités remontent à leur valeur primitive.

Au mois de juillet la température du fond tombe considérablement au-dessous de celle de la vase et l'on a observé la disparition presque complète de l'oxygène dissous. Du mauvais temps du 16 au 25 juillet a causé le brassage et la réoxygénation uniforme, mais aux dépens des concentrations primitivement élevées des couches superficielles. Dès la dominance de périodes calmes, les eaux du chenal sont stratifiées et la désoxygénation des eaux de fond se produit rapidement et pour ainsi dire complètement à la fin du mois d'août. Ces conditions, avec de petites fluctuations, se sont maintenues jusque vers la mi-novembre.

Les mesures chimiques et électriques ont montré que la vase du chenal contient des substances réductrices. Cette vase se refroidit relativement lentement et reste pour une période considérable à une température plus élevée que l'eau surnageante; aussi le degré d'échange de ces substances réductrices entre la vase et l'eau par convection est-il très accru. Ceci est montré non seulement par la rapidité avec laquelle l'eau du fond est désoxygénée, mais aussi par la demande en oxygène de cette eau. Le 23 mars, le B.O.D. était de 0,6 mg-litre, alors que le 8 août il était de 3,2 mg-litre. La population planctonique était demeurée minimale durant cette période et ne pouvait avoir causé ce changement dans la demande d'oxygène.

Le mécanisme de la chute de la température de l'eau du fond, indépendamment de celle de l'eau de surface, ne peut être dû qu'à une poussée d'eau plus froide du lac même. Ceci semble se produire durant les périodes suivantes : 9-16 mai, 6-13 juin et 5-16 juillet. Les observations ont montré qu'il existe une seiche thermique dans le lac Victoria qu'il n'a pas été possible d'étudier davantage.

Vers la fin de l'année, lorsque le brassage a de nouveau été complet, on a observé un grand accroissement de la population phytoplanktonique. Dans ces régions côtières, il se produit des variations annuelles considérables dans la composition chimique de l'eau et dans sa fertilité, alors que la variation annuelle de la température est moins de 2,5° C.

Il faut noter que les conditions de stratification et de désoxygénation décrites se présentent durant la saison froide. Dans chaque lac, considéré dans son ensemble, de telles conditions se produisent au cours de la saison chaude; il semble souhaitable de considérer le lac Victoria comme une masse d'eau lacustre entourée d'une autre masse dont le cycle hydrologique annuel est l'inverse du cycle annuel du lac lui-même.

TABLE 69. — Caractéristiques de l'eau du lac Victoria aux environs de Jinja.

Conductivité ... ..	91-93	Fe ... ..	0-5
Oxygène ... ..	0-8,7 mg/l	SO <sub>4</sub> ... ..	0,8
Alcalinité ... ..	10 <sup>-3</sup> à 1,1 × 10 <sup>-3</sup> N	Ca ... ..	5-7
pH ... ..	6,9-8,7	Mg ... ..	2,3-3,5
SiO <sub>2</sub> ... ..	3-9 mg/l	K . ... ..	3,7-4,2
PO <sub>4</sub> ... ..	0-0,175	Na ... ..	12,5-13,5
NO <sub>3</sub> ... ..	0-0,125	Sr . ... ..	0,08-0,11
NO <sub>2</sub> ... ..	0-0,003	Mn ... ..	< 0,04
NH <sub>4</sub> ... ..	0-0,1		

\*  
\* \*

Arrivés à la fin de l'énumération de nos connaissances actuelles, au point de vue physico-chimique, des principaux lacs Est-africains, il faut essayer maintenant de dégager de toutes ces données les éléments de classification rationnelle de leurs eaux au double point de vue chimique et limnologique.

Cela n'est malheureusement pas toujours possible : on ne possède de certains lacs que des analyses incomplètes, plusieurs anions ou cations n'ont pas été dosés pour des raisons qu'on ignore, ou bien la balance montre des différences telles qu'il est inutile de pousser les calculs plus loin. Dans des cas isolés,

une correction a été possible; chaque fois qu'il a été nécessaire et possible d'en apporter une, on l'a indiquée. Dans la table 70 sont énumérés les résultats des analyses publiées par les auteurs mentionnés.

TABLE 70. — Composition minérale de l'eau de quelques lacs Est-africains.  
Résultats en mg/litre.

Lac	Auteur	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>
Albert	East African High Commission (1953)	[286,2]	—	14	31,8	23,2	21,3	441
Bangweolo	C. K. RICARDO (1939)	5,1	2,2	1,1	0,1	0,8	2,3	—
Baringo	C. K. RICARDO (1930)	126,0	15,0	22,0	2,0	36,0	40,0	168,0
Bunyoni	C. K. RICARDO (1952)	—	—	25,0	—	150,0	—	68,66
Chila	C. K. RICARDO (1939)	3,0	2,4	0,6	0,3	1,4	0,7	3,8
Édouard	East African High Commission (1952)	—	—	16,6	—	48	38	316,5
George	East African High Commission (1952)	—	—	20,8	5,47	6	—	52,8
Kivu	F. HUNDESHAGEN (1909)	202,8	30	8,1	—	42,4	32,4	[544,2]
	F. DELHAYE (1941)	9,13	0,46	1,85	6,83	0,99	0,13	17,15
Moëro	L. STAPPERS (1915)	—	—	13,7	6	19,8	—	24,0
Nyassa	—	—	—	—	—	—	—	—
Rodolphe	L. C. BEADLE	770	23	5,0	4,0	429	56	652
Rukwa	C. K. RICARDO	149,4	19,4	12,2	4,6	25,8	2,9	212,8
Tana	G. BINI	5,22	—	18,72	9,27	8	—	50,95
Tanganika	J. KUFFERATH	—	—	13	42,6	27	3	204,3
	C. K. RICARDO	59,9	33,1	11,9	41,6	28,3	4,3	190,9
	L. STAPPERS	24	18	18	39	34	15	198
Victoria	East African High Commission (1953)	13,5	4,2	7,02	3,5	[5,0]	0,8	33

Dans la table 71 sont compilées les balances ioniques calculées à partir des données analytiques en mg-litre, les millivalences et enfin le % des ions totaux.

Lorsque la balance ionique montre une différence plus grande que 10 %, l'analyse a été qualifiée comme douteuse et incomplète. Dans certains cas, l'ion manquant a été calculé et le résultat placé entre crochets.

La table 71 n'a donc d'autre but que d'esquisser le mieux possible la composition minérale de quelques lacs africains au moyen de la documentation actuellement accessible.

TABLE 71. — Composition minérale de quelques lacs Est-africains.

Balances ioniques.

		mg	mv	%		mg	mv	%
Lac Albert	Na <sup>+</sup>	{286,2}	[12,446]	78,98	Cl <sup>-</sup>	23,2	0,654	analyse
	K <sup>+</sup>							
	Ca <sup>++</sup>	14	0,698	4,43	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	21,3	0,405	douteuse
	Mg <sup>++</sup>	31,8	2,615	16,59	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	441	14,7	incomplète
			15,759	100,00			15,759	
Lac Bangweolo	Na <sup>+</sup>	5,1	0,22	67	Cl <sup>-</sup>	0,8	0,22	67
	K <sup>+</sup>	2,2	0,05	15,2	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2,3	0,047	14,3
	Ca <sup>++</sup>	1,1	0,05	15,2	[CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> ]	[1,83]	0,061	18,5
	Mg <sup>++</sup>	0,1	0,008	2,4				
			0,328	99,8			0,328	99,8
Lac Baringo	Na <sup>+</sup>	126,0	5,043	—	Cl <sup>-</sup>	36,0	1,015	analyse
	K <sup>+</sup>	15,0	0,38	—	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	40,0	0,832	
	Ca <sup>++</sup>	22,0	1,098	—	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	168	5,600	
	Mg <sup>++</sup>	2,0	0,164	—				
			6,685				7,447	
Lac Bunyoni	Ca <sup>++</sup>	25,0	1,247	19,82	Cl <sup>-</sup>	150	4,23	67,25
	[Na <sup>+</sup> ]	126]	[5,043]	[80,17]	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	68,66	2,06	32,75
			6,290	99,99			6,29	100,00
Lac Chila	Na <sup>+</sup>	3,0	0,13	—	Cl <sup>-</sup>	1,4	0,039	analyse
	K <sup>+</sup>	2,4	0,06	—	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,7	0,014	
	Ca <sup>++</sup>	0,6	0,02	—	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	3,8	0,126	
	Mg <sup>++</sup>	0,3	0,024	—				
			0,234				0,179	
Lac Édouard	Ca <sup>++</sup>	16,6	0,828	—	Cl <sup>-</sup>	48	1,353	analyse
	[Na <sup>+</sup> ]	272,9]	[11,866]	—	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	38	0,799	
				12,694	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	316,5	90,55	incomplète
							12,694	
Lac George	Ca <sup>++</sup>	20,8	1,038	53,81	Cl <sup>-</sup>	6	0,169	8,76
	Mg <sup>++</sup>	5,47	50,450	23,33	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	52,8	1,76	91,24
	[Na <sup>+</sup> ]	10,14]	[0,441]	[22,86]				
			1,929	100,00			1,929	100,00

TABLE 71 (suite).

		mg	mv	%		mg	mv	%
Lac Kivu	Na+	202,8	8,80	44,0	Cl <sup>-</sup>	42,4	1,19	5,95
	K+	30,7	0,78	3,90	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	32,4	0,67	3,35
	Ca <sup>++</sup>	8,1	0,40	2,00	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	[544,2]	[18,14]	[90,70]
	Mg <sup>++</sup>	122,0	10,02	50,10				
			20,00	100,00		20,00	100,00	
Lac Moero	Ca <sup>++</sup>	13,7	0,68	50,00	Cl <sup>-</sup>	19,8	0,56	41,18
	Mg <sup>++</sup>	6,0	0,49	36,03	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24,0	0,80	58,82
	[Na+	4,37]	[0,19]	[13,97]				
			1,36	100,00		1,36	100,00	
Lac Nyassa	—	—	—	—	—	—	—	—
Lac Rodolphe	Na+	770	33,47	96,68	Cl <sup>-</sup>	429	12,09	34,56
	K+	23	0,59	1,70	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	56	1,16	3,32
	Ca <sup>++</sup>	5,0	0,23	0,66	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	652	21,73	62,12
	Mg <sup>++</sup>	4,0	0,33	0,95				
			34,62	99,99		34,98	100,00	
Lac Rukwa	Na+	149,4	6,495	81,41	Cl <sup>-</sup>	25,8	0,728	9,24
	K+	19,4	0,496	6,22	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	2,9	0,060	0,76
	Ca <sup>++</sup>	12,2	0,609	7,631	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	212,8	7,093	90,00
	Mg <sup>++</sup>	4,6	0,378	4,74				
			7,978	100,00		7,881	100,00	
Lac Tana	Na+	5,221	0,227	11,80	Cl <sup>-</sup>	8	0,225	11,70
	Ca <sup>++</sup>	18,72	0,934	48,57	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50,95	1,698	88,30
	Mg <sup>++</sup>	9,27	0,762	39,63				
			1,923	100,00		1,923	100,00	
Lac Tanganika (J. KUFFERATH)	Ca <sup>++</sup>	13	0,65	8,52	Cl <sup>-</sup>	27	0,76	9,96
	Mg <sup>++</sup>	42,6	3,50	45,87	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	3	0,06	0,79
	[Na+	80]	[3,48]	45,61	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	204,3	6,81	89,25
			7,63	100,00		7,63	100,00	

TABLE 71 (suite).

		mg	mv	%		mg	mv	%
Lac Tanganika (L. STAPPERS)	Na <sup>+</sup>	24	1,043	—	Cl <sup>-</sup>	34	0,958	Analyse douteuse
	K <sup>+</sup>	18	0,460	—	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	15	0,312	
	Ca <sup>++</sup>	18	0,898	—	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	198	6,60	
	Mg <sup>++</sup>	39	3,207	—			—	
				5,608			7,870	
Lac Tanganika (C. K. RICARDO)	Na <sup>+</sup>	59,9	2,604	34,89	Cl <sup>-</sup>	28,3	0,798	11,01
	K <sup>+</sup>	33,1	0,846	11,33	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	4,3	0,089	1,23
	Ca <sup>++</sup>	11,9	0,593	7,95	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	190,9	6,363	87,76
	Mg <sup>++</sup>	41,6	3,421	45,83			—	—
				7,464	100,00		7,250	100,00
Lac Victoria	Ca <sup>++</sup>	7,02	0,350	26,30	[Cl <sup>-</sup>	5,0]	[0,41]	11,22
	Mg <sup>++</sup>	3,5	0,287	21,56	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,8	0,016	1,27
	Na <sup>+</sup>	13,5	0,587	44,10	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	30,1	1,100	87,51
	K <sup>+</sup>	4,2	0,107	8,04			—	—
				1,331	100,00		1,257	100,00

Au moyen des pourcentages des ions et cations totaux on peut maintenant procéder à la représentation graphique de la composition chimique des eaux d'après J. KUFFERATH (1951) et l'on peut classer par conséquent les eaux de ces lacs d'après les types des eaux naturelles.

Lac Albert.	Na <sup>+</sup> Ca <sup>++</sup> Mg <sup>++</sup>	} } }	Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Type hexa-ionique.
Lac Bangweolo :	Na <sup>+</sup> Ca <sup>++</sup> Mg <sup>++</sup>	} } }	Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Type hexa-ionique.
Lac Baringo:	Na <sup>+</sup> Ca <sup>++</sup> Mg <sup>++</sup>	} } }	Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Type hexa-ionique.
Lac Bunyoni :	Na <sup>+</sup> Ca <sup>++</sup>	} }	Cl <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Type tétra-ionique bicouplé, eau chloro-carbonatée bicationique (eau akiéséritique).
Lac Chila :	Na <sup>+</sup> Ca <sup>++</sup> Mg <sup>++</sup>	} } }	Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Type hexa-ionique.

Lac Édouard :	Na <sup>+</sup> } Ca <sup>++</sup> }	{ Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Type probablement hexa-ionique
Lac George :	Na <sup>+</sup> } Mg <sup>++</sup> } Ca <sup>++</sup> }	{ Cl <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Type penta-ionique à cation manquant (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) (eau asulfatée).
Lac Kivu :	Na <sup>+</sup> } Mg <sup>++</sup> } Ca <sup>++</sup> }	{ Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Type hexa-ionique.
Lac Moëro :	Na <sup>+</sup> } Mg <sup>++</sup> } Ca <sup>++</sup> }	{ Cl <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Type penta-ionique à cation manquant (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) (eau asulfatée).
Lac Nyassa :	Analyses complètes manquent. Plus que probablement du type hexa-ionique.		
Lac Rodolphe :	Na <sup>+</sup> } Mg <sup>++</sup> } Ca <sup>++</sup> }	{ Cl <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Type hexa-ionique.
Lac Rukwa :	Na <sup>+</sup> } Mg <sup>++</sup> } Ca <sup>++</sup> }	{ Cl <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Type hexa-ionique.
Lac Tana.	Na <sup>+</sup> } Mg <sup>++</sup> } Ca <sup>++</sup> }	{ Cl <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Type penta-ionique à cation manquant (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) (eau asulfatée).
Lac Tanganika.	Na <sup>+</sup> } Mg <sup>++</sup> } Ca <sup>++</sup> }	{ Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Type hexa-ionique.
Lac Victoria.	Na <sup>+</sup> } Mg <sup>++</sup> } Ca <sup>++</sup> }	{ Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Type hexa-ionique.

Il y a évidemment une réserve à faire en ce qui concerne les eaux penta-ioniques à ion manquant, principalement pour les eaux supposées « amagnésiques », comme certaines données le feraient supposer pour le lac Édouard. Dans ce cas, les résultats de l'analyse ne comportant que le calcium et les alcalins ont été calculés par différence, notamment pour ceux publiés en 1952 par l'EAST AFRICAN HIGH COMMISSION.

Notons que les résultats des analyses sur échantillons récoltés par T. PHILLIPS en 1921 renseignent 5 mg-litre Mg<sup>++</sup> à l'Est du lac Édouard et 6,16 mg-litre Mg<sup>++</sup> au Sud-Ouest. En outre, d'après les analyses spectrographiques faites par l'EAST AFRICAN FISHERIES RESEARCH ORGANISATION sur l'eau de la rivière Semliki après sa sortie du lac Édouard, celle-ci contiendrait 33 mg-litre Mg<sup>++</sup>.

On voit donc aisément qu'il y a lieu d'être très prudent dans les conclusions que l'on voudrait tirer des analyses publiées jusqu'ici.

Si nous reprenons les résultats de l'analyse spectrographique on est en droit, contrairement aux analyses renseignées plus haut, de considérer les eaux du lac Edouard comme hexa-ioniques ou complètes, puisque nous trouvons, d'une part, une analyse comportant  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et les alcalins  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  et, d'autre part, des déterminations de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4$  et  $\text{CO}_3$ .

Les recherches futures montreront quelle est la composition ionique complète.

\*  
\*\*

Ayant ainsi défini les lacs principaux, pour autant qu'il était possible, au point de vue chimique, il y a lieu d'essayer de les classer d'après leurs propriétés limnologiques.

Auparavant reprenons encore une fois les définitions limnologiques théoriques et les caractéristiques des deux types principaux de lacs. Le schéma le plus complet a été récemment publié par P. S. WELCH (1952).

#### I. — Lacs oligotrophes.

a) Très profonds, thermocline situé très haut, volume de l'hypolimnion très grand, température basse de l'hypolimnion.

b) Substances organiques sur le fond et en suspension : teneur basse.

c) Electrolytes bas ou variables; Ca, P et N relativement pauvres; dérivés humiques très minimes ou absents.

d) Concentration en oxygène élevée à toutes profondeurs et pendant le courant de l'année.

e) Hydrophytes rares.

f) Plancton quantitativement restreint; espèces nombreuses; fleurs d'eau rares; les Chlorophycées dominant.

g) Faune benthique relativement riche en espèces et en quantité; type *Tanytarsus*; *Corethra* généralement absent.

h) Poissons d'eau froide profonds communs à abondants.

i) Succession en type eutrophe.

#### II. — Lacs eutrophes.

a) Relativement peu profonds; lorsque profonds : eau froide minime ou absente.

b) Substances organiques sur le fond et en suspension abondantes.

c) Electrolytes variables, souvent teneurs élevées; Ca, P et N abondants; dérivés humiques minimes.

d) Oxygène dissous dans les lacs stratifiés profonds de ce type, minime ou absent dans l'hypolimnion.

e) Hydrophytes abondants.

f) Plancton variable; quantitativement abondant, qualité variable; fleurs d'eau communes; prédominance de Diatomacées et de Cyanophycées.

g) Faune benthique, dans les lacs profonds, stratifiés, de ce type, pauvre en espèces et en quantités dans l'hypolimnion; type à Chironomides, présence de *Corethra*.

h) Poissons dans les couches froides profondes généralement absents.

i) Successions en étang, marais, étang marécageux.

Toutes ces caractéristiques se rapportent, toutefois, aux lacs des régions tempérées.

F. RUTTNER (1953) fait remarquer en outre : Ce n'est pas seulement la stratification biochimique qui distingue un lac eutrophe d'un lac oligotrophe. Les propriétés optiques de l'eau sont affectées par les teneurs en organismes planctoniques, dont certains sont pigmentés. Un lac contenant une eau très transparente, bleue, verte ou bleu-vert est toujours oligotrophe. D'autre part, les lacs eutrophes ont toujours une transparence relativement minime et une couleur jaune-vert à jaune-brun. Il faut cependant faire attention à la présence possible de matières minérales ou de dérivés humiques en suspension qui pourraient influencer la turbidité et fausser la détermination des propriétés optiques sur lesquelles on se base pour faire la discrimination entre lac eutrophe et oligotrophe.

Quant aux eaux lacustres tropicales, fort peu d'études spécifiquement limnologiques ont été faites et l'on éprouve quelque difficulté dans la classification. Généralement, depuis A. THIENEMANN (1931), on a admis jusqu'ici que la plupart des lacs tropicaux sont du type eutrophe.

Afin de comprendre ce qui se passe dans les lacs tropicaux en général et dans certains cas particuliers, il faut remonter assez loin en arrière et reprendre l'étude de l'oxygène dans l'eau des lacs.

On trouve chez F. RUTTNER (1953) une très bonne synthèse de ce que l'on connaît à ce sujet.

L'oxygène et l'acide carbonique sont, comme chacun le sait, deux grands facteurs dans le métabolisme. Partout où un gradient chimique d'origine biogénique se manifeste dans la nature, la distribution de ces deux substances est exactement inverse. On peut donc s'attendre, dans les eaux lacustres, à trouver la stratification de l'oxygène opposée à celle de l'acide carbonique. Lorsque la concentration de l'anhydride carbonique dans la zone trophogène diminue à cause de la photosynthèse, la teneur en oxygène augmente proportionnellement. D'un autre côté, dès que les processus d'oxydation dus à la dégradation de la matière organique sont déclenchés, l'oxygène diminue dans la zone tropholytique située beaucoup plus bas et celle-ci s'enrichit par conséquent en acide carbonique (ou ses sels).

Toutefois, alors que l'anhydride carbonique libéré au-dessous du thermocline reste dans l'eau, libre ou engagé dans des combinaisons chimiques, l'oxygène libéré dans l'épilimnion demeure en contact avec l'atmosphère et peut ou bien

être abandonné à celle-ci ou bien être utilisé en partie au cours de la respiration des animaux.

Avec une action chlorophyllienne moyennement active, une sursaturation de l'oxygène (*sensu* F. RUTTNER) se produit accompagnée d'un gradient de diffusion vers la surface et une fraction appréciable de l'oxygène se dégage.

Un lac se comporte donc comme une plante : à la lumière solaire il donne de l'oxygène. D'un autre côté, la nuit ou bien au cours de journées couvertes, l'oxygène est consommé au cours de la décomposition, et la respiration peut être remplacée par la diffusion à la surface depuis l'atmosphère.

Le contact avec l'atmosphère n'a pas la même importance pour l'anhydride carbonique que pour l'oxygène : les grandes réserves de bicarbonates que la plupart des eaux contiennent subviennent à sa consommation.

L'oxygène ne se trouve donc pas à la même concentration dans toutes les couches lacustres. On observe en général les types suivants de stratification : ou bien la concentration demeure à peu près inchangée dans toute la colonne aquatique : courbe orthograde d'oxygène d'après B. ABERG et W. RÖDHE (1942), ou bien elle diminue dans le thermocline et l'hypolimnion d'une manière quasi parallèle à la courbe de température : courbe clinograde d'oxygène. Dans les cas extrêmes, la concentration devient nulle dans les couches profondes. Dans les deux types de stratification estivale, même dans celui à distribution uniforme, il doit se produire une diminution progressive dans l'hypolimnion.

Cette diminution est imputable aux processus d'oxydation localisés principalement à la surface de la vase. L'extension de ces processus, parmi lesquels les plus importants sont la dégradation bactérienne et enzymatique de la matière organique construite dans la zone phototrophique et la respiration des organismes, dépend d'une foule de circonstances.

Sans aucun doute, le plus important de ces facteurs est la teneur en substances oxydables. Toutes conditions égales, un lac plein de vie aura une plus grande déficience en oxygène dans les couches profondes qu'un lac pauvre. La productivité d'un lac peut donc être estimée dans beaucoup de cas depuis la courbe de l'oxygène. L'intensité de la décomposition dans la zone tropholytique peut être utilisée comme une mesure de la production dans la zone trophogène.

Un autre facteur important dans la consommation de l'oxygène dans l'hypolimnion est la température. On sait que la respiration et les autres processus d'oxydation, qui sont à considérer ici, sont dépendants de la température, en accord avec la loi de VAN T'HOFF, et leur vitesse est doublée ou triplée avec une élévation de température de 10° C. Sous les latitudes tempérées, où les températures des couches profondes des lacs ne sont pas très différentes les unes des autres, cette action ne peut être détectée que difficilement, sauf toutefois par des recherches comparatives très minutieuses, à moins que cela ne soit même tout à fait impossible.

Dans les lacs tropicaux cette action est de la plus haute importance pour la détermination de l'allure de la courbe de l'oxygène.

Dans les régions équatoriales, les températures profondes sont environ de 20° C plus élevées que dans les lacs tempérés. Les réactions chimiques y sont quatre ou neuf fois plus rapides, c'est-à-dire, toutes les autres conditions étant égales, quatre à neuf fois plus d'oxygène est consommé par unité de temps dans un lac tropical que dans les lacs tempérés. Dans ces derniers, les températures des couches profondes exercent un pouvoir conservateur par le froid, et une large proportion des matières organiques qui tombent dans le fond depuis la zone trophogène est déposée, non décomposée, dans le sédiment. Réciproquement, la température d'incubation dans les lacs tropicaux provoque une décomposition poussée très loin, même au cours du trajet effectué par les matériaux vers le fond, fait qui est démontré par la minéralisation plus avancée des sédiments de ces eaux.

C'est pourquoi on trouve une déficience plus ou moins marquée dans l'hypolimnion de tous les lacs tropicaux, déficience qui a été examinée sans tenir compte si le lac était eutrophe ou oligotrophe.

Dans les lacs tropicaux, conclut F. RUTTNER, la température est le facteur déterminant et la courbe de l'oxygène perd son importance comme indicateur de l'intensité de la productivité organique.

Ce cas n'est pas isolé. E. B. WORTHINGTON et C. K. RICARDO (1936) ont trouvé que les lacs Est-africains ne se laissent pas intégrer dans l'ancienne classification. Ils sont eutrophes avec une grande productivité, mais oligotrophes, en ce sens que l'oxygène est présent en quantités appréciables à toutes les profondeurs. Ce qui est contraire aux conclusions d'A. THIENEMANN, suivant lequel l'oligotrophie vraie ne pourrait exister sous les tropiques et que tous les lacs tropicaux seraient eutrophes. R. WOLTERECK a trouvé que, dans les pays tropicaux, il y a des lacs eutrophes, mésotrophes et oligotrophes, qui peuvent être très voisins les uns des autres.

Les cas extrêmes, toutefois, ont des caractères plus prononcés que dans les régions tempérées. L'eutrophie, lorsqu'elle se prononce au cours de l'année, est plus grande et la même chose se produit pour les lacs d'une oligotrophie extrême, comme c'est le cas pour le grand lac Towoeti aux Célèbes, où l'oligotrophie est si élevée que le disque de SECCHI est visible jusqu'à 24,75 m.

La plupart des lacs énumérés au début de ce chapitre et qui ont été ensuite étudiés dans les grandes lignes ont des caractères eutrophes indéniables, à l'exception cependant du lac Tana. Un cas particulier est constitué par le lac Tanganika; comme on peut le constater à l'examen de la table 72, il possède des caractéristiques à la fois du type oligotrophe et du type eutrophe. Du premier, le type oligotrophe, il a les caractéristiques géomorphiques, la profondeur, l'évolution de la température, l'hypolimnion très profond, les quantités minimales de phytoplancton au cours de certaines périodes, l'absence ou la rareté d'hydrophytes; du second, le type eutrophe, il a le résidu minéral élevé, le fond en forme de U, le sédiment augmentant avec l'âge, le pH basique.

Ce type de lac, très particulier, mais parfaitement connu, a été étudié par I. FINDENEGG (1935-1937) et F. RUTTNER (1953).

TABLE 72. — Comparaison de types lacustres  
par rapport à quelques facteurs physico-chimiques et biologiques  
(d'après G. W. PRESCOTT, 1939).

Les conditions réalisées au lac Tanganika sont entourées d'un cadre (L. VAN MEEL).

Facteurs	Type oligotrophe	Type eutrophe
Poissons	Basse productivité.	Haute productivité.
Géologiques.	Roches primaires, dures, ignées.	Roches calcaires tendres. Eaux riches en silicates.
	Résidu minéral bas.	Résidu minéral élevé.
Forme des rives.	Peu ou pas de hauts fonds. Peu de plages, ou bien très étroites. Rives généralement à pic.	Plages, écueils, berges légères descendant graduellement.
	Fond en forme de V. Surface de contact de l'eau avec le fond = minime.	Fond en forme de U. Surface de contact de l'eau avec le fond = élevé.
Profondeur	Très profonds, 30 m et plus.	Peu profonds, 10 m ou moins.
Sédiment.	Peu de sédiments. Dépôt minéral minime.	Sédiment augmentant avec l'âge.
		Gyttja limoneux.
pH	Acide. pH = 4,5; pH = 6,8.	Alcalin. pH = 6,8; pH = 9,8.
Température	La moyenne est basse, l'hypolimnion est profond.	La moyenne est haute, l'épilimnion est profond.
CO <sub>2</sub> combiné	Teneur en CO <sub>2</sub> et réserve alcaline basses : 2,0 mg/l.	Teneur en CO <sub>2</sub> et réserve alcaline élevées : 20-25 mg/l et plus.
Ca	Généralement teneur basse.	Riche : 40 mg et plus.
NO <sub>3</sub>	Teneurs basses : 0-0,001 mg/l.	Teneurs élevées : 0,1-0,4 mg/l.
PO <sub>4</sub>	Absents ou traces.	0,005-0,1 mg/l.
Conductivité	Peu d'électrolytes.	Électrolytes abondants. Diminuent avec l'accroissement saisonnier du plancton.

TABLE 72 (suite).

Facteurs	Type oligotrophe	Type eutrophe
Phytoplancton	Quantités minimales. Peut être à peu près absent. Beaucoup d'espèces, peu d'individus.	Grandes quantités.
	Producteurs d'amidon.	Producteurs d'huile.
Hydrophytes	Minimes. Peu d'espèces. Végétation sublittorale réduite.	Grandes quantités. 52 % du fond sont occupés. Beaucoup d'espèces.
Rapports Na/K et Ca/Mg	Rapport élevé : 3,2.	Rapport bas : 1,1.

C'est au cours de l'hiver 1930-1931 que I. FINDENEGG montra pour la première fois que des stratifications pseudoeutrophes peuvent se manifester lorsqu'au début et à la fin de l'hiver la circulation complète ne se produit pas. L'absence de brassage complet jusqu'au fond, qui a d'habitude toujours lieu au cours de la saison froide, provoque la carence d'une égalisation annuelle de la composition de l'eau entre la surface et le fond.

La stagnation prolongée de l'eau profonde provoque dans les couches inférieures un comportement analogue à celui qui se manifeste dans les lacs très productifs au cours d'une période de stagnation estivale, ceci nonobstant la production minimale de plancton dans la couche trophogène.

Dans le cas des lacs eutrophes, les produits de la dégradation de la matière organique accumulée au fond au cours de la période de stagnation sont ramenés partiellement dans l'épilimnion au cours de la circulation totale; dans celui des lacs pseudo-eutrophes, au contraire, ils sont perdus pour la couche trophogène, de sorte que l'appauvrissement en matières nutritives est encore accru vis-à-vis d'une eau oligotrophe à circulation normale.

Alors qu'on sait comment un comportement pseudo-eutrophe peut se manifester dans un lac eutrophe, il reste à expliquer toutefois comment il est possible que, dans certains cas, des couches d'eau considérables ne soient pas comprises dans le mouvement circulatoire à l'époque de l'égalisation de la température. I. FINDENEGG a souvent exprimé l'idée que l'absence de circulation totale serait due au manque de vents dans la région où le lac est situé.

Par conséquent, l'absence de brassage semble être un effet de la haute salinité des eaux profondes. D'après les travaux antérieurs de I. FINDENEGG, ceci est encore une fois et essentiellement le fait de la stagnation permanente.

Une telle stratification des concentrations, provoquée indépendamment des réactions tropholytiques, explique évidemment l'absence de la circulation totale et la stratification biochimique qui débute à ce moment en est la conséquence logique. De tels types ont été découverts au cours des recherches d'A. THIENEMANN, F. RUTTNER et S. YOSHIMURA.

C'est l'étude du lac Tanganika qui retiendra maintenant toute notre attention.

C'est I. FINDENEGG (1935) qui avait déjà introduit le terme « méromictique » par opposition aux lacs normaux ou holomictiques; la masse aquatique qui ne participe pas à la circulation totale annuelle est appelée monimolimnion. C. E. HUTCHINSON (1937) a étudié les rapports de stabilité dans les lacs méromictiques.

Certains lacs, dit I. FINDENEGG (1935), donnent l'impression, par les propriétés de leurs couches supérieures, d'une oligotrophie bien définie, ils produisent aussi peu de phytoplancton. Mais en ce qui concerne leurs couches profondes, celles-ci ont des caractères eutrophes typiques, tels qu'il est absolument impossible de ranger le lac en question dans la série oligotrophe. Ces conditions pseudo-eutrophes des couches profondes, comme I. FINDENEGG l'a montré à plusieurs reprises, sont basées sur l'absence de circulation totale durant la période de stabilité thermique minime au début et à la fin de l'hiver. On sait que cette période d'instabilité, survenant annuellement après la stagnation estivale, provoque les échanges entre les couches supérieures et inférieures. I. FINDENEGG a proposé de nommer lacs méromictiques ces lacs dont l'hypolimnion possède une stagnation prolongée, par opposition aux lacs holomictiques, où la circulation est totale.

Par suite de l'absence de courants circulatoires amenant les matières nutritives du fond vers la surface, ces substances sont perdues pour la couche trophogène des lacs méromictiques. Pour cette raison la couche trophogène de ces lacs est la plupart du temps très pauvre en matières nutritives.

Le rapport entre les masses aquatiques sans circulation et celles soumises à une circulation régulière est très variable. En général le brassage est d'autant plus complet que l'eau est moins profonde. Il faut aussi envisager, en outre, l'exposition aux vents et la superficie absolue de la surface aquatique. I. FINDENEGG propose d'appeler monimolimnion ces couches lacustres profondes qui demeurent en stagnation constante durant des années consécutives. Ce monimolimnion constitue en réalité dans les lacs méromictiques les parties inférieures de l'hypolimnion. Le rapport entre les masses aquatiques non brassées et le volume total du lac, et aussi sa profondeur moyenne sont deux facteurs dont il faut tenir compte.

Plus la masse d'eau stagnante profonde est petite, plus elle sera riche en déchets planctoniques, plus la concentration en matières dissoutes sera par conséquent élevée, à l'exception de l'oxygène, dont la consommation sera évidemment proportionnelle à cette concentration. Ce n'est pas seulement la grandeur

relative du monimolimnion qui est importante dans la formation de stratifications pseudo-eutrophes, mais aussi le degré de plénitude de la stagnation qui règne ici. Cette dernière cependant est aussi proportionnelle à l'action des vents sur le lac, qui est cependant déterminée, très particulièrement entre autres, par l'étendue absolue de la surface lacustre. La stagnation du monimolimnion est aussi plus complète dans les petits lacs que dans les grands. Les deux facteurs ensemble déterminent ainsi dans le même sens une intensité plus grande de la stratification pseudo-eutrophe dans les petits lacs.

La stagnation du monimolimnion est d'autant plus complète que le rapport de la surface lacustre au volume est plus petit. La stratification est ainsi la plus prononcée dans les petits lacs méromictiques. Dans les grands lacs, malgré les grandes profondeurs, elle est moins développée, d'une part, parce que les substances organiques sédimentées se répartissent sur un monimolimnion beaucoup plus considérable, d'autre part, parce que durant des périodes de grands vents celui-ci acquiert un mouvement beaucoup plus ample, de sorte que les échanges verticaux sont plus favorisés ici que dans les petites cuvettes.

Dans le monimolimnion pauvre en oxygène, l'azote se présente le plus souvent sous forme d'ammoniacque, mais dans ses couches supérieures ce n'est que dans les eaux eutrophes qu'on le rencontre sous cette forme, d'habitude cependant presque exclusivement sous forme de nitrates. Des quantités considérables sont cependant dissoutes aussi sous forme organique, ce qui explique une certaine grandeur de la production en phytoplancton dans ces lacs, dont l'épilimnion ne contient presque pas de dérivés inorganiques d'azote en solution, tout au moins dans des lacs un peu plus productifs, dont la consommation épilimnique des nitrates a pour effet un enrichissement de l'hypolimnion au cours des périodes de stagnation.

Dans le monimolimnion des lacs méromictiques s'accumulent des quantités relativement considérables de substances azotées, qui sont ainsi définitivement perdues pour l'économie du lac, à cause de la circulation défectueuse. Ceci concerne aussi les autres substances nutritives dissoutes. La couche trophogène de ces lacs est par conséquent généralement très pauvre en substances nutritives; cependant cet état de choses peut être un peu amélioré par l'apport de sels dissous dans l'eau des tributaires.

Il se fait, en outre, que la couche trophogène est d'autant plus pauvre en azote que la stagnation est parfaite dans le fond, que la stratification pseudo-eutrophe est plus prononcée.

Comme l'azote donne la mesure de la production totale de phytoplancton dans les lacs étudiés par I. FINDENEGG, il se fait que le degré trophique du lac est d'autant plus élevé qu'il est plus brassé.

L'absence prolongée de circulation totale dans les lacs méromictiques ne se base pas seulement sur une stratification par concentration minérale, qui provient d'influences géologiques, mais doit être comprise du point de vue climatique.

En ce qui concerne la température des lacs tropicaux, plus on s'approche des tropiques (F. RUTTNER, 1953), plus minimes sont les variations annuelles des températures de l'air et de l'eau et aussi les différences entre les températures de surface et de fond; cette dernière pourrait être difficilement plus basse que la température moyenne de l'époque la plus froide de l'année. C'est pourquoi la caractéristique tout à fait typique des lacs tropicaux n'est pas la température élevée de la surface aquatique, mais bien les légères variations saisonnières et la petite différence entre la température des couches de surface et de fond.

En d'autres termes, la courbe de température pour les lacs tropicaux montre exactement les mêmes principes de stratification que celle des lacs tempérés.

En dépit de différences de température, la stabilité est rarement moindre que dans les lacs sous nos latitudes, à cause des variations rapides de la densité aux températures élevées auxquelles ces différences se déclarent. Un autre phénomène encore découle de la densité de l'eau : sous les tropiques, en effet, un degré donné de refroidissement déclenche des courants de convection plus actifs que dans les lacs sous les latitudes tempérées à l'époque de la circulation. Dans ces derniers, avec leur température communément plus basse, et de là leur plus grande densité, la vitesse des courants descendants ne peut être que minime, ce qu'elle est, en effet, aux environs de 4° C.

D'un autre côté, le plus petit refroidissement dans un lac tropical provoque des courants de convection qui affectent bientôt l'hypolimnion chaud, et si ce mécanisme se poursuit, il doit conduire rapidement à une circulation totale du lac sans que l'action du vent doive nécessairement intervenir.

Comme les variations annuelles de la température sont très minimes sous les tropiques, la circulation totale des lacs ne se borne pas à certaines saisons, comme cela se produit dans nos régions tempérées.

Elles peuvent avoir lieu fréquemment à de courts intervalles, lorsque des périodes de refroidissement se succèdent rapidement. D'autre part, après une période exceptionnellement froide avec sa dépression de la température dans les couches profondes, il peut se faire qu'il n'y ait pas de circulation totale durant des années. Ce n'est que dans ces régions où les saisons des pluies alternent avec des saisons sèches bien marquées, caractérisées par une radiation intense, que les circulations totales se produisent régulièrement. Là elles sont associées à la saison sèche.

La dépendance de presque tous les phénomènes de stratification chimique du gradient de la température est un fait que toutes les recherches de F. RUTTNER (1930) dans les lacs des Indes néerlandaises ont clairement démontré. Les lacs tropicaux ne se distinguent à ce point de vue des lacs tempérés que pour autant que la vitesse accrue des échanges, par suite de la haute température de l'hypolimnion, en période de stabilité, provoque des stratifications beaucoup plus prononcées des substances participant au métabolisme, en un temps plus court que sous les latitudes tempérées.

Dans les lacs tempérés, la durée des périodes de stagnation est déterminée,

en règle générale, par l'alternance des saisons. A l'époque de la production organique la plus élevée, la stagnation estivale est limitée par deux périodes de circulation, le printemps et l'automne, et sa durée n'est pas soumise à des variations trop grandes.

Il en va tout autrement sous les tropiques. L'uniformité du climat a pour résultat que la circulation totale dans les lacs n'est généralement pas liée à une saison bien déterminée. Les caractéristiques climatiques de certaines régions peuvent à peine être la cause que, sous l'influence des vents, des refroidissements ou des brassages soient à attendre au cours de certains mois plutôt que d'autres; mais la régularité presque obligatoire des zones tempérées fait défaut ici. Des périodes de circulation complète peuvent se répéter, en certaines circonstances, à des intervalles beaucoup plus brefs que sous les latitudes tempérées, comme on peut imaginer le cas qu'après un refroidissement particulièrement important il faille attendre plus d'un an avant que la circulation complète suivante ne se produise. A cela s'ajoute encore que, d'après tous les caractères des climats tropicaux, les périodes de circulation sont régulièrement d'une très brève durée.

Il est évident que la connaissance plus approfondie de ces circulations et de leur périodicité, s'il en existe une, serait primordiale et urgente en plus de tout ce qui concerne la limnologie proprement dite.

Des circulations et des brassages occasionnant des diminutions de l'oxygène dans les couches supérieures sont d'une importance extrême, car une circulation profonde dans un lac avec un hypolimnion considérable dépourvu d'oxygène peut faire diminuer en une seule nuit tout l'oxygène des couches supérieures de manière que toute vie devienne impossible, avec toutes les conséquences que cela comporte.

I. FINDENEGG s'est étendu sur la question des lacs holomictiques et méromictiques dans une étude parue en 1937. On ne peut nier, dit-il, que, du point de vue thermique, le comportement de la température d'un lac peut devenir très important dans le développement des conditions de vie du milieu. Ce n'est pas la composition de la faune et de la flore seulement qui est fonction des variations de la température; l'importance de ces dernières s'accroît en rapport avec l'aisance ou l'entrave données à l'induction des courants de convection, qui accroissent ou suppriment les contrastes créés entre épi- et hypolimnion par les processus biochimiques lacustres. Si l'intensité de la construction et de la dégradation de la matière organisée est déterminante dans l'intensification du contraste entre épi- et hypolimnion, il ne faut pas perdre de vue non plus que la durée entre des brassages successifs est d'importance capitale pour les masses aquatiques de ces deux milieux à caractère opposé, dont le mélange ne peut avoir lieu si la stratification thermique est stable.

On connaît la stratification due à la différence de densité entre les différentes couches et les circulations se produisant lorsqu'à une température supérieure à 4° C de l'eau plus chaude surmonte de l'eau plus froide et à une température inférieure à 4° C lorsque l'inverse a lieu.

Si l'on se place à un point de vue uniquement statique, il ne peut se produire de brassage que dans le cas de différence de température entre la surface et le fond. C'est en se basant sur cette notion que F. A. FOREL a établi sa classification thermique des lacs : lacs tropicaux, tempérés et polaires. Ce n'est que le type tempéré qui offre le plus de possibilités d'un échange complet entre épi- et hypolimnion à des intervalles réguliers, à cause de la stratification directe et indirecte survenant deux fois l'an.

Les travaux de divers chercheurs ont montré qu'il faut, toutefois, modifier cette manière de voir en ce sens qu'il n'y a pas que les courants de convection qui jouent un rôle dans la circulation des couches aquatiques, mais qu'il faut tenir compte d'influences dynamiques venant du dehors. Parmi ces dernières c'est le vent qui, communiquant des quantités suffisantes d'énergie, peut faire entrer une eau lacustre stratifiée en circulation totale, car il fournit le travail nécessaire à cette opération.

Cette notion semble être d'autant plus intéressante que dans beaucoup de lacs tempérés, même à la fin de la stratification thermique du printemps et de l'automne, la stratification ne cesse pas complètement d'exister, mais il subsiste une certaine stratification due aux divers degrés de concentration provenant du fait que l'épilimnion s'appauvrit constamment, au cours de la période de stagnation, en substances dissoutes, au profit de l'assimilation chlorophyllienne. A la mort, ces organismes tombent au fond du lac, se dissolvent dans les eaux profondes, et ces dernières acquièrent une densité plus forte que les couches superficielles, même s'il y a homothermie.

Progressivement la notion s'impose que les courants de convection, au moyen desquels l'épilimnion récupère les substances dissoutes, fortement diminuées au cours de la période de stagnation et par lesquels l'hypolimnion est aéré et oxygéné, sont un effet de l'action du vent sur la surface lacustre.

Toutes ces considérations et des recherches appropriées faites en 1930 ont amené I. FINDENEGG à établir deux nouveaux types de lacs : les lacs à circulation complète ou incomplète. Il a proposé respectivement les noms de lacs holomictiques et lacs méromictiques. Le type méromictique, celui qui nous intéresse le plus ici, comme on le verra plus loin, comprend ainsi les lacs dont les couches profondes demeurent stagnantes; elles forment ce que I. FINDENEGG appelle le monimolimnion. Il existe évidemment des cas extrêmes et des cas intermédiaires.

Le type holomictique comprend tous les lacs dont les couches subissent, au moins une fois l'an, un brassage complet. Le nombre de brassages annuels et la durée de ces derniers diffèrent suivant les cas. On connaît même des lacs qui subissent un brassage complet plusieurs fois l'an, surtout ceux ne comprenant pas l'hypolimnion proprement dit. A côté de ces nouveaux genres, la forme réellement typique de lac offre une double circulation annuelle; c'est le cas pour la plupart des lacs tempérés à la période de transition entre la stratification estivale et la stratification hivernale, et inversement.

Il semble, d'après I. FINDENEGG, que les circulations considérables sont

freinées dans les grandes profondeurs et qu'il n'y a pas du tout lieu de songer à une circulation complète s'étendant jusqu'au fond.

Sous les tropiques, dit le même auteur, ainsi que dans les régions subtropicales, il y a encore possibilité de rencontrer des cas extrêmes. Les températures des couches profondes de ces lacs tropicaux, *sensu* F. A. FOREL, ne sont pas stabilisées par l'anomalie de l'eau à environ 4° C, comme c'est le cas dans les lacs tempérés; ces lacs montrent, au fond, une température qu'ils possédaient lors de la dernière période d'homothermie. Cette température est la résultante de facteurs climatiques, indépendamment de l'altitude et de la latitude. Après un refroidissement particulièrement considérable jusqu'au fond, produit par une circulation complète, on peut se trouver en présence de périodes plus ou moins longues ayant des hivers modérés, ou des saisons froides analogues, durant lesquelles la stratification thermique reste constante et n'est jamais dissoute.

Dans ces circonstances une circulation totale n'a pas l'occasion de se manifester, pour de longues années parfois, à supposer, toutefois, que le lac ne soit pas profondément influencé par les vents. Les lacs se conduisent alors une fois comme le type holomictique, ensuite, pour longtemps, comme méromictiques, ainsi que S. YOSHIMURA l'a montré en 1936.

F. RUTTNER (1931) a déjà montré les grands retards dans la circulation totale dans les lacs tropicaux. Comme on peut admettre, avec cet auteur, que sous les tropiques les périodes circulatoires n'ont qu'une durée très courte, on peut conclure que dans les lacs tropicaux très profonds la circulation totale ne se manifeste pas plus que sous les latitudes tempérées.

F. RUTTNER (1953) attire l'attention sur quelques cas particuliers de stratification : les lacs méromictiques, qui présentent un cas particulier avec leurs eaux profondes stagnantes qui ne circulent pas chaque année. Ces lacs, comme les lacs tropicaux mentionnés plus haut, montrent une diminution notable ou même une absence complète de l'oxygène dans l'hypolimnion, même si leurs autres caractéristiques les indiquent comme oligotrophes. C'est le résultat de la consommation continue de l'oxygène au cours de l'année, eu égard à l'absence de circulation totale.

La courbe de l'oxygène, dans les lacs normaux de la zone tempérée, est déterminée en ordre principal par la quantité de matière organique oxydable; dans les lacs tropicaux, par la température, et dans les lacs méromictiques, par la durée de la stagnation; donc dans ces derniers le temps est le facteur principal.

Toutes ces considérations tendent à suggérer le classement du lac Tanganika parmi les lacs du type pseudo-eutrophe, alternativement holomictique pour une courte durée, méromictique pour des périodes plus ou moins longues.

Les seuls faits d'une masse planctonique relativement grande une fois par an, en 1947, et une déficience durant de longs mois, ainsi que l'abondance de frustules de Diatomées dans certains sédiments ramenés par la MISSION HYDROBIOLOGIQUE BELGE, alors que durant le séjour sur le lac, comme on le verra dans la partie biologique de ce travail, le phytoplancton n'était pas très abondant, suffi-

sent, me semble-t-il, pour permettre cette suggestion. Au point de vue limnologique, on pourrait dire que le lac est soumis à une périodicité à très longues échéances, périodicité, au point de vue de la productivité du plancton, en rapport avec le renouvellement des matières nutritives lors de circulations totales.

Rien ne prouve d'ailleurs que la circulation, lorsqu'elle se produit, affecte tout l'hypolimnion; il n'est pas exclu que ce n'est qu'une partie des couches supérieures de ce dernier qui est entraînée dans la circulation.

Il est fort probable que le lac Tanganika était dans une période de stratification à l'époque de la MISSION HYDROBIOLOGIQUE BELGE en 1946-1947.

Je propose donc, jusqu'à plus ample information, la classification décrite ci-dessus. La partie biologique concernant le lac Tanganika sera discutée dans la troisième partie.

---