



La rive orientale du lac Upemba, au Nord de Mabwe (alt. 585 m). *Typha* et *Æschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB. (11.XII.48.)

PARC NATIONAL DE L'UPEMBA
I. MISSION G. F. DE WITTE

en collaboration avec
W. ADAM, A. JANSSENS, L. VAN MEEL
et R. VERHEYEN (1946-1949).

Fascicule 9

NATIONAAL UPEMBA PARK
I. ZENDING G. F. DE WITTE

met medewerking van
W. ADAM, A. JANSSENS, L. VAN MEEL
en R. VERHEYEN (1946-1949).

Aflevering 9

CONTRIBUTION

A

L'ÉTUDE DU LAC UPEMBA

A. — LE MILIEU PHYSICO-CHIMIQUE

PAR

LUDO VAN MEEL (Bruxelles) (1)
(With an english summary.)

INTRODUCTION

Chargé par l'Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge de participer, en qualité d'hydrobiologue, à la Mission organisée au Parc National de l'Upemba, sous la direction de M. G. F. DE WITTE, j'ai essayé de rassembler le plus de renseignements possible sur le comportement du lac. Si le but était bien défini, la réalisation n'a pas été sans se heurter à d'innombrables difficultés. Que connaissons-nous, en effet, de ce lac ? Autant dire rien, si ce n'est que ses rives sont très marécageuses et encombrées de végétation, comme on pouvait s'y attendre par les aspects particuliers de son voisin, le lac Kisale.

Comme aucune étude hydrobiologique n'avait été réalisée jusqu'à présent sur cette énorme cuvette lacustre, il était intéressant d'entreprendre une série de recherches préliminaires en ce sens.

L'époque où l'on pouvait se contenter d'une simple liste d'organismes vivant dans une eau est révolue depuis longtemps et un pareil catalogue n'a

(1) La présente étude a été réalisée grâce à une aide financière de la Fondation pour favoriser l'Étude scientifique des Parcs Nationaux du Congo Belge.

plus de valeur s'il n'est appuyé sur un cycle physico-chimique annuel dont l'établissement doit être basé sur des données analytiques multiples, car des analyses sporadiques ou incomplètes ne suffisent plus, et il s'avère actuellement impossible d'essayer d'interpréter ces cycles si l'on n'est pas en possession d'analyses complètes, de balances ioniques, échelonnées régulièrement au cours d'une année intégrale.

Il faut aussi multiplier les pêches quantitatives de plancton, car c'est par l'interaction des cycles biologique et physico-chimique qu'il faut essayer d'expliquer la « vie » d'un lac.

Cette tâche est ardue, surtout en Afrique, où, dans la majorité des cas, l'organisation d'un laboratoire temporaire équipé pour des recherches hydro-biologiques approfondies, situé au bord d'un lac et loin de tout centre, est encore une impossibilité et où il faut donc travailler sous la tente ou dans un abri sommaire.

Aussi ne pouvait-on s'attendre à des résultats complets dès la rentrée de l'Expédition en Belgique. Je n'ai pu faire sur place que les déterminations physico-chimiques principales, telles que température, pH, le dosage des éléments labiles comme l'oxygène, l'alcalinité, l'acide carbonique libre, les nitrates et les phosphates, l'analyse différée du calcium et la recherche d'autres éléments devant se faire à Bruxelles, dès l'arrivée des échantillons prélevés dans ce but. De même, l'estimation et le calcul du volume des divers planctons récoltés quantitativement ont été effectués au laboratoire de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique.

Malgré des difficultés techniques inhérentes, d'une part, au pays étudié et, d'autre part, aux exigences des diverses disciplines en cause, les renseignements et le matériel récoltés permettent de tracer un tableau sensiblement exact et complet du cycle biologique du lac et des facteurs caractéristiques du milieu.

Enfin, pour des raisons indépendantes de notre volonté, l'expédition a dû s'achever au mois d'août 1949, de sorte que le cycle annuel complet n'a pu être fermé et qu'il reste une inconnue depuis la fin août jusqu'en novembre 1949.

Un premier volume est consacré à l'étude préliminaire du milieu; un second comprendra l'étude du microplancton.

Je tiens à exprimer ici ma gratitude envers le Comité de Direction de l'Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge et tout particulièrement envers son Président M. V. VAN STRAELEN, qui a bien voulu me confier cette mission et a mis, comme Directeur de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, les ressources de celui-ci à ma disposition.

Toute ma reconnaissance va aussi au D^r E. LELOUP, Directeur de laboratoire à la Section des Invertébrés récents de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, qui, avec une très large compréhension, m'a laissé toute latitude pour organiser et exécuter les recherches au laboratoire de la section.

Ce travail n'aurait pu être réalisé en Afrique si je n'avais pu compter sur la collaboration particulièrement cordiale de mes confrères G. F. DE WITTE, Chef de Mission, W. ADAM, Malacologiste, et R. VERHEYEN, Ornithologiste. Ils ont été pour moi d'excellents compagnons de brousse et je tiens à leur exprimer ici ma plus vive gratitude, particulièrement à W. ADAM, qui m'a rendu un grand service en me secondant dans les sondages du lac.

Grâce à la libéralité de la Fondation pour favoriser l'étude scientifique des Parcs Nationaux du Congo Belge, j'ai pu faire récemment un séjour à la station hydrobiologique de la Freshwater Biological Association, à Windermere, où j'ai eu l'occasion de soumettre les résultats de mes recherches à mes confrères britanniques. J'ai été vivement touché par l'aimable accueil que ces derniers m'ont réservé lors de mon passage chez eux.

M. le Président du Comité Spécial du Katanga m'a gracieusement offert l'usage de la carte provisoire d'une partie de la vallée du Kamolondo, levée au moyen de la photographie aérienne. Je lui sais particulièrement gré de son autorisation de reproduire un schéma de cette carte, car celle-ci me permet de donner une image correcte de la situation respective des divers lacs et rivières.

Un cordial merci à F. BULTOT, Chef du Bureau climatologique de l'Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge, qui a aimablement mis à ma disposition les relevés climatologiques faits aux postes de Bukama et Mwanza par les soins de l'Administration.

Enfin, je remercie de tout cœur le personnel de la section des Invertébrés récents de l'Institut et principalement J. DENAYER, préparateur, qui, avec un dévouement inlassable, a exécuté sous ma direction une grande partie des dosages, des calculs et une partie des graphiques, et A. ENGELEN, dessinateur, qui a réalisé les graphiques et les cartes qui illustrent le présent travail.

Institut royal des Sciences naturelles de Belgique.
Bruxelles, le 24 décembre 1952.

CHAPITRE PREMIER.

LES MÉTHODES.

Dès mon arrivée à Lusinga, poste administratif principal du Parc National de l'Upemba, je dus commencer par organiser deux laboratoires : un fixe et un autre, ambulante. Le premier était prévu dans un local existant, spacieux, bien éclairé et déjà muni de tables et d'étagères. Le reliquat des ustensiles et produits chimiques de la Mission Hydrobiologique belge au lac Tanganika, à laquelle je venais de participer (1946-1947), ayant été déposé à Lusinga, je me trouvai donc, dès le début de ma mission, en possession d'une quantité de matériel appréciable auquel se joignit assez rapidement celui de l'Expédition. Il fallut cependant mettre tout au point et surtout établir une distribution d'eau pour les usages de laboratoire et la production d'eau distillée.

L'existence d'un petit cours d'eau : la Lusinga, en contre-bas du laboratoire, me permit d'organiser un portage d'eau. Cette eau était déversée dans des fûts métalliques et refoulée dans des réservoirs se trouvant sur un échafaudage dont le plancher venait à mi-hauteur du toit du laboratoire. Au moyen de minces tuyaux en plomb, je réussis à établir une canalisation qui me donna entière satisfaction. L'eau de la Lusinga étant limpide, je n'eus que peu d'ennuis. Avant de servir à la production d'eau distillée, elle était prépurifiée au moyen de résines synthétiques adsorbant les anions et les cations dissous.

Lors du séjour de l'Expédition aux bords du lac Upemba, pour une durée ininterrompue de trois mois, cette installation fut transportée de toutes pièces et remontée près d'un hangar devant servir de laboratoire.

Là, d'autres difficultés plus graves ont requis toute mon attention. Il n'y avait pas de cours d'eau à proximité du camp et il ne fallait pas songer à organiser un portage d'eau au moyen de fûts à transporter, par le camion de la Mission, depuis le passage d'eau de la Lufira à Kaswabilenga. Je fus ainsi forcé d'étudier rapidement un moyen expéditif et adéquat pour utiliser l'eau du lac, aussi bien pour les besoins domestiques que pour les usages de laboratoire, car le temps et le matériel m'auraient manqué pour procéder à des manipulations nombreuses et compliquées. Je résolus le problème en soumettant cette eau, fort chargée de matières très ténues, organisées et argileuses en suspension, se filtrant particulièrement difficilement, à une décantation préalable dans des fûts où les porteurs d'eau venaient la verser. Puis, elle était pompée, au moyen d'une pompe suédoise et d'une tuyauterie en caoutchouc, dans deux fûts se trouvant sur un échafaudage semblable à celui de Lusinga.

De là elle tombait, en un mince filet réglable, sur des filtres à sable et à charbon de bois. Par sa décantation préliminaire, l'eau amenée sur les

filtres avait déjà perdu une forte quantité de ses matières en suspension. L'eau des filtres pouvait servir aux usages domestiques ordinaires. Pour les usages de laboratoire, j'avais prévu un ajutage amenant l'eau des fûts de décantation sur la table de travail. En ce qui concerne l'eau distillée, comme à Lusinga, je traitai l'eau décantée au moyen de résines et l'envoyai ensuite dans l'appareil à distiller.

Quant à l'eau potable, l'eau sortant des filtres était bouillie et filtrée ensuite sur filtres poreux. Ceux-ci s'obstruaient ainsi beaucoup moins rapidement; il fallait néanmoins les examiner tous les trois jours et les soumettre à un brossage léger.

Cette question primordiale résolue permit aux membres de l'Expédition de regarder l'avenir avec tranquillité, car ceux qui ont vécu loin de tout, dans la brousse africaine, savent ce que représente le problème de l'eau potable. Or, nous étions quatre Européens; la quantité d'eau utilisée chaque jour, rien que comme eau de table, n'était donc pas minime. Aussi cinq filtres à bougies se trouvaient-ils continuellement en charge.

Comme appareils de chauffage, je me suis servi de réchauds à pétrole. Leur grand inconvénient était de fortement salir la verrerie de laboratoire et de perdre assez rapidement leur pression, de sorte qu'il fallait la vérifier fréquemment. L'obtention de quantités appréciables d'eau distillée, étant ainsi assurée, exigea toutefois pas mal de soucis.

Quant au laboratoire ambulante, je dus prévoir des coffres renfermant tous les ustensiles, verrerie, réactifs, répartis logiquement, bien emballés et pouvant être transportés par porteurs indigènes ou par le camion de l'Expédition et supporter les cahots presque continuels durant les quelque six à huit heures, parfois plus, que demande le trajet de Lusinga à Mabwe, sur les rives du lac.

Après notre séjour de trois mois à Mabwe, il ne m'était plus possible que de faire un séjour très court d'une semaine par mois aux bords du lac. Malgré ce laps de temps, le matériel à transporter était encore considérable. Je devais, en outre, m'occuper de l'herbier, tant en ce qui concerne les plantes aquatiques que les plantes terrestres. Matériel de campement, nourriture pour un ou deux Européens et une douzaine d'indigènes, pour un peu plus d'une semaine, le laboratoire, les ustensiles de récolte, les caisses de verrerie pour les collections, presses à herbiers et papier, tout cela occupait, chaque fois, un camion chargé presque à hauteur du toit de la cabine. Inutile d'insister sur le fait que le transbordement à la Lufira exigea à l'aller et au retour un temps considérable.

J'arrive ainsi à la circulation sur le lac. L'Institut des Parcs Nationaux avait mis à notre disposition une vedette à moteur, spacieuse, dans laquelle il serait facile sinon agréable de travailler. Munie d'une cabine, elle nous permettrait de faire tous nos travaux, même dans les conditions atmosphériques les plus défavorables. L'expérience nous apprit que les profondeurs du lac, jusqu'alors à peu près inconnues, sont généralement trop faibles, sur-

tout en saison sèche, pour permettre la navigation au moyen d'un bateau à hélice à tirant d'eau relativement élevé et dont les pompes de refroidissement se montrèrent à l'usage situées trop haut, de sorte qu'elles se désamorçaient très rapidement. D'autre part, la prise d'eau se trouvant à l'arrière, la boue entraînée par le remous de l'hélice entraînait facilement dans la tuyauterie et nous avons perdu des heures au démontage et au nettoyage des canalisations et cela à des dizaines de kilomètres de notre base Mabwe, immobilisés en plein lac.

Nous ne pouvions donc nous éloigner des endroits relativement profonds; or, tout le sud du lac étant extrêmement marécageux et d'une profondeur de l'ordre de 50 cm à 1,10 m seulement, nous aurions dû renoncer à le visiter. Deux vieilles pirogues furent calfatées, après avoir été jumelées au moyen de forts boulons, et munies d'une plate-forme en bois. On prenait alors ce radeau à la remorque derrière la vedette jusqu'au moment où celle-ci ne pouvait plus avancer. Le matériel voulu, les hommes et un ou plusieurs membres de l'Expédition prirent place sur cette embarcation improvisée et en se poussant à la pagaie ou à la gaffe, nous avons pu visiter, étudier et photographier plusieurs endroits où, sinon, nous n'aurions jamais pu arriver.

Nous avons exploré toute l'étendue lacustre tous les mois, soit au moyen de la vedette du Parc, soit au moyen d'une pirogue munie d'un hors-bord, puis, plus tard, au moyen d'une autre pirogue propulsée au moyen d'un moteur à un cylindre, lorsque l'usage de la vedette devint impossible; mais ces dernières embarcations étaient loin de présenter la sécurité et le confort de celle-ci.

Ce qui précède explique pourquoi les graphiques présentent des hiatus et pourquoi, certains mois, je n'ai pu faire le tour complet du lac et visiter toutes les stations établies au début.

Je passerai maintenant très rapidement en revue les méthodes utilisées sur le terrain et au laboratoire.

1. BOUTEILLE A EAU.

La profondeur du lac étant trop minime pour permettre l'utilisation des bouteilles à renversement de J. RICHARD, j'ai adopté une bouteille de verre lestée, décrite récemment par R. C. MC LEAN et W. R. COOK dans « Practical Field Ecology » (1946), un peu modifiée cependant, pour les conditions spéciales de travail au lac Upemba (fig. 1).

Le tube *b* a été exécuté en cuivre, tourné en direction du bouchon central et muni d'un robinet à levier prolongé, de manière à permettre son ouverture au moyen d'un messenger envoyé le long du câble métallique de suspension.

Le siphonage de l'eau se faisait lentement, à peu de distance du fond, sans provoquer de tourbillons. J'ai pu prélever ainsi des quantités d'eau variant de un à deux litres sans remuer la vase. Une légère pression exercée

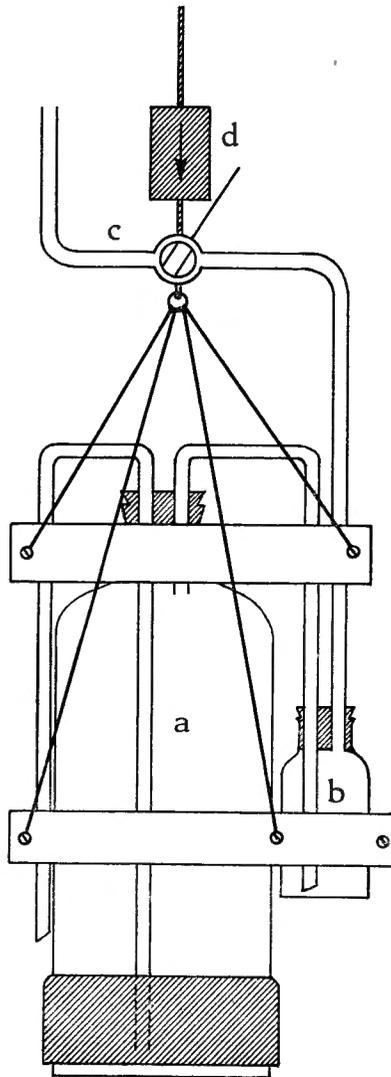


FIG. 1.

à l'ouverture du tube *c*, la bouteille une fois levée et le robinet supérieur ouvert, permettait à l'eau de s'écouler librement dans les récipients, bouteilles à oxygène ou autres.

2. THERMOMETRES.

Pour la mesure de la température de l'eau je me suis servi d'un thermomètre étalon au $1/10^{\circ}$, plongeant à l'intérieur de la bouteille à eau. De cette façon, cette dernière étant restée assez longtemps près du fond, le thermo-

mètre avait le temps de s'équilibrer avec la température du liquide prélevé et gardait celle-ci jusqu'à la remonte. Il était alors lu rapidement.

A la surface, un thermomètre identique fut plongé légèrement dans l'eau et la température lue après quelques minutes.

Quant à la mesure de la température de l'air et de l'humidité, je me suis servi d'un thermomètre et d'un psychromètre à fronde.

3. DISQUE DE SECCHI.

J'ai adopté le modèle circulaire, divisé en 4 secteurs, dont deux opposés étaient peints en noir, les deux autres en blanc. En faisant la mesure trois fois par descente et trois fois par levée, j'obtenais six valeurs dont la moyenne fut adoptée comme représentant l'indice de transparence.

4. ECHELLE DE FOREL-ULE.

Le transport d'une échelle faite de tubes de verre contenant des solutions colorées étant très délicat, mon confrère A. CAPART et moi-même avons fait exécuter, à l'occasion de la Mission belge au lac Tanganika, une échelle peinte à l'aquarelle sur papier bristol, d'après une échelle originale. C'est la même échelle qui m'a servi au lac Upemba et m'a donné entière satisfaction.

5. pH.

Le pH a été mesuré au moyen du colorimètre à disques-étalons d'après HELLIGE. Je me suis servi surtout du para-nitrophénol (pH = 5,4 à 7,0) et du méta-nitrophénol (pH = 6,8-8,4), préparés d'après les instructions de HELLIGE. Je m'étais muni de quantités de colorants, pesées d'avance au laboratoire de l'Institut et conservées dans des tubes bouchés et paraffinés, me permettant de préparer rapidement des solutions exactes. J'avais préparé de même toute une série de tampons afin de pouvoir vérifier rapidement et régulièrement l'état de conservation de mes solutions de colorants.

Malgré la bonne conservation des nitrophénols, j'ai tenu toutefois à changer les solutions d'indicateurs tous les quinze jours et n'en ai jamais préparé plus de 50 cc. Le para-nitrophénol était à 0,1 g % et le méta-nitrophénol à 0,3 g %.

6. ALCALINITE.

L'alcalinité a été déterminée par le nombre de centimètres cubes de HCl N/10 nécessaires à la neutralisation de 100 cc d'eau non filtrée en présence de méthylorange. Dans les tables, j'ai indiqué en même temps le CO₃ en milliéquivalents, afin de faciliter le calcul des balances ioniques.

Le matériel de laboratoire comprenait plusieurs tubes de solution HCl N/10 Fixanal, au moyen desquels les solutions titrées étaient préparées.

7. ACIDE CARBONIQUE LIBRE.

L'eau du lac était titrée par Na_2CO_3 N/10 en présence de phénolphtaléine jusqu'à teinte très légèrement rose.

8. OXYGENE DISSOUS.

J'ai adopté la méthode classique de L. W. WINKLER, modifiée en ce sens qu'au lieu d'acidifier, avant la titration au moyen de HCl concentré pour la mise en solution du précipité des hydrates manganique et manganeux avec mise en liberté d'iode, j'ai utilisé une solution à 50 % de bisulfate de sodium NaHSO_4 qui avait déjà été adoptée par J. KUFFERATH, membre de la Mission hydrobiologique belge au lac Tanganika, et donna d'excellents résultats.

Les solutions titrées d'hyposulfite de sodium N/100 ont été régulièrement vérifiées par les méthodes classiques.

Pour le calcul des saturations, je ne me suis pas servi de la table originale de E. A. BERGE et C. JUDAY (1911), mais de celle de L. WINKLER, reprise par A. SPLITTBERGER et E. NOLTE (1931).

Ces deux auteurs donnent les coefficients de saturation de 0° à 26° de 0,1° en °C. Au moyen de leur seconde table donnant les saturations de 0 à 100° C, de degré en degré, j'ai interpolé les coefficients de 26° à 35° C de 0,1° en °C et j'ai obtenu ainsi une table partielle me permettant de calculer les saturations pour les températures du lac Upemba, dont les eaux ont une température allant jusqu'à 33° C.

Je la transcris ici à l'usage de ceux qui doivent calculer le % de saturation d'eaux africaines. (Table 1.)

9. SILICE.

J'ai utilisé la méthode de H. WATTENBERG (1937) au molybdate d'ammonium en milieu sulfurique. La comparaison se faisait à des solutions-étalons d'acide picrique à 0,109 g ‰, correspondant à 0,100 g Si ‰.

10. PHOSPHATES.

Méthode au molybdate d'ammonium avec réduction du phosphomolybdate au moyen de chlorure stanneux et comparaison avec une solution-étalon de 0,435 g KH_2PO_4 dissous dans 1 litre d'eau distillée, traitée exactement de la même façon. Cette solution contient 1 mg P au litre.

11. NITRATES.

Méthode à la brucine acétique en milieu sulfurique. Comparaison de la teinte rouge à jaune à une solution-étalon contenant 0,1635 g NO_3K au litre, correspondant à 0,1 mg NO_3 par cc.

12. OXYDABILITE.

J'ai eu recours à la méthode classique d'oxydation en milieu sulfurique au moyen de permanganate et titration en retour au moyen d'acide oxalique. Les résultats sont exprimés en mg de MnO_4K utilisés au litre.

TABLE 1.

Table de saturation de l'oxygène dans l'eau distillée à 0° et 760 mm pour des températures comprises entre 20.0° C et 35.0° C.										
Interpolée d'après les tables de L. W. WINKLER, A. SPLITZBERGER et E. NOLTE.										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20°	6,36	6,35	6,33	6,32	6,31	6,30	6,28	6,27	6,26	6,24
21°	6,23	6,22	6,21	6,19	6,18	6,17	6,16	6,15	6,13	6,12
22°	6,11	6,10	6,09	6,08	6,07	6,06	6,04	6,03	6,02	6,01
23°	6,00	5,99	5,98	5,97	5,96	5,95	5,93	5,92	5,91	5,90
24°	5,89	5,88	5,87	5,86	5,85	5,84	5,82	5,81	5,80	5,79
24°	5,89	5,88	5,87	5,86	5,85	5,84	5,82	5,81	5,80	5,79
25°	5,78	5,77	5,76	5,75	5,74	5,73	5,71	5,70	5,69	5,68
26°	5,67	5,66	5,65	5,64	5,625	5,615	5,605	5,59	5,58	5,57
27°	5,56	5,55	5,54	5,53	5,52	5,51	5,50	5,49	5,48	5,47
28°	5,46	5,45	5,44	5,43	5,42	5,41	5,40	5,39	5,38	5,37
29°	5,36	5,35	5,34	5,33	5,32	5,31	5,30	5,29	5,28	5,27
30°	5,26	5,25	5,24	5,23	5,22	5,205	5,195	5,18	5,17	5,16
31°	5,15	5,14	5,13	5,125	5,115	5,11	5,10	5,09	5,085	5,075
32°	5,07	5,06	5,055	5,045	5,04	5,03	5,02	5,015	5,005	5,00
33°	4,99	4,98	4,975	4,965	4,96	4,95	4,94	4,935	4,925	4,915
34°	4,91	4,905	4,895	4,885	4,88	4,87	4,865	4,855	4,845	4,84
35°	4,83	—	—	—	—	—	—	—	—	—

13. CALCIUM.

Au laboratoire de l'Institut, le calcium a été dosé par la méthode de précipitation de l'oxalate d'ammonium en titration au moyen de permanganate N/100. Toutefois, afin d'éviter des pertes et surtout afin d'économiser le temps, le précipité n'a pas été filtré, mais a été centrifugé, lavé par centrifugation et la titration exécutée à chaud dans les conditions habituelles dans le tube même de la centrifuge.

En même temps, à chaque série de trois dosages on en ajoutait un quatrième d'une solution de calcium de concentration connue.

14. MAGNESIUM.

Le magnésium a été dosé colorimétriquement au moyen du jaune de thiazol (jaune de titane) en milieu légèrement alcalin.

15. PLANCTON.

a) Zooplancton qualitatif.

Le zooplancton qualitatif était récolté en traînant à 25 m, dans le sillage du bateau, un filet d'un diamètre de 55,5 cm, d'une longueur de 90 cm et muni de soie à bluter n° 3.

b) Microplancton qualitatif.

On a fait usage d'un filet conique de 14,5 cm de diamètre d'ouverture, de 40 cm de long et muni de soie n° 25.

c) Zooplancton quantitatif.

Le zooplancton quantitatif s'obtenait en versant l'eau brute, puisée au moyen d'un récipient de 10 litres, dans un filet de 14 cm d'ouverture muni de soie n° 3, suspendu à un trépied. On répétait cette opération à plusieurs reprises, jusqu'à 10 ou 20 fois, d'après la richesse présumée de l'eau.

d) Microplancton quantitatif.

Nous avons opéré de la même manière que pour le zooplancton quantitatif, en utilisant, cette fois, un filet d'une ouverture de 14,5 cm et muni de soie n° 25.

e) Nannoplancton.

Quant au nannoplancton, on a chaque fois récolté un litre d'eau brute, à laquelle on ajoutait une quantité connue de formol. En Belgique toutes ces eaux ont été centrifugées en tubes gradués.

*
**

Toutes les comparaisons colorimétriques ont été faites en Afrique au moyen du colorimètre de DUBOSQ.

à ceux que C. W. HOPE (1902) a décrits pour le Nil supérieur, et H. DYE (1902) pour le Bahr-el-Ghazal.

G. BEQUAERT (1912) parcourut aussi la région de mars à octobre 1911 et décrivit un faciès général des régions marécageuses du Lualaba correspondant à ce que j'ai pu voir au cours de l'expédition.

Kamolondo, nous dit encore A. J. WAUTERS (1897), est le nom que porte la section du fleuve Congo entre le confluent du Lubudi, en amont de Shimaloe, et le confluent du Luapula à Ankoro. D. LIVINGSTONE en avait déjà entendu parler. V. L. CAMERON recueillit également le nom et A. DELCOMMUNE nous dit que les indigènes riverains du Fleuve ne désignent pas autrement celui-ci, dans les parages en amont et en aval du lac Kisale. Grâce à l'exploration du lieutenant C. BRASSEUR, nous savons enfin à quoi nous en tenir sur le régime et l'aspect du Fleuve dans cette section de son cours. Il est évident qu'à une époque plus ou moins lointaine, la vallée du Kamolondo a dû être complètement recouverte par les eaux et former un seul et vaste lac, long et étroit. Les lagunes Kabwe, Kabele, Mulenda, Upemba, Lubambo et Kalomba, les larges expansions du Kisale sont, en réalité, les bas-fonds de l'ancien lac. Celui-ci, fermé vers le Nord, recevait alors les eaux de dix affluents : au Sud, le haut Lualaba et le Lubudi; à l'Ouest, le Luiu, la Lovoi et le Luvidjo; au Nord, la Lufukuta et la Lukuga; à l'Est, la Lovua (Luapula), la Kalumengongō et la Lufira.

J. CORNET formula à cette époque l'idée que le lac devait s'étendre jusqu'à la limite actuelle de la plaine alluviale, c'est-à-dire jusqu'au pied des collines qui bordent la vallée; sa formation a sans doute été provoquée par l'existence d'un barrage rocheux, aujourd'hui disparu, existant quelque part en aval. Le barrage en question est la « Porte d'Enfer ».

Le vaste ensemble de lagunes fluviales et de zones d'inondation, relictées de ce grand lac, se trouve dans une large et profonde dépression appelée par J. CORNET « le Graben de l'Upemba », du nom de la plus importante de ces lagunes.

J. CORNET (1904-1905), dans son remarquable travail, auquel j'emprunte les extraits suivants, donne une description enthousiaste de cette vaste région :

« ... Un panorama grandiose est visible de cet endroit (vu depuis les monts Hakansson). Regardant vers l'Est, nous avons devant nous l'immense dépression du graben, dont le fond est occupé par la plaine alluviale du Lualaba-Kamolondo. Nous voyions au loin le Fleuve y décrire ses méandres, soulignés par les palmiers des rives. Au bas de la pente que nous dominions s'étendait la surface du lac Kabele; plus loin, de l'autre côté du Fleuve, on distinguait celle de Kabwe; vers la gauche miroitait la vaste nappe du lac Upemba et son annexe le Molenda, plus proche de nous. L'horizon était borné au loin vers l'Est, de l'autre côté de la grande vallée, par les hauteurs bleuâtres du versant oriental du graben, dont les premières pentes semblaient distantes de 50 à 60 km du point d'où nous dominions la plaine basse.

ainsi la solution aux différents problèmes posés par les expéditions précédentes. Pendant 27 jours, du 26 juin au 22 juillet 1896, il suivit la direction Nord-Est entre le pied des Mitumba-Kibara, à droite, et le Fleuve à sa gauche. La largeur de la vallée marécageuse dépassait parfois à peine 4 km, tandis qu'à d'autres places elle atteignait 25 km.

C. BRASSEUR réalisa le premier tracé de cette section du Fleuve dont il explora les rives en 1896. Le Comité Spécial du Katanga organisa ensuite une seconde expédition chargée d'étudier les voies navigables, et c'est le lieutenant de marine G. S. LATTES qui la réalisa en 1903. Il parcourut successivement le Kamolondo et la Lufira et explora le lac Kisale. Il reconnut le Kamolondo, navigable depuis les rapides de Konde (9°10' de latitude Sud) jusqu'à la « Porte d'Enfer » (5°20' de latitude Sud), soit sur une étendue de 640 km.

Le lieutenant de la marine danoise, J. G. MAURITZEN, au service de l'État Indépendant du Congo, a complété, au cours d'un séjour en Afrique en 1905-1906, les études faites en 1903, au point de vue de la valeur du Kamolondo comme voie de navigation à vapeur.

Comme nous le dit A. J. WAUTERS (1907), il résulte des investigations de tous les premiers voyageurs au pays de l'Urua, que « cette importante section du fleuve qui s'étend en amont de la gorge connue sous le nom de « Porte d'Enfer » jusqu'aux rapides de Kalengue, près du confluent du Zilo, mesure 650 km de longueur. Elle draine le bassin d'un ancien lac, jadis indépendant. Au centre de ce bassin, s'étendait un lac, le lac Kamolondo, qui recevait les eaux du Nzilo, de la Lufira, du Lovoi, du Luapula, qui lui apportait le trop-plein des eaux du Moero et du Bangweolo, de la Lukuga, exutoire du Tanganika. Toutes ces eaux, venant se réunir dans le lac Kamolondo, ont fait s'élever le niveau de celui-ci, jusqu'à ce que, s'étendant toujours, elles aient finalement trouvé une issue dans la ligne de faite du bassin, en un endroit que ses premiers découvreurs, l'Américain R. D. L. MOHUN, Consul des États-Unis, et l'Anglais S. L. HINDE, médecin de l'expédition DHANIS ont baptisé « Porte d'Enfer », gorge rocheuse, large seulement d'une cinquantaine de mètres, par laquelle le trop-plein des eaux du lac s'est vidé et continue à se vider dans le Lualaba ».

Plus bas, au delà du lac Kisale, le Kamolondo change d'aspect; il coule maintenant dans une large plaine subissant des inondations considérables lors des crues annuelles. Quelques grandes cuvettes lacustres permanentes bordent le chenal : l'Upemba, le Kabele, le Kabwe, le Kajibajiba. Enfin, le lac Kisale, si semblable, aux points de vue de sa végétation et de son comportement, aux confluent du Sobat et du Bahr-el-Ghazal.

A mon retour d'Afrique j'ai eu l'occasion de survoler cette région du Bahr-el-Ghazal et j'ai été frappé par bien des points de similitude avec le lac Upemba.

Dans les très grandes lignes les aspects de la végétation correspondent

CHAPITRE II.

LE LAC UPEMBA.a) **MORPHOLOGIE, DESCRIPTION DES RIVES.**

La région qui s'étend à l'Ouest du lac Tanganika, entre le Maniema au Nord et le Katanga au Sud, ne fut explorée pour la première fois qu'en 1874, lorsque V. L. CAMERON pénétra le premier sur le territoire des Baluba et entrevit, le 22 novembre 1874, de loin, le lac Kisale.

D'autres explorations suivirent et contribuèrent largement à une connaissance plus approfondie de la contrée. Ce furent notamment R. BÖHM et P. REICHARD, voyageurs de la section allemande de l'Association internationale africaine, 1883-1884, qui conduisirent une expédition depuis Pala jusqu'à Bunkeia et ensuite jusqu'au lac Upemba. Ils reconnurent les gorges de Kwikuru et le Djua. R. BÖHM succomba le 27 mars 1884 à Katapena, un peu au Sud du lac Upemba, et P. REICHARD regagna, seul, le lac Tanganika.

Dès la constitution de l'État Indépendant du Congo, de nouveaux voyageurs et explorateurs se mirent en route et atteignirent le pays de l'Urua. Le premier d'entre eux, le vétéran des voyageurs belges au Congo, est A. DELCOMMUNE, qu'accompagnaient le Docteur P. BRIART, C. HAKANSSON, capitaine d'infanterie suédois et topographe, E. FRANQUI, capitaine d'infanterie belge, et J. CORNET, géologue, appartenant tous aux deux expéditions organisées par la Compagnie du Katanga. S'ils n'ont pas traversé complètement la région, ils l'ont néanmoins contournée et ont contribué à la réalisation d'importantes découvertes géographiques : ils vont au lac Kisale, franchissent le Kamolondo (Lualaba), longent la Lufira dans le massif des Mitumba et arrivent ainsi dans le Katanga. Ils remontent vers le Nord-Est, passent par Pweto, sur le lac Moero, et Pala, sur le Tanganika, descendent la Lukuga jusqu'à son confluent et explorent le Kamolondo jusqu'à Ankoro. Cette expédition dura depuis le mois d'août 1891 jusqu'au mois de novembre de l'année suivante.

L'expédition L. BIA, envoyée, elle aussi, par la Compagnie du Katanga, découvrit, quelques mois après, les lacs Kabele et Kabwe et fit la traversée du massif des Mitumba.

Le Lualaba avait été ainsi traversé en trois points par les expéditions A. DELCOMMUNE et L. BIA, mais la liaison n'avait cependant pas été établie : entre la gorge de Kwikuru et le confluent à Ankoro, le cours du Lualaba resta inconnu.

C'est à un officier de l'État Indépendant du Congo, le commandant C. BRASSEUR, que revient l'honneur d'avoir accompli cette liaison et apporté

» Les nappes d'eau que l'on désigne sous les noms de lacs Kabwe, Kabele, Upemba, etc., appartiennent au type des lagunes fluviales, mais elles sont d'un genre particulier. On donne habituellement ce nom à des restes d'anciennes boucles séparées du cours d'une rivière par l'évolution naturelle des méandres. Dans le cas qui nous occupe, il s'agit des restes d'un lac envasé par les alluvions du Lualaba et de ses affluents. Si l'on désire absolument leur trouver une place dans la systématique des lacs, on pourrait les ranger parmi les « *Einschwemmungsseen* » de VON RICHTHOFEN.

» Les lagunes sont, même aux eaux hautes, séparées du cours du Fleuve par une bande de terre d'origine alluviale, traversée de chenaux qui mettent le cours du Lualaba en communication avec ces réservoirs latéraux. Ces bandes de terre, formant, le long de chaque rive, un bourrelet saillant continu, ont peut-être joué un rôle dans le maintien des lagunes, en s'opposant, dans une certaine limite, à l'arrivée dans le Fleuve des eaux des affluents. Ces lagunes auraient ainsi, à l'origine, participé à la nature de ce que VON RICHTHOFEN appelle « *beständige Seen der Nebenflüsse* ». Mais actuellement, en ce qui concerne le Kabele et le Kabwe, la communication par les chenaux paraît se faire facilement et l'équilibre s'établit très vite des deux côtés des bourrelets alluviaux. Les lagunes m'ont paru en voie de comblement rapide sous l'influence des apports de sédiments limoneux déversés par le Lualaba lors des crues, ou amenés directement par les affluents.

» Une autre cause, de nature organique, tend à combler les lagunes non moins rapidement peut-être que le dépôt de limon. Sur toute la périphérie de chacune d'elles, là où la profondeur est la plus faible, règne une large zone de *Papyrus*, constituant des roselières très denses. Les débris de ces plantes, s'accumulant sur le fond, y constituent un dépôt de terreau noir qui augmente sans cesse en épaisseur, tandis que la forêt de *Papyrus* envahit de plus en plus la nappe d'eau. La profondeur des lagunes est très faible et l'on voit, sur les hauts-fonds, pousser des *Papyrus* qui, par l'accumulation de leurs débris, en arrivent bientôt à former des îlots qui activent encore l'envahissement de ces nappes d'eau. Tous ces débris de végétaux, mêlés au limon apporté par les rivières, tendent à constituer un sol peu ferme d'abord, mais qui acquiert de la consistance avec le temps. Nous n'avons constaté, dans le lac Kabele, que des profondeurs de 3 à 4 m; en plusieurs points très éloignés des rives, les pirogues raclent le fond. La profondeur du lac Kisale, d'après G. S. LATTES, varie aux hautes eaux de 3 à 4 et jusqu'à 5 m. »

En 1893, J. CORNET disait que le Kabele, le Kabwe et sans doute les lagunes voisines constituent, pour le cours du Lualaba, une sorte de régulateur, qui tend à modérer, en aval, la rapidité et l'intensité des crues et des baisses de niveau.

Cette opinion a été confirmée par G. S. LATTES : « Le retard dans la baisse des eaux doit être attribué exclusivement à l'existence des innombrables

lacs qui bordent le Lualaba; ces lacs fonctionnent comme des réservoirs immenses et retardent, en les rendant moins sensibles, la baisse et la crue des eaux dans le fleuve. »

Avec P. BRIEN (1938), on peut donc dire que « la plaine du Kamolondo est, sur une grande partie de son étendue, un immense marécage de terre noire, inondée à la saison des pluies, et qui, à la saison sèche, se découvre progressivement, se durcit, se dessèche, se crevasse, se couvre d'herbes entre des nappes d'eau persistantes, des étangs, des chenaux et des lacs. Ce lacis d'eau qui découpe la plaine constitue le régulateur du fleuve. A la saison des crues il devient le déversoir des eaux; elles s'écoulent par les chenaux vers les lacs, avant de déborder les rives et de couvrir la plaine. A la saison sèche, au contraire, c'est la réserve d'eau qui revient insensiblement vers le Fleuve. Le sens du courant dans les chenaux change suivant la saison. Ce régime fluvial apporte nécessairement des masses considérables de sédiments limoneux qui lentement, progressivement, comblent les marais, les étangs et les lacs; à ce limon s'ajoute l'amoncellement continu des débris organiques végétaux et animaux qui fertilisent les matières humiques ».

En juillet 1948, H. RENSON, lieutenant de la marine, parvient à reconnaître vingt et un lacs dans cette région. Citons parmi les plus grands, au Nord du 9^e parallèle : Kisale, Nyangwe, Zibambo, N'Sala, Lukanga, Kayumba, Lunda, Kalondo, Muyumbwe. Au Sud du 9^e parallèle : Muyumbwe, Kapondwe, Upemba et Kiubu.

*
**

A l'initiative du Comité Spécial du Katanga, des cartes de la région furent levées par photogrammétrie. Je reproduis ici (fig. 3) le contour des divers lacs et la situation des rivières principales en me basant sur leurs données précieuses. En les comparant avec les anciennes cartes on remarque aisément que celles-ci ne sont exactes que dans les très grandes lignes. Il est vrai que les photographies aériennes ont été prises en juin 1950 et que le schéma cartographique de H. RENSON date de juillet 1948. Dans une région aussi indécise que la vallée du Kamolondo, il est aisément admissible que des changements assez considérables puissent s'être produits au cours de deux années d'intervalle.

*
**

Après cet aperçu rapide sur la découverte et la géographie de la région, il n'est pas sans intérêt de passer rapidement en revue les connaissances au sujet de la géologie du Graben de l'Upemba.

C'est à M. ROBERT (1927) que j'emprunte quelques renseignements sur l'origine du lac :

« C'est dans la région du Kamolondo que se dessine le « Graben de l'Upemba » de J. CORNET. Nous considérons que ce graben est limité, à l'Est, par un faisceau de failles, suivant lesquelles s'est fait un déplacement

relatif total d'environ 1.200 m, amenant, d'une part, le relèvement du horst constitué par les hauts plateaux de l'Est et, d'autre part, la dépression du fond du Graben. Cette zone d'accidents tectoniques est d'ailleurs jalonnée par des sources thermales, indiquant que les derniers mouvements sont très récents.

« A la bordure Ouest, on n'observe pas de zone faillée et il semble que l'on passe du plateau à la dépression par une zone de flexure. Le Graben de l'Upemba, auquel vient s'annexer le fossé latéral correspondant au cours inférieur de la Lufira, s'est probablement formé dans une zone de faiblesse très vieille, où se sont produits des mouvements tectoniques successifs à différentes périodes, peut-être déjà à l'époque des plissements kundelungiens et probablement au Trias, puis au Miocène et, enfin, au Quaternaire. Il se prolonge, au Sud-Ouest, suivant une bande Luena, Fundabio, Mutendele. Au Quaternaire, la dépression qui se prolongeait assez loin au Sud-Ouest et au Nord-Ouest du Kamolondo actuel s'est accentuée plus particulièrement dans cette dernière zone localisée, y faisant apparaître le relief de grande jeunesse que nous y connaissons. Le fond de cette dépression, où s'étendait autrefois un vaste lac, est occupé actuellement par des alluvions couvertes de plaines marécageuses, où s'étalent des lagunes.

» Les levés cartographiques que nous avons faits par avion dans la région du Kamolondo, en aval de Bukama, nous ont permis de nous rendre compte de la façon dont se fait le colmatage de cette dépression et comment, au lac primitif, ont succédé des séries de petits lacs et de zones marécageuses séparés par des levées d'alluvions. »

Dans ses « Contributions à la Morphologie du Katanga », M. ROBERT (1939) décrit la formation du bassin d'amont du Lualaba avec la région du Kamolondo.

« Au Sud, écrit-il, se déroule la région déprimée du Kamolondo (+ 550), bordée brusquement à l'Est par un haut-relief constitué par les monts Bia et les hauts plateaux de la Manika (+ 1.750) et des Kibara, auxquels on n'accède qu'en escaladant des pentes très fortes.

» A l'Ouest, on passe du fond de la dépression au plateau des Hackansson (+ 1.125) par une zone qui ne doit son aspect accidenté qu'aux actions érosives des rivières liées au Graben de l'Upemba de J. CORNET.

» Le plateau des Hackansson, que l'on trouve à l'Ouest de la zone déprimée, n'a subi aucun mouvement de surélévation, contrairement à ce qui s'est passé pour les hauts plateaux de la bordure orientale. Ce plateau constitue le prolongement oriental légèrement dégradé de la pénéplaine ancienne qui règne encore, peu modifiée, à l'Ouest de la haute Lovoi et qui se déroule en lambeaux et en plages épanouies jusque dans la région frontière, au Sud.

» La haute Lovoi, de direction Sud-Ouest-Nord-Est, qui sépare ainsi le plateau des Hackansson de l'ancienne pénéplaine de l'Ouest, est une vallée

dont le tracé et l'évolution appartiennent au cycle de la pénéplaine seconde. L'influence du cycle érosif actuel tend cependant à s'y propager assez rapidement, du fait de la capture qui a été opérée par la Lovoi d'aval, affluent direct du Kamolondo, lié au nouveau niveau de base déprimé. Dans la bande située au Sud-Est des Hackansson, la bordure de la surface pénéplanée ancienne a été complètement érodée par les rivières et les ravins du cycle géographique actuel.

» Entre cette bordure des Hackansson et le fond du Kamolondo existe une dénivellation assez forte, mais on n'y trouve pas de sources thermales, comme cela se produit à la bordure orientale, et l'on n'y a pas encore observé l'existence d'une zone faillée bien déterminée. Ces considérations, jointes au fait que la surface des Hackansson prolonge régulièrement les plateaux pénéplanés de l'Ouest, nous amènent à considérer que la rupture à l'Ouest du graben est moins nette qu'à l'Est et qu'une flexure plus ou moins faillée s'y serait produite.

» Celle-ci aurait pu courber et failler ensuite la surface de la bordure du plateau voisin avec la pénéplaine ancienne qui le couronnait, l'amenant ainsi vers le fond du graben jusqu'à la faille de l'Est, où une forte rupture s'est produite. Le flanc Ouest du graben, le plateau occidental, est en tous cas resté immobile, tandis que la masse des plateaux de la région orientale s'est détachée nettement et fortement surélevée. Une telle disposition nous permet de supposer que la dépression de l'Upemba est sans doute peu profonde et que les sédiments qui la colmatent sont relativement peu épais.

» Préparée à plusieurs reprises dans une zone d'ancienne instabilité et définitivement accentuée à l'aurore du cycle géographique actuel, la dépression du Kamolondo a constitué tout d'abord une extension lacustre qui est actuellement à peu près complètement comblée par les alluvions d'âge récent qui y affluent.

» Tout un réseau de ravins et de petites rivières à érosion intense entoure la dépression. Certains de ces cours d'eau, telle la basse Lovoi, sont parvenus à pousser leur action érosive suffisamment loin en amont pour opérer la capture de rivières devenues actuellement leur cours supérieur. On peut supposer que la bande allongée du Sud-Ouest au Nord-Est, où s'est accentué le graben, au Pléistocène, est incorporée dans un large sillon déjà esquissé précédemment et notamment lors des gondolements et des surélévations de la mi-Tertiaire, et qui se prolongeait, en incurvation, dans l'ancienne surface pénéplanée. C'est dans le prolongement Sud-Ouest de ce sillon que se trouve la surface de la pénéplaine ancienne observée à la cote 1.050, à la traversée du Lubudi par le chemin de fer Katanga-Lobito.

» Le haut Lualaba se déversait dans ce sillon à l'époque de la pénéplaine seconde et s'écoulait suivant l'alignement actuel du Kamolondo, pour se prolonger ensuite, suivant le cours du fleuve, dans la zone Nord du Katanga.

» Si nous résumons la série des phénomènes qui ont donné naissance au graben du Kamolondo, nous voyons que cette zone a déjà été affectée par

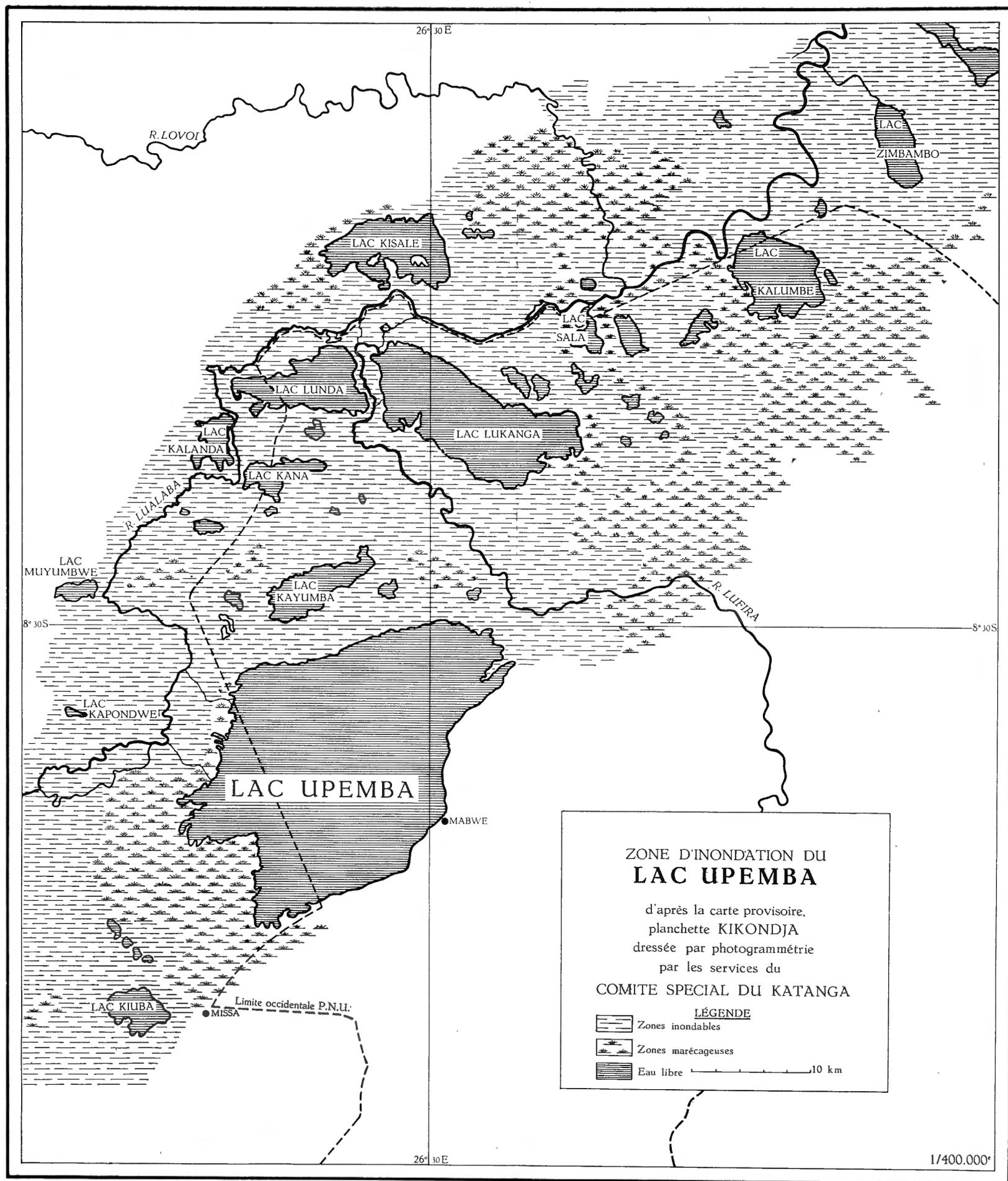


FIG. 3. — Zone d'inondation du Lac Upemba en juin 1950.

les mouvements tectoniques qui ont donné naissance à l'ancienne chaîne kibarienne.

» Une répercussion des mouvements kundelunguiens qui se sont manifestés avec tant d'intensité au Katanga méridional s'y est produite.

» La nature du Lualaba-Lubilash, qui se trouve dans cette zone d'ancienne instabilité et dans son voisinage immédiat, prouve qu'il existait là une zone déprimée à cette époque.

» Dans la zone de faiblesse du Kamolondo, héritée du soubassement, s'est alors dessiné ou s'est conservé un large sillon lors des mouvements de surélévation et de gondolement de la mi-Tertiaire.

» Au Pléistocène s'est formé, ou plutôt accentué, le graben, le jeu des failles empruntant des zones déjà accidentées et régénérées à plusieurs reprises depuis l'époque des plissements kibariens.»

*
**

Improprement dénommée lac, la vaste zone d'inondation du Lualaba, qui récolte les eaux d'un bassin de plusieurs milliers de km², a une profondeur de 0,50 à 3,10 m (en novembre 1948) et une superficie de l'ordre de 530 km², avec un volume d'eau d'environ 930 millions de m³, et renferme une eau brun verdâtre tenant en suspension une quantité considérable de matières minérales et d'organismes. Elle est située dans le Katanga méridional, autour des axes formés par le 26°30' longitude Est et le 8°30' latitude Sud. La zone constituant le lac Upermba en occupe l'angle inférieur gauche (fig. 2).

Cette région s'étend en direction Sud-Ouest—Nord-Est, depuis les rapides du Lualaba au Sud de Bukama, jusqu'au confluent de la Kalumengongo, soit sur une distance d'environ 200 à 250 km et une largeur moyenne de 40 km.

Depuis Bukama jusqu'à Mulongo, les lacs intérieurs s'échelonnent de part et d'autre du Fleuve, avec lequel ils communiquent d'ailleurs par d'étroits chenaux, à peine visibles au milieu d'une végétation luxuriante où les *Papyrus* dominant (R. WILLEMS, 1941).

Les rives du lac sont basses, marécageuses en règle générale. La rive Est est constituée par une agglomération de prairies flottantes à composition floristique assez uniforme, formée surtout de *Typha angustifolia* L., extrêmement abondants, de *Carex*, *Polygonum* et d'autres hélophytes, bordées d'une frange de *Jussieua* sp., à fleurs jaunes. C'est surtout l'*Ambatsch*, *Æschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB. qui domine en de très nombreux endroits, où il forme alors de véritables petits massifs (Pl. II, fig. 1 et 2; Pl. III, fig. 1 et 2).

A mesure qu'on s'approche de la terre ferme, *Æschynomene* se raréfie, les Graminées deviennent de plus en plus abondantes et l'on assiste à une évolution vers la prairie inondable, plus ou moins marécageuse, s'élevant gra-

duellement, pour atteindre sa limite au pied d'une sorte de seuil sablonneux, sur lequel est établie la lisière de la forêt claire de savane, appelée communément forêt katangaise (Pl. VII, fig. 1; Pl. IX, fig. 1).

L'extrême Sud est constitué par de très grandes anses où l'atterrissement provoqué par les hélrophytes, principalement *Typha angustifolia* L., est très intensif (Pl. VIII, fig. 1 et 2); l'accumulation de boue végétale et minérale est considérable, de sorte qu'on assiste en maints endroits, à la moindre tendance de baisse des eaux, à une exondation de bancs de vase (Pl. X, fig. 2). Dans ces anses, les hydrophytes se multiplient rapidement, surtout les *Nymphæa* et les *Potamogeton*, ces derniers formant des tapis circulaires à la surface de l'eau, pouvant atteindre plusieurs mètres carrés (Pl. X, fig. 1; Pl. XII, fig. 1). Par endroits, accolés aux prairies flottantes, *Utricularia*, *Myriophyllum* et, sauf en quelques endroits, de très rares exemplaires de *Pistia stratiotes* L.

Les *Nymphæa* s'observent surtout, en grandes quantités, dans les anses au-dessous et au-dessus de l'île Bemba, sur tout le pourtour Sud du lac (Pl. XI, fig. 1 et 2). Ils sont moins abondants dans les autres régions, sauf cependant dans les passes vers Nyonga et dans les zones près des rives, là où *Æschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB. se développe en abondance.

La rive Ouest est formée principalement de passes où l'eau du Lualaba entre dans le lac et constitue de ce fait un biotope un peu spécial. On y rencontre d'immenses tapis de *Trapa bispinosa* ROTH. (Pl. XII, fig. 2), espèce qui semble ainsi liée à un milieu légèrement rhéophile et diverses espèces de *Nymphæa*, entre autres *Nymphæa capensis* THUNB. On y remarque aussi d'assez grandes quantités de *Pistia stratiotes* L., extrêmement rare dans toutes les autres parties du lac.

Au Nord, d'immenses massifs d'*Æschynomene*, solitaires au milieu de l'eau, provoquent des passes vers des anses parfois très vastes où la circulation est malaisée par l'accumulation de la boue et le phénomène d'atterrissement (Pl. IV, fig. 1). *Typha angustifolia* L. y est aussi très abondant et se propage par pionniers. Le centre du lac est une vaste nappe d'eau sans végétation flottante ni sous-lacustre.

Bien à l'intérieur des terres, derrière les anses que l'on devine, on remarque une rangée très longue de *Borassus* reliant la rive Est à la rive Ouest.

La distribution de *Cyperus papyrus* L. dans ce milieu est très curieuse. Sa fréquence augmente du Sud au Nord et de l'Est à l'Ouest. Au Sud de Mabwe et sur toute la rive Sud il est plutôt rare et ce n'est qu'en petits massifs de quelques mètres carrés, au grand maximum (Pl. V, fig. 1), qu'on le trouve, parfois, accolé au bord de la prairie flottante ou perdu à l'intérieur d'une masse considérable d'hélrophytes comme *Typha* et *Carex* (Pl. VII, fig. 2). Au Nord de Mabwe, la densité de ces massifs augmente un peu; en devenant plus nombreux, ils deviennent aussi plus étendus, sans atteindre

toutefois une ampleur considérable. Vers la terre ferme, on peut remarquer à certains endroits une bande ininterrompue de *Papyrus* sur de longues étendues mais d'une largeur minime et d'une densité variable. Les spécimens peuvent atteindre de trois à quatre mètres de haut. Derrière cette bande se trouvent presque immédiatement des sortes de prairies plus ou moins inondables et marécageuses.

Sur la rive Ouest j'ai entrevu une bande de *Cyperus papyrus* L., succédant aux prairies de *Trapa bipinnata* ROTH et de *Typha angustifolia* L., qui semble suivre toute la rive le long de la terre ferme. La distance considérable depuis notre base Mabwe et la circulation particulièrement difficile à ces endroits ont rendu une investigation approfondie absolument impossible.

Les prairies flottantes font d'abord partie intégrante des rives marécageuses; elles peuvent s'en détacher à tout moment, surtout en période des crues, être entraînées au large, lors des coups de vent assez fréquents, et former alors ces îles flottantes, si abondantes à certains moments.

Voici la composition de quelques larges bandes de pionniers ⁽¹⁾ :

Relevé du 17.XII.1948. N° 17.

<i>Typha angustifolia</i> L.	5,5
<i>Nymphaea capensis</i> THUNB.	4,4
<i>Jussiaea repens</i> L.	2,4

Relevé du 17.XII.1948. N°18.

N° 4923 <i>Nymphaea lotus</i> L.	1,1
N° 4924 <i>Nymphaea capensis</i> THUNB.	4,4
N° 4928 <i>Cyperus digitatus</i> ROXB. subsp. <i>auricomus</i> (SIEBER) KÜK. ..	4,3

avec un recouvrement de 50 %. La profondeur de l'eau atteignait à peine 50 cm et à certains endroits on pouvait remarquer une vase noire assez molle mise très récemment à nu (Pl. X, fig. 2).

La végétation ripicole proprement dite peut être subdivisée en deux zones : l'une interne, fixée sur une vase déjà durcie en partie, l'autre, externe, pouvant se détacher, comme il a été dit plus haut.

(1) Les Phanérogames citées dans ce travail et faisant partie de l'herbier récolté par l'expédition, ont été déterminées au Jardin Botanique de l'État à Bruxelles, par M. L. TOUSSAINT, botaniste à l'Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge.

Végétation fixée sur vase durcie :

Relevé du 14.XII.1948. N° 16.

N° 4896	<i>Typha angustifolia</i> L.	5,4
N° 4897	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) R. BR.	4,3
N° 4898	<i>Melanthera Brownei</i> (D.C.) SCH. BIP.	1,1
N° 4899	<i>Cyperus digitatus</i> ROXB. subsp. <i>auricomus</i> (SIEBER) KÜK.	2,2
N° 4900	<i>Paspalidium geminatum</i> (FORSK.) STAFF.	2,2
N° 4908	<i>Cyperus alopecuroides</i> ROTTB.	2,1
N° 4909	<i>Crassocephalum sarcobasis</i> (BOJER) S. MOORE	1,2
	<i>Cyperus papyrus</i> L.	1,1
	<i>Æschynomene elaphroxylon</i> (GULL. et PERR.) TAUB.	1,1

Végétation flottante externe :

Relevé du 14.XII.1949. N° 16.

N° 4901	<i>Crassocephalum sarcobasis</i> (BOJER) S. MOORE	1,1
N° 4902	<i>Leersia hexandra</i> SWARTZ	2,2
N° 4903	<i>Cyperus Mundtii</i> (NEES) KUNTH.	5,4
N° 4905	<i>Ludwigia prostrata</i> ROXB.	1,2
N° 4906	<i>Cyperus maculatus</i> BOECK.	1,2
N° 4907	<i>Phyla nodiflora</i> (L.) GREENE var. <i>reptans</i> (H.B.K.) MOLDENKE... ..	1,3
	<i>Typha angustifolia</i> L.	1,3
	<i>Cyperus papyrus</i> L.	+1

En règle générale la composition floristique d'une île flottante de grandeur moyenne est la suivante :

Relevé du 15.X.1948. N° 7.

Graminée stérile	... ..	5,4
<i>Typha angustifolia</i> L.	... ..	1,1
N° 4499	<i>Cyperus Mundtii</i> (NEES) KUNTH.	2,2
N° 4500	<i>Pistia stratiotes</i> L.	+1
N° 5297	<i>Paspalidium geminatum</i> (FORSK) STAFF.	2,2

Relevé du 11.XII.1948. N° 13.

	9 h 30	10 h 30	11 h 00
t° de l'air en °C	30°	31°7	32°
Humidité relative %	57 %	50 %	56 %
t° de l'air à 5 cm du sol en °C	36°	41°	37°8
Humidité à 5 cm du sol %	70 %	69 %	83 %
t° du sol à 1 cm en °C	32°	34°5	36°5
t° du sol à 2 cm en °C	29°5	30°9	32°
Hauteur du tapis végétal : de 25 cm à 1,50 m.			
Recouvrement : 75 %.			
N° 4812	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) PERS.		2,1
N° 4813	(Famille <i>Menispermaceæ</i>)		+ ,1
N° 4814	<i>Mollugo nudicaulis</i> LAM.		1,2
N° 4815	<i>Glinus oppositifolius</i> (L.) D. C.		1,2
N° 4816	<i>Antidesma meiocarpum</i> LÉONARD		1,1
N° 4817	<i>Digitaria melangiana</i> (BENDLE) STAPF.		5,4
N° 4818	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) PAL. BEAUV. .		1,1
N° 4819	<i>Cyperus esculentus</i> L.		2,4
N° 4820	<i>Brachiaria deflexa</i> (SCHUMACH.) HUBBARD		2,4
N° 4821	<i>Cleome monophylloides</i> WILZECK		1,1
N° 4822	<i>Eragrostis tenuifolia</i> (A. RICH.) STEUD. .		2,4
N° 4823	<i>Urena lobata</i> L.		1,2
N° 4824	<i>Cyperus articulatus</i> L.		3,4
N° 4825	<i>Acalypha segetalis</i> MUELL. ARG.		+ ,1
N° 4826	<i>Polygonum acuminatum</i> H. B. K.		3,2
N° 4827	<i>Cleome hirta</i> (KL.) OLIV.		1,1
N° 4830	(Famille inconnue)		1,1
N° 4831	<i>Echinochloa pyramidalis</i> (LAM.) HITCHC. et CHASE		1,2
N° 4833	(Famille <i>Leguminosæ</i>).		+ ,1
N° 4834	<i>Euphorbia hypericifolia</i> L.		+ ,1
N° 4836	<i>Sorghum arundinaceum</i> (WILLD.) STAPF.		+ ,1
N° 4837	<i>Anthericum</i> sp.		1,1
N° 4838	<i>Hibiscus cannabinus</i> L.		1,3

N° 4839	<i>Melanthera Brownei</i> (D. C.) SCH. BIP.	+ ,1
N° 4840	<i>Solanum delagoense</i> DUM.	1,2
N° 4842	<i>Wormskioldia lobata</i> URB.	1,1
N° 4843	<i>Heliotropium ovalifolium</i> FORSK.	1,1
N° 4844	<i>Ipomæa Pes-tigridis</i> L. (non encore signalée au Congo Belge) ...	+ ,1
N° 4845	<i>Ludwigia prostrata</i> ROXB.	2,2
N° 4846	<i>Glinus oppositifolius</i> (L.) D. C.	1,2
N° 4847	<i>Habenaria</i> sp.	+ ,1

De la zone fixée sur vase durcie on passe ensuite soit immédiatement à la lisière de la forêt claire de savane, soit à de très grandes prairies plus ou moins inondables, établies sur terrain sablonneux.

Le 11.XII.1948, j'ai pu faire un relevé des observations microclimatiques dans une prairie inondable entre la zone des *Æschynomene* et la lisière de la forêt katangaise, à proximité du lac au Nord de Mabwe.

La région en bordure intérieure des *Æschynomene* possède la florule suivante :

Relevé du 11.XII.1948. N° 14.

N° 4848	(Famille inconnue)	+ ,1
N° 4849	<i>Caperonia Stuhlmanni</i> PAX	+ ,1
N° 4850	<i>Physalis angulata</i> L.	+ ,1
N° 4851	<i>Acalypha segetalis</i> MULL. ARG.	+ ,1
N° 4852	<i>Hibiscus surattensis</i> L.	+ ,1
N° 4853	<i>Polygonum lanigerium</i> R. BR. var. <i>africanum</i> MEISS.	3,3
N° 4854	(Indéterminée)	1,1
N° 4856	<i>Aspilia Kotschyi</i> BENTH. et HOOK F.	2,2
N° 4857	<i>Oldenlandia</i> sp.	1,1
N° 4858	<i>Cyperus digitatus</i> ROXB. subsp. <i>auricomus</i> (SIEBER) KUK. .. .	3,3
N° 4859	<i>Oldenlandia corymbosa</i> L.	1,1
N° 4860	<i>Melanthera Brownei</i> (D. C.) SCH. BIP.	2,1
N° 4861	<i>Cyperus flavescens</i> L.	1,1
N° 4862	<i>Oldenlandia</i> sp.	1,1
N° 4863	<i>Phyla nodiflora</i> (L.) GREENE var. <i>reptans</i> (H. B. K.) MOLDENKE .	2,2

On passe ensuite à une zone de transition à *Typha angustifolia* L. dominant, où la hauteur de la végétation oscille entre 50 cm et 2,50 m.

Zone de transition à <i>Typha</i> . Hauteur de la végétation de 50 cm à 2,50 m.	
	11 h 30
t° air °C	32°
Humidité relative %	68 %
t° à 5 cm du sol	31°5
Humidité relative	76 %
N° 4896 <i>Typha angustifolia</i> L.	5,4
N° 4897 <i>Alternanthera sessilis</i> (L.) R. BR.	4,3
N° 4898 <i>Melanthera Brownei</i> (D. C.) SCH. BIP.	1,1
N° 4899 <i>Cyperus digitatus</i> ROXB. subsp. <i>auricomus</i> (SIEBER) KUK... ..	2,2
N° 4900 <i>Paspalidium geminatum</i> (FORSK.) STAPF.	2,2
<i>Cyperus papyrus</i> L.	1,1
<i>Æschynomene elaphroxylon</i> (GUILL. et PERR.) TAUB.	1,1

Zone des prairies flottantes.

N° 4903 <i>Cyperus Mundtii</i> (NEES) KUNTH.	5,4
N° 4904 <i>Polygonum lanigerum</i> R. BR. var. <i>africanum</i> MEISSN.	2,4
N° 4905 <i>Ludwigia prostrata</i> ROXB.	1,2
N° 4906 <i>Cyperus maculatus</i> BOECK.	1,2
N° 4907 <i>Phyla nodiflora</i> (L.) GREENE var. <i>reptans</i> (H. B. K.) MOLDENKE .	1,3
N° 4901 <i>Crassocephalum sarcobasis</i> (BOYER) S. MOORE	1,1
N° 4902 <i>Leersia hexandra</i> SWARTZ.	2,2
<i>Typha angustifolia</i> L.	5,4
<i>Cyperus papyrus</i> L.	+ ,1

Un type de prairie flottante encore attachée à la rive est représenté à la planche III, figure 1. *Typha angustifolia* domine ici à côté de *Cyperus Mundtii* (NEES) KUNTH. L'arrière-plan est formé par un rideau plus ou moins dense d'*Æschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB.

Une prairie marécageuse inondable entre la lisière de la forêt claire de savane et le lac, à terre noire mélangée de nombreux débris végétaux et de radicelles, présentait les caractères ci-après.

Relevé du 14.XII.1948. N° 16.				
	8 h 30	9 h 30	10 h 30	11 h 30
t° air °C	28°	29°	31°	35°5
Humidité relative %	78 %	72 %	68 %	49 %
t° à 5 cm du sol	30°	34°	36°8	40°
Humidité relative à 5 cm du sol	76 %	65 %	60 %	64 %
t° du sol à 1 cm	30°5	34°5	36°5	39°
t° du sol à 2 cm	28°5	29°5	31°5	35°
Recouvrement : 90 %.				
N° 4884	<i>Cynodon Dactylon</i> (L.) PERS. ..	...	...	3,4
N° 4885	<i>Sporobolus pyramidalis</i> PAL. BEAUV. ...	...	...	3,3
N° 4887	(Famille <i>Leguminosæ</i>) . ...	...	...	+,1
N° 4888	<i>Echinochloa pyramidalis</i> (LAM.) HITCHC. et CHASE ...	...	...	5,4
N° 4889	<i>Cyperus esculentus</i> L. . ...	...	...	2,2
N° 4890	<i>Hibiscus cannabinus</i> L. ...	...	...	+,1
N° 4891	<i>Cyperus articulatus</i> L. ...	...	...	2,2
N° 4892	<i>Digitaria milangena</i> (RENDLE) STAPP. ...	...	...	2,4
N° 4893	<i>Polygonum pulchrum</i> BLUME ...	...	...	1,1
N° 4894	<i>Setaria angustifolia</i> STAPP. ...	...	...	2,3
N° 4895	<i>Combretum</i> sp. ...	...	...	2,2

b) SONDAGES ET STATIONS.

En prenant Mabwe comme base de départ, j'ai établi quatre grandes lignes de sondage dirigées vers des objectifs fixes discernables au loin. Toutes les cinq ou dix minutes, mon confrère W. ADAM, installé à la proue de la vedette, sondait au moyen d'une gaffe portant des subdivisions en décimètres et me communiquait les profondeurs, la vitesse étant tenue la plus constante possible.

En possession de ces mesures, j'ai établi les stations hydrobiologiques généralement aux points les plus profonds de la traversée, parfois, plus tard, à des endroits intermédiaires d'une moindre profondeur. J'ai pu envisager ainsi dix-huit stations définitives que j'ai pu visiter tous les mois avec plus ou moins d'exactitude pour les raisons exposées plus haut.

Les profondeurs mentionnées ici n'ont évidemment rien d'absolu et ne sont valables que pour le mois de novembre 1948 (fig. 4) : elles peuvent varier dans de très grandes limites, d'après l'étiage du Lualaba et le degré d'évaporation.

Lors de l'établissement des lignes de sondage, W. ADAM a dragué autour du point choisi pour les stations futures et y a récolté des mollusques, mais presque exclusivement des coquilles vides. Ce matériel est à l'étude.

TABLE 2.

Traversée : Mabwe vers les passes de Nyonga. 20.XI.1948.	
Début : 8 h 20.	
1,60 m	Direction île Bemba.
2,60 m	—
2,70 m	—
2,60 m	Vase molle, noire.
2,60 m	—
2,20 m	Station 5.
2,40 m	Fond dur.
2,30 m	Vase molle, peu de larves de <i>Chironomides</i> . Quelques débris de coquilles de <i>Melanoïdes</i> sp.
2,00 m	Vase molle.
1,50 m	—
1,50 m	—
1,70 m	—
1,70 m	Direction île Bemba-passes de Nyonga, à une distance de ± 300 m du cordon végétal.
1,35 m	Vase molle. Coquilles vides de <i>Melanoïdes</i> sp.
1,35 m	Station 2.
1,50 m	—
1,50 m	—
1,40 m	—
1,40 m	—
1,25 m	—
1,00 m	Devant les passes de Nyonga. Vase molle, noire.
1,00 m	—
1,00 m	Dans les passes. Végétation aquatique abondante.
1,00 m	—
1,00 m	Station 16.
Fin : 12 heures.	

Cette première traversée comprenait un peu plus de quinze kilomètres jusqu'à la presqu'île Bemba. La ligne des sondages, d'abord en eau libre, suit, depuis la presqu'île, la bordure en frange de *Typha*, sur une profondeur de 1,35 à 1,50 m et longe ensuite la rive Ouest du lac jusqu'aux passes de Nyonga, où la profondeur moyenne entre les immenses tapis de *Trapa*

Traversée Nord-Ouest de Mabwe vers Nyonga.	
23.XI.1948.	
Début : 8 h 20.	
1,60 m	—
2,00 m	—
2,40 m	—
2,40 m	—
2,60 m	Station 4.
2,25 m	Vase tenace.
2,40 m	Station 13. Vase noire, débris végétaux très abondants. Quelques larves d'hémiptères. Coquilles vides de <i>Melanoides</i> . 3 exemplaires de <i>Bellamyia unicolor</i> (OLIVIER). 1 bivalve vivant. 11 <i>Segmentina</i> sp., <i>Gyraulus</i> sp. 1 larve de <i>Chironomide</i> .
2,30 m	Coquilles de <i>Cœlatura</i> sp.
2,00 m	—
1,90 m	—
1,90 m	Station 3.
1,80 m	—
1,60 m	A 400 m de la côte.
1,10 m	—
Fin : 10 h 30.	

bispinosa ROTH n'est plus que d'un mètre. La densité de la végétation est telle que toute circulation devient pratiquement impossible. La distance de Bemba aux passes couvre une vingtaine de kilomètres.

La seconde ligne Nord-Ouest Mabwe vers Nyonga couvre aussi une vingtaine de kilomètres en ligne droite et est située complètement en eau libre.

Sur ce trajet, la profondeur maximale mesurée en novembre 1948 a été de 2,60 m, la profondeur minimale enregistrée atteignant 1,10 m.

La troisième ligne de sondage longe la rive Est du lac sur une profondeur ne dépassant pas 2,80 m jusque vers Kisungi. Ensuite elle longe les grandes

anses marécageuses du Sud jusque vers Bemba. La profondeur atteint un minimum de 1,10 m et ne dépasse pas 1,90 m.

Dans le Sud, la circulation est entravée par des bancs de vase exondés, les couloirs parfois très étroits formés par les *Typha* et les vastes étendues de *Nymphæa*.

Direction Sud vers Kisungi avec raccordement à l'île Bemba.
30.XI.1948.

Début : 8 h 20.

1,60 m	—
2,40 m	—
2,60 m	Vase molle.
2,70 m	—
2,80 m	Station 12.
2,40 m	—
2,20 m	—
2,00 m	—
1,90 m	—
1,80 m	Devant Kisungi.
—	Devant les passes vers Missa.
1,60 m	Direction île Bemba à 300 m du cordon végétal.
1,60 m	—
1,50 m	—
1,30 m	—
1,30 m	—
1,20 m	Beaucoup de coquilles vides de <i>Melanoides</i> .
1,10 m	—
1,15 m	—
1,25 m	—
1,30 m	—
1,15 m	—
1,10 m	—
1,20 m	Île Bemba.

Fin : 12 heures.

Les pirogues raclent fréquemment le fond et il faut par conséquent une embarcation particulièrement légère si on veut s'y frayer un chemin. L'usage de la boussole est en outre indispensable car on se perd très facilement parmi cette végétation touffue et uniforme.

En profil, le lac se présente comme une très large cuvette, peu profonde, dont les points les plus bas se trouvent vers la rive Est. A mesure que l'on

Traversée Nord-Nord-Ouest.	
Début ; 8 h 30.	
1,30 m	Vase molle.
1,90 m	—
2,30 m	Vase molle.
3,10 m	Petite île à gauche.
2,60 m	—
2,60 m	—
2,50 m	—
2,40 m	Station 7. Vase argileuse grise. Peu de débris végétaux. Débris de mollusques. <i>Melanoides</i> et <i>Bellamyia unicolor</i> (OLIVIER) peu nombreux, 2 à 3 exemplaires par drague.
2,20 m	—
2,30 m	—
2,00 m	Vase molle.
1,90 m	—
1,50 m	—
1,30 m	Station 8.
1,60 m	—
1,60 m	—
1,50 m	—
1,00 m	—
1,90 m	—
2,00 m	—
2,20 m	—
2,20 m	—
2,20 m	—
2,30 m	—
1,35 m	—
1,40 m	Station 1.
2,40 m	—
3,25 m	Station 9. Vase sableuse. Quelques <i>Melanoides</i> et <i>Bella-</i> <i>myia unicolor</i> (OLIVIER).
Fin : 15 heures.	

s'approche de la rive Ouest, le fond se relève progressivement, conséquence de l'alluvionnement qui a son siège principal au delà du point de contact

des passes de Nyonga avec le lac. Par-ci par-là, le fond se relève un peu et forme quelques flots sous-lacustres qui peuvent émerger à l'occasion d'années particulièrement sèches.

La composition et la consistance de la vase déposée au fond du lac ne sont pas uniformes et dépendent de facteurs que je n'ai pu étudier plus en détail au cours de notre exploration préliminaire.

Le fond est généralement constitué par une vase plus ou moins fluide ou molle, noirâtre, comprenant de très fins débris végétaux. Elle peut être sablonneuse ou argilo-sablonneuse. Ou bien elle est franchement sablonneuse ou argileuse compacte. L'argile est grise, très tenace, et semble constituer des bancs importants. A titre indicatif, voici, sommairement, la consistance et la composition des vases récoltées :

Station 1. — Couche de vase organique assez fine à débris végétaux surmontant du sable à grains fins, rosés.

Station 2. — Dépôt argilo-sablonneux jaunâtre.

Station 3. — Vase fluide très fine.

Station 4. — Vase noire très grossière à très gros débris végétaux.

Station 5. — Vase noire, très fine, fluide, contenant de très minces débris végétaux surmontant une couche d'argile grise très tenace.

Station 6. — Vase noire fine, très fluide, contenant de très minces débris végétaux.

Station 7. — Argile grise très tenace.

Station 9. — Vase noire très sablonneuse surmontant une vase noire plus argileuse.

A certains endroits la vase était mêlée à d'abondants débris de coquilles. Comme W. ADAM l'a remarqué au cours de nos explorations, les mollusques vivants étaient rares, pour des raisons qui restent encore obscures.

De très rares fois, nous avons noté l'odeur caractéristique de l'hydrogène sulfuré, notamment à la station 4, à une profondeur de 3,09 m, le 30.V.1949.

Vers les rives on pouvait observer très souvent des dégagements gazeux considérables au moindre attouchement de la vase.

ÉTIAGE DU LAC A MABWE.

Dans un petit chenal servant de havre à la vedette, j'avais établi une échelle d'étiage pour laquelle j'adoptai comme zéro le niveau de novembre 1948. Dès que je fus en possession des graphiques de la Société des Chemins de fer des Grands Lacs, par l'aimable entremise de M. E. BRUART, Ingénieur à cette société, je pus comparer les deux graphiques obtenus. Celui réalisé à Mabwe montre un minimum au mois de décembre 1948 et un maximum d'environ 70 cm au mois de mai 1949 (fig. 5).

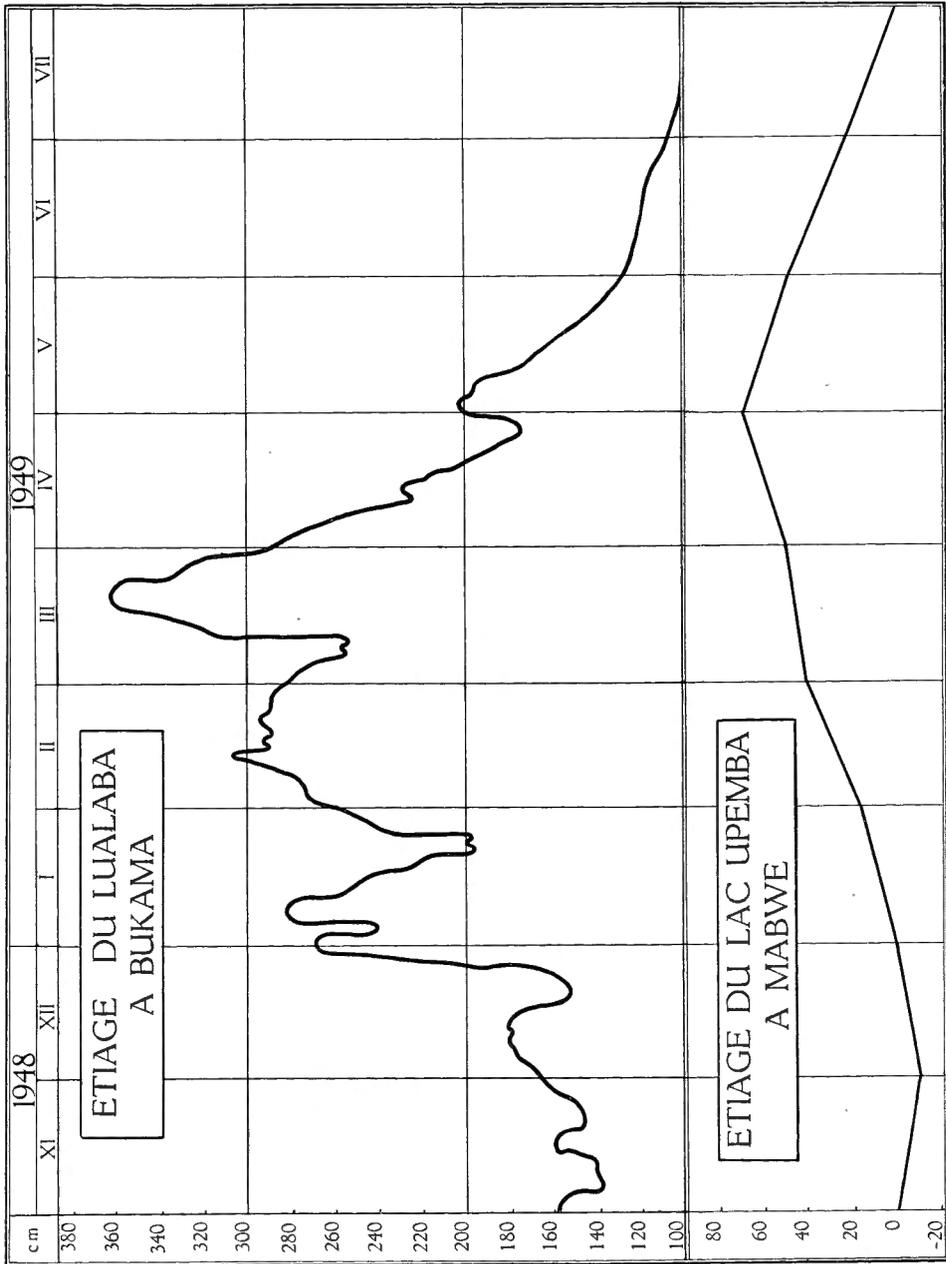


FIG. 5.

TABLE 3.

Mesures limnimétriques à Bukama (alt. : 580,80 m) (d'après E. J. DEVROEY, 1951).		
Le zéro est à 6,41 m sous le niveau de la borne-repère du Service Hydrographique, Le zéro de l'échelle est à la cote absolue 551,20 m par rapport au signal géodésique du Comité Spécial du Katanga.		
Période d'observation : depuis 1933.		
Extrêmes : Hautes eaux : 6,07 m le 25 mars 1936.		
Basses eaux : 0,46 m le 23 septembre 1946.		
Moyenne 1933-1950 : 2,26 m.		
	1948	1949
1 janvier	2,40 m	2,78 m
15 janvier	2,98 m	2,55 m
1 février	4,22 m	2,40 m
15 février	4,27 m	2,95 m
1 mars	4,12 m	2,82 m
15 mars	5,00 m	3,35 m
1 mai	3,54 m	1,86 m
15 mai	3,05 m	1,60 m
1 juin	2,38 m	1,30 m
15 juin	2,04 m	1,20 m
1 juillet	1,82 m	1,06 m
15 juillet	1,62 m	1,01 m
1 août	1,47 m	0,88 m
15 août	1,32 m	0,85 m
1 septembre	1,17 m	0,77 m
15 septembre	1,08 m	0,70 m
1 octobre	1,07 m	0,60 m
15 octobre	1,08 m	0,62 m
1 novembre	1,60 m	0,54 m
15 novembre	1,59 m	0,90 m
1 décembre	1,66 m	1,05 m
15 décembre	1,66 m	1,18 m
Plus hautes eaux	5,26 m	3,60 m
Plus basses eaux	1,00 m	0,50 m

La saison des pluies s'étend sur la période d'octobre à avril, correspondant aux deux passages consécutifs du soleil au zénith.

L'étiage du Fleuve se présente de la fin du mois d'août au début de septembre; le niveau est maximum aux mois d'avril-mai. L'amplitude de la crue, qui, à Bukama, atteint en moyenne 4 m (maximum 5,25 m), s'atténue d'abord à mesure qu'on progresse vers l'aval, en raison de l'influence régulatrice des divers lacs intérieurs. Elle augmente cependant au Kisale, par suite du débit de la rivière Lufira (R. WILLEMS, 1941).

On peut voir sur le graphique, cependant, que durant l'année 1949, le maximum a été observé en mars. La comparaison des deux courbes montre très clairement le retard dans la crue et la décrue entre le Fleuve et la rive Est du lac, avec une amplitude beaucoup moins forte que pour le Fleuve.

En outre, d'après des renseignements verbaux, difficilement contrôlables, le niveau du lac descendrait si bas, au cours de certaines années de sécheresse exceptionnelle, que de grandes parties du lac seraient mises à sec. Il est assez aisé d'admettre ce phénomène, si rare soit-il, lorsqu'on songe à la suppression de la navigation dans le secteur du Fleuve, Bukama-Kabalo, lors de la baisse considérable des eaux en 1946.

S'il est exact, ce fait serait d'autant plus important qu'il nous permettrait de classer le lac parmi les lacs astatiques, puisqu'il est longé par le Fleuve et en communication avec lui par d'étroits chenaux, et qu'il est soumis à des changements périodiques assez rares au cours de périodes de plusieurs années, comme N. K. DECKSBACH (1929) l'a préconisé pour plusieurs lacs de l'Europe orientale et de l'Asie. Dans un aperçu sur la question il suggère même que les eaux de ces lacs auraient un chimisme normal ou anormal d'après les saisons.

CHAPITRE III.

LES FACTEURS ÉCOLOGIQUES.

Les quelques mois passés dans le Parc National de l'Upemba, au cours desquels j'ai pu visiter le lac assez régulièrement, ne sont qu'un trop court laps de temps pour permettre de dresser le tableau complet du métabolisme du lac. Des recherches plus poussées devraient être entreprises, afin de pouvoir caractériser le cycle des variations de la température et du chimisme au cours de périodes plus longues et de jeter ainsi des bases sérieuses permettant de définir exactement les propriétés limnologiques du lac Upemba.

Néanmoins, les résultats des recherches que j'ai pu faire laissent déjà entrevoir un certain nombre de conclusions et je m'efforcerai, dans les pages qui suivent, de comparer ces données avec des observations faites sur des lacs analogues, pour autant qu'on les ait explorés, pour aboutir à la connaissance d'un certain nombre de faits qui pourront être à la base de recherches futures.

Ce travail a été d'autant plus délicat, que les points de comparaison manquent. On possède assez bien de renseignements généraux, une ou plusieurs analyses chimiques de l'eau de certains lacs africains, mais au point de vue des cycles biologiques complets, on est encore très éloigné d'une connaissance approfondie des divers problèmes posés par ces formations lacustres d'un type très particulier.

A cela s'ajoute que, pour les raisons énoncées dans le début de ce travail, il ne m'a pas toujours été possible de visiter toutes les stations chaque mois et à trente jours d'intervalle et qu'il reste ainsi des hiatus parfois assez importants, surtout les mois de septembre et d'octobre, pour lesquels je ne possède aucune donnée. La construction de certains graphiques a, par conséquent, été conçue de manière à rendre les résultats indépendants les uns des autres, puisqu'il existe des solutions de continuité. Les chiffres ont été groupés par mois et l'on peut facilement observer les déplacements globaux des valeurs au cours de l'année. En face des valeurs lues en abscisse on trouvera les numéros des stations où elles ont été observées, les mois se trouvant en ordonnées.

Comme facteurs écologiques importants ont été envisagés les facteurs physiques : observations météorologiques au-dessus du lac au cours des traversées et des sondages avec les données de la littérature, température de l'eau; les facteurs chimiques avec en ordre principal : l'oxygène, le pH, l'acide carbonique libre, l'alcalinité, les alcalino-terreux et les alcalins, les nitrates, phosphates et silicates.

a) **FACTEURS PHYSIQUES.**

1. — OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES.

COURT APERÇU SUR LES MESURES FAITES DANS LA RÉGION
DE L'UPEMBA.

On possède peu de données au sujet de la météorologie de la vallée du Kamolondo. Quelques chiffres seulement ont été recueillis à Bukama et à Mwanza, situés respectivement au Sud-Ouest et au Nord-Ouest du lac. En dehors des mesures pluviométriques faites dans ces deux localités, je n'ai pu trouver que les mesures thermométriques faites à Mwanza durant l'année 1951.

A l'intention de ceux qui voudraient essayer d'établir une esquisse climatique de la vallée du Kamolondo, j'ai donc rassemblé les chiffres déjà publiés ou encore inédits au sujet de la température et des chutes de pluie. Malheureusement ces données ne sont pas complètes, le poste de Bukama ayant été supprimé. Je ne puis ainsi comparer que les années 1934 à 1938 de Mwanza et Bukama et noter les données de Mwanza pour les années 1940 à 1949.

Comme on admet qu'avec 50 mm de pluie un mois peut être considéré comme sec, on peut observer que Bukama et Mwanza sont situés dans la zone à cinq mois de saison sèche.

a) LA TEMPÉRATURE.

Si, avec A. VANDENPLAS (1947), nous considérons la répartition annuelle des températures moyennes réduites au niveau de la mer, nous voyons que l'isotherme de 29,0° C traverse la partie Sud du lac Upemba.

En ce qui concerne la répartition des températures maxima et minima absolues (températures réelles non réduites au niveau de la mer), le lac est traversé par les isothermes des maxima de 36,0° C et 35,0° C et de l'isotherme des minima de 6,0° C au cours de la période 1930-1939.

A Mwanza (alt. 750 m), le maximum (année 1951) a été enregistré au mois de décembre avec 38,1° C, au milieu de la saison des pluies; le minimum absolu de 13,3° C en saison sèche (Table 4).

Au point de vue de la température, dans le Nord du Katanga, la différence entre la grande saison pluvieuse et la grande saison sèche est très peu marquée. La fréquence des journées de fortes chaleurs est presque aussi élevée pendant la grande saison sèche qu'au cours de la grande saison humide. Pour certaines stations, au cours de la petite saison sèche, les journées de forte chaleur sont moins fréquentes qu'au cours des autres périodes de l'année. La température maximale reste presque constamment

supérieure à 25,0° C. Pendant la saison sèche, les nuits sont relativement fraîches, les températures minimales sont généralement inférieures à 20,0° C (A. VANDENPLAS).

TABLE 4.

Mwanza (État).					
Moyennes mensuelles de la température pour l'année 1951.					
Mois	M	m	$\frac{M + m}{2}$	Maximum absolu	Minimum absolu
Janvier	33,4	17,2	25,3	37,3	15,2
Février	32,4	17,4	24,9	33,5	16,2
Mars	33,7	19,0	26,4	35,1	17,3
Avril	33,3	18,2	26,1	34,1	16,8
Mai	34,1	18,1	26,1	35,1	16,5
Juin	33,8	15,6	24,6	34,7	13,8
Juillet	35,0	15,2	25,4	37,6	13,3
Août	35,8	16,5	26,1	36,5	15,0
Septembre	36,4	17,0	26,7	37,4	14,9
Octobre	36,3	18,2	27,2	38,0	15,2
Novembre	35,4	17,6	26,5	37,8	16,2
Décembre	36,1	16,8	26,4	38,1	15,3

Observations faites à 8 heures du matin.

Quant à la variation diurne de la température, je possède quelques thermogrammes pour la période durant laquelle l'Expédition séjourna constamment aux bords du lac (novembre, décembre 1948, janvier 1949), c'est-à-dire en saison de pluies. Il est à remarquer toutefois que le thermohygrographe n'a pu être installé que dans un hangar en bois et herbe séchée, bien aéré, à côté d'une grande plage sablonneuse où le camp était établi. Cela ne donne évidemment aux mesures qu'une valeur toute relative.

Le thermogramme concernant la semaine du 29.XI au 5.XII.1948, par exemple, montre que les maxima diurnes se placent dans l'après-midi entre 16 et 18 heures, les minima entre 4 et 8 heures du matin. Quant aux valeurs absolues de la température, dans les conditions de l'expérience, elles furent de 34,0° C comme maximum et 19,0° comme minimum.

b) L'HUMIDITE.

En se reportant aux thermohygrogrammes, on remarque un maximum de 90 à 100 % entre 2 et 8 heures du matin et un minimum assez général de 70 à 75 % pouvant cependant descendre jusqu'à 55 % (journée d'un maximum de 34,0° C).

Je ne puis malheureusement fournir plus de détails à ce sujet.

c) LA PRESSION BAROMETRIQUE.

En ce qui concerne la pression barométrique, l'Expédition était munie d'un barographe. L'appareil n'ayant pu être étalonné, les seules conclusions pour ces trois mois de fonctionnement au bord du lac se résument à l'existence d'une marée barométrique normale de nuit et de jour avec une amplitude de l'ordre de 4 millibars.

TABLE 5.

Précipitations journalières à Mabwe.		
Date	Pluie en mm	Total du mois en mm
17.XI.1948	39,5	
21 »	16,0	
23 »	4,6	
29 »	6,0	
30 »	4,7	70,8
4.XII.1948	15,0	
5 »	12,5	
7 »	0,25	
8 »	5,5	
21 »	64,0	
23 »	20,0	
27 »	4,5	
28 »	4,6	
29 »	1,1	127,45
6.I.1949	45,0	
17 »	14,5	
19 »	15,2	
26 »	2,7	
29-30 »	98,0	135,4

d) LES PRÉCIPITATIONS ATMOSPHÉRIQUES.

Quant aux précipitations atmosphériques, le séjour de trois mois que nous fîmes à Mabwe nous a permis de relever deux mois complets. A Lusinga, l'Institut disposait d'un pluviomètre fixe qui était relevé journellement. Un tableau comparatif donne les quantités mesurées à Lusinga et à Mabwe. Mabwe se trouve à une altitude de 585 m, Lusinga vers 1.800 m.

TABLE 6.

Précipitations mensuelles à Lusinga et à Mabwe.		
Mois	Lusinga mm	Mabwe mm
IX.1948	80	—
X »	100	—
XI »	172	70,8 (du 17-30.XI)
XII »	63	127,45
I »	114	135,4
II »	214	—
III »	161	—
IV »	84	—
V »	8	—

La distribution de la pluie à Mabwe semble être un peu irrégulière. Nous avons pu noter toutefois que la grande majorité des pluies tombe dans l'après-midi.

F. BULTOT (1950), en se basant sur les classes de climats de KÖPPEN, a proposé des subdivisions climatiques du Congo, d'après le nombre de mois de saison sèche. La région englobant le lac Upemba est indiquée sur sa carte par l'indice $(A_{w5})S$, ce qui signifie donc que nous y avons un climat du type A_w (ou A_s) auquel appartiennent les régions dont la cote udométrique mensuelle du mois le plus sec descend au-dessous de 60 mm. L'indice w (ou s) signifie que la saison sèche (mois sec égale mois au cours duquel il tombe moins de 50 mm de pluie) a lieu pendant l'hiver (ou l'été) de l'hémisphère dans lequel la région est située. L'indice 5 indique le nombre de mois de saison sèche. L'indice S indique l'hémisphère.

La zone $(A_{w5})S$ a une orientation Sud-Ouest/Nord-Est perpendiculaire aux vents dominants qui soufflent du Sud-Est dans cette région (alizé Sud-Est). F. BULTOT signale, d'autre part, que la limite septentrionale de la zone $(A_{w5})S$ coïncide grosso-modo avec l'isohypse de 1.000 m.

TABLE 7.

Bukama (État).													
Moyennes mensuelles des précipitations en mm et nombre de jours de pluie.													
Années Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Total
1934	229,7 23	181,9 17	134,7 13	31,4 8	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	107,0 12	300,1 20	268,9 23	1253,7 116
1935	133,3 17	221,4 20	97,3 9	67,8 4	63,5 3	0,0 —	0,0 —	0,7 1	14,1 4	45,7 7	106,6 17	220,8 22	971,2 104
1936	164,9 18	201,9 20	250,5 14	57,2 5	0,0 —	0,0 —	0,0 —	10,0 2	7,3 2	47,0 4	85,8 9	237,0 19	1061,6 93
1937	310,7 18	207,7 12	216,1 9	219,8 9	1,5 1	0,0 —	0,0 —	0,0 —	4,5 4	77,5 10	264,8 15	273,8 18	1576,4 96
1938	113,6 10	202,6 13	239,1 10	67,3 8	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,2 1	0,2 1	132,8 12	100,8 8	164,8 23	1021,4 86
Poste supprimé depuis.													

Malgré mon plus vif désir de rassembler un grand nombre d'observations qui auraient permis de contribuer utilement à la connaissance des variations climatiques dans la vallée du Kamolondo, je n'ai réussi qu'à faire quelques mesures sporadiques. Par beau temps, en naviguant sur le lac, cela n'était guère difficile, mais lors des quelques grains assez importants que j'eus à essayer, étant mon propre capitaine, je ne pus malheureusement relever ni la vitesse, ni la direction du vent, ni la température. Je donne donc ci-après, dans un simple but documentaire, un tableau mentionnant les dates et heures des observations : la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent en mètres-minute et quelques observations sur l'état du ciel.

TABLE 8.

Mwanza (État).													
Coordonnées : 26°41' Est, 7°51' Sud. Altitude : 750 m.													
Moyennes mensuelles des précipitations en mm													
et nombre de jours de pluie.													
Années Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Total
1934	141,2	213,3	65,6	75,2	0,0	0,0	0,0	3,4	6,0	79,8	103,3	300,5	988,3
	17	15	8	11	—	—	—	1	2	9	11	22	96
1935	117,6	219,9	137,0	140,0	50,0	0,0	0,0	1,8	52,3	74,2	106,6	248,9	1148,3
	11	18	9	9	3	—	—	1	4	6	14	17	92
1936	150,3	177,2	117,8	114,5	4,7	2,0	0,0	12,7	53,6	100,0	219,1	222,2	1174,1
	17	14	11	9	2	1	—	5	9	14	18	17	117
1937	231,7	253,5	242,5	127,0	16,5	0,0	0,0	0,0	51,0	47,5	164,0	205,5	1339,2
	18	17	14	12	2	—	—	—	5	7	11	15	101
1938	192,5	215,0	152,5	85,0	0,0	0,0	0,0	6,0	71,6	157,0	165,5	134,0	1179,1
	11	14	14	6	—	—	—	1	5	9	12	15	87
1939	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1940	145,2	118,0	139,3	115,3	11,0	0,0	0,0	8,5	13,0	170,0	109,0	58,5	887,8
	8	9	10	8	1	—	—	1	2	13	7	5	64
1941	270,5	76,0	39,0	76,4	19,0	0,0	0,0	0,0	6,5	144,0	309,5	239,0	1179,9
	12	9	4	7	2	—	—	—	1	10	17	16	78
1942	171,0	169,2	330,5	123,1	1,0	0,0	0,0	16,7	19,5	46,0	112,0	234,5	1223,5
	14	9	17	10	1	—	—	3	1	4	10	13	82
1943	272,0	222,2	102,0	70,1	86,5	0,0	0,0	22,0	32,0	26,5	146,3	184,8	1164,4
	14	13	12	9	3	—	—	1	2	4	10	12	80
1944	201,0	160,7	175,0	189,3	5,0	0,0	0,0	0,0	28,8	46,3	333,8	144,3	1284,2
	10	10	—	11	1	—	—	—	2	11	12	12	69

TABLE 8 (suite).

Mwanza (État).													
Coordonnées : 26°41' 7°51' Sud. Altitude : 750 m.													
Moyennes mensuelles des précipitations en mm et nombre de jours de pluie.													
Années Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Total
1945	160,4 11	250,8 11	30,0 7	54,5 6	4,0 1	2,7 1	0,0 —	2,0 1	14,0 2	102,5 7	128,2 8	209,2 10	958,3 65
1946	135,0 9	68,5 11	233,8 11	126,5 12	48,0 3	0,0 —	0,0 —	0,0 —	11,5 4	59,0 6	112,0 8	230,6 12	1024,9 76
1947	202,1 16	79,5 10	243,5 15	146,0 13	7,5 1	0,0 —	0,0 —	0,0 —	3,2 3	115,3 11	119,0 10	225,2 13	1141,3 92
1948	142,8 15	173,0 12	108,3 10	133,0 6	3,6 4	0,0 —	0,0 —	5,5 1	8,8 4	169,0 9	213,2 10	181,6 7	1138,8 78
1949	136,8 7	151,1 8	60,6 4	44,8 5	67,4 4	0,0 —	0,0 —	1,3 1	5,5 1	88,8 9	185,2 10	182,2 13	923,7 62

Les quelques mois passés aux bords du lac et les visites mensuelles subséquentes ne permettent pas d'esquisser un schéma climatique exact et complet. Nous devons donc nous référer à des mesures faites dans les environs immédiats par les soins de l'Administration et à des renseignements puisés à des sources diverses (fig. 6).

Durant cinq années d'observation, de 1934 à 1938, Bukama a enregistré une moyenne de 1.176,7 mm d'eau de pluie. Ceci place donc la région dans la zone de 1.000 à 1.200 mm. Sur sa carte de répartition des pluies, A. VANDENPLAS (1934) fait traverser le lac Upemba par l'isohyète de 1.000 mm. Se basant sur la documentation du Ministère des Colonies, M. ROBERT (1942) a publié dans le « Congo Physique » une carte des mois de saison sèche, dans laquelle la région du Kamolondo occupe la zone des cinq mois de sécheresse. Il ajoute : « Le Katanga méridional est entièrement compris dans la zone à climat soudanien. Dans toute la région du Sud-Est, les accidents du relief apportent une grande complexité au dessin des zones climatiques particulières et à leur agencement. Entre les plaines basses du Kamolondo, de la

TABLE 9.

Quelques observations météorologiques faites au cours des stations au large.

Date	Station	Heure	°C	Humidité %	Vent m/min.	État du ciel
16.XI.1948	1	9,10-11,00	29°6	48	113	Peu couvert
20 »	2	14,00-14,30	26°1	84	—	Couvert. Gros cumulus gris
23 »	3	11,35-12,20	29°0	69	60	Légèrement couvert. Cumulus blancs
23 »	4	13,00	30°4	60	64	Couvert. Cumulus gris et blancs
27 »	5	9,15-10,15	25°9	79	180	Couvert
30 »	6	10,15-11,15	28°5	75	100	Gros cumulus blancs
2.XII.1948	7	9,35-10,30	25°2	85	—	Peu couvert. Petits cumulus à l'horizon
2 »	8	11,30-12,35	29°0	66	50	—
2 »	9	14,30-14,45	29°0	66	—	—
20 »	1	8,15	23°9	83	—	Couvert
20 »	3	11,30	26°2	96	—	Couvert
20 »	4	13,00	27°0	61	—	Couvert
20 »	7	10,00	25°5	75	—	Couvert
20 »	9	9,00	24°0	82	—	Couvert
22 »	2	11,15	24°3	76	—	Couvert
22 »	5	12,00	25°4	75	—	Couvert
22 »	12	13,35	29°0	61	—	Couvert
23 »	6	9,45	22°9	84	—	Couvert
22.I.1949	9	10,00	29°0	66	—	Serein
2.III.1949	9	10,00	25°6	83	—	Serein
4.IV.1949	1	10,30	26°5	77,5	154	Quelques nuages blancs
4 »	4	11,30	26°9	79	172	Quelques nuages blancs
4 »	9	9,30	26°0	77	—	Serein
5 »	5	9,45	25°0	84	115	Serein
5 »	12	10,00	26°5	77,5	125,5	Serein
5 »	13	8,30	24°0	88	187	Serein
6 »	3	10,30	29°0	48	132,5	Serein
6 »	6	9,00	27°0	57	137,5	Serein
6 »	7	13,00	31°0	76	124	Semi-couvert
6 »	8	12,00	30°0	47	82,5	Semi-couvert

TABLE 9 (suite).

Quelques observations météorologiques faites au cours des stations au large.						
Date	Station	Heure	°C	Humidité %	Vent m/min.	État du ciel
30 »	1	13,45	28°5	54,5	—	Couvert
2.V.1949	1	11,30	25°0	88	—	Un peu couvert
2 »	4	12,00	27°0	78	—	—
2 »	9	10,30	25°0	84	—	Peu couvert
3 »	2	11,30	30°0	79	152,5	± Couvert
3 »	5	13,30	31°0	70	—	± Couvert
3 »	6	10,30	30°5	66	152,5	± Serein
4 »	3	11,30	29°0	65	—	Serein
4 »	7	9,30	28°0	64	21,0	Serein
4 »	8	10,15	29°0	55	—	Serein
6 »	12	9,30	27°5	64	145	Serein
30 »	1	11,30	25°0	88	—	Un peu couvert
30 »	4	14,30	29°0	55	—	Couvert
30 »	9	15,00	29°0	45	—	Couvert
31 »	3	10,15	26°0	49	—	± Couvert
31 »	5	11,45	26°5	56,5	—	± Couvert. Visibilité mauvaise
31 »	7	9,15	27°5	35,5	208	± Couvert
1.VI.1949	12	8,30	25°5	44,5	197,5	± Couvert
1 »	6	10,45	27°0	53	204,5	± Couvert
6.VII.1949	9	8,30	25°5	77	—	—
6 »	4	10,00	29°5	59,5	—	—
7 »	7	10,00	27°0	65	116	—
8.VIII.1949	9	9,30	23°5	76,5	—	Très couvert. Visibilité très mauvaise
8 »	1	10,15	24°0	72	—	Id.
8 »	4	10,50	26°5	59,5	—	Id.
9 »	12	8,10	23°5	71,5	—	Id.
9 »	6	9,45	24°5	68,5	—	Id.
9 »	5	11,15	25°0	77	—	Id.
10 »	7	8,45	24°0	78	83	Id.
10 »	8	9,45	26°0	69	—	Id.
10 »	3	11,20	28°5	64,5	—	Id.

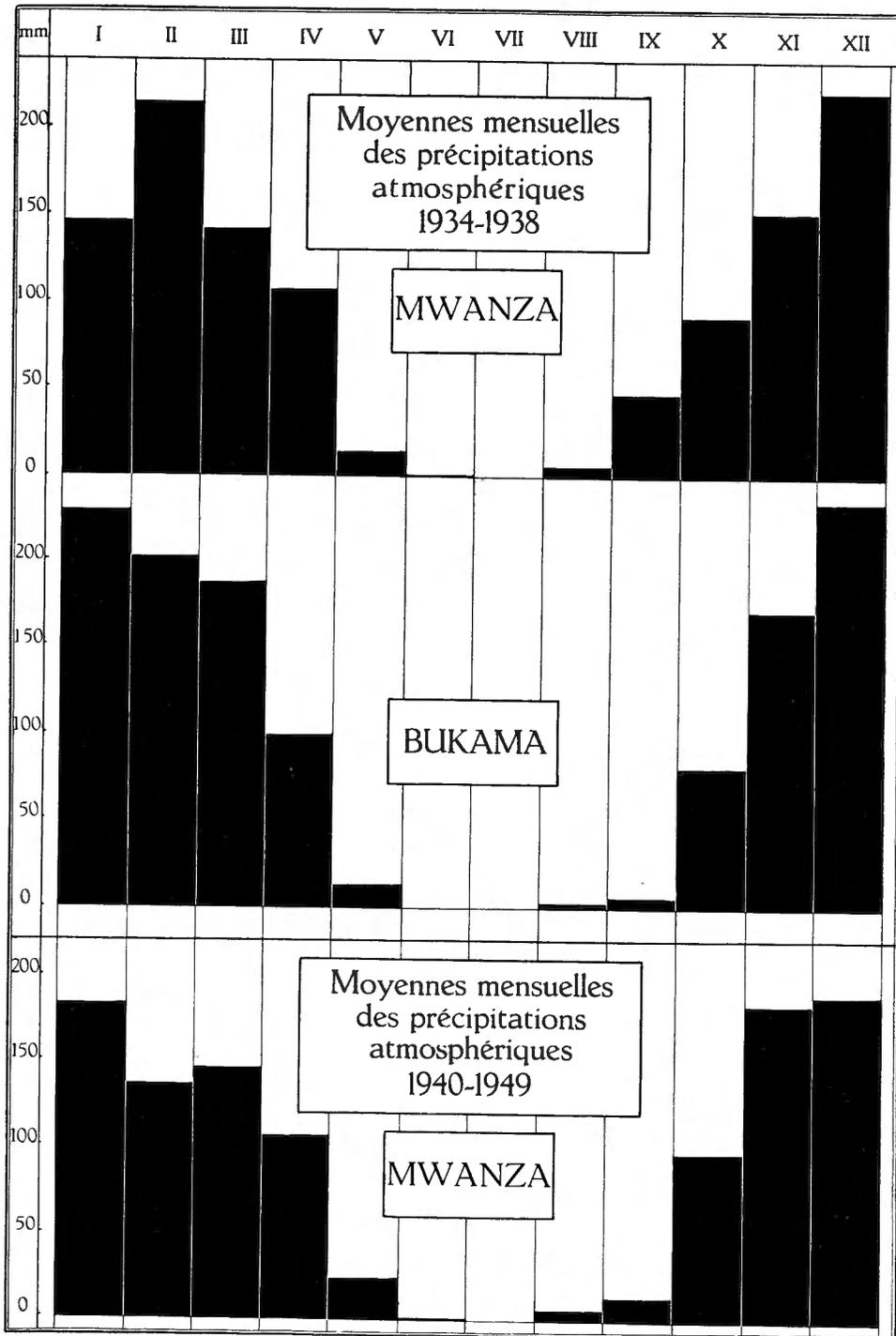


FIG. 6.

moyenne Lufira et du Bangweolo-Luapula-Moero viennent s'intercaler les hauts plateaux de la Manika, du Kibara et des Kundelungu, tandis qu'au Sud s'étend le plateau de la région cuprifère et de la bande faitière Congo-Zambèse. Dans de telles conditions, le climat du Sud-Est du Katanga présente deux types climatiques très différents : le type des hauts plateaux balayés par l'alizé et à température modérée et celui des plaines basses relativement chaudes. Les vents des hauts plateaux ont une grande régularité, de même que les précipitations qui semblent devoir donner un total annuel compris entre 1.000 mm et 1.400 mm. Il n'en va pas de même des régions des plaines, où les vents, générateurs de pluies, ont des allures très irrégulières et très diverses ».

D'après A. VANDENPLAS (1945), malgré le relief accidenté, le nombre annuel moyen de jours pluvieux dans le Katanga varie peu d'une station à l'autre. Un maximum se marque à Elisabethville. C'est en notant les quantités d'eau condensées dans le pluviomètre sous forme de rosée que la station d'Elisabethville arrive à une moyenne légèrement plus élevée. Cette irrégularité ne s'observe plus dans les moyennes des jours pluvieux à 5,10 et 20 mm. Au Katanga, pendant la saison humide, la fréquence des jours pluvieux augmente du Nord au Sud. Dans le Nord du Moyen-Katanga, de décembre à mars, il pleut un jour sur deux; dans le Nord du Haut-Katanga, on observe de la pluie trois jours sur cinq. Pendant la saison sèche, les pluies abondantes diminuent à mesure que l'on s'avance du Nord au Sud du Katanga.

Si les valeurs annuelles varient peu autour de la moyenne, les variations mensuelles d'une année à l'autre sont assez importantes. Il faut particulièrement porter l'attention sur les mois au cours desquels la petite saison sèche domine ainsi que ceux pendant lesquels débute ou finit la grande saison sèche. Certaines années, ces mois sont secs, voire absolument secs, d'autres années ils sont mi-humides à humides.

Toute la région congolaise située au Sud et au Nord-Est de la cuvette centrale est soumise aux influences du régime subéquatorial. Cette zone comprend, entre autres, la région du Bas-Katanga. Le régime subéquatorial se caractérise par deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches, une longue et une petite.

Dans le Bas-Katanga, la petite saison sèche se déclare au cours du mois de février. Les moyennes décadaires de décembre à mars obtenues pour la station de Gandajika montrent que l'apparition de la petite saison sèche se place le plus fréquemment au cours de la première décade de février. Elle se manifeste par une assez forte diminution de la pluviosité, ainsi que par une diminution de la fréquence de la pluie.

Au Bas-Katanga, le nombre de mois de saison sèche diminue du Sud au Nord. Au Sud, la sécheresse sévit pendant cinq mois, au Nord il n'y a plus que le mois de juillet qui présente une cote udométrique inférieure à 50 mm. Au fur et à mesure qu'on se déplace vers le Nord, la date d'apparition de la saison sèche se situe plus tard dans l'année.

*
**

Au moyen de mesures faites au cours de nos stations sur le lac on peut essayer de comparer un jour de saison des pluies et un jour de saison sèche. Les mesures ont toujours été faites entre 8,15 h avant midi et 15 h après-midi et se rapportent à la température de l'air, et l'humidité relative à 1,50 m au-dessus du niveau du lac.

TABLE 10.

Comparaison des variations diurnes de la température de l'air et de l'humidité relative à 1,50 m au-dessus du niveau du lac de 8 h 15 à 15 heures.					
Saison des pluies			Saison sèche		
Heure	°C	Humidité relative %	Heure	°C	Humidité relative %
8,15	23°9	83,0	—	—	—
9,00	24°0	82,0	—	—	—
—	—	—	9,30	28°0	64,0
9,35	25°2	85,0	—	—	—
10,00	25°5	75,0	—	—	—
—	—	—	10,30	25°0	84,0
11,15	24°3	76,0	—	—	—
11,30	26°2	96,0	11,30	25°0	88,0
—	—	—	12,00	27°0	78,0
12,35	29°0	66,0	—	—	—
13,00	26°2	96,0	—	—	—
13,35	29°0	61,0	—	—	—
—	—	—	13,45	28°5	54,5
14,30	29°0	66,0	14,30	29°0	55,0
—	—	—	15,00	29°0	45,0

Ces chiffres ne constituent pas une moyenne, mais ne représentent que les variations diurnes pendant quelques heures. Je n'ai malheureusement pu faire davantage à ce sujet.

TABLE 11.

Comparaison de la température de l'air, de l'humidité relative et de la température de surface de l'eau entre 8 h 30 et 15 heures. Moyennes mensuelles.										
	Saison des pluies			Petite saison sèche	Petite saison des pluies		Saison sèche			
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Air °C	28°2	27°7	25°2	29°0	25°6	27°2	28°2	26°9	27°3	25°0
Humidité %	69,1	72,3	78,3	66,0	83,0	71,1	71,3	53,3	67,2	70,7
Eau surface °C	29°6	29°0	27°5	28°9	27°8	29°3	27°7	25°2	25°2	24°9

La comparaison des températures moyennes de l'air, des températures moyennes de l'eau en surface, pendant la journée, permet de constater immédiatement qu'au cours du mois il y a inversion de la température d'après les saisons. En saison des pluies, l'eau était plus chaude, en petite saison sèche il y avait presque équilibre, de même qu'au mois d'août en saison sèche. En petite saison des pluies l'air est plus froid et en saison sèche il y a une nouvelle inversion.

On peut conclure qu'en général, en saison sèche, l'air est plus chaud que la couche superficielle de l'eau et qu'en saison des pluies (grande et petite) c'est l'inverse qui se produit, c'est-à-dire que l'air est plus froid que la surface aquatique.

2. — TEMPÉRATURE DE L'EAU.

Une des grandes difficultés dans l'étude comparative du lac Upemba avec des lacs connus est occasionnée par les différences thermiques très minimes entre les eaux de surface et celles de fond. Peu de cuvettes lacustres d'une profondeur tellement réduite ont été étudiées jusqu'ici, surtout dans les régions tropicales.

Au cours de dix mois d'observation, l'amplitude de température en surface, sur les mesures faites entre 8,30 h du matin et 15 à 16 h de l'après-

LAC UPEMBA TEMPÉRATURES EN °C

Eaux de surface □ et de fond ○ des diverses stations.

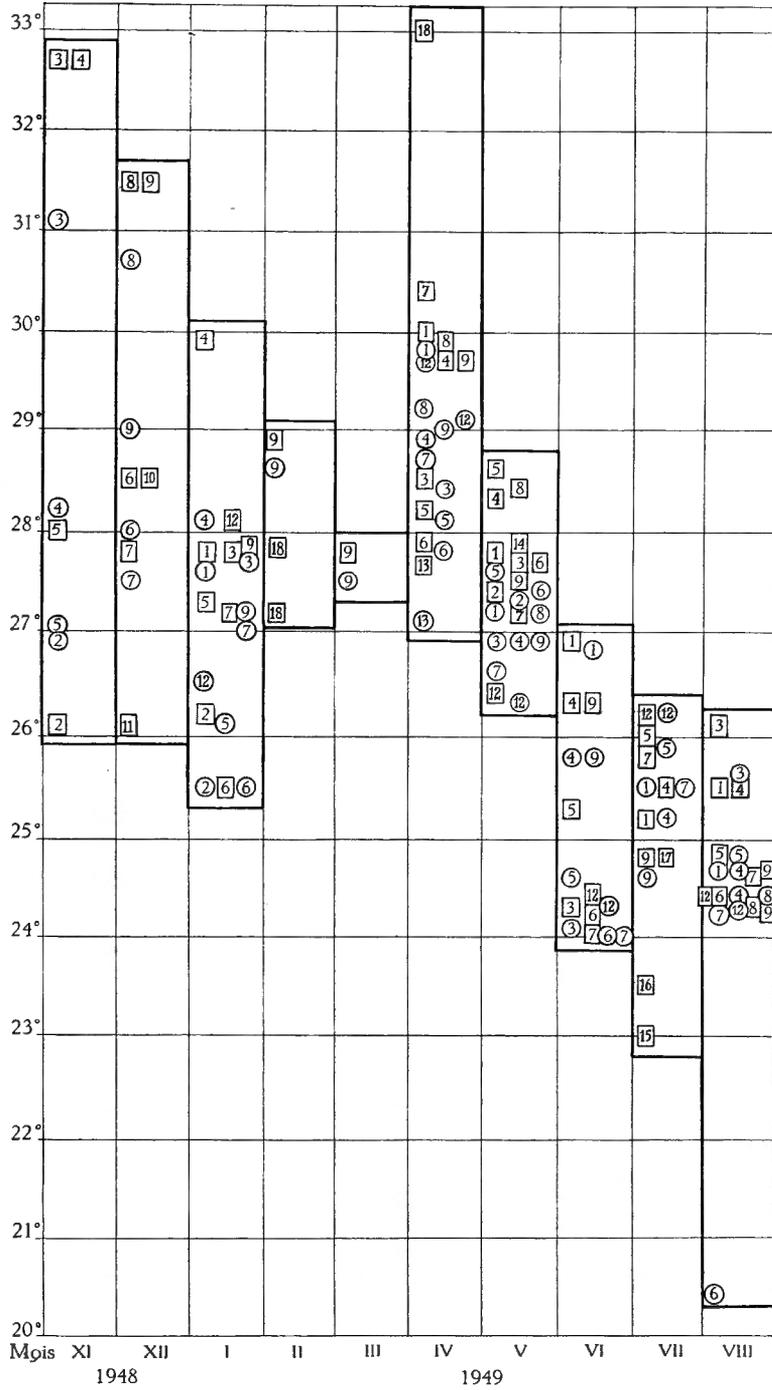


FIG. 7.

midi, a été de $33,0^{\circ}\text{C}$ à $23,5^{\circ}\text{C}$. Près du fond elle était de $31,0^{\circ}\text{C}$ à $24,0^{\circ}\text{C}$. La plus grande amplitude, avec une différence de $6,60^{\circ}\text{C}$, se place au mois de novembre; elle diminue progressivement, pour croître à nouveau et présenter un second maximum au mois d'avril, avec une différence d'amplitude

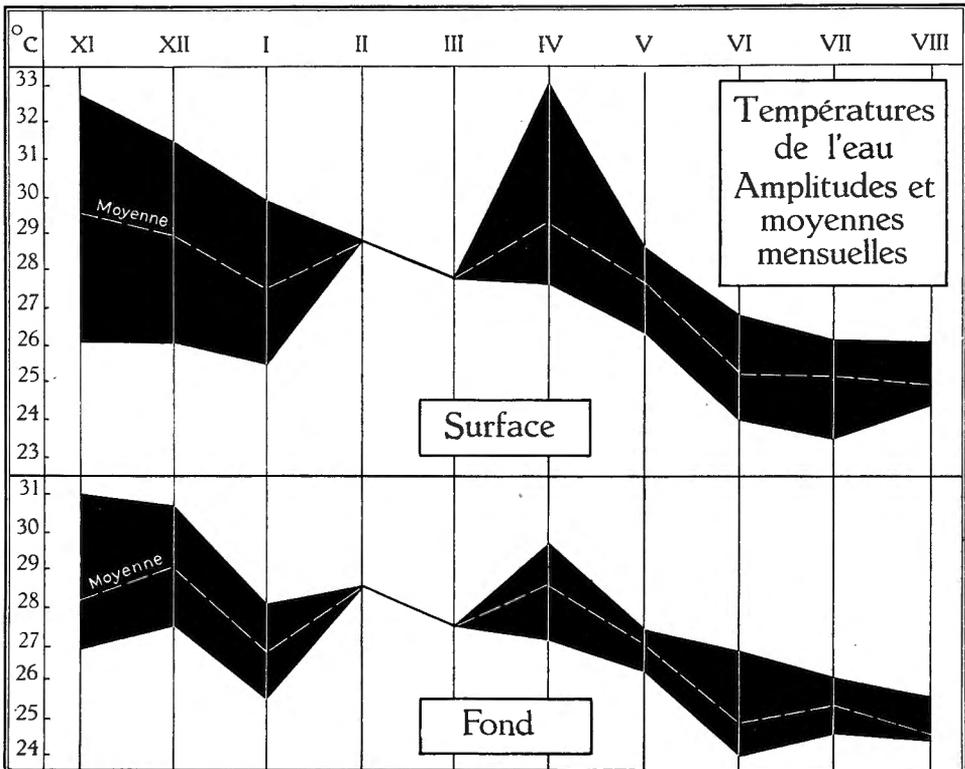


FIG. 8.

de $5,3^{\circ}\text{C}$. Les maxima de température furent observés au mois de novembre 1948 avec $32,7^{\circ}\text{C}$, et au mois d'avril 1949 avec $33,0^{\circ}\text{C}$, le minimum en juillet 1949 avec $23,5^{\circ}\text{C}$ (table 12) (fig. 7 et 8).

Cette température assez élevée est très importante car elle peut avoir une influence considérable sur le métabolisme du lac. Elle favorise les fermentations et joue probablement un rôle de premier plan dans certaines réactions physico-chimiques dont l'eau du lac est le siège et dont il sera question plus loin.

TABLE 12.

Température de l'eau en °C. Amplitudes mensuelles.											
Mois	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Surface	Max.	32,7	31,5	29,9	28,9	27,8	33,0	28,6	26,9	26,2	26,1
	Min.	26,1	26,1	25,5	—	—	27,7	26,4	24,0	23,5	24,3
Fond	Max.	31,0	30,7	28,1	28,6	27,5	29,7	27,4	26,9	26,2	25,6
	Min.	26,9	27,5	25,5	—	—	27,1	26,3	24,0	24,6	24,4

D'une manière générale, la température, comme le montre la table 13 des moyennes mensuelles, a une tendance très marquée à s'abaisser vers le milieu et la fin de la saison sèche (fig. 7, 8 et 34).

TABLE 13.

Température de l'eau. Moyennes mensuelles.										
Mois	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Surface	29,6	29,0	27,5	28,9	27,8	29,3	27,7	25,2	25,2	24,9
Fond	28,2	29,1	26,8	28,6	27,5	28,6	27,0	24,8	25,4	24,6

L'écart des moyennes pour la période envisagée est de 4,7° C pour la surface et 4,5° C pour le fond.

Quant aux relations des températures de fond et de surface, j'ai repris dans la table 14 les chiffres de la station 9, une de celles visitées le plus régulièrement, car ils donnent lieu à quelques considérations intéressantes (fig. 9).

TABLE 14.

Station 9. Températures en °C.			
Mois	Surface	Fond	Différence
Décembre 1948	31°5	29°0	2°5
Janvier 1949	27°8	27°2	0°6
Février	28°9	28°6	0°3
Mars	27°8	27°5	0°3
Avril	29°7	29°0	0°7
Mai	27°5	26°9	0°6
Juin	26°3	25°8	0°5
Juillet	24°8	24°6	0°2
Août	24°6	24°3	0°3

Il m'a été impossible, eu égard aux difficultés d'une première exploration du lac, d'examiner la possibilité d'existence de stratifications thermiques. Il existe certainement une différence entre les températures de surface et de fond; les mesures que j'ai pu faire le montrent clairement (tables 12, 13 et 14) et le graphique obtenu au moyen des données de la station 9 (fig. 9) est très explicite à ce sujet : l'amplitude maximale observée entre les deux températures est comprise entre 2,5° C pour le mois de décembre 1948, diminuant plus ou moins au cours de l'année, mais devenant minimum avec une différence de 0,2° C seulement au mois de juillet 1949, c'est-à-dire en saison sèche. Il est probable que cette différence thermique entre les deux couches envisagées influence le comportement du lac Upemba; mais il n'est pas impossible cependant que, dans une couche d'eau, même aussi mince que celle-ci, il puisse exister un véritable thermocline. La différence de 2,5° C au mois de décembre 1948 permet cependant une hypothèse dans ce sens : la profondeur y étant de 3,25 m en novembre 1948, on pourrait à la rigueur admettre l'abaissement de 1° C par mètre d'après les conceptions de E. A. BIRGE.

Avant plus ample information, il est certainement prématuré d'essayer

de dégager de nos chiffres autre chose qu'une simple constatation : des recherches plus poussées au moyen d'instruments adaptés à la mesure de très petits écarts dans une colonne d'eau de faible épaisseur permettront, seules, d'établir l'existence de différences pouvant démontrer la présence d'un thermocline.

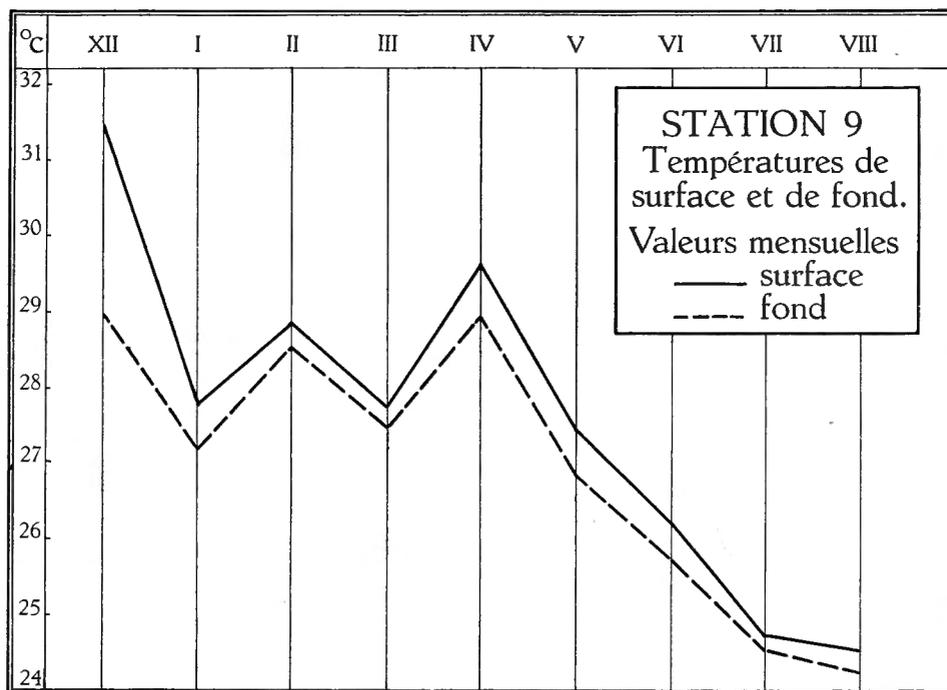


FIG. 9.

Il ne faut pas sous-estimer l'action des vents sur cette « pellicule aquatique », si je puis m'exprimer ainsi; il est certain qu'elle apporte des modifications importantes dans le bilan thermique du lac. A cet égard, P. S. WELCH est formel, particulièrement en ce qui concerne les observations de F. RUTNÉR sur les lacs tropicaux des Indes Orientales, ces lacs ayant cependant une profondeur infiniment plus grande que celle du lac Upemba.

D'après leur comportement thermique, F. A. FOREL et SUPAN distinguent des lacs chauds où la température est toujours supérieure à 4° C; la stratification y est toujours directe, c'est-à-dire une eau plus chaude surmonte une eau plus froide.

*
**

Si nous comparons les variations diurnes de la température en surface en saison des pluies, au mois de janvier, et en saison sèche, au mois d'août, nous voyons en saison humide des maxima et des minima plus élevés en valeur absolue; la différence entre les valeurs extrêmes est aussi plus grande dans le premier cas et est respectivement de 2,3° C et 1,05° C entre 8,10 h et 11,15 h de l'avant-midi. Entre 11 h et midi la température monte respectivement à 29,9° C et 26,1° C.

Je n'ai pas eu l'occasion de faire des investigations plus poussées à ce sujet.

TABLE 15.

Variations diurnes de la température des eaux de surface.		
Heure	Saison des pluies Janvier °C	Saison sèche Août °C
8,10	—	24°55
8,15	27°85	—
8,45	—	24°60
9,00	27°85	—
9,30	—	24°60
9,45	25°55	24°45
10,00	27°25	—
10,15	—	25°50
10,50	—	25°40
11,15	26°25	24°85
11,20	—	26°10
11,30	27°80	—
12,30	27°30	—
13,00	29°90	—
à 11,15 t° maxima	27°85	25°50
t° minima	25°55	24°45
Différence	2°30	1°05

Quant aux différences entre les températures des eaux pélagiques et littorales dans le sens des desiderata exprimés par C. WESENBERG-LUND (1912) et que M. GIEYZTOR (1934) a pris en considération lors de ses recherches limnologiques sur de petits bassins, quelques valeurs seulement sont à notre disposition, relevées entre 8,10 et 11,15 h avant-midi (table 16). Il résulte de leur examen qu'en saison des pluies et en saison sèche l'écart entre les températures extrêmes des eaux littorales est plus grand, respectivement 2,30° C et 1,05° C, alors qu'au large il est beaucoup moins important, voire identique : 0,60° C et 0,55° C.

TABLE 16.

Variations diurnes locales de la température des eaux de surface.				
Heure	Saison des pluies Janvier		Saison sèche Août	
	Littoral °C	Large °C	Littoral °C	Large °C
8,10	—	—	24°55	—
8,15	27°85	—	—	—
8,45	—	—	—	24°60
9,00	—	27°85	—	—
9,30	—	—	—	24°60
9,45	25°55	—	24°45	—
10,00	—	27°25	—	—
10,15	—	—	25°50	—
10,50	—	—	—	25°40
11,15	26°25	—	—	24°85
11,20	—	—	—	26°10
11,30	—	27°80	—	—
12,30	—	27°30	—	—
13,00	—	29°90	—	—
à 11,15 M — m	2°30	0°60	1°05	0°55

Il résulte de nos mesures que la seule conclusion que nous soyons en droit d'en tirer momentanément est qu'au point de vue de la classification de F. A. FOREL modifiée par G. C. WHIPPLE, le lac Upemba est un lac tropical de l'ordre 3, où les températures de surface et de fond sont presque semblables et où donc la circulation est pratiquement continue au cours de l'année.

3. — TRANSPARENCE ET COULEUR DE L'EAU.

Il y a peu de remarques à faire au sujet de la transparence et de la couleur de l'eau du lac Upemba. Mesurée au disque de SECCHI, la transparence oscille autour de 45 cm. Elle dépend directement de la grande quantité de matière organisée et de substances argileuses en suspension. J'aurai d'ailleurs l'occasion de montrer l'influence de ces grandes quantités dans le chapitre consacré aux interactions des cycles biologique et physico-chimique.

Quant à la couleur, elle correspond, à peu de chose près, aux n^{os} 11 et 12 de l'échelle de F. A. FOREL, la teinte jaunâtre étant imputable à la couleur propre des matières argileuses, la teinte verdâtre, au nannoplancton, particulièrement abondant. Il y a fort peu de variations entre les diverses stations au cours de l'année.

4. — RÉSISTIVITÉ DE L'EAU.

En règle générale, la résistivité varie entre 4.100 et 7.200 Ω à 18° C, mais est située assez généralement aux environs de 5.300 Ω . Elle est, en moyenne, de 5.108 Ω pour les eaux de surface et 5.121 Ω pour les eaux prélevées près du fond. On pourrait presque conclure à une grande similitude entre les eaux de fond et de surface, assez admissible d'ailleurs, étant donné le peu de profondeur et la grande facilité de brassage fond-surface qui en résulte.

b) **FACTEURS CHIMIQUES.****CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES.**

Avant d'entreprendre, dans les pages qui suivent, l'étude des facteurs chimiques, il est indispensable de noter d'abord l'absence totale au cours de l'année des ions Cl^- et SO_4^- . Les recherches se sont donc bornées à l'oxygène, l'acide carbonique libre, l'alcalinité, le pH, le calcium et le magnésium. Le plus régulièrement possible, les nitrates, phosphates et la silice ont été dosés.

Chaque facteur sera considéré d'abord séparément avec ses variations au cours de l'année et, si nécessaire, en rapport avec la succession et l'influence des saisons.

Après avoir examiné dans quelles mesures un facteur réagit sur l'autre, j'essaierai de dégager ensuite de toutes ces considérations quels sont le ou les facteurs dominants qui confèrent au lac Upemba son caractère particulier.

Les divers problèmes soulevés par nos recherches au lac Upemba sont fort complexes et le métabolisme du CO_2 en est un des principaux. C'est dans le but de rendre l'exposé le plus clair possible que les tables et graphiques ont été multipliés.

Certains problèmes n'ont pu être entièrement résolus et demeureront à l'état d'hypothèse en attendant d'autres investigations plus approfondies.

1. — OXYGÈNE DISSOUS.

Pour le calcul du % de la saturation, il faut envisager, pour les lacs situés au-dessus du niveau de la mer, l'application de la formule, d'après la loi de HENRY-DALTON :

$$B = B_0 - \frac{B_0 - B_1}{h_3 - h_1} (h_2 - h_1),$$

dans laquelle :

B = la pression barométrique du lieu situé entre deux points h_1 et h_3 ;

B_0 = la pression barométrique du point inférieur en altitude;

B_1 = la pression barométrique du point supérieur en altitude;

h_1 = la hauteur au-dessus du niveau de la mer du point inférieur;

h_2 = la hauteur au-dessus de la mer de la station envisagée;

h_3 = la hauteur au-dessus du niveau de la mer du point supérieur.

Toutes ces données étant absolument inconnues, de même que les moyennes annuelles de la pression barométrique pour l'endroit, il faut donc nous en tenir à la saturation calculée à 0° et 760 mm Hg.

*
**

Des sursaturations modérées d'oxygène se présentent de temps en temps dans les eaux naturelles, occasionnées partiellement par l'activité photosynthétique de grandes masses de plantes vertes dans les eaux calmes.

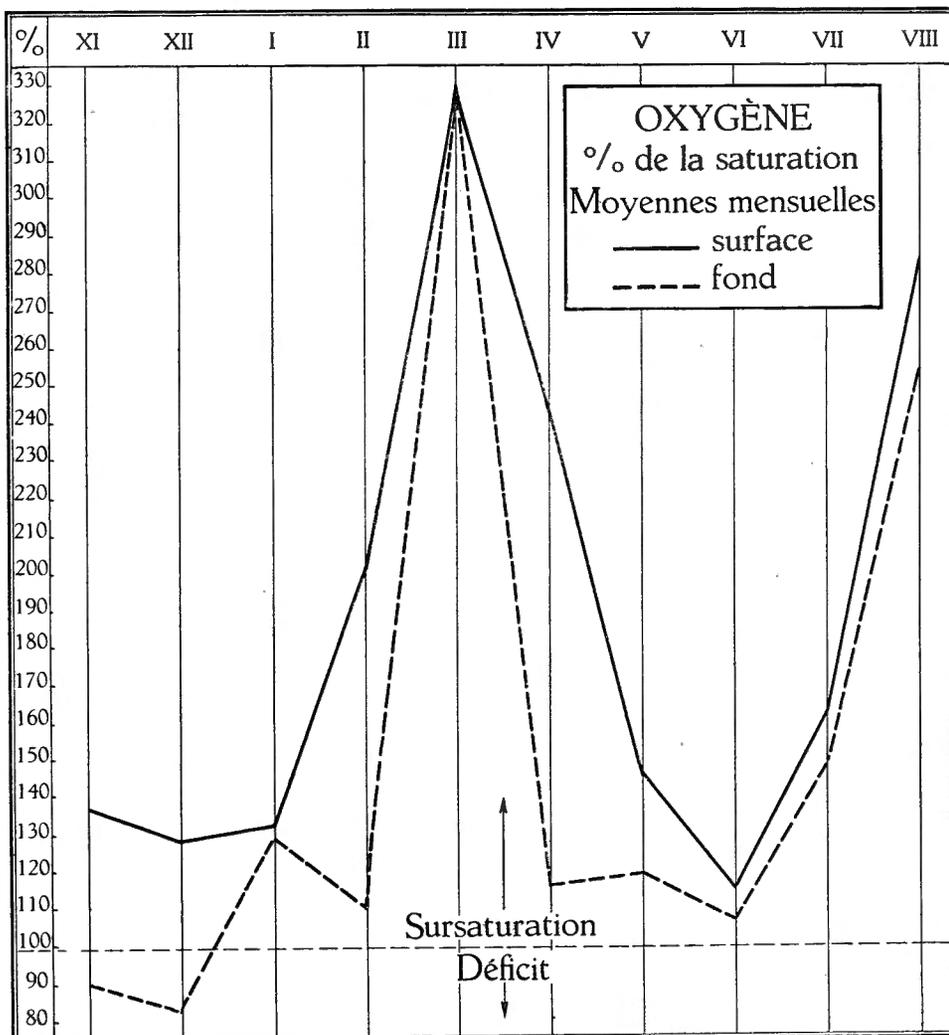


FIG. 10.

Dans ces conditions spéciales et rares, de grandes accumulations d'oxygène en excès apparaissent dans les couches supérieures et même parfois dans des couches plus profondes. Des quantités de l'ordre de 364,5 % de la saturation ont été observées dans les lacs américains par E. A. BIRGE et

C. JUDAY (1911), mais des excès de cette grandeur sont rares et les conditions de leur production ne sont pas bien établies.

Il se dégage immédiatement des chiffres de la saturation obtenus au cours de nos recherches sur le lac Upemba, que celui-ci offre de multiples microbiotopes où se montrent des variations locales parfois très importantes.

En règle générale l'eau du lac, en surface, est fortement sursaturée durant tout le cycle annuel. Le maximum observé a été en moyenne de 328,85 % au mois de mars, le minimum de 115,06 % au mois de juin. Près du fond le maximum a été de 329,4 % au mois de mars et un minimum de 82,94 % a été mesuré au mois de décembre (fig. 10).

Les chiffres moyens pour le fond donnent deux mois de déficit de la saturation aux mois de novembre et décembre (fig. 10), avec respectivement 90,33 et 82,94 %. Pour les autres mois, les moyennes de l'eau du fond montrent une sursaturation atteignant un maximum de 329,4 %.

TABLE 17.

Oxygène en % de la saturation. Moyennes mensuelles.										
Mois	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Surface	136.6	127.8	131.3	200.6	328.8	243.5	145.8	115.0	161.9	282.6
Fond	90.3	82.9	129.7	110.6	329.4	116.5	119.6	106.3	147.6	252.8

Si l'on considère les courbes d'oxygène de la station 9 dans ses rapports avec les saisons, on remarque que les deux sommets se trouvent respectivement au début de la petite saison des pluies et au milieu de la saison sèche, tant pour les eaux de surface que pour la couche profonde. Les croissances et décroissances des courbes sont généralement très rapides (fig. 11).

Il n'y a pratiquement pas de déficience quant à la concentration de l'oxygène dans la couche trophogène, sauf peut-être au mois de mai, où elle est descendue à 97,58 % seulement.

Quant au fond, il y a déficience durant les mois de décembre et janvier, mai, juin et juillet.

Pour faciliter certaines recherches comparatives, l'oxygène de la station 9 a été représenté en centimètres cubes au litre pour les eaux de surface et

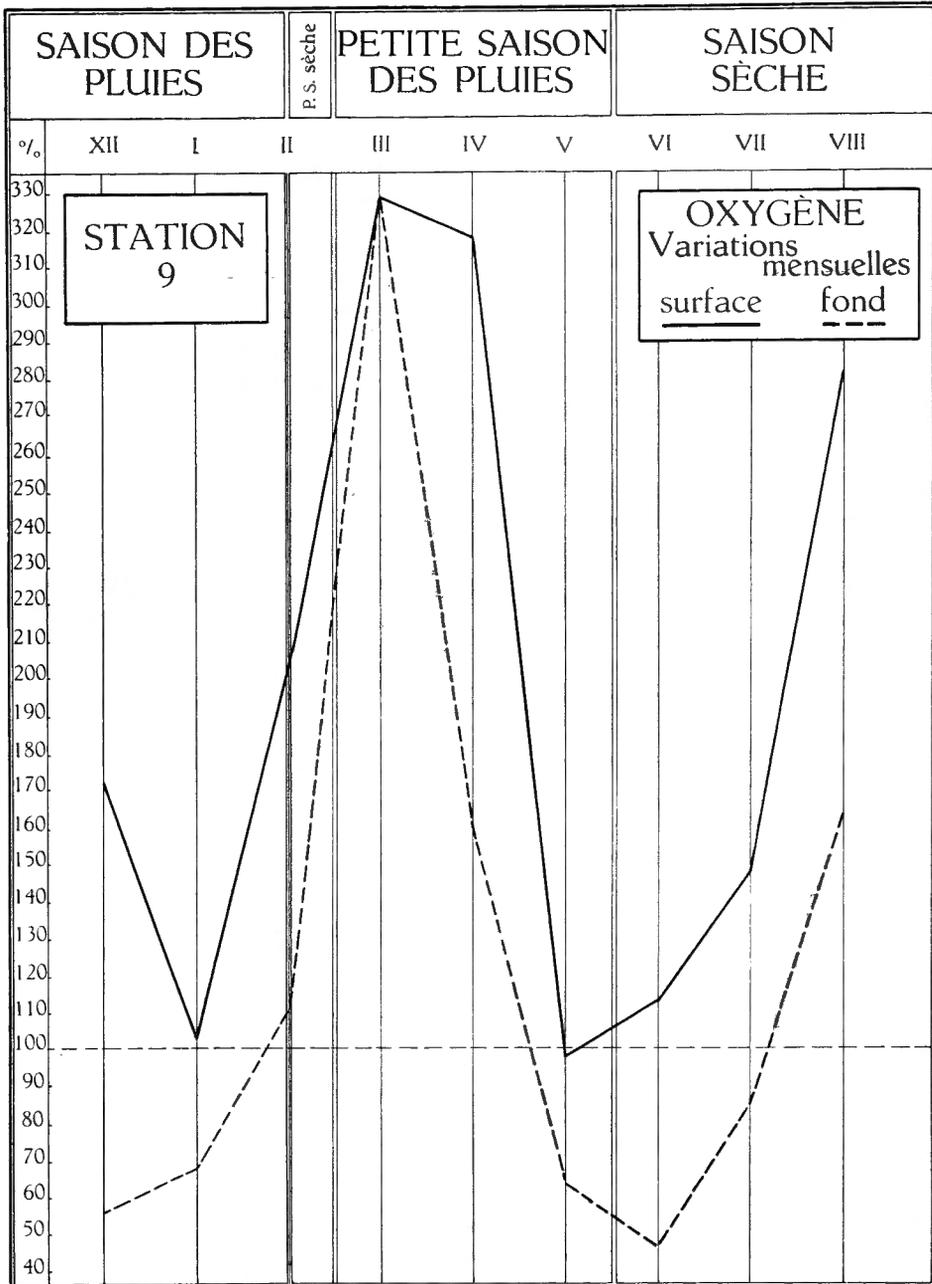


FIG. 11.

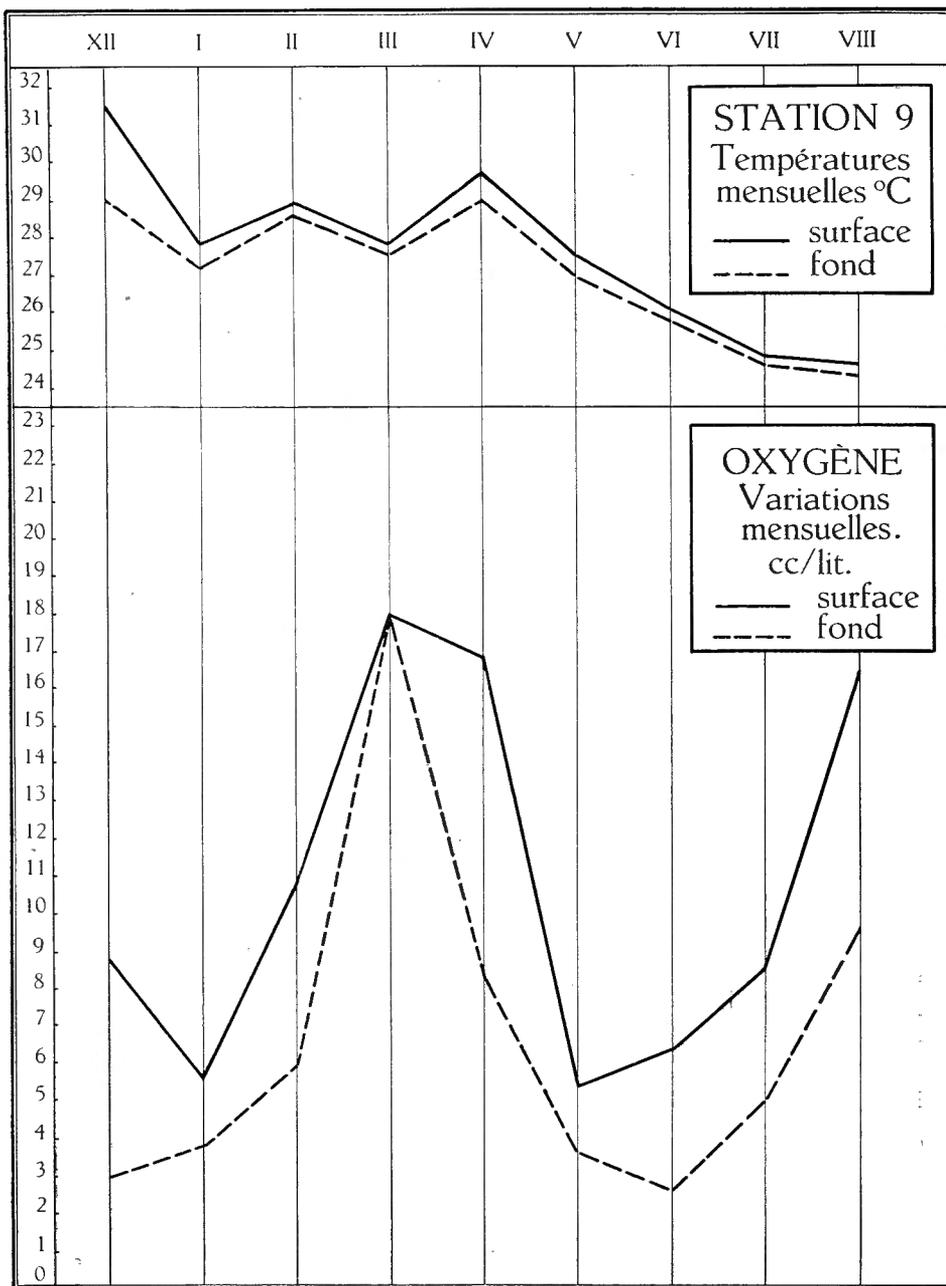


FIG. 12.

de fond (fig. 12). Il est évident que l'allure de la courbe correspond à celle de la figure 11, qui donne la concentration en % de la saturation.

Si, au lieu d'examiner les moyennes mensuelles, on étudie les valeurs séparées, on trouve évidemment des sursaturations plus élevées et des déficits beaucoup plus bas pouvant atteindre l'une 408,9 % en surface et descendre, l'autre à 45,46 %, près du fond. Les déficits de la saturation s'observent surtout, sauf quelques exceptions, près du fond, où les réductions bactériennes occasionnent une forte consommation d'oxygène. Considérés du point de vue du gisement de la station hydrobiologique, les déficits de saturation en surface se répartissent d'après la table 18.

On constate ici que la déficience se produit dans la majorité des cas à des endroits où la couche aquatique est très mince et où la dégradation de la matière organique et les fermentations de la vase occasionnent une consommation importante de l'oxygène produit en surface.

TABLE 18.

Mois	Station	Oxygène en % de la saturation	Remarques
Décembre	10	63,49 %	Fond à \pm 50 cm
Avril	8	66,98 %	Fond à 1,30 m, à 50 m de la rive
Mai	14	78,66 %	Fond à \pm 50 cm
	12	82,46 %	Fond à 2,80 m, à 100 m de la rive
Juillet	16	59,00 %	Fond à \pm 50 cm
	17	93,29 %	Fond à \pm 50 cm, près de la rive

En ce qui concerne les stations 8 et 12, il est à remarquer que la proximité de la rive influence probablement, par les apports de matières organiques de déchet, la déficience d'oxygène. Je songe ici à la présence à la station 12, à l'époque de l'Expédition, de plusieurs hippopotames qui, en remuant la vase, ont certainement contribué à mettre la couche inférieure en contact avec les couches supérieures, d'où une oxydation plus rapide et la déficience constatée. C'est un exemple typique de l'influence d'un facteur zoobiotique.

La courbe des moyennes mensuelles montre clairement une augmentation progressive jusqu'au mois de mars, une décroissance rapide jusqu'au mois de juin et une remonte jusqu'en août. Il est intéressant de signaler en outre qu'au mois de mars, le % de la saturation est pratiquement identique en surface et près du fond avec respectivement 328,85 % et 329,40 % et une homothermie presque absolue : 27,8° C pour la surface et 27,5° C pour le fond (fig. 11).

Il aurait été du plus haut intérêt de pouvoir suivre l'évolution de l'oxygène d'heure en heure pendant une durée de vingt-quatre heures au cours d'un jour en saison sèche et d'un jour en saison des pluies, car nous ignorons tout des variations nocturnes. Cette expérience n'a pu être réalisée momentanément.

Par la respiration des animaux, la décomposition de la substance organique, descendant lentement et s'accumulant sur le fond, l'oxygène de l'eau décroît constamment; la perte est partiellement compensée toutefois, dans les couches supérieures, par la production de l'oxygène au cours de l'assimilation chlorophyllienne, aussi bien des plantes supérieures que du phytoet du phytonannoplancton. C'est avant tout ce dernier qui est, sans aucun doute, une des principales sources de l'oxygène du lac et qui provoque généralement une légère sursaturation dans les couches bien aérées. Près du fond, où, d'après la profondeur de la cuvette lacustre, l'aération ne se fait plus que difficilement et où la diffusion lente ne compense plus la consommation, on peut constater des déficiences saisonnières. Plus riche est la vie d'un lac, plus abondante la nourriture, plus vite aussi ce processus ira-t-il en s'accroissant et la teneur en oxygène diminuera avec la profondeur.

Cependant, cette diminution, qui peut aller jusqu'à faire tendre les teneurs de l'oxygène à zéro, n'est pas toujours imputable à la dégradation de la matière organique et les oxydations qui l'accompagnent. Dans des cas particuliers il peut y avoir d'autres phénomènes d'oxydation, notamment au cours de la production de carbonate de fer.

Les bases théoriques de l'influence de l'assimilation chlorophyllienne sur les variations du chimisme sont aujourd'hui en grande partie expliquées par les recherches de J. TILLMANS, J. M. KOLTHOFF, F. RUTTNER et W. SCHÄPERCLAUS. Que la concentration en oxygène de l'eau peut atteindre de hautes valeurs, a été prouvé par un grand nombre de recherches. Il serait cependant intéressant de rechercher entre quels extrêmes la concentration en oxygène peut varier par suite des actions antagonistes de la photosynthèse et de la respiration.

L'examen de la table 17 et des graphiques (fig. 10, 11 et 12) montre qu'au lac Upemba, l'oxygène croît vers deux sommets situés respectivement au mois de mars et au mois d'août. Si nous comparons la courbe obtenue au moyen des moyennes mensuelles à celle du nannoplancton quantitatif (fig. 13), nous nous apercevons que les maxima de l'oxygène ne correspondent pas aux maxima du nannoplancton, mais que ces grandes concentrations en oxygène sont en retard de trente jours environ sur la production massive du plancton. On pourrait évidemment nous objecter qu'au cours des trente jours écoulés entre deux visites successives, des changements ont pu survenir, qui nous ont ainsi échappé. Ces productions ont lieu en décembre, janvier et février; pendant ces trois mois la courbe d'oxygène croît et atteint son maximum au mois de mars, époque à laquelle le nannoplancton commence à décroître. Un nouveau minimum se présente au mois

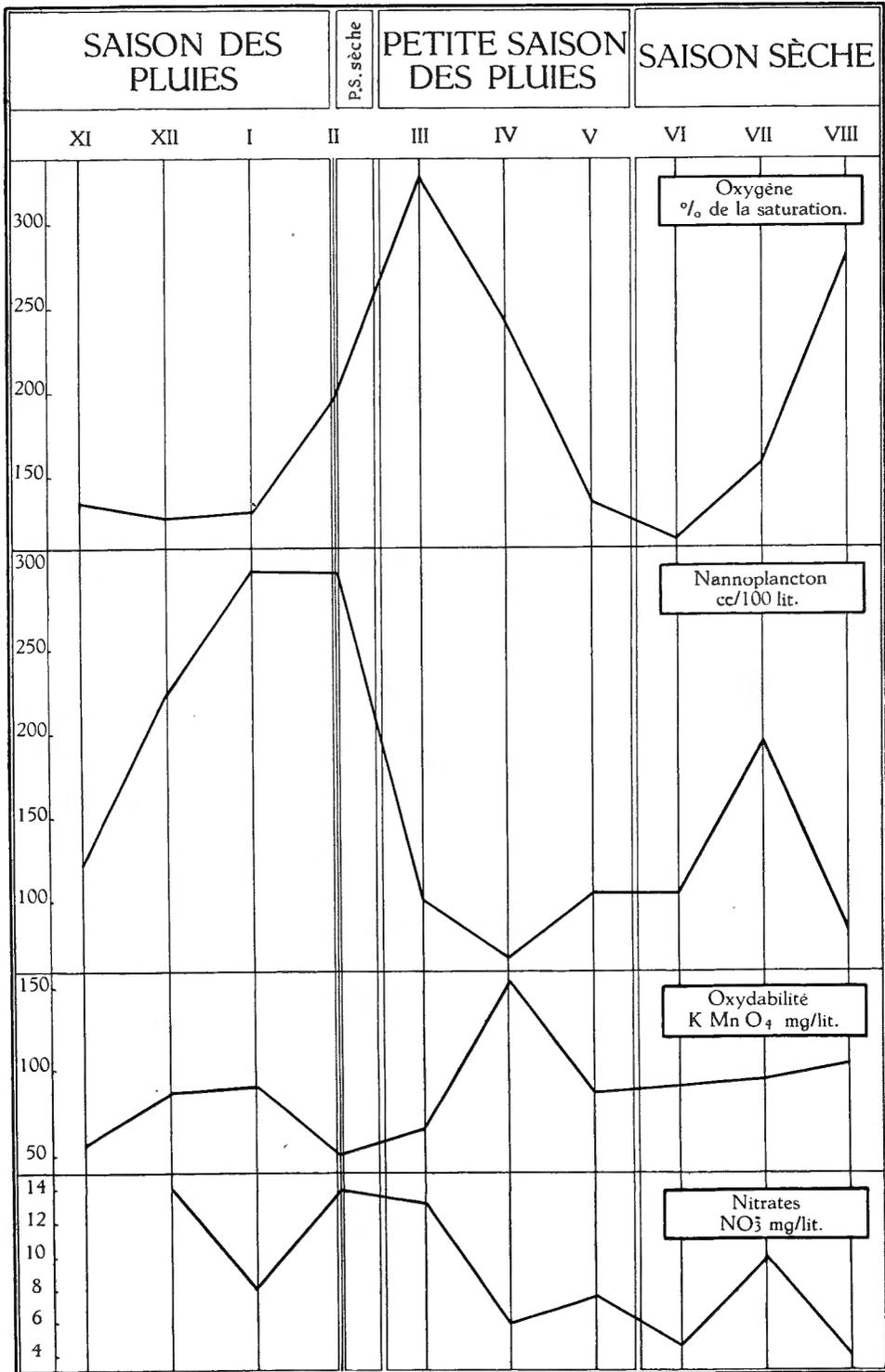


FIG. 13.

TABLE 19.

Oxygène. Moyennes mensuelles.				
Mois	Température °C	Oxygène cc ‰	Oxygène mg ‰	Oxygène % saturation
Eaux de surface.				
XI	29°6	7,221	10,319	136,63
XII	29°0	6,795	9,711	127,86
I	27°5	7,218	10,330	131,34
II	28°9	10,776	15,399	200,66
III	27°8	18,021	25,753	328,85
IV	29°3	12,838	22,475	243,54
V	27°7	7,989	11,417	145,81
VI	25°2	6,625	9,468	115,06
VII	25°2	9,266	13,242	161,94
VIII	24°9	16,327	23,333	282,63
Eaux du fond.				
XI	28°2	4,878	6,973	90,33
XII	29°1	4,438	6,343	82,94
I	26°8	7,246	10,355	129,67
II	28°6	5,971	8,532	110,57
III	27°5	18,148	25,935	329,36
IV	28°6	6,286	8,983	116,48
V	27°0	6,661	9,520	119,96
VI	24°8	6,202	8,863	106,26
VII	25°4	8,439	12,077	147,63
VIII	24°6	14,710	21,022	252,86

de juin, pendant que le nannoplancton, d'abord décroissant, s'accroît lentement. Le second sommet de l'oxygène est en août, c'est-à-dire à nouveau trente jours après la production maximum du nannoplancton.

E. A. BIRGE et C. JUDAY (1911) ont trouvé dans plusieurs lacs du Wisconsin des sursaturations remarquables et reconnaissent que jusqu'à présent aucune explication adéquate n'a été donnée de ce phénomène. Ils supposent

TABLE 20.

Oxygène. — Station 9.				
Mois	Température °C	Oxygène cc 0/00	Oxygène mg 0/00	Oxygène % saturation
Eaux de surface.				
XII	31°5	8,779	12,546	171,79
I	27°8	5,573	7,965	101,70
II	28°9	10,776	15,399	200,66
III	27°8	18,021	25,753	328,85
IV	29°7	16,811	24,024	317,78
V	27°5	5,377	7,684	97,58
VI	26°1	6,361	9,090	112,38
VII	24°8	8,546	12,214	147,35
VIII	24°6	16,421	23,466	282,14
Eaux du fond.				
XII	29°0	2,966	4,239	55,34
I	27°2	3,735	5,338	67,42
II	28°6	5,970	8,532	110,57
III	27°5	18,148	25,935	329,36
IV	29°0	8,397	12,000	156,66
V	26°9	3,511	5,017	63,03
VI	25°8	2,586	3,696	45,46
VII	24°6	5,016	7,168	86,19
VIII	24°3	9,610	13,733	163,99

que c'est la production de nannoplancton qui en est la cause : « The upper waters always contains chlorophyll-bearing organisms whose numbers vary from a few hunderds per liter in some lakes to as many several hundred thousand in others. When exposed to light, these organisms are able to carry on the process of photosynthesis in which Carbon dioxid is taken up from the water and broken up into its two elements. The carbon is retained for further use in the plants and the Oxygen is liberated, some or all of it passing into solution in the water so that the quantity or all of this gas may be raised above the saturation point. In the upper stratum, then, the excess of Oxygen will not be much greater than the amount which the

chlorophyll-bearing organisms can produce in a single day, for the disturbances due either to wind or convection currents will prevent the accumulation of a large amount of excess Oxygen at so slight a depth. The maximum amount of Oxygen was found in Knight lake on August 26, 1909. At a depth of 4,5 m there were 25,5 cc of Oxygen per liter of water, which was 364,5 per cent of saturation. The problem of the rapidity of manufacture and accumulation of Oxygen in the excess Oxygen stratum has not yet been thoroughly studied. »

Au sujet de l'effet ultime de cette sursaturation sur le métabolisme du lac, A. THIENEMANN (1928) a émis l'opinion qu'en ce qui concerne les eaux eutrophes il est impossible de s'imaginer que ce surplus en oxygène serait « dégage » en même temps; il pense, au contraire, que cette quantité reste en quelque sorte emmagasinée et sert à l'oxydation de la matière organique morte. Ce n'est que lorsque cet excès d'oxygène a été utilisé que le restant est consommé. A ce moment la déficience commence à se marquer et croît jusqu'à un maximum. Dans ces conditions, une eau eutrophe posséderait la capacité d'oxyder de grandes quantités de matières organiques, autochtones ou allochtones, c'est-à-dire de les dégrader complètement et d'en remettre les éléments en circulation, sans en arriver à des accumulations considérables de détritrus.

Pouvons-nous dire, dès lors, que les variations de l'oxygène sont régies ici par les processus biologiques de réduction des sédiments, d'après les conceptions de A. THIENEMANN, comme il fallait s'y attendre dans une eau à eutrophie très prononcée, comme c'est le cas pour l'Upemba? Ajoutons à cela que le peu de profondeur de cette « pellicule aquatique » offre la possibilité aux microorganismes du phytonannoplancton d'effectuer de la photosynthèse jusque près du fond. Nous avons trouvé, en effet, des quantités considérables de matière vivante jusqu'à quelques centimètres de la vase du fond. Il en résulte une oxygénation correspondant à une production massive de phytonannoplancton.

D'après A. THIENEMANN (1931), la forme eutrophe des courbes de l'oxygène dans les lacs tropicaux (semblables à l'Upemba) serait due à la température élevée de l'hypolimnion et la dégradation rapide de la matière organique qui en résulte.

Je songe ici à l'étude de l'oxygène des lacs dans laquelle A. GROTE (1934) a très ingénieusement appliqué la loi d'OHM au métabolisme lacustre.

Dans les grands lacs, dit-il, les grandes profondeurs agissent comme facteur freinant le métabolisme. Celui-ci est semblable à la loi d'OHM :

$$\text{Force} = \frac{\text{Tension}}{\text{Résistance.}}$$

L'intensité du métabolisme est identique à la force du courant; la différence de potentiel entre anode et cathode est représentée par les deux forces opposées : la production et la dégradation.

La matière organique produite dans les couches supérieures descend à la mort des organismes et tend à atteindre le fond de la cuvette lacustre, pour retourner, après minéralisation dans les profondeurs, vers la couche trophogène. Tout se passe comme si d'un pôle à l'autre descendait de la matière organique pour retourner à son point de départ sous forme minérale.

Les distances considérables, comme elles se présentent dans les lacs à grande profondeur, peuvent, dès lors, être considérées comme la résistance dans la formule d'OHM : plus grande est la résistance, plus petite est la force électromotrice, ce qui peut se traduire ici : plus grande est la profondeur, plus petit est le métabolisme. Dans les lacs peu profonds, au contraire, les deux pôles du cycle sont très rapprochés; la construction de la matière organisée, sa destruction et sa dégradation se passent dans un milieu très restreint et les matières minérales retournent avec une grande rapidité vers le lieu de reconstruction de la matière organisée, qui reçoit donc de cette façon une impulsion considérable.

Nous pouvons donc appliquer dans ce cas la loi d'OHM au métabolisme des lacs, en ces termes : Le métabolisme dans un lac est d'autant plus intense que le rapport entre la production et la destruction est petit et donc que le lac est moins profond.

Si nous examinons séparément les concentrations mensuelles mesurées à la station 9 (table 20), nous y trouvons en surface un maximum de 328,85 % au mois de mars et un minimum de 97,85 % au mois de mai. C'est le seul mois au cours duquel on a observé une légère déficience, les concentrations en surface des autres mois étant comprises entre 101,70 et 328,85 %.

Quant au fond, un maximum de 329,36 % au mois de mars correspond à peu de chose près au maximum observé en surface, le minimum de 45,46 % se plaçant au mois de juin. Les autres mois, on remarque une sérieuse déficience aux mois de décembre, janvier, mai, juin et juillet. Au mois d'août on se trouve à nouveau devant une sursaturation.

Considérons maintenant les concentrations et la température dans le cadre des saisons (table 21). Nous voyons immédiatement que l'oxygène, de même que les températures, tendent à s'unifier en surface et au fond au mois de mars, c'est-à-dire en petite saison des pluies. A ce moment elle va décroître lentement, alors qu'au fond la chute est brusque, presque 50 % de diminution au mois d'avril. Pendant ce temps, la température a encore augmenté. A partir de ce moment, elle va décroître en surface de même qu'au fond. Quant à l'oxygène, il diminue en surface, mais croît presque immédiatement pour atteindre un second maximum en août vers la fin de la saison sèche. Au fond, il décroît brusquement, comme il a été dit plus haut, décroît encore, puis remonte à un second maximum également au mois d'août où l'on remarque des températures de surface et de fond très voisines. Dans les deux cas les températures ne diffèrent que de 0,3° C.

Si nous comparons les variations de l'oxygène exprimées en cm³ au litre, pour la station 9 (fig. 12), nous voyons que dans la plupart des mois de l'année il semble y exister une sorte de microstratification, si je puis m'exprimer momentanément ainsi, peu prononcée d'ailleurs, presque parallèle à une allure semblable de la température, sauf pour le mois de mars, où, comme je l'ai déjà indiqué plus haut, les températures de surface et de fond sont presque semblables, à une différence de 0,3° C près, et tendent donc à constituer une remarquable homothermie.

TABLE 21.

Valeurs moyennes mensuelles.										
Mois	Saison des pluies		Petite saison sèche	Petite saison des pluies		Saison sèche				
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Oxygène surface										
% saturation	120,5	102,1	129,1	195,8	258,9	163,2	117,5	95,04	129,2	224,6
Température surface °C	29,6	29,0	27,5	28,0	27,8	29,5	27,7	25,2	25,0	24,9
Microplancton cc/100 l	0,8	1,1	0,9	1,4	0,3	0,6	0,72	0,46	1,1	0,56
Nannoplancton cc/100 l	125,0	225	297,0	295,0	100,0	67,5	108,0	107,0	195,0	83,3

Relations entre la production de l'oxygène, du microplancton, du nannoplancton et les saisons.

Le lac Upemba serait alors à classer, d'après les conceptions de S. YOSHIMURA (1938), dans les «eutropic lakes of third order» qu'il définit comme suit : « Lacs de grande superficie, mais peu profonds. Les parties moindres que 3 m sont couvertes d'une végétation submergée ou flottante. On peut difficilement désigner ces pièces d'eau sous le vocable de « lacs » dans le sens strict du terme. »

Dans son travail, S. YOSHIMURA considère comme lacs, ces parties des pièces d'eau suffisamment profondes pour permettre la végétation de plantes aquatiques submergées. « Ces lacs eutrophes sont fréquemment troublés par les vents et les courants. On n'a pu encore établir l'existence régulière d'un thermocline. La couche supérieure est sursaturée d'oxygène par

Station 9.										
	Saison des pluies			Petite saison sèche	Petite saison des pluies		Saison sèche			
Mois	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Surface.										
Température °C	—	31,5	27,8	28,9	27,8	29,7	27,5	26,1	24,8	24,6
Oxygène % saturation	—	171,79	101,7	200,66	328,85	317,78	97,58	112,38	147,35	282,14
Fond.										
Température °C	—	29,0	27,2	28,6	27,5	29,0	26,9	25,8	24,6	24,3
Oxygène % saturation	—	55,34	67,42	110,57	329,36	156,66	63,03	45,46	86,19	163,99

suite de l'assimilation chlorophyllienne. La partie profonde près du fond est généralement soit sursaturée, soit en légère déficience, nonobstant la décomposition active de la surface de la vase. On a observé rarement une stratification des sels dissous après une stagnation continue pendant une succession de journées calmes et chaudes. »

F. RUTTNER (1952) est d'avis que, dans les eaux tropicales, la température devient le facteur déterminant et que la couche d'oxygène perd sa signification comme indicateur de la grandeur de la productivité organique.

Un dernier point auquel il a déjà été fait allusion dans les pages qui précèdent est l'évolution de l'oxygène pendant la nuit. F. RUTTNER (1931) a remarqué, au cours de ses recherches hydrographiques et hydrochimiques à Java, Sumatra et Bali, que certaines sursaturations (jusqu'à 120 % et plus) ont été trouvées très souvent au cours des matinées. Pendant les premières heures de la journée, au contraire, il a trouvé des concentrations beaucoup moins fortes, dues moins à des échanges avec l'atmosphère qu'aux réductions.

N'ayant pas eu la possibilité de faire des prélèvements tôt le matin ou tard le soir, il m'est difficile de rechercher si le même phénomène se produit au lac Upemba. Tout ce que je puis dire à ce sujet, c'est qu'en saison sèche, au mois d'août, j'ai pu mesurer une augmentation progressive depuis 8,45 h à 11,20 h avant midi.

TABLE 22.

Heure	t° C	Oxygène cc ‰	% de la saturation
8,45	24,6	11,51	197,9
9,30	25,5	13,93	243,1
9,45	24,4	17,72	303,0
10,50	25,4	18,47	321,9
11,20	26,1	18,60	328,6

Pendant la saison des pluies cette progression ne semble pas être si régulière, ce qui se conçoit par les dilutions énormes et soudaines causées par les précipitations atmosphériques. Nous voyons cependant que les fortes concentrations se présentent autour du milieu de la journée, à quelques exceptions près cependant.

Dans une étude sur les variations diurnes et l'intensité spécifique de la photosynthèse chez les plantes aquatiques, principalement chez les algues, S. KOSTYTSCHEW et S. SOLDATENKOW (1926) ont pu montrer que cette variation n'est pas régulière. L'intensité de la photosynthèse atteint un maximum dans l'avant-midi ou au plus tard dans les premières heures de l'après-midi. Dans l'après-midi, même par fort rayonnement solaire, par une température favorable, on remarque une décroissance progressive de cette intensité.

R. W. BUTCHER et ses collaborateurs (1927) ont démontré l'existence de variations diurnes de l'oxygène dans l'eau d'une petite rivière. Leur mini-

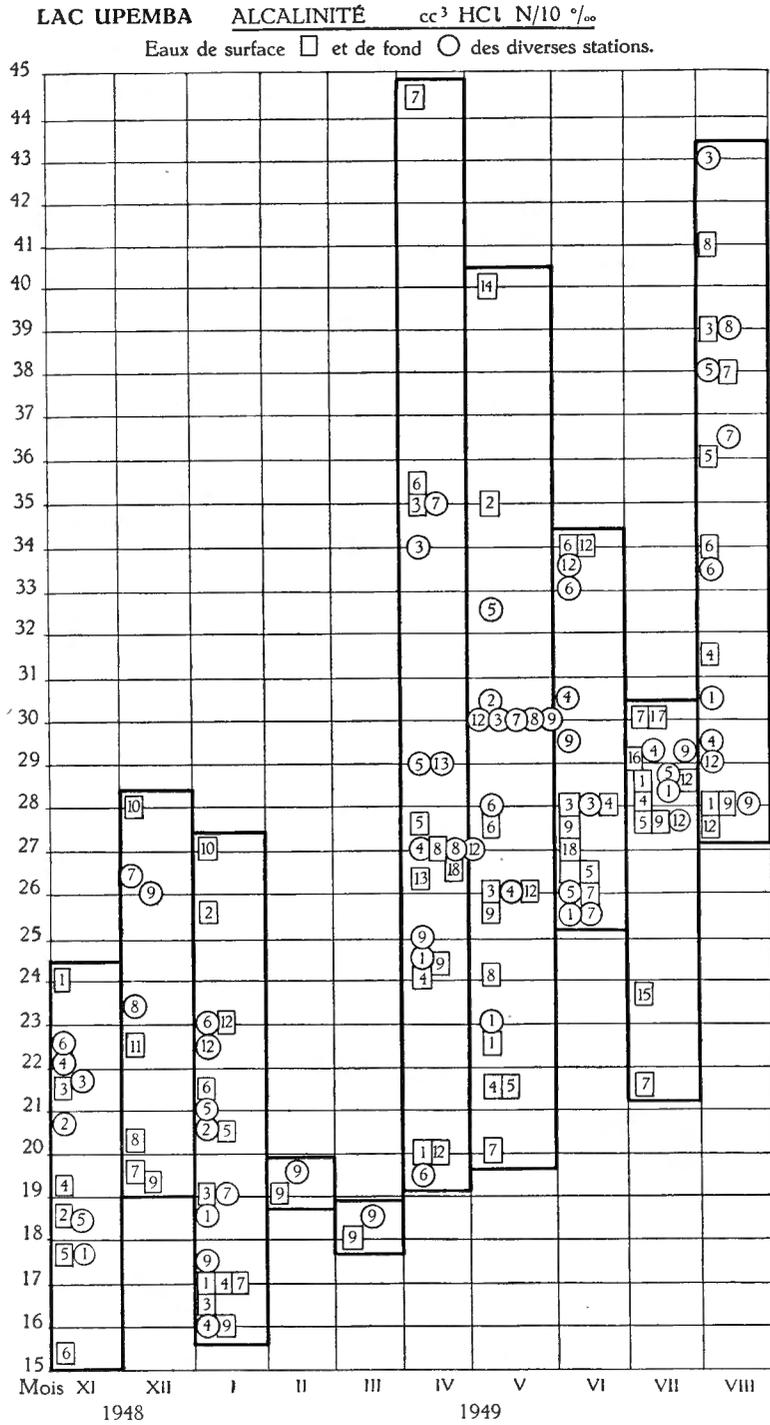


FIG. 14.

mum pour le mois de mars se trouve depuis 1 h de la nuit à environ 8 h du matin, pour monter presque en flèche jusqu'à 13 h et décroître ensuite. J. WHITNEZ (1942) a pu faire des observations analogues pendant vingt-quatre heures. J. SCHMALZ, au contraire (1934), n'a pas trouvé dans un lac eutrophe (le Gnadensee) une variation sensible entre les concentrations diurnes et nocturnes de l'oxygène.

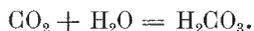
2. — ACIDE CARBONIQUE LIBRE. ALCALINITÉ, pH.

Considérée autrefois comme presque identique à n'importe quel point d'un lac, à une même époque, l'alcalinité s'est avérée, depuis, comme pouvant présenter des différences sensibles et subir des influences locales assez notables (fig. 14).

Un certain nombre de facteurs provoquent des variations dans l'évolution de l'alcalinité, facteurs dépendant à leur tour de la variabilité presque continue du biotope envisagé, au double point de vue macro- et microclimatique. Il est très difficile de suivre l'influence séparée de chaque facteur; ce ne sont que ceux qui présentent entre eux une causalité bien définie, dont nous pouvons plus ou moins déterminer et suivre l'action, pour autant que celle-ci soit quantitative. A ce point de vue le métabolisme de l'acide carbonique dans les eaux naturelles, tout compliqué qu'il soit, est peut-être le seul qui se prête à une investigation approfondie, basée sur des données bien définies.

Afin de pouvoir expliquer les diverses réactions chimiques dont l'eau du lac Upemba est le siège, il est utile de revoir, d'une manière succincte, les théories sur lesquelles se basent nos connaissances actuelles du cycle de l'acide carbonique dans les eaux naturelles.

On admet généralement que l'anhydride carbonique réagit avec l'eau d'après la formule :



Cette nouvelle combinaison se dissocie en partie :

$$k_1 [\text{H}_2\text{CO}_3] = [\text{H}^+] \cdot [\text{HCO}_3^-], \quad (1)$$

formule dans laquelle k_1 désigne la première constante de dissociation de l'acide carbonique, à 20°, c'est-à-dire environ $3,5 \times 10^{-7}$. A partir de cette première dissociation, il se forme du bicarbonate qui se dissocie ensuite en carbonate :

$$k_2 [\text{HCO}_3^-] = [\text{H}^+] \cdot [\text{CO}_3^{=}], \quad (2)$$

formule dans laquelle k_2 désigne la seconde constante de dissociation : $4,7 \times 10^{-11}$.

Si nous admettons qu'en général le CO_2 a été transformé en entier en H_2CO_3 , on peut dire que le CO_2 des eaux naturelles se présente sous trois formes : non dissocié, comme bicarbonate et comme carbonate.

Comme nous trouvons aussi la concentration en ions hydrogène dans les équations (1) et (2), nous pouvons donc conclure à une grande influence de cette concentration sur le rapport entre les trois formes sous lesquelles l'acide carbonique se présente. Ce rapport est facile à calculer suivant une méthode proposée par L. MICHAELIS.

Posons l'acide carbonique total d'une eau égal à 100; il vient que

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] = 100; \quad (3)$$

en combinant (3) avec les équations (1) et (2) on trouve :

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] = \frac{100}{1 + \frac{k_1}{[\text{H}^+]} + \frac{k_1 k_2}{[\text{H}^+]^2}} \quad (4)$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{100}{1 + \frac{[\text{H}^+]}{k_1} + \frac{k_2}{[\text{H}^+]}} \quad (5)$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{100}{1 + \frac{[\text{H}^+]}{k_2} + \frac{[\text{H}^+]^2}{k_1 k_2}} \quad (6)$$

Les équations (4), (5) et (6) nous permettent de calculer les rapports entre CO_2 , bicarbonates et carbonates à un pH déterminé, d'après la table 23 (L. BAAS-BECKING).

TABLE 23.

Acide carbonique, bicarbonates et carbonates en % molaires à différents pH.									
H^+	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}
H_2CO_3	99,6	96,6	74,1	22,2	2,8	0,3	-, -	-, -	-, -
HCO_3^-	0,4	3,4	25,9	77,8	96,7	95,2	67,9	17,6	2,1
CO_3^{2-}	-, -	-, -	-, -	-, -	0,5	4,5	32,4	82,4	97,9

En portant les diverses valeurs sur un diagramme avec les % molaires en abscisse et les pH en ordonnée, on obtient le graphique (fig. 15) qui nous montre :

- 1° Qu'à $\text{pH} > 9$ il n'y a plus d'acide carbonique;
- 2° Que les bicarbonates ont leur maximum à $\text{pH} 8,2$;
- 3° Qu'à $\text{pH} = 12$, tout l'acide carbonique est transformé en carbonate.

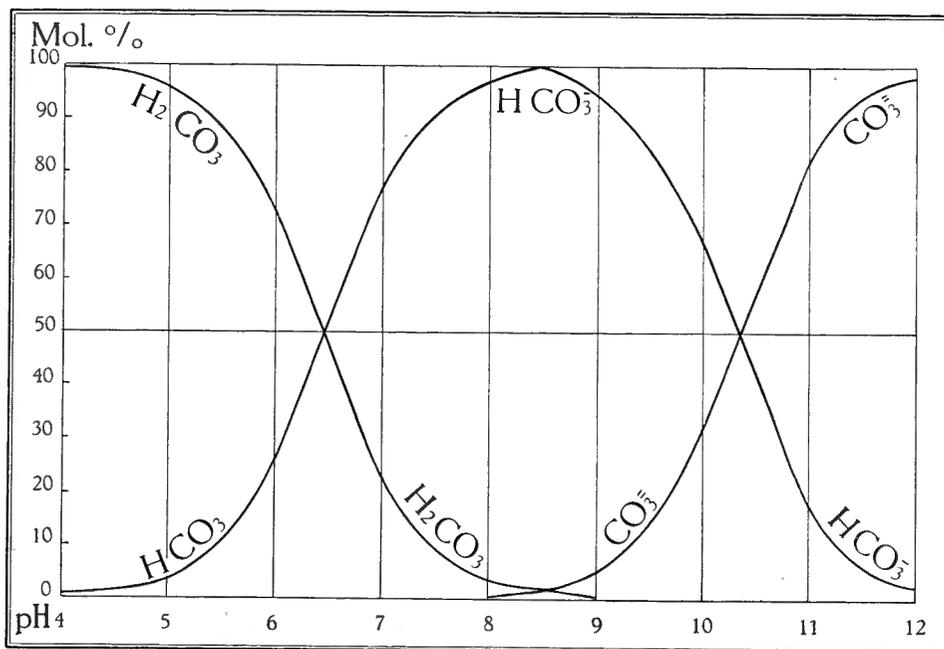


FIG. 15.

Comme les organismes à chlorophylle et les bactéries autotrophes utilisent l'acide carbonique contenu dans l'eau, on peut trouver dans ce diagramme sous quelle forme, à un pH donné, cet acide carbonique se trouvera à leur disposition. Le fait que beaucoup de plantes à chlorophylle ne parviennent plus à assimiler lorsque le $\text{pH} > 9$ montre que la forme sous laquelle l'acide carbonique se présente à eux est particulièrement importante pour les phénomènes vitaux.

Le principe excès-base de J. JOHNSTON, c'est-à-dire le nombre d'équivalents ion métal $[\text{B}^+]$ d'une eau en équilibre avec les ions hydrogène, hydroxyle, bicarbonate et carbonate :

$$[\text{B}^+] + [\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-] + \frac{[\text{CO}_3^{=}] }{2} + [\text{OH}],$$

nous permet de préciser beaucoup de phénomènes chimiques se passant au sein de l'eau.

On a pu calculer ainsi que dans une eau très alcaline, il y a encore des traces de H_2CO_3 . Si donc il faut du H_2CO_3 libre pour l'assimilation chlorophyllienne, il sera disponible, en petites quantités, toutefois. Mais, si, pendant l'assimilation, H_2CO_3 est absorbé, $[\text{B}^+]$ restant constant, il résulte de la formule de J. JOHNSTON, que le degré d'acidité diminuera, et du diagramme on pourra conclure que, à degré d'acidité diminué, l'équilibre acide carbonique, bicarbonate-carbonate se déplacera dans le sens carbonate. Lorsque l'acide carbonique est éliminé de l'eau, le bicarbonate se dissociera :



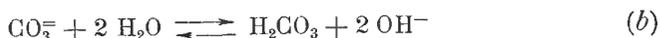
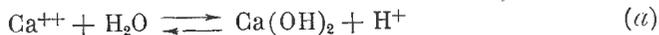
mais, comme la quantité totale d'acide carbonique a diminué, le rapport entre les trois formes d'acide carbonique a changé.

Par contre, lorsque la respiration prédomine, la quantité d'acide augmentera. Une partie de cet acide se dissociera toutefois en bicarbonate et même en carbonate; mais l'augmentation de la quantité totale aura pour conséquence que l'équilibre sera déplacé dans le sens de l'acide carbonique parallèlement à une augmentation du degré d'acidité.

*
**

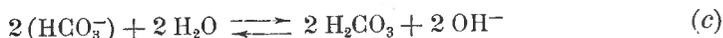
Le CaCO_3 ne se présente dissous dans les eaux naturelles qu'en minimes quantités de l'ordre de 0,013 g par litre; l'eau ne parvient à en dissoudre de plus fortes quantités qu'en présence d'acide carbonique libre.

Le carbonate et le bicarbonate de calcium sont les sels d'une base forte et d'un acide faible; l'hydrolyse de ces deux sels se fera donc suivant l'équation :



$\text{Ca}(\text{OH})_2$ étant une base relativement forte à dissociation presque complète, la réaction de dissociation (a) ne se produit pas, mais les ions OH^- de la réaction (b) confèrent aux solutions de CaCO_3 une réaction alcaline.

En ce qui concerne le bicarbonate de calcium, on peut déduire une troisième réaction des deux précédentes :



ou



Dans les eaux naturelles, toutefois, on ne se trouve pas uniquement en présence de solutions aqueuses de bicarbonate ou de carbonate de calcium; il y a presque toujours de l'acide carbonique libre qui s'y ajoute de façon que l'eau devient un complexe comprenant :

acide carbonique + bicarbonate de calcium;
carbonate de calcium + bicarbonate de calcium.

Si nous comparons l'équation (c) à l'équation (b), nous voyons qu'en (b), à un H_2CO_3 , correspondent deux OH et qu'en (c), à un H_2CO_3 , correspond un OH.

Il en résulte que le nombre des ions OH actuels, dans le cas d'une solution de CaCO_3 , sera plus grand et par conséquent le pH sera plus grand que dans le cas d'une solution de bicarbonate de calcium.

En dehors des deux carbonates de calcium de l'acide carbonique combiné, on rencontre généralement encore de l'acide carbonique libre. Il est impossible que CaCO_3 et acide libre existent en même temps en solution. On peut en définitive avoir les solutions ou mélanges suivants :

- a) CaCO_3 ou aussi $\text{CaCO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$;
- b) $\text{CaCO}_3 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$;
- c) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{CO}_2$ en petites quantités;
- d) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ en grandes quantités;
- e) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{CO}_2$ (agressif);
- f) CO_2 (uniquement dans l'eau distillée).

On ne rencontre cependant dans la nature que la solution c), les autres sont des cas intermédiaires.

Il résulte de ces considérations que les échanges de CO_2 sont à la base de l'alcalinité. Les carbonates de calcium sont les régulateurs de l'acidité actuelle.

Dans les conceptions de la concentration en ions H, les mélanges b) et c), d), e) sont à considérer comme des tampons ou régulateurs. On sait que les tampons se caractérisent par le fait qu'un sel d'une base forte et celui d'un acide faible, ou réciproquement, montrent un pH différent d'après le rapport acide (base)/sel.

Après le rappel de ces quelques notions préliminaires, voyons point par point les faits révélés par l'analyse.

Acide carbonique libre. — Dans l'épilimnion la quantité d'acide carbonique libre est sujette à un certain nombre de variations. En contact permanent avec l'atmosphère et soumise à l'influence des vents, cette couche superficielle a une tendance à garder la concentration normale en CO_2 en équilibre avec l'atmosphère. La respiration des organismes vivant dans l'épilimnion et les décompositions qui y ont leur siège, tendent à accroître cette quantité, de sorte qu'elle peut, dans certaines circonstances, dépasser le coefficient de saturation.

D'autre part, cette couche étant la zone trophogène par excellence, où la photosynthèse atteint un haut degré d'activité, l'acide carbonique est absorbé et de l'oxygène est libéré. Lorsque la masse d'organismes à chlorophylle est considérable et que les conditions sont favorables, la demande de CO_2 dépasse les quantités normalement disponibles et les organismes doivent faire appel aux bicarbonates pour satisfaire leurs besoins en CO_2 , d'où il résulte une alcalinisation temporaire des couches superficielles.

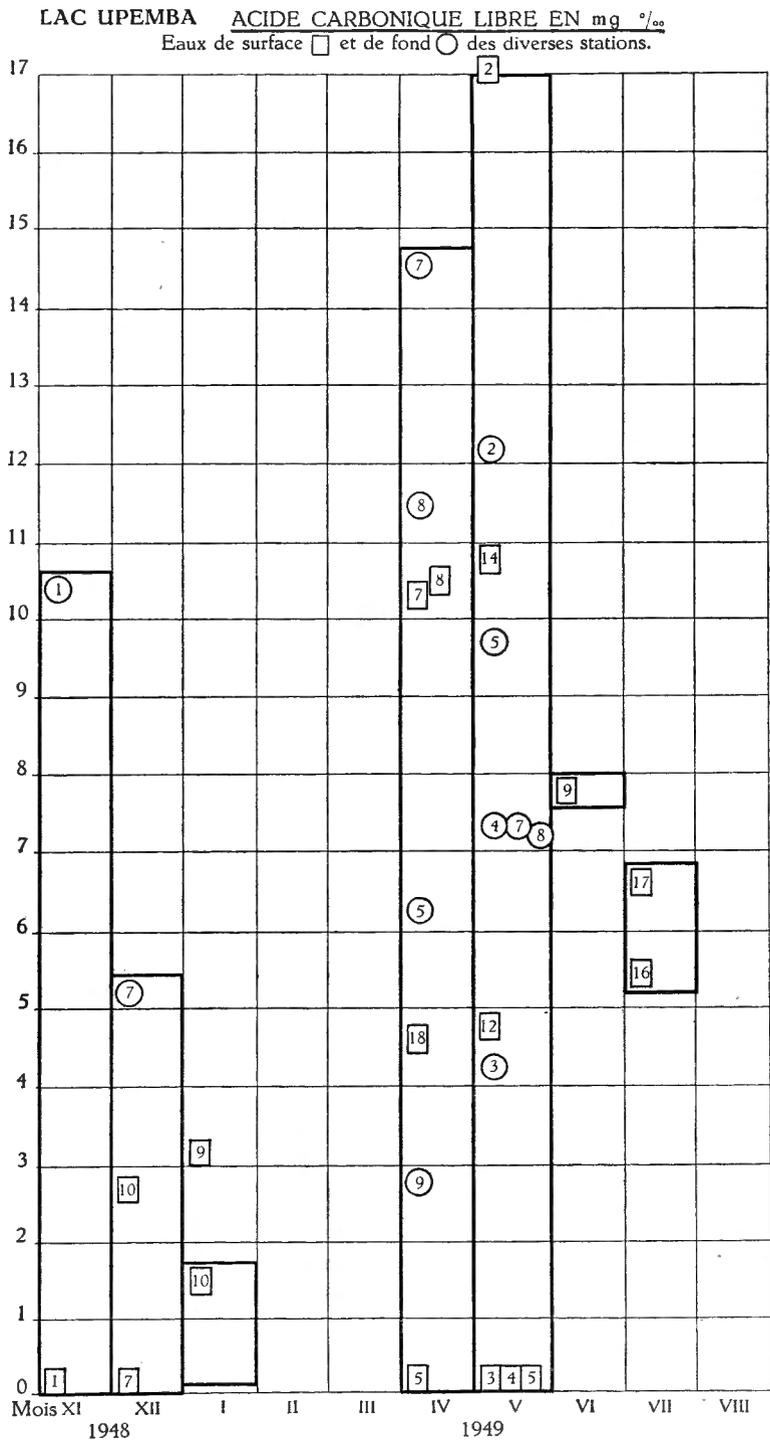


FIG. 16.

L'état sous lequel le CO_2 se présente dans l'épilimnion est donc la résultante de l'interaction de plusieurs facteurs : le contact avec l'atmosphère, la décomposition, la respiration, l'abondance et l'activité des algues et les conditions atmosphériques, c'est-à-dire, en dernière analyse, des agents producteurs et consommateurs de CO_2 .

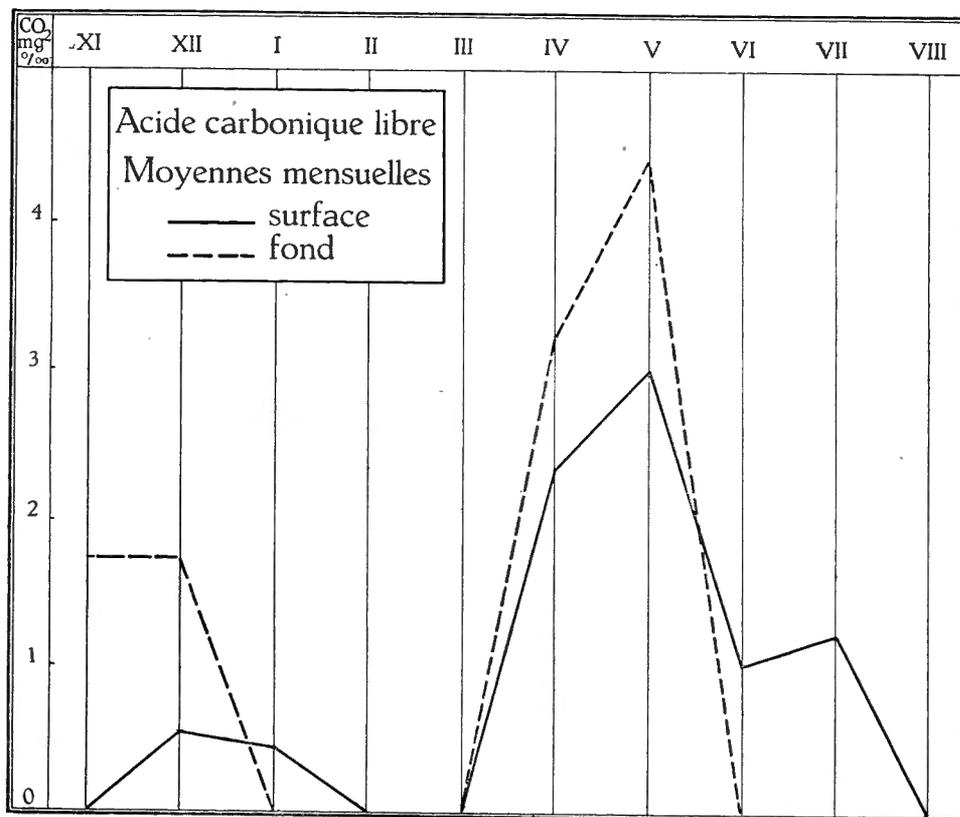


FIG. 17.

Lorsque l'épilimnion sera donc devenu alcalin, le phytoplancton aura consommé non seulement tout l'acide libre, mais aussi les bicarbonates, pour subvenir aux besoins en CO_2 de son activité de photosynthèse.

En surface et au fond du lac Upemba, l'acide carbonique libre atteint son maximum au mois de mai; il est complètement absent dans les deux couches en février, mars, et on le rencontre plus fréquemment en surface qu'au fond (fig. 16-17); quand il est présent dans les couches profondes, sa teneur est plus grande en valeur absolue.

TABLE 24.

Acide carbonique libre CO ₂ en mg litre. Moyennes mensuelles.										
Mois	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Surface	0,00	0,54	0,45	0,00	0,00	2,30	2,98	0,99	1,22	0,00
Fond	1,71	1,70	0,00	0,00	0,00	3,20	4,37	0,00	0,00	0,00

L'alcalinité. — L'eau du lac Upemba est en réalité une solution plus ou moins étendue de bicarbonate de calcium et de bicarbonate de magnésium. C'est la concentration plus ou moins grande de bicarbonate qui confère au lac ses propriétés caractéristiques. Ensemble bicarbonate et acide carbonique libre constituent une solution-tampon qui règle la réaction de l'eau.

L'alcalinité est plus forte, en règle générale, vers le fond du lac, à quelques exceptions près, causées probablement par des influences locales.

TABLE 25.

Alcalinité en milliéquivalents CO ₃ par litre. Moyennes mensuelles.										
Mois	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Surface	1,94	2,19	2,01	1,90	1,80	2,83	2,63	2,88	2,72	3,36
Fond	2,05	2,52	1,96	1,97	1,86	2,77	2,89	2,77	2,88	3,41

En surface, sauf une légère pointe au mois de décembre, l'alcalinité monte presque en flèche jusqu'au mois d'août en produisant une espèce de palier depuis le mois d'avril jusqu'en juillet (fig. 18).

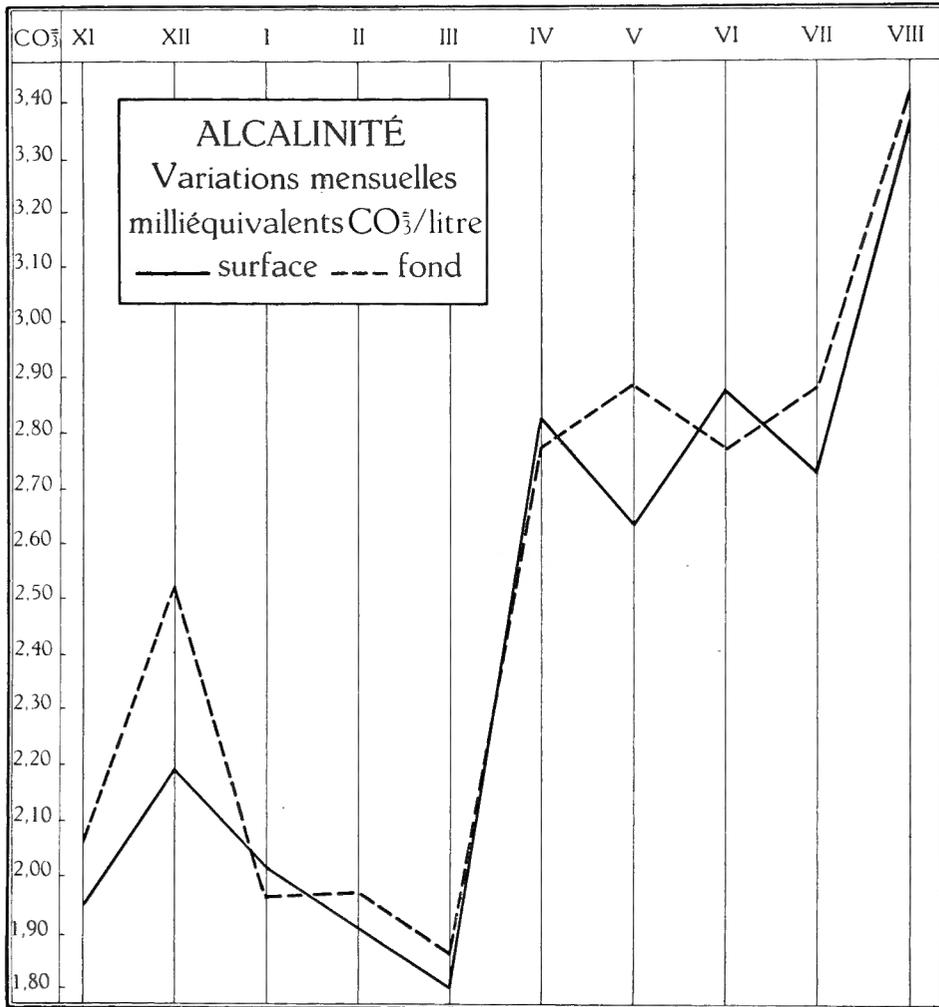


FIG. 18.

Les valeurs obtenues en surface et près du fond restent assez voisines (Table 28).

Comme pour la température et la saturation de l'oxygène, on peut remarquer ici aussi une unification entre les teneurs en surface et au fond au mois de mars.

Les valeurs sont généralement plus fortes près du fond qu'à la surface, sauf aux mois de janvier, avril et juin, où se produit l'inverse (fig. 18).

TABLE 26.

pH Amplitudes mensuelles.											
Mois	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Surface	Max.	8,0	8,0	7,5	7,5	7,5	7,4	6,8	7,0	7,0	7,75
	Min.	7,6	7,0	7,0	—	—	6,8	6,6	6,6	6,4	7,3
Fond	Max.	7,8	7,8	7,3	7,4	7,4	7,3	6,7	6,8	6,7	7,5
	Min.	7,2	7,0	7,0	—	—	6,9	6,4	6,6	6,4	7,3

TABLE 27.

Fréquence des valeurs de pH pour les eaux de surface et de fond.		
pH	Surface	Fond
6,4 à 6,6	2,6 %	6,4 %
6,6 à 6,8	22,9 %	29,0 %
6,8 à 7,0	9,4 %	1,6 %
7,0 à 7,2	13,5 %	14,5 %
7,2 à 7,4	14,8 %	20,9 %
7,4 à 7,6	24,3 %	20,9 %
7,6 à 7,8	6,7 %	4,8 %
7,8 à 8,0	5,2 %	1,6 %

TABLE 28.

Variations locales de l'alcalinité en surface. Milliéquivalents CO ₃ par litre.														
Mois	Stations													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
XII	—,-	1,86	2,15	1,92	1,78	1,54	1,96	2,02	1,93	2,80	2,25	—,-	—,-	—,-
I	1,70	2,55	1,65	1,70	2,05	2,15	1,70	—,-	1,60	2,70	—,-	2,30	—,-	—,-
II	—,-	—,-	—,-	—,-	1,80	—,-	—,-	—,-	1,90	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-
III	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	1,80	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-
IV	2,00	—,-	3,50	2,42	2,77	3,55	4,45	2,70	2,44	—,-	—,-	2,00	2,62	—,-
V	2,25	3,50	2,60	2,15	2,15	2,75	2,00	2,40	2,55	—,-	—,-	2,60	—,-	4,00
VI	2,65	—,-	2,80	2,80	2,65	3,40	2,60	—,-	2,75	—,-	—,-	3,40	—,-	—,-
VII	2,87	—,-	—,-	2,83	2,77	—,-	2,85	—,-	2,78	—,-	—,-	2,85	—,-	—,-
VIII	2,80	—,-	3,90	3,15	3,60	3,40	3,80	4,10	2,80	—,-	—,-	2,75	—,-	—,-
Variations locales de l'alcalinité au fond. Milliéquivalents CO ₃ par litre.														
Mois	Stations													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
XII	—,-	2,08	2,18	2,20	1,84	2,25	2,63	2,33	2,60	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-
I	1,85	2,05	1,90	1,60	2,10	2,30	1,90	—,-	1,75	—,-	—,-	2,25	—,-	—,-
II	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	1,97	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-
III	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-	1,86	—,-	—,-	—,-	—,-	—,-
IV	2,45	—,-	3,40	2,70	2,90	1,95	3,50	2,70	2,50	—,-	—,-	2,70	2,90	—,-
V	2,30	3,02	3,00	2,60	3,25	2,80	3,00	3,00	3,00	—,-	—,-	3,00	—,-	4,00
VI	2,55	—,-	2,80	3,05	2,60	3,30	2,55	—,-	2,95	—,-	—,-	3,35	—,-	—,-
VII	2,83	—,-	—,-	2,92	2,85	—,-	3,00	—,-	2,92	—,-	—,-	2,97	—,-	—,-
VIII	3,05	—,-	4,30	2,95	3,80	3,35	3,65	3,90	2,80	—,-	—,-	2,90	—,-	—,-

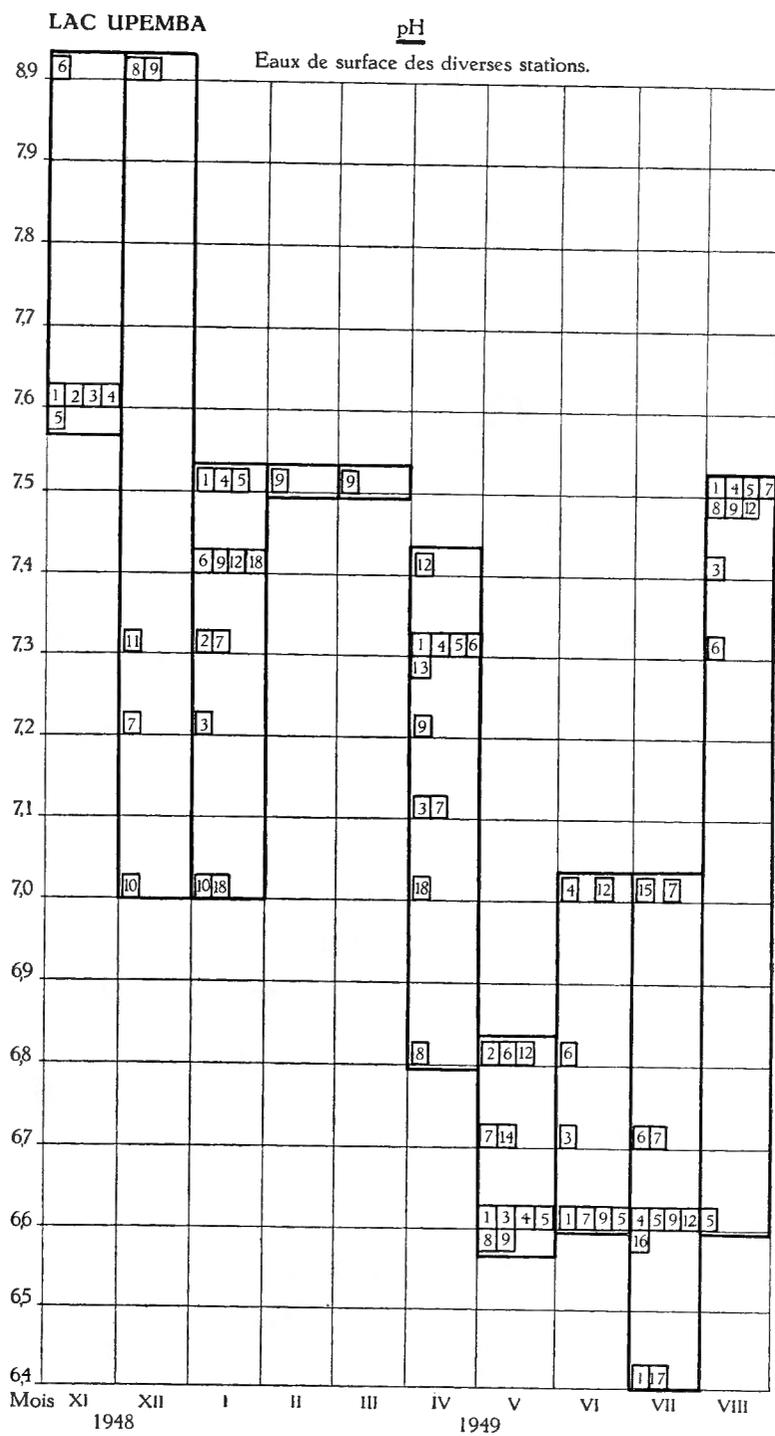


FIG. 19.

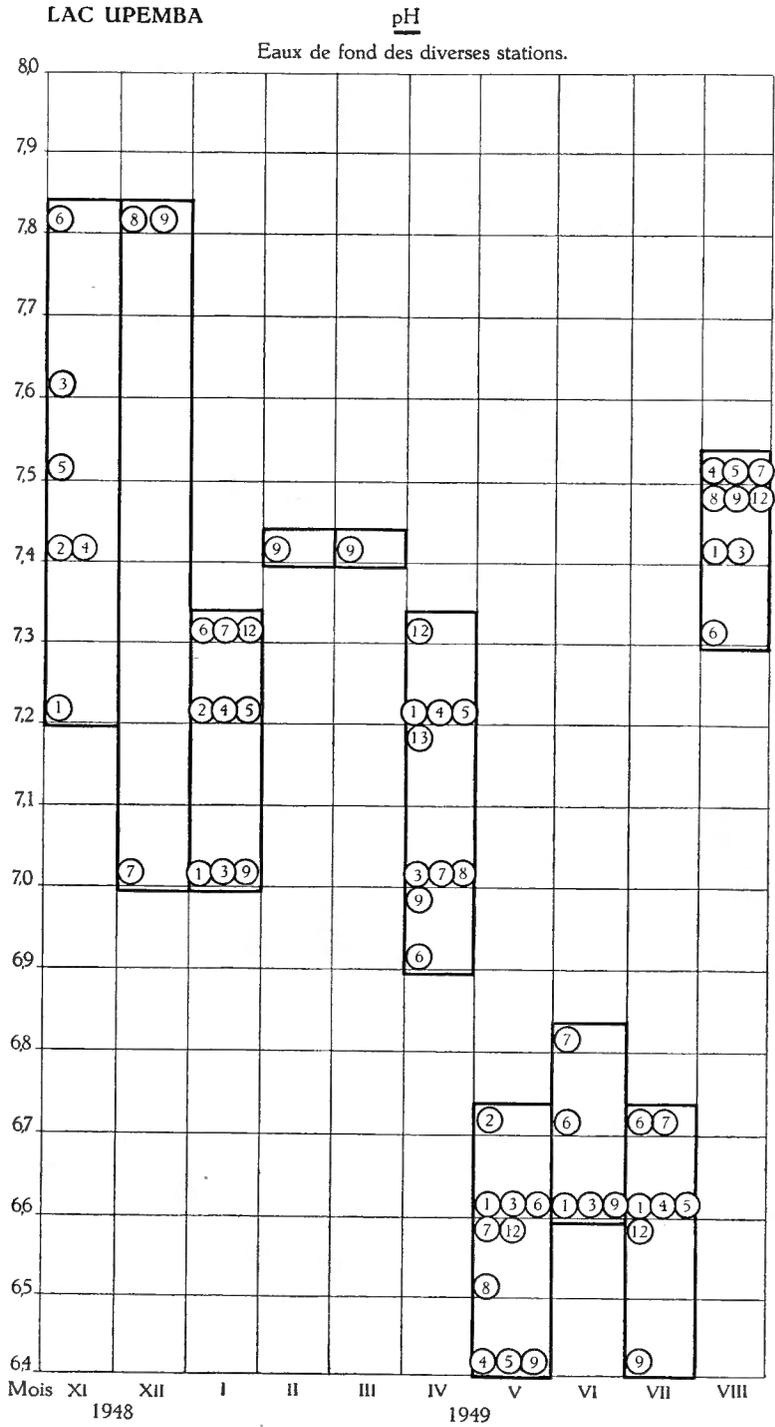


FIG. 20.

Le pH révèle une situation très curieuse. L'évolution chimique du lac semble pouvoir se scinder en trois grandes périodes : une phase alcaline en novembre-décembre, une phase plus ou moins neutre en janvier, février et mars, une phase acide chevauchant sur la saison des pluies et la saison sèche, puis le début d'une nouvelle phase alcaline au mois d'août. Au chapitre consacré à l'interaction des cycles biologique et physico-chimique, nous verrons la raison d'être de cet aspect assez particulier du lac Upemba (fig. 19 et 20).

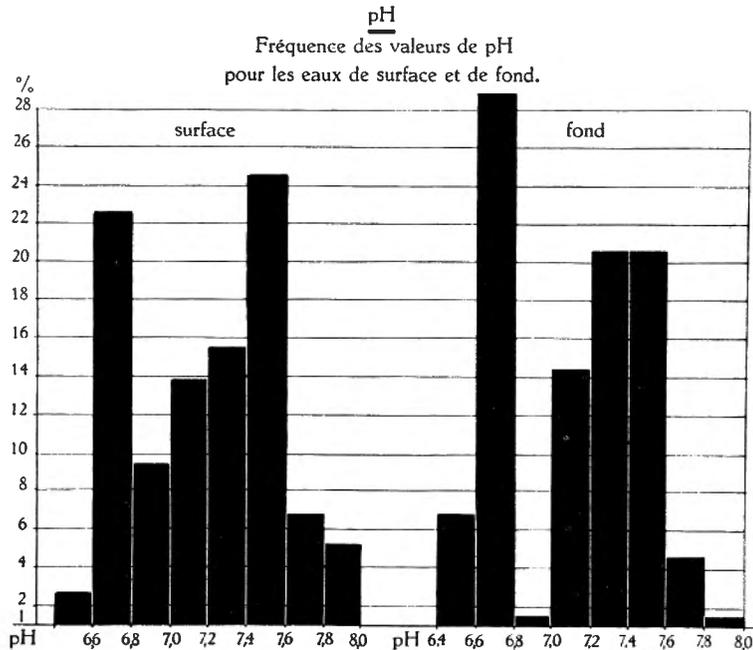


FIG. 21.

Si nous examinons les valeurs données par la table 27, c'est-à-dire les % de présences des diverses valeurs de pH, nous remarquons la prédominance nette d'un pH légèrement alcalin 7,4 à 7,6, avec 24,3 % de présences, et d'un pH acide de 6,6 à 6,8, avec 22,9 % de présences. Les deux cas extrêmes : 6,4-6,6 et 7,8-8,0, donnent respectivement 2,6 et 5,2 % de présences (fig. 21).

Nous verrons plus loin à quels mécanismes il faut attribuer l'alcalinité primitive et l'acidité finale de l'eau.

Cette dernière provient, sans aucun doute, de l'oxydation de la matière organique par l'excès d'oxygène, une production massive de CO_2 libre qui, pour la surface, atteint son maximum au mois de mai, coïncidant avec la zone acide à pH 6,8-6,6 (fig. 31).

Au fond, la situation se révèle identique, avec cette différence que la valeur du CO_2 libre est plus élevée, le pH devenant dans ces conditions 6,7-6,4 (fig. 32).

L'action de la concentration en acide carbonique libre est très bien mise en valeur lorsqu'on calcule le pH théorique, encore appelé réserve pH ou RpH par P. S. WELCH (1952). Cet auteur entend par RpH la valeur obtenue sur un échantillon d'eau naturelle fortement aérée artificiellement. Lorsque le pH et le RpH sont identiques, leur valeur est due à des substances dissoutes non labiles, que l'aération ne parvient pas à enlever à la solution. Au contraire, lorsqu'il s'agit d'un corps gazeux, comme l'acide carbonique libre, qu'une aération énergique parvient à soustraire à la solution, le RpH aura une valeur différente du pH. Actuellement il est encore difficile d'interpréter la signification de ce nouveau symbole, mais, comme le dit P. S. WELCH, il pourrait être la base d'un index pour la réserve alcaline ou une autre caractéristique de l'eau.

N'ayant pu faire une aération artificielle sur le terrain, en Afrique, j'ai calculé le pH théorique ou le RpH au moyen de l'alcalinité.

CZENSNY a prévu une table de conversion pour des alcalinités faites sur 100 cc d'eau. Si le pH théorique correspond au pH réel trouvé, on se trouve en présence d'une eau en équilibre. Si, au contraire, le pH réel est plus petit, l'eau contient un excès d'acide carbonique libre ou des acides humiques ou autres et est en état de dissoudre du carbonate de calcium. Dans le cas contraire, l'eau se trouve dans un état de décalcification biologique et peut contenir dans certaines circonstances de très fins grains de carbonate de calcium en suspension.

J'ai rassemblé, dans la table 29, les valeurs obtenues pour l'alcalinité, l'acide carbonique libre, le pH réel et le pH théorique. Un graphique reproduit les variations mensuelles du pH réel et du pH théorique en surface et au fond (fig. 22 et 23).

L'eau du lac serait ainsi à considérer comme étant naturellement neutre ou légèrement alcaline, ne devenant acide que sous l'action d'un facteur, l'acide carbonique libre, dont l'influence peut varier d'année en année, suivant la plus ou moins grande production de matière organique qui lui donne naissance.

Dans ce qui précède on trouve la preuve que la mesure seule du pH à n'importe quel endroit d'une eau et à n'importe quelle époque, ne permet pas de généraliser la valeur obtenue, d'en tirer des conclusions ou des hypothèses. Comme P. WELCH (1952) l'a dit si bien en traitant du pH : « Far too many field records merely present pH values of waters in which certain organisms are distributed, with little consideration for or, in some instances, complete disregard of the other environmental factors operating simultaneously and possibly exerting a greater local effect than pH.

» The most usable data are those worked out in the laboratory under controlled conditions and those done in nature which are accompanied by qualitative and quantitative information on other environmental features. »

Beaucoup d'auteurs ont attribué une trop grande influence à la seule mesure du pH et n'ont pas cherché à déterminer l'acide carbonique libre, ni l'alcalinité, ni d'autres facteurs encore des eaux qu'ils étudiaient.

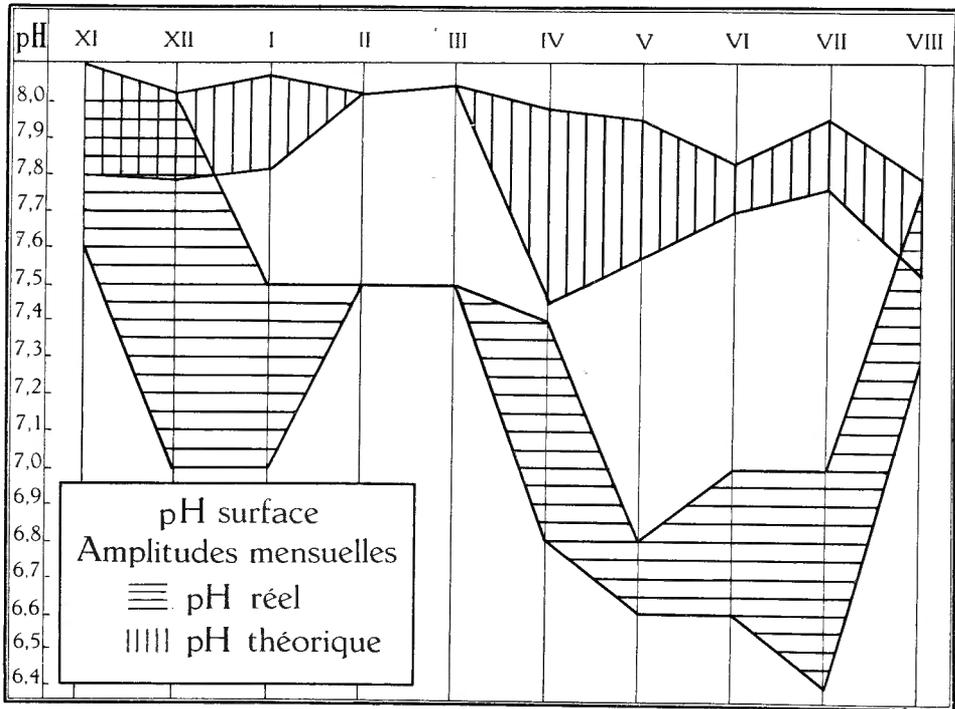


FIG. 22.

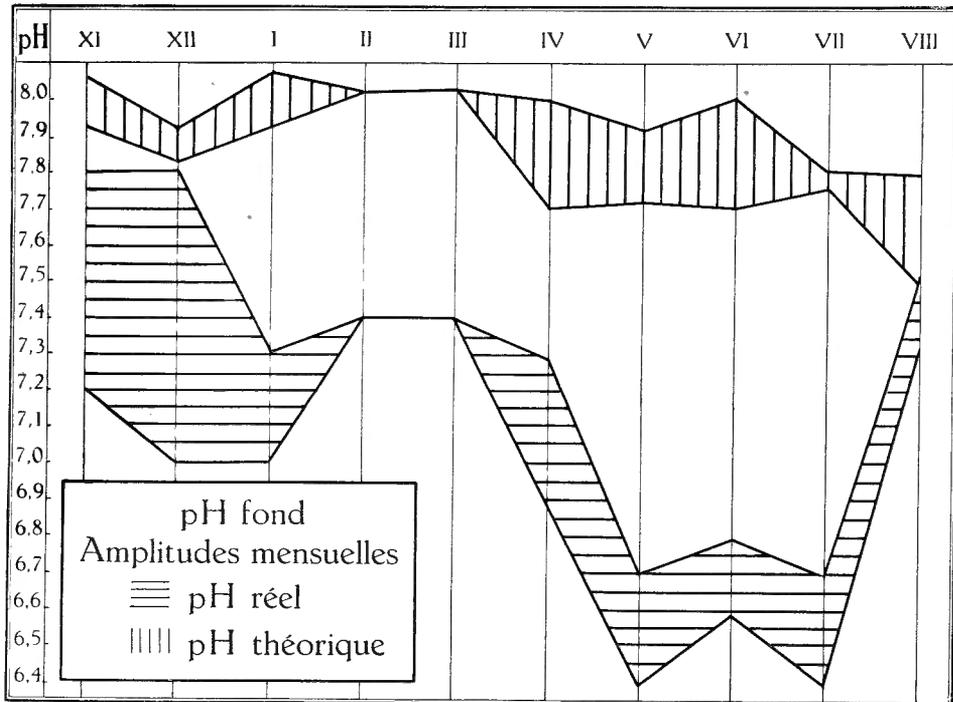


FIG. 23.

TABLE 29.

Alcalinité, acide carbonique libre, pH réel et théorique.										
Mois	Stations	Surface				Fond				
		CO ₃ ⁻	CO ₂	pH réel	pH théor.	CO ₃ ⁻	CO ₂	pH réel	pH théor.	
XI.1948	1	1,4	0,00	7,6	7,8	1,77	10,3	7,2	8,06	
	2	1,86	0,00	7,6	8,04	2,08	0,0	7,4	7,97	
	3	2,15	0,00	7,6	7,95	2,18	0,0	7,6	7,95	
	4	1,92	0,00	7,6	8,02	2,20	0,0	7,4	7,94	
	5	1,78	0,00	7,6	8,05	1,84	0,0	7,5	8,04	
	6	1,54	0,00	8,0	8,09	2,25	0,0	7,8	7,93	
XII.1948	7	1,96	0,00	7,2	8,02	2,63	5,12	7,0	7,83	
	8	2,02	0,00	8,0	7,98	2,33	0,00	7,8	7,92	
	9	1,93	0,00	8,0	8,02	2,60	0,00	7,8	7,83	
	10	2,80	2,68	7,0	7,79	-,-	-,-	-,-	-,-	
	11	2,25	0,00	7,3	7,93	-,-	-,-	-,-	-,-	
I.1949	1	1,70	0,00	7,5	8,06	1,85	0,00	7,0	8,03	
	2	2,55	0,00	7,3	7,84	2,05	0,00	7,2	7,97	
	3	1,65	0,00	7,2	8,05	1,90	0,00	7,0	8,02	
	4	1,70	0,00	7,5	8,06	1,60	0,00	7,2	8,07	
	5	2,05	0,00	7,5	7,97	2,10	0,00	7,2	7,96	
	6	2,15	0,00	7,4	7,95	2,30	0,00	7,3	7,92	
	7	1,70	0,00	7,3	8,06	1,90	0,00	7,3	8,02	
	9	1,60	3,05	7,4	8,07	1,75	0,00	7,0	8,05	
	10	2,70	1,46	7,0	7,81	-,-	-,-	-,-	-,-	
	12	2,30	0,00	7,4	7,92	2,25	0,00	7,3	7,93	
	II.1949	9	1,90	0,00	7,5	8,02	1,97	0,00	7,4	8,02
	III.1949	9	1,80	0,00	7,5	8,04	1,86	0,00	7,4	8,03
IV.1949	1	2,00	0,00	7,3	7,98	2,45	0,00	7,2	7,86	
	3	3,50	0,00	7,1	7,68	3,40	0,00	7,0	7,70	
	4	2,42	0,00	7,3	7,88	2,70	0,00	7,2	7,81	

TABLE 29 (suite).

Alcalinité, acide carbonique libre, pH réel et théorique.									
Mois	Stations	Surface				Fond			
		CO ₃ ⁻	CO ₂	pH réel	pH théor.	CO ₃ ⁻	CO ₂	pH réel	pH théor.
IV.1949	5	2,77	0,00	7,3	7,80	2,90	6,22	7,2	7,77
	6	3,55	0,00	7,3	7,67	1,95	0,00	6,9	8,00
	7	4,45	10,24	7,1	7,45	3,50	14,64	7,0	7,68
	8	2,7	10,49	6,8	7,81	2,70	11,46	7,0	7,81
	9	2,44	0,00	7,2	7,86	2,50	2,92	7,0	7,85
	12	2,0	0,00	7,4	7,98	2,70	0,00	7,3	7,81
	13	2,62	0,00	7,3	7,83	3,90	0,00	7,2	7,77
	18	2,70	4,63	7,0	7,81	-, -	-, -	-, -	-, -
V.1949	1	2,20	0,00	6,6	7,94	2,30	0,0	6,6	7,92
	2	3,5	17,02	6,8	7,68	3,02	12,20	6,7	7,76
	3	2,60	0,00	6,6	7,83	3,00	4,27	6,6	7,76
	4	2,15	0,00	6,6	7,95	2,60	7,32	6,4	7,83
	5	2,15	0,00	6,6	7,95	3,25	9,76	6,4	7,72
	6	2,75	0,00	6,8	7,80	2,80	0,00	6,7	7,79
	8	2,40	4,88	6,6	7,88	3,00	7,19	6,5	7,76
	9	2,55	0,00	6,6	7,84	3,00	0,00	6,4	7,76
	12	2,60	0,00	6,8	7,83	3,00	0,00	6,6	7,76
	14	4,0	10,98	6,7	7,56	-, -	-, -	-, -	-, -
VI.1949	1	2,65	0,00	6,6	7,82	2,55	0,00	6,6	7,84
	3	2,80	0,00	6,7	7,79	2,80	0,00	6,6	7,79
	4	2,80	0,00	7,0	7,79	3,05	0,00	-, -	7,75
	5	2,65	0,00	7,0	7,82	2,60	0,00	-, -	7,83
	6	3,40	0,00	6,8	7,70	3,30	0,00	6,7	7,71
	7	2,60	0,00	6,6	7,83	2,55	0,00	6,8	7,84
	9	2,75	7,93	6,6	7,80	2,95	0,00	6,6	8,00
	12	3,40	0,00	7,0	7,70	3,35	0,00	-, -	7,70
VII.1949	1	2,87	0,00	6,4	7,78	2,83	0,00	6,6	7,78
	4	2,83	0,00	6,6	7,78	2,92	0,00	6,6	7,77

TABLE 29 (suite).

Alcalinité, acide carbonique libre, pH réel et théorique.									
Mois	Stations	Surface				Fond			
		CO ₃	CO ₂	pH réel	pH théor.	CO ₃	CO ₂	pH réel	pH théor.
VII.1949	5	2,77	0,00	6,6	7,80	2,85	0,00	6,6	7,78
	6	—,—	—,—	6,7	—,—	—,—	—,—	6,7	—,—
	7	2,15	0,00	6,7	7,95	3,00	0,00	6,7	7,76
	9	2,78	0,00	6,6	7,79	2,92	0,00	6,4	7,77
	12	2,85	0,00	6,6	7,78	2,77	0,00	6,6	7,80
	15	2,37	0,00	7,0	7,90	—,—	—,—	—,—	—,—
	16	2,90	5,49	6,6	7,77	—,—	—,—	—,—	—,—
	17	3,00	6,71	6,4	7,76	—,—	—,—	—,—	—,—
VIII.1949	1	2,80	0,00	7,75	7,79	3,05	0,00	7,4	7,75
	3	3,90	0,00	7,4	7,59	4,30	0,00	7,4	7,49
	4	3,15	0,00	7,5	7,74	2,95	0,00	7,5	7,76
	5	3,60	0,00	7,5	7,66	3,80	0,00	7,5	7,62
	6	3,40	0,00	7,3	7,70	3,35	0,00	7,3	7,70
	7	3,80	0,00	7,5	7,62	3,65	0,00	7,5	7,64
	8	4,10	0,00	7,5	7,53	3,90	0,00	7,5	7,59
	9	2,80	0,00	7,5	7,79	2,80	0,00	7,5	7,79
	12	2,75	0,00	—,—	7,80	2,90	0,00	—,—	7,77

En attachant une importance considérable au CO₂ dans le métabolisme du lac, je me suis inspiré de la conviction exprimée par F. RUTNER (1952) : « Die Berücksichtigung aller dieser mit der CO₂-Assimilation verknüpften vorgänge sowie auch des gegenläufigen Prozesses, der pflanzlichen und tierischen atmung, ist unerlässlich, wenn wir die in den Gewässern auftretenden Veränderungen des Kohlensäure- und Bikarbonatgehaltes sowie der Reaktion verstehen wollen. »

C'est pourquoi je me suis assez longuement étendu sur ce sujet dans les pages qui suivent.

A la Station 9 (Table 30 et fig. 24), l'alcalinité monte plus progressivement, pour atteindre son maximum en surface au mois d'août. Près du fond celui-ci se produit au mois de mai avec une décroissance subséquente. De même que pour l'entièreté du lac il y a analogie entre les valeurs en surface et au fond au mois de mars.

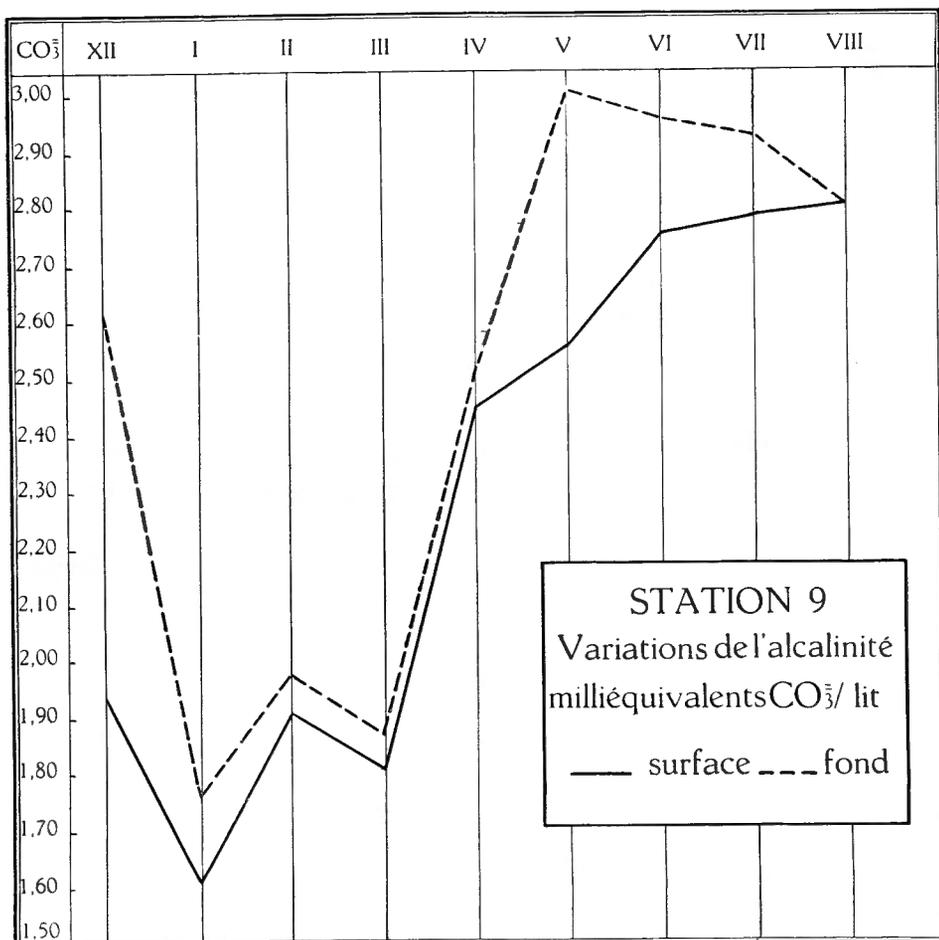


FIG. 24.

Le pH, d'abord alcalin en surface et au fond (Table 31), décroît et atteint la zone acide au mois de mai, pour remonter en zone alcaline au mois d'août (fig. 25).

Comme pour l'oxygène, il semble que l'alcalinité subisse des variations diurnes en surface. Quelques chiffres ont pu être réunis pour un jour, en saison des pluies, au cours du mois de janvier, et un autre, en saison sèche, pendant le mois d'août (Table 32).

TABLE 30.

Station 9. Variations de l'alcalinité. Milliéquivalents CO_3^- par litre.		
Mois	Surface	Fond
XII.1948	1,93	2,60
I.1949	1,60	1,75
II »	1,90	1,97
III »	1,80	1,86
IV »	2,44	2,50
V »	2,55	3,00
VI »	2,75	2,95
VII »	2,78	2,92
VIII »	2,80	2,80

TABLE 31.

Station 9. Variations mensuelles du pH.		
Mois	Surface	Fond
XII.1948	8,0	7,8
I.1949	7,4	7,0
II »	7,5	7,4
III »	7,5	7,4
IV »	7,2	7,0
V »	6,6	6,4
VI »	6,6	6,6
VII »	6,6	6,4
VIII »	7,5	7,5

Il résulte d'un premier examen de la table 32, qu'en saison des pluies l'alcalinité semble être plus grande en valeur absolue pendant la matinée; en saison sèche, le maximum se trouve en fin de matinée.

En saison des pluies elle est généralement inférieure en valeur absolue à celle de la saison sèche, tout au moins pour les deux mois, janvier et août, que nous pouvons considérer ici.

En saison des pluies et en saison sèche, l'alcalinité maximale se présente

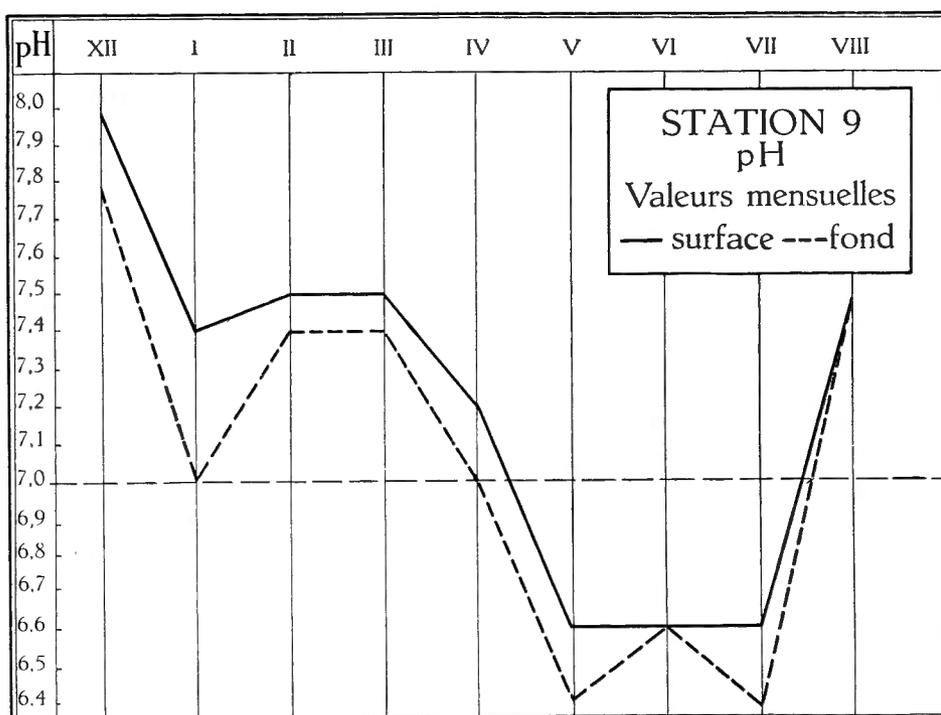


FIG. 25.

en fin de matinée, mais la différence en valeur absolue est assez grande, respectivement 2,55 méq $\text{CO}_3 =$ et 3,90 méq $\text{CO}_3 =$.

En ce qui concerne les variations locales en surface de l'alcalinité, quelques valeurs ont été réunies dans la table 33 pour la saison des pluies et la saison sèche, chaque fois pour la région pélagique et la région littorale, en tenant compte de l'heure du prélèvement.

Il semble, d'après la table 33, que l'alcalinité serait plus prononcée dans la zone littorale qu'au large en saison des pluies, ce qui pourrait s'expliquer par les lavages opérés par les eaux de ruissellement et la présence de plantes aquatiques. En saison sèche, au contraire, l'alcalinité la plus forte se situe au large.

En saison des pluies encore, l'alcalinité maximum se produit en zone littorale avant le large, phénomène qui se répète en saison sèche, mais avec un décalage d'heures plus grand.

TABLE 32.

Variations diurnes de l'alcalinité des eaux de surface. Milliéquivalents $\text{CO}_3^{=}$ par litre.		
Heure	Saison des pluies Janvier	Saison sèche Août
8,10	-, -	2,75
8,15	1,70	-, -
8,45	-, -	3,80
9,00	1,60	-, -
9,30	-, -	2,80
9,45	2,15	3,40
10,00	1,70	-, -
10,15	-, -	2,80
10,50	-, -	3,15
11,15	2,55	3,60
11,20	-, -	3,90
11,30	1,65	-, -
12,30	2,05	-, -
13,00	1,70	-, -

J'insiste encore une fois sur l'impossibilité de tirer autre chose qu'une simple constatation de ces quelques chiffres. Ce ne sont que des centaines de mesures qui pourraient donner lieu à des mises au point. Ces constatations ne nous permettent pour le moment que de formuler une hypothèse.

On possède assez peu de données au sujet des variations locales de l'alcalinité. E. B. WORTHINGTON (1930) a constaté au lac Victoria que l'alcalinité des baies est un peu plus grande que celle des eaux du large. L. C. BEADLE (1932-1934) semble avoir remarqué un phénomène analogue dans certains lacs de l'Est africain, notamment au lac Naivasha. W. SCHÄPERLAUS (1926) montre des variations locales dans la Müggelsee.

C. B. PHILIP (1927) a étudié les variations diurnes de la température et du pH sur le lac Crystal, près de Minneapolis, Minnesota (U.S.A.) et a trouvé des sommets dans les courbes de variations du pH, généralement entre 14 et 16 heures, avec une croissance progressive depuis 7 heures et une descente plus ou moins brusque à partir de 16 heures.

TABLE 33.

Variations locales de l'alcalinité des eaux de surface. Milliéquivalents CO_3^{2-} par litre.				
Heure	Saison des pluies Janvier		Saison sèche Août	
	Littoral	Pélagique	Littoral	Pélagique
8,10	—	—	2,90	—
8,15	1,70	—	—	—
8,45	—	—	—	3,65
9,00	—	1,60	—	—
9,30	—	—	—	2,80
9,45	2,15	—	3,35	—
10,00	—	1,70	—	—
10,15	—	—	3,05	—
10,50	—	—	—	2,95
11,15	2,55	—	—	3,80
11,20	—	—	—	4,30
11,30	—	1,65	—	—
12,30	—	2,05	—	—
13,00	—	1,70	—	—

C. B. PHILIP termine son travail par la suggestion que le fait de faire une seule détermination pour un jour déterminé dans une saison n'est pas un indice suffisant pour caractériser l'activité des ions H d'un biotope aquatique à cause des facteurs physiques et biotiques variables.

Par nos recherches dans la littérature, il s'est avéré que très peu d'auteurs se sont intéressés à ce problème, qui mériterait cependant des investigations approfondies, dont les résultats ne manqueraient pas d'être fort intéressants.

TABLE 34.

Lac Upemba.								
CO ₂ total calculé en nombre de molécules-grammes par litre à partir de l'alcalinité et du CO ₂ libre.								
Mois	Temp. °C	Alcalinité cc HCl N ‰	CO ₂ cc ‰	CO ₂ mg ‰	CO ₂ molécules- grammes ‰	CO ₂ libre mg ‰	CO ₂ libre molécules- grammes ‰	CO ₂ total molécules- grammes ‰
Eaux de surface.								
XI	29,6	1,94	43,56	85,36	0,00194	0,00	—,—	0,00194
XII	29,1	2,19	49,05	96,36	0,00219	0,54	0,000012	0,00220
I	27,5	2,01	45,02	88,44	0,00201	0,45	0,000010	0,00202
II	28,9	1,90	42,56	83,60	0,00190	0,00	—,—	0,00190
III	27,8	1,80	40,32	79,20	0,00180	0,00	—,—	0,00180
IV	29,3	2,83	63,39	124,52	0,00280	2,30	0,000052	0,00285
V	27,7	2,63	58,91	115,72	0,00263	2,98	0,000067	0,00269
VI	25,2	2,88	64,51	126,72	0,00288	0,99	0,000022	0,00290
VII	25,2	2,72	60,93	119,38	0,00272	1,22	0,000027	0,00274
VIII	24,9	3,36	75,26	147,84	0,00336	0,00	—,—	0,00336
Eaux du fond.								
XI	28,2	2,05	45,920	90,20	0,00205	1,71	0,00003	0,00208
XII	29,1	2,52	56,448	110,88	0,00252	1,02	0,00002	0,00254
I	26,8	1,96	43,900	86,24	0,00196	0,00	—,—	0,00196
II	28,6	1,97	44,128	86,68	0,00197	0,00	—,—	0,00197
III	27,5	1,86	41,664	81,84	0,00186	0,00	—,—	0,00186
IV	28,6	2,77	62,048	121,88	0,00277	3,20	0,00007	0,00284
V	27,0	2,89	64,736	127,16	0,00289	4,37	0,00009	0,00298
VI	24,8	2,77	62,048	121,88	0,00277	0,00	—,—	0,00277
VII	25,4	2,88	64,512	126,72	0,00288	0,00	—,—	0,00288
VIII	24,6	3,41	76,384	150,04	0,00341	0,00	—,—	0,00341

Dans le but de faire des calculs comparatifs, j'ai rassemblé dans les tables 34 et 35 l'alcalinité et le CO₂ libre exprimés en cc-litre, mg-litre et molécules-grammes-litre, de même que le CO₂ total en molécules-grammes-

litre pour les eaux de surface et de fond. La table 34 donne les chiffres moyens par mois pour tout le lac, la table 35 les valeurs par mois pour la station 9 seulement.

TABLE 35.

Station 9.								
CO ₂ total calculé en nombre de molécules-grammes par litre à partir de l'alcalinité et du CO ₂ libre.								
Mois	Temp. °C	Alcalinité cc HCl N ‰	CO ₂ cc ‰	CO ₂ mg ‰	CO ₂ molécules-grammes ‰	CO ₂ libre mg ‰	CO ₂ libre molécules-grammes ‰	CO ₂ total molécules-grammes ‰
Eaux de surface.								
XII	31,5	1,93	43,232	84,92	0,00193	0,00	-, -	0,00193
I	27,8	1,60	35,840	70,40	0,00160	0,00	-, -	0,00160
II	28,9	1,90	42,560	83,60	0,00190	0,00	-, -	0,00190
III	27,8	1,80	40,320	79,20	0,00180	0,00	-, -	0,00180
IV	29,7	2,44	54,656	105,60	0,00244	2,92	0,00006	0,00250
V	27,5	2,55	57,120	112,20	0,00255	0,00	-, -	0,00255
VI	26,3	2,75	61,600	121,00	0,00275	0,00	-, -	0,00275
VII	24,8	2,78	62,272	122,32	0,00278	0,00	-, -	0,00278
VIII	24,6	2,80	62,720	123,20	0,00280	0,00	-, -	0,00280
Eaux du fond.								
XII	29,0	2,60	58,240	114,40	0,00260	0,00	-, -	0,00260
I	27,2	1,75	39,200	77,00	0,00175	0,00	-, -	0,00175
II	28,6	1,97	44,128	86,68	0,00197	0,00	-, -	0,00197
III	27,5	1,86	41,664	81,84	0,00186	0,00	-, -	0,00186
IV	29,0	2,50	56,000	110,00	0,00250	2,92	0,00006	0,00256
V	26,9	3,00	67,200	132,00	0,00300	0,00	-, -	0,00300
VI	25,8	2,95	66,080	129,80	0,00295	0,00	-, -	0,00295
VII	24,6	2,92	65,400	128,48	0,00292	0,00	-, -	0,00292
VIII	24,3	2,80	62,720	123,20	0,00280	0,00	-, -	0,00280

Les pH réel et théorique nous permettent de faire un certain nombre de considérations au point de vue de la forme sous laquelle l'acide carbonique se trouve à la disposition du phytonannoplancton dans le lac Upemba.

TABLE 36.

Variations mensuelles calculées, du potentiel acide carbonique en % molaires. Surface.								
Mois	A A partir du pH réel				B A partir de l'alcalinité et du pH calculé			
	pH réel	H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	pH théor.	H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼
XI.1948								
M.	8,0	2,8	96,7	0,5	8,09	2,06	97,3	0,6
m.	7,6	7,3	92,7	—	7,8	5,3	94,7	—
XII.1948								
M.	8,0	2,8	96,7	0,5	8,02	2,8	96,7	0,5
m.	7,5	9,0	91,0	—	7,79	5,3	94,7	—
I.1949								
M.	7,5	9,0	91,0	—	8,07	2,06	97,3	0,6
m.	7,0	22,3	77,7	—	7,81	5,3	94,7	—
II.1949								
M.	7,5	9,0	91,0	—	8,02	2,8	96,7	0,5
III.1949								
M.	7,5	9,0	91,0	—	8,04	2,5	97,0	0,5
IV.1949								
M.	7,4	11,0	89,0	—	7,98	2,8	96,7	0,5
m.	6,8	32,6	67,3	—	7,45	9,7	90,3	—
V.1949								
M.	6,8	32,6	67,3	—	7,95	3,7	96,3	—
m.	6,6	43,0	57,0	—	7,56	8,2	91,8	—
VI.1949								
M.	7,0	22,3	77,7	—	7,83	4,5	95,5	—
m.	6,6	43,0	57,0	—	7,7	4,0	96,0	—
VII.1949								
M.	7,0	22,3	77,7	—	7,95	3,7	96,3	—
m.	6,4	53,3	46,7	—	7,76	5,3	94,7	—
VIII.1949								
M.	7,75	5,7	94,3	—	7,8	5,3	94,7	—
m.	7,3	13,0	87,0	—	7,53	8,3	91,7	—

M. = Valeurs maximales. m. = Valeurs minimales.

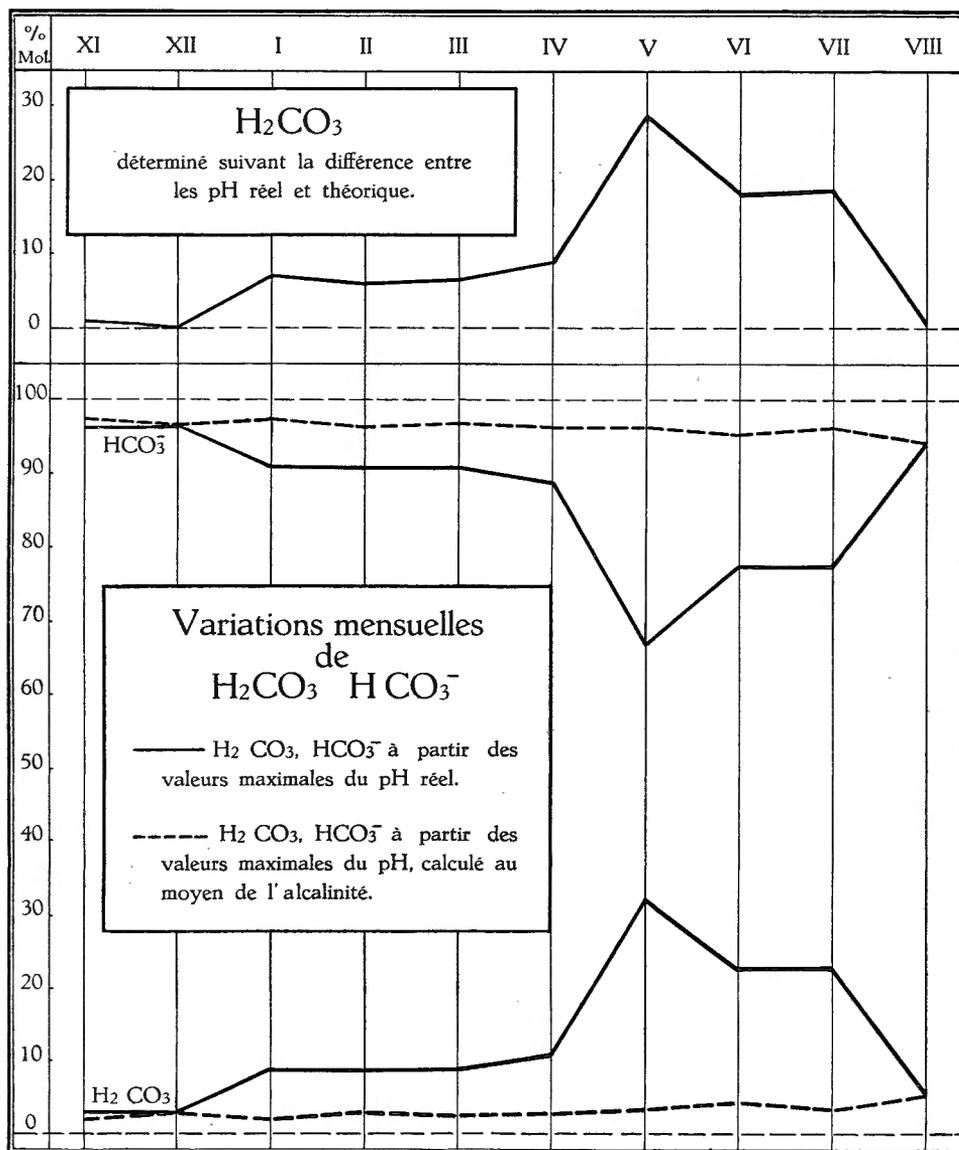


FIG. 26.

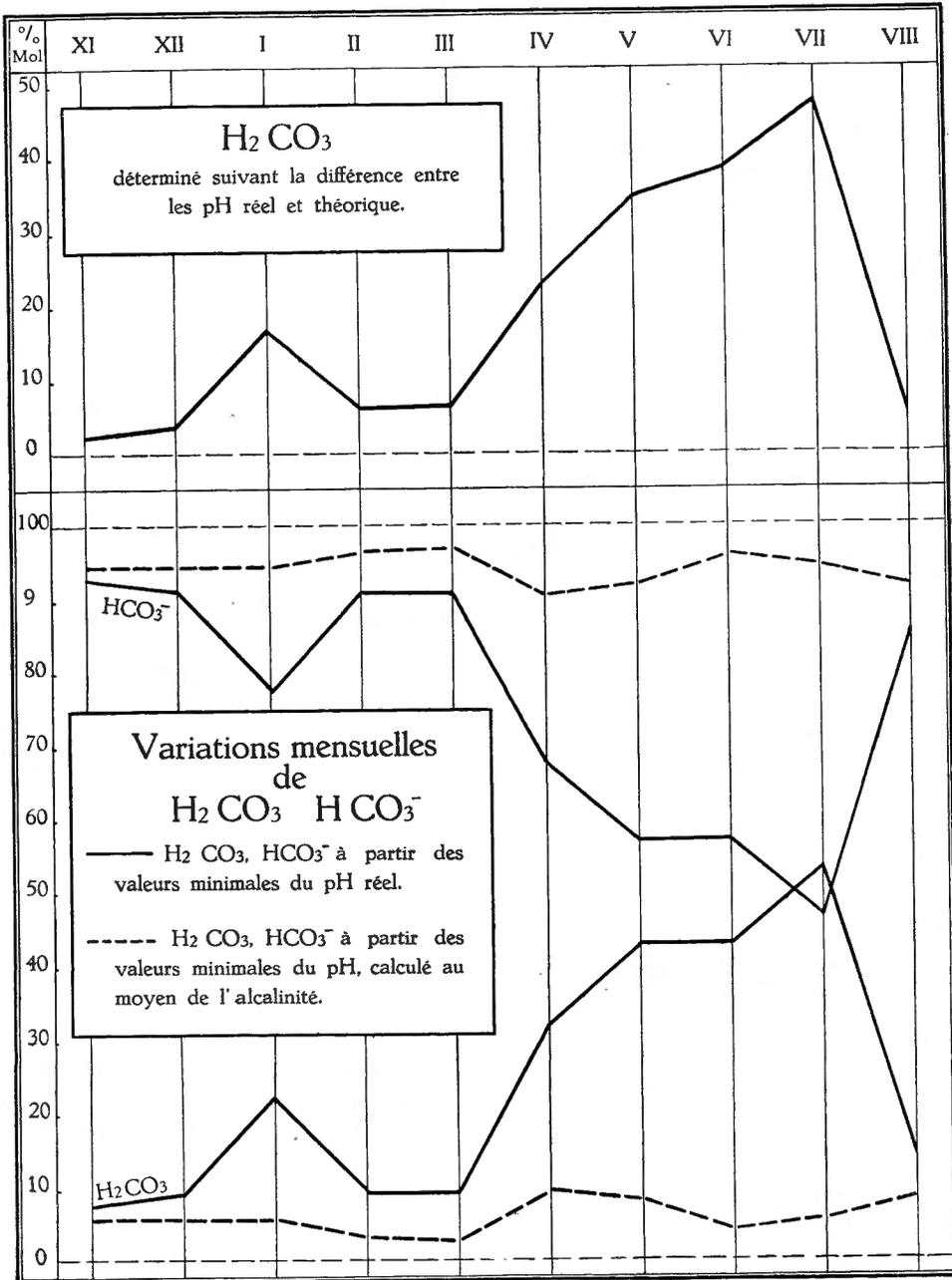


FIG. 27.

Au moyen de l'abaque, d'après L. BAAS-BECKING (fig. 15), j'ai recherché les proportions de H_2CO_3 , HCO_3^- et $\text{CO}_3^{=}$ correspondant, d'une part, au pH mesuré réellement *in situ* et, d'autre part, du pH calculé au moyen de l'alcalinité par la table de CZENSKY. La table 36 indique les valeurs trouvées, calculées en % molaires, reproduites sur les graphiques (fig. 26 et 27).

Ces chiffres nous apprennent que :

A. — pH REEL.

1° A partir des valeurs maximales du pH réel (fig. 26) :

a) H_2CO_3 augmente progressivement, avec un palier de janvier à avril; il atteint alors 32,6 % au mois de mai et décroît plus rapidement, pour arriver à 5,7 % en août;

b) HCO_3^- , d'abord stationnaire à 96,7 % au cours des mois de novembre et décembre, décroît vers un palier à 91 % pendant les mois de janvier, février, mars et avril (89 %), pour décroître rapidement et remonter avec un petit palier vers le mois d'août, où il atteint 94,3 %;

c) $\text{CO}_3^{=}$ n'est présent que pendant les mois de novembre et décembre à une concentration de 0,5 %.

2° A partir des valeurs minimales du pH réel (fig. 27) :

a) H_2CO_3 présente deux sommets, dont un petit en janvier (22,3 %) et un autre beaucoup plus important en juillet (53,3 %); entre le mois de février et le mois de juillet la croissance est plus ou moins accentuée, mais de juillet à août la chute est brusque;

b) HCO_3^- présente deux minima, un en janvier (77,7 %), un second avec 46,7 % et une remonte à 87 % en août. Après un palier en février-mars de 91 %, la courbe descend presque en gradins, pour arriver au minimum au mois de juillet;

c) $\text{CO}_3^{=}$. Les valeurs minimales du pH réel sont trop basses pour permettre la présence d'ions $\text{CO}_3^{=}$.

Si nous comparons ces données théoriques, basées sur une mesure réelle du pH, nous nous apercevons de la grande similitude entre la courbe du CO_2 libre (fig. 17), sauf une très légère anomalie entre décembre et février, où les teneurs réelles, mesurées sur place, montrent un maximum mieux exprimé, alors que la quantité calculée remonte d'une façon très légère.

Ce n'est qu'en avril que la courbe remonte assez brusquement, pour atteindre un maximum de 32,6 % correspondant au mois de mai à une quantité mesurée réelle d'environ 3 mg de CO_2 libre au litre (Table 34 et fig. 17).

Ceci semble prouver que le métabolisme du lac, en ce qui concerne l'acide carbonique, est influencé en ordre principal par la production du CO_2 dû probablement à l'oxydation des matières organiques. En effet, nous

avons fait remarquer plus haut la subdivision du « cycle lacustre » en plusieurs phases successives : alcaline-neutre-acide-alcaline, dont la phase acide correspond à la production de H_2CO_3 .

Si nous comparons cette production de H_2CO_3 à la production de l'oxygène au cours de la même période, nous voyons que celle-ci a diminué rapidement, parallèlement à une diminution de l'oxydabilité, c'est-à-dire à la teneur en matières organiques (fig. 34).

B. — pH CALCULÉ AU MOYEN DE L'ALCALINITÉ.

1° A partir des valeurs maximales du pH :

a) H_2CO_3 . L'allure générale de la courbe est presque rectiligne, avec une très légère pente vers le mois d'août. Partant d'une concentration de 2,06 %, H_2CO_3 , après quelques variations minimales en plus ou en moins, aboutit, en août, à une concentration de 5,3 % (Table 36, fig. 26).

b) HCO_3^- . Les mêmes remarques peuvent être faites ici, mais le phénomène est inversé, en ce sens que le départ en novembre est à une concentration de 97,3 % et que la courbe diminue progressivement, très lentement même, vers 94,7 % (Table 36, fig. 26).

c) $CO_3^{=}$ est présent de novembre en avril, mais en très petite quantité, de 0,5 à 0,6 % (Table 36).

2° A partir des valeurs minimales du pH :

a) H_2CO_3 . Au cours des mois de novembre, décembre et janvier, la courbe débute par un palier de 5,3 %; elle descend ensuite légèrement, pour atteindre la pointe minimale en mars, avec 2,5 %. La remontée est assez brusque, vers 9,7 % en avril, puis une décroissance progressive jusqu'en juin, où elle atteint 4,0 % et manifeste ensuite une remontée jusqu'à 8,3 % en août (Table 36, fig. 27).

b) HCO_3^- débute par un palier de 94,7 % pendant les trois premiers mois, monte légèrement durant les mois de février et mars et atteint un sommet de 97 %. Elle décroît brusquement en avril, point minimal de 90,3 %, pour remonter à 96 % et redescendre ensuite à 91,7 % au mois d'août (Table 36, fig. 27).

c) $CO_3^{=}$. Les valeurs minimales du pH ne permettent pas l'existence de l'ion $CO_3^{=}$.

L'examen des graphiques (fig. 26 et 27), construits au moyen des valeurs reprises dans la table 36, nous montre immédiatement la grande différence entre les valeurs obtenues à partir du pH réel et celles résultant du calcul du pH à partir de l'alcalinité. Cette différence était d'ailleurs déjà frappante dans la table 29 et les graphiques consacrés aux seuls pH des eaux de surface et de fond (fig. 22 et 23). Les courbes obtenues au moyen de l'alcalinité sont beaucoup moins variables et donnent des valeurs très minimales en équivalents de H_2CO_3 .

Par contre, le calcul de H_2CO_3 et HCO_3^- à partir du pH réel expérimental montre une influence réelle de H_2CO_3 à certaines époques du cycle annuel.

Il faut remarquer ici l'absence de H_2CO_3 aux mois de février-mars, mais il serait prématuré de conclure, à priori, à l'absence totale, car les difficultés passagères dans la circulation sur le lac ont commencé à ce moment, comme je l'ai déjà fait remarquer à plusieurs reprises, et il ne m'a pas été possible de visiter toutes les stations comprises dans mon programme initial. J'ai dû me contenter, ces deux mois-là, de la seule station plus facilement accessible. C'est ce qui explique probablement cette absence. L'existence dans le lac de microbiotopes ayant des caractères assez changeants permet l'hypothèse qu'au cours de ces deux mois il devait y avoir une certaine concentration en CO_2 libre qui a donc échappé à nos investigations.

Néanmoins, on peut conclure à l'importance capitale que semble revêtir au lac Upemba la présence ou l'absence de H_2CO_3 . Celui-ci trouve plus que probablement son origine dans l'oxydation des matières organiques, celles-ci très abondantes à cause du nanoplancton, oxydation qui peut déjà se produire dans la masse aquatique avant même que les éléments en dégradation n'aient atteint le fond lacustre, puisque partout, en général, règne une sursaturation en oxygène.

On remarque aisément la concordance frappante entre la courbe des variations du CO_2 libre en mg-litre (fig. 16, 17) depuis le mois d'avril jusqu'au mois d'août et la courbe représentant la différence entre les concentrations en H_2CO_3 obtenues en réalité et par les artifices de calcul (fig. 26), depuis les valeurs maximales du pH.

Les variations de la courbe obtenue au moyen des valeurs minimales du pH (fig. 27) ont, dans les très grandes lignes, la même allure. Le maximum observé au mois de mai, aussi bien en surface qu'au fond, correspond, en outre, très bien au minimum observé dans les variations de l'oxygène au mois de mai (fig. 10).

*

**

Avant de terminer cette étude du métabolisme de l'acide carbonique dans le lac Upemba, examinons l'action combinée acide carbonique-oxygène, c'est-à-dire l'assimilation-désassimilation du phytonanoplancton.

C'est encore R. MAUCHA (1923) qui a étudié le problème du point de vue théorique. Passons brièvement celui-ci en revue, car il jette une lumière singulière sur les diverses réactions qui se passent au sein du lac Upemba.

La théorie de l'assimilation et de la désassimilation du phytonanoplancton est basée sur le quotient de l'assimilation exprimé par l'égalité

$$\frac{CO_2}{O_2} = 1.$$

Pour calculer les molécules de CO_2 assimilées, il faut déterminer la quantité équivalente de O_2 que les organismes du phytoplancton ont produite, à des températures et des intensités lumineuses définies, en raison de leur assimilation.

La constante de vitesse de la production de l'oxygène augmente avec l'intensité lumineuse jusqu'à ce qu'elle ait atteint sa valeur maximale. A partir de cette intensité optimale cependant, la constante de vitesse diminue, si l'intensité lumineuse augmente encore, de sorte qu'on aboutit enfin à une intensité à laquelle et au-dessus de laquelle on ne remarque plus de production d'oxygène.

Cette constante de vitesse peut être calculée par la fonction

$$K = \alpha \sin i,$$

dans laquelle α est une constante dépendant de la température et i l'intensité lumineuse.

Enfin, les expériences et les calculs de R. MAUCHA ont montré que dans le cas d'une déficience d'oxygène, le facteur de température de la constante de vitesse varie avec la température et qu'ensuite la constante de vitesse est proportionnelle au CO_2 libre et semi-combiné. L'équation a la forme de l'équation de VAN 'T HOFF et l'on peut en conclure que non seulement la production mais aussi la déficience de l'oxygène suivent les règles de la cinétique chimique. A ce dernier point de vue les organismes du phytonannoplancton possèdent une propriété fondamentale très importante, notamment leurs dimensions infimes. De la petite dimension du corps des individus phytoplanctoniques résulte immédiatement que les surfaces relatives sont très grandes par rapport à leur volume.

Cette surface relativement grande n'est pas sans importance si l'on considère que ces organismes se nourrissent par endosmose et rejettent les produits de la désassimilation par exosmose.

Elle favorise l'intensité de l'assimilation et oblige les organismes du phytoplancton à puiser le CO_2 dont ils ont besoin, non seulement dans la quantité de gaz atmosphérique absorbée par l'eau au cours de ses échanges avec l'atmosphère, mais aussi, et surtout, dans celui contenu dans ce que l'on est convenu d'appeler la réserve alcaline de l'eau, comme beaucoup d'auteurs ont pu le démontrer.

Si, par diffusion, plus de CO_2 entre dans la cellule qu'elle n'en utilise à ce moment, l'excès doit nécessairement s'accumuler dans le suc cellulaire, pour aboutir à l'établissement d'un équilibre et d'une concentration constants. A ce moment de petites quantités seulement peuvent diffuser à travers la surface cellulaire correspondant à la quantité assimilée en même temps à l'intérieur.

R. MAUCHA considère ce processus de diffusion comme réglé par une constante de diffusion diminuée et apparente, obtenue par l'équation

$$\sigma = \frac{D(c-c')}{c}, \quad (1)$$

dans laquelle D est la constante de diffusion réelle, c et c' la concentration du CO_2 dans l'eau et dans le suc cellulaire.

Deux cas peuvent se présenter : la vitesse de réaction est inférieure ou supérieure à la vitesse de diffusion. Dans ce dernier cas le CO_2 diffusé à l'intérieur de la cellule est aussitôt assimilé par les chromatophores et ainsi la concentration du CO_2 tend vers zéro.

Plus grande est la vitesse de diffusion par rapport à la vitesse de réaction, plus petite doit être la différence $(c-c')$.

Lorsque la vitesse de diffusion devient inférieure à la vitesse de réaction, la différence atteindra sa valeur maximale, puisque c' devient nul.

Un des mérites de R. MAUCHA est d'avoir réussi, au moyen des artifices de calcul, à trouver un moyen d'exprimer les relations entre les dimensions des organismes phytoplanctoniques et les vitesses de réaction.

Si S est la vitesse de réaction, τ le volume moyen, φ la surface moyenne des individus et enfin v leur nombre dans l'unité de volume d'eau, on obtient l'équation

$$vS\tau = v\varphi\sigma c; \quad (2)$$

il s'ensuit que

$$\sigma c = \frac{S\tau}{\varphi}$$

et, par substitution dans l'équation (1),

$$(c-c') = \frac{S\tau}{D\varphi}, \quad (3)$$

Si nous admettons la sphéricité des individus avec un rayon moyen ρ , on obtient

$$\frac{S\rho}{3D} = (c-c'); \quad (4)$$

si S est constant, nous obtiendrons

$$\rho = A(c-c'). \quad (5)$$

Cette dernière équation nous apprend que plus petit est le rayon moyen, plus la réaction de diffusion dépassera la vitesse de réaction, puisque la différence $(c-c')$ est proportionnelle à ρ . A une valeur déterminée de ρ , $c' = 0$, c'est-à-dire : la vitesse de diffusion devient égale ou plus petite que la vitesse de réaction. Tout se passe comme si la nature, pour faire augmenter la réaction de diffusion au delà de la vitesse de réaction, avait fait croître les dimensions microscopiques des organismes phytoplanctoniques.

On peut alors envisager et formuler le système eau-phytoplancton comme un système chimique macrohétérogène, dans lequel la vitesse de réaction est dépassée par la vitesse de diffusion. Par le calcul on arrive à prouver que le phytoplancton est uniquement capable de maintenir sa reproduction, dans la mesure où la surface totale des individus, vivant dans un volume donné d'eau, a atteint une valeur proportionnelle à la concentration en CO_2 . A ce moment, l'eau sera saturée en phytonannoplancton.

Le fait que le phytonannoplancton est un des principaux producteurs dans les eaux en fait pour ainsi dire le pivot de toute la vie lacustre. Cette importance se manifeste au cours de l'évolution des consommateurs du phytoplancton, qui seront obligés de réduire leur multiplication si leurs besoins dépassent à un certain moment la production de phytonannoplancton. La saturation continue de l'eau en phytonannoplancton est ainsi la résultante de l'équilibre entre producteurs et consommateurs.

D'après les données expérimentales de R. MAUCHA, il existe un rapport entre les producteurs d'oxygène et la température, d'une part, et entre ces deux facteurs et l'intensité lumineuse, d'autre part.

Étant donné qu'à température identique les variations de la vitesse de diffusion sont beaucoup moindres que celles de la vitesse de réaction, il doit y avoir une température à laquelle ces deux vitesses sont égales. Au delà, tout accroissement de température occasionne un retard de plus en plus grand de la vitesse de diffusion sur la vitesse de réaction.

La constante de vitesse du système macrohétérogène, à une température déterminée, doit décroître avec l'accroissement de cette température. Elle est optimale et les vitesses de réaction et de diffusion y sont égales.

La vitesse de diffusion étant indépendante de l'intensité des radiations lumineuses, ce qui vient d'être dit est aussi valable pour l'influence de l'intensité lumineuse sur la photosynthèse. Il en résulte que l'intensité lumineuse optimale est aussi celle à laquelle la vitesse de réaction de l'activité photosynthétique devient égale à la vitesse de diffusion.

R. MAUCHA a finalement établi que la constante de vitesse du processus respiratoire est proportionnelle à la concentration en CO_2 de l'eau. Comme la surface de saturation du phytonannoplancton est proportionnelle à la concentration en CO_2 de l'eau, la constante de vitesse du processus de désassimilation doit être proportionnelle à la concentration en CO_2 .

Les considérations précédentes permettent donc de regarder le système phytonannoplancton-eau comme un système chimique macrohétérogène, où la vitesse de diffusion serait prédominante. Les phases y seraient représentées par l'eau, que l'on peut considérer comme une solution d'anhydride carbonique, et le phytonannoplancton comme seconde phase. Cette dernière pourrait être assimilée à un liquide insoluble semblable à une émulsion dans laquelle l'anhydride pénètre par diffusion. En accord avec la théorie de W. NERNST (1904), la vitesse de réaction dans les systèmes macrohétéro-

gènes est proportionnelle à la surface de contact entre les deux phases; elle grandira proportionnellement à la surface de la phase insoluble, mais son augmentation est limitée.

L'activité photosynthétique étant une réaction endothermique, elle requiert de l'énergie pour rendre possible la décomposition du CO_2 , énergie qui est puisée par la chlorophylle dans les radiations lumineuses solaires. La quantité d'énergie absorbée sera donc, à température et intensité de lumière constantes, proportionnelle au temps. La vitesse de réaction serait donc à regarder comme étant causée par une concentration constante.

Il est facile de comprendre que la constante de vitesse ne peut croître avec la surface du phytonannoplancton qu'à concurrence de la valeur de la constante de diffusion du CO_2 . Si la vitesse de diffusion est plus petite que celle de l'assimilation, cette condition est remplie pour une valeur de la surface du nannoplancton $\omega = 1$, puisque la vitesse de réaction est entièrement contrôlée dans ce cas par la diffusion. Si nous supposons la vitesse de diffusion plus grande que celle de l'assimilation, la diffusion sera contrôlée par l'assimilation et, à l'état d'équilibre, il ne peut pénétrer plus de CO_2 dans le suc cellulaire qu'il n'en a été assimilé pendant le même temps.

Aucune augmentation ultérieure de la surface du phytonannoplancton contenu dans un volume unitaire d'eau ne pouvant plus augmenter la vitesse de production, nous dirons que l'eau est alors saturée de phytonannoplancton.

Cette considération prouve que dans les eaux saturées la surface de nannoplancton est proportionnelle à la concentration du CO_2 .

On pourrait donc supposer que la multiplication du nannoplancton pourrait être regardée comme limitée par la concentration de l'eau en CO_2 , puisque les individus ne savent se multiplier qu'au moment où leur surface atteint une valeur proportionnelle à la concentration de l'eau en CO_2 , les individus ne pouvant se multiplier que lorsque leur surface atteint une valeur propre à la concentration en CO_2 .

Il résulte des expériences de R. MAUCHA que la production de phytonannoplancton (de surface) est toujours proportionnelle à l'alcalinité de l'eau augmentée du nombre de molécules d'acide carbonique libre, qu'il existe une intensité optimale de radiation lumineuse à laquelle la constante de vitesse acquiert sa valeur maximale. A toute autre intensité la production est inférieure, puisque la constante de vitesse possède la forme d'une fonction périodique. Il est évident qu'il existe une certaine intensité de lumière à laquelle la valeur de la constante deviendra immédiatement nulle. R. MAUCHA a estimé que l'intensité optimale de la lumière est 4,5 fois moindre que celle des radiations directes du soleil.

La constante de vitesse change avec l'intensité de la lumière en suivant une fonction sinusoïdale; elle augmente d'abord rapidement, puis, plus

lentement, avec la température à partir de 30,31° C, elle commence à diminuer rapidement jusqu'à 45° C, où elle devient nulle.

Ces données théoriques serviront ultérieurement à essayer d'expliquer les cycles biologiques du nannoplancton.

3. — SILICE.

La silice se présente, dans les eaux naturelles, sous plusieurs formes : silicates solubles dérivant soit de l'acide orthosilicique H_4SiO_4 , ou de l'acide métasilicique H_2SiO_3 , ou bien hydrosols d'acide silicique solubles ou hydrogels gélatineux.

La teneur en silice semble surtout liée à la nature du fond de la cuvette lacustre, un fond argileux tendant à l'augmenter.

TABLE 37.

SiO ₂ en mg/litre. Moyennes mensuelles.								
Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
Surface	100,04	121,31	-, -	68,48	185,11	125,40	-, -	144,45
Fond	-, -	123,34	112,35	-, -	138,88	-, -	133,75	147,66

Quelle que soit la forme sous laquelle elle est présente, on exprime toujours les résultats en SiO₂ en mg par litre. D'après P. S. WELCH (1935), ces quantités varient de lac à lac, d'après les saisons, la présence ou l'absence de stratification, la nature et la périodicité des tributaires, la quantité de diatomées du plancton, la profondeur et d'autres facteurs encore.

Au point de vue de ses propriétés chimiques, la silice est très voisine de l'acide carbonique. Mais, comme elle est beaucoup moins dissociée, elle est libérée de ses combinaisons très hydrolysées, en présence de CO₂ et de bicarbonates, et se trouve alors sous forme de SiO₂ en solution ou sous forme colloïdale.

Les quantités sont très variables et sont généralement de l'ordre de milligrammes ou de centigrammes par litre.

En général, dit A. THIENEMANN (1925), la teneur en SiO_2 n'est que de quelques milligrammes par litre, mais dans les mares acides des landes, dont le fond est constitué par du sable, la teneur peut dépasser celle du calcium.

Les auteurs ont rarement exprimé les valeurs de SiO_2 présentes dans les eaux qu'ils ont étudiées et encore moins les variations au cours de l'année. Quelques données seulement ont été publiées.

TABLE 38.

Origine	SiO_2 en mg litre	pH	Auteur
Sundsee (Suède)	36,2	—	J. N. BRONSTED- C. WESEBERG LUND (1912)
Unterer Pleuderic See (Tyrol) ...	2,45	—	S. LEUTELT-KIPKE (1934)
Holzmaar (Eifel)	5,5	—	A. THIENEMANN (1925)
Starnberger See (Tyrol)	5,0	—	A. THIENEMANN (1925)
Zurich See (Suisse)	10,0	—	L. MINDER (1943)
Stausee Tjigombong (Java)	55,0	7,9	F. RUTTNER (1931)
Stausee Sindanglaja (Java)	39,0	8,3	F. RUTTNER (1931)
Musi riv. (Sumatra)	158,0	8,0	F. RUTTNER (1931)
Musi riv. (Sumatra)	165,0	7,6	F. RUTTNER (1931)
Blauwater Pan 3 (Afrique du Sud)	30,0	9,0	G. E. HUTCHINSON e.a. (1932)
Meerfeldermaar (Eifel)	14,0	—	A. THIENEMANN (1924)
Tasuka-Numa (Japon)	13,1	—	S. YOSHIMURA (1929-1930)
Venepohja (Finlande)	5,0	6,9	H. JARNEFELT (1935-1937)
Wingra (U.S.A.)	15,0	—	W. L. TRESSLER et B. P. DOMOGALLA (1931)
Coatepeque (Amérique centrale) .	6,5	—	C. JUDAY (1915)
Naivasha (Est-Africain)	33,0	9,1	L. C. BEADLE (1932-1934)

Les moyennes mensuelles obtenues au lac Upemba sont très supérieures aux quantités généralement publiées par les auteurs qui se sont occupés de la question dans d'autres lacs.

Les maxima enregistrés sont de 185,11 mg-litre et 147,66 mg-litre respectivement pour les eaux de surface et de fond.

Pour autant que la bibliographie ait pu être consultée, deux cas d'une haute teneur en SiO_2 sont connus, notamment à Sumatra dans la rivière Musi, comme l'a montré F. RUTTNER (1931), à un pH de 8,0 et de 7,6.

TABLE 39.

SiO ₂ en mg/litre et alcalinité en milliéquivalents CO ₃ ⁼ litre. Eaux de surface.								
Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
CO ₃ ⁼	2,49	2,01	1,90	1,80	2,83	2,63	2,88	2,72
SiO ₂	100,04	115,79	-, -	68,48	185,11	125,40	-, -	144,45

La solubilité du SiO₂ dépendant principalement de l'alcalinité de l'eau, on peut constater, au lac Upemba, par l'examen de la table 39, qu'il existe un certain rapport entre celle-ci, exprimée en milliéquivalents CO₃⁼ en litre, et les teneurs en SiO₂. A la plus petite alcalinité correspond aussi la plus petite teneur en SiO₂, soit 68,48 mg-litre et réciproquement; à 2,83 d'alcalinité, 185,11 mg-litre de SiO₂ ont été mesurés.

TABLE 40.

SiO ₂ en mg/litre et alcalinité en milliéquivalents CO ₃ ⁼ litre. Eaux de fond.								
Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
CO ₃ ⁼	2,52	1,96	1,97	1,86	2,77	2,89	2,77	2,88
SiO ₂	-, -	133,67	112,35	-, -	138,88	-, -	133,75	147,66

Cette même relation se vérifie à peu de chose près pour les eaux du fond, où une alcalinité maximale de 2,88 CO₃⁼ milliéquivalents-litre corres-

pond à une teneur en silice de 147,66 mg-litre et une alcalinité de 1,97 CO_3 = milliéquivalents-litre à une teneur en silice de 112,35 mg-litre.

Le mécanisme des dissolutions et précipitations successives du SiO_2 est encore fort peu connu. W. A. OHLE (1934) estime qu'il faut considérer l'action de grandes quantités de CO_2 comme facteur principal de la précipitation du SiO_2 .

Si nous comparons les teneurs en SiO_2 et en CO_2 libre des eaux de l'Upemba, nous voyons immédiatement que, pour le moment au moins, aucune relation directe ne peut être établie entre ces deux substances.

Un autre point de vue qui est à considérer ici est l'utilisation de la silice par les Diatomées pour l'élaboration de leur frustule siliceuse. Les teneurs en silice dissoute seraient ainsi proportionnelles à la quantité de Diatomées présentes dans le phytoplancton. A la mort de ces organismes, les frustules tombent au fond et une partie est redissoute, faisant ainsi augmenter la concentration en silice des couches profondes.

4. — NITRATES.

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation des matières azotées organiques, dissoutes dans l'eau ou englobées dans la vase, en passant par les phases ammoniacque-nitrites-nitrates.

Les diverses sources de l'azote des lacs sont : l'azote atmosphérique dissous par les échanges avec l'atmosphère, l'azote nitrique apporté par des pluies orageuses, les nitrates et matières organiques apportées par les eaux de ruissellement et les affluents, la fermentation et l'oxydation des matières albuminoïdiques de déchet des animaux et des plantes. Plusieurs de ces sources restent actuellement incontrôlables au lac Upemba. La seule dont on puisse constituer un ordre de grandeur est liée aux fluctuations du phytonannoplancton, qui, par sa masse imposante, produit nécessairement, au cours de ses périodes de décroissance, une augmentation de la matière organique et par conséquent de nitrates.

Il faut donc considérer ici les deux facteurs principaux se trouvant à la base du système : d'abord la matière organique et ses variations au cours du cycle annuel, exprimée en mg de MnO_4K au litre nécessaires pour l'obtention de l'oxydation complète, et en second lieu les nitrates à considérer au double point de vue production et utilisation.

La matière organique dissoute atteint son maximum au mois d'avril avec 152,92 mg au litre et descend à un minimum de 50,56 mg au litre au mois de février en ce qui concerne les eaux de surface. Pour les eaux de fond, le maximum se situe au mois d'août avec 134,28 mg au litre et le minimum au mois d'avril avec 56,88 mg au litre (fig. 28).

TABLE 41.

Relations entre l'oxydabilité, les nitrates, la production de nannoplancton et d'oxygène.										
Mois	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Oxydabilité mg MnO_3K ‰.										
Surface	57,56	88,40	92,69	50,56	66,36	152,92	86,58	90,61	94,76	104,66
Fond	82,46	75,84	69,52	85,32	60,04	56,88	57,93	95,57	109,50	134,28
Nitrates mg NO_3 ‰.										
Surface	—	14,15	7,96	14,05	13,20	5,84	7,68	4,66	9,85	4,05
Fond	—	—	0,80	1,25	1,90	5,40	4,20	2,40	4,80	5,65
Oxygène en mg 100 litres.										
Surface	1031	971,1	1033	1539	2575	2247	1141	946	1324	2333
Fond	697,3	634,3	1035	853,2	2593	898,3	952,0	886,3	1207	2102
Nannoplancton cc 100 litres.										
Surface	125	225	297	295	100	67,5	108	107	195	83,3
Fond	240	—	66	—	100	—	109	155	297	85,7

L'étude des réactions aboutissant à la production des nitrates se manifestant au sein de l'eau nécessite l'examen de plusieurs facteurs importants : le nannoplancton, qui, par sa productivité, engendre de grandes quantités d'oxygène, utilisées ultérieurement lors de la décroissance de la matière végétale pour oxyder cette masse de matière organique de déchet (en ne tenant pas compte de l'influence incontrôlable de matières animales); l'oxygène élaboré par le nannoplancton, comme il vient d'être dit; la matière organique produite au cours de la décroissance du nannoplancton et, enfin, les nitrates résultant de l'oxydation des matières organiques et réutilisés par le nannoplancton au cours de sa phase de croissance.

Afin de faciliter l'examen des chiffres analytiques et des déductions auxquelles ceux-ci peuvent donner lieu, partons d'une période maximale du nanoplancton, en fait les mois de janvier-février, à la fin de la saison de pluies en petite saison sèche, qui donnèrent respectivement 297 et 295 cc de phytonanoplancton aux cent litres (fig. 29).

A ce moment, l'oxydabilité (matières organiques) est moyenne : 92,69 mg ‰ en janvier, et tend vers son minimum de février : 50,56 mg ‰,

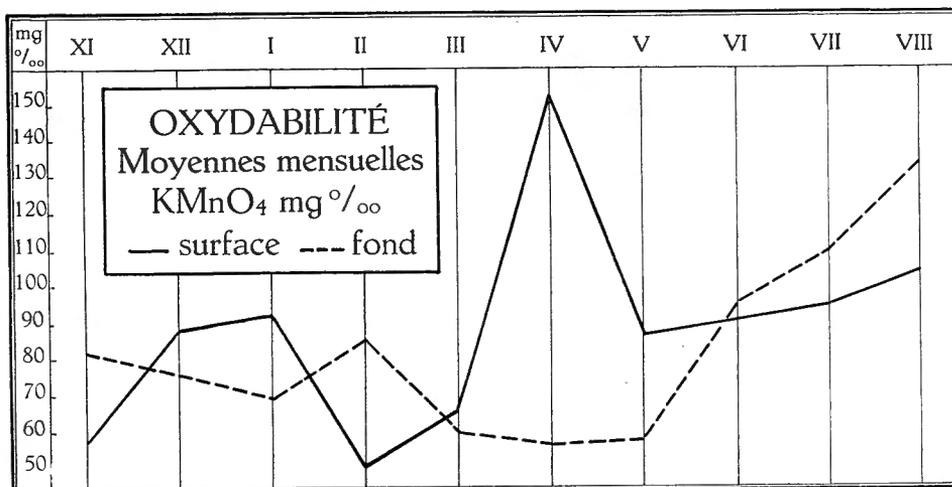


FIG. 28.

et de mars : 66,36 mg ‰. La période maximale du nanoplancton correspond donc, à peu de chose près, à une période minimale de matière organique (Table 41).

Les nitrates sont en croissance : 7,96 mg ‰ en janvier, 14,05 mg ‰ en février; la courbe est en quelque sorte l'inverse de celle de l'oxydabilité (fig. 29).

Pendant ce temps, l'oxygène en zone trophogène est en pleine croissance mais n'atteindra son maximum qu'au mois de mars. Le processus d'oxydation des matières organiques a donc assez d'oxygène à sa disposition pour effectuer la dégradation et la transformation qui ont pour effet de produire une augmentation des nitrates au cours des mois suivants : février et mars.

Le nanoplancton a atteint son minimum, de 67,5 cc par cent litres, au cours d'avril, et l'oxygène, qui est encore à un taux élevé, est en décroissance. La matière organique, après cette décroissance du nanoplancton, atteint son maximum au mois d'avril : 152,92 mg-litre. Les nitrates, ayant crû jusqu'en mars, sont en décroissance jusqu'en avril. Malgré une moindre absorption par ce qui reste de nanoplancton vivant, il faut attendre que

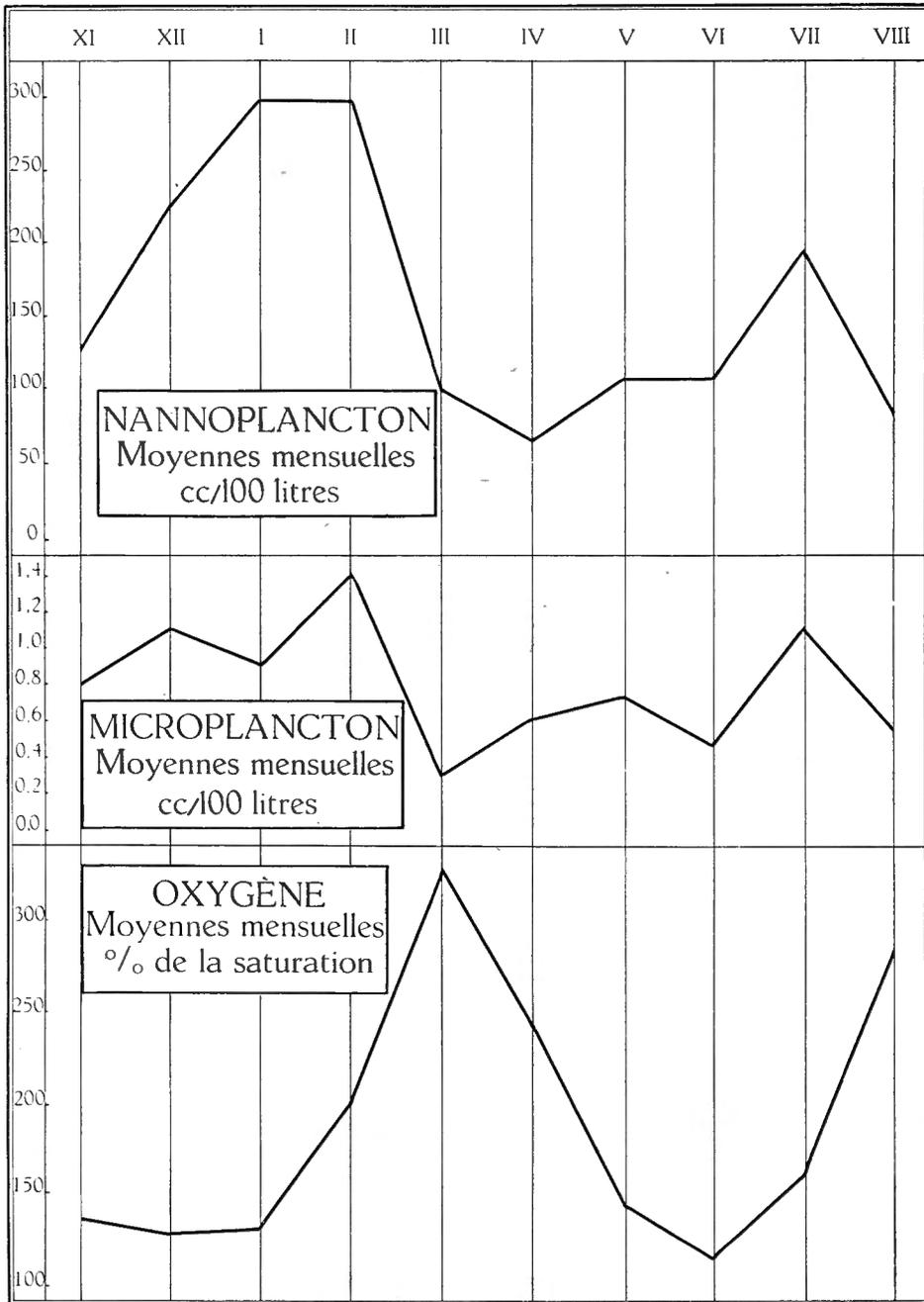


FIG. 29.

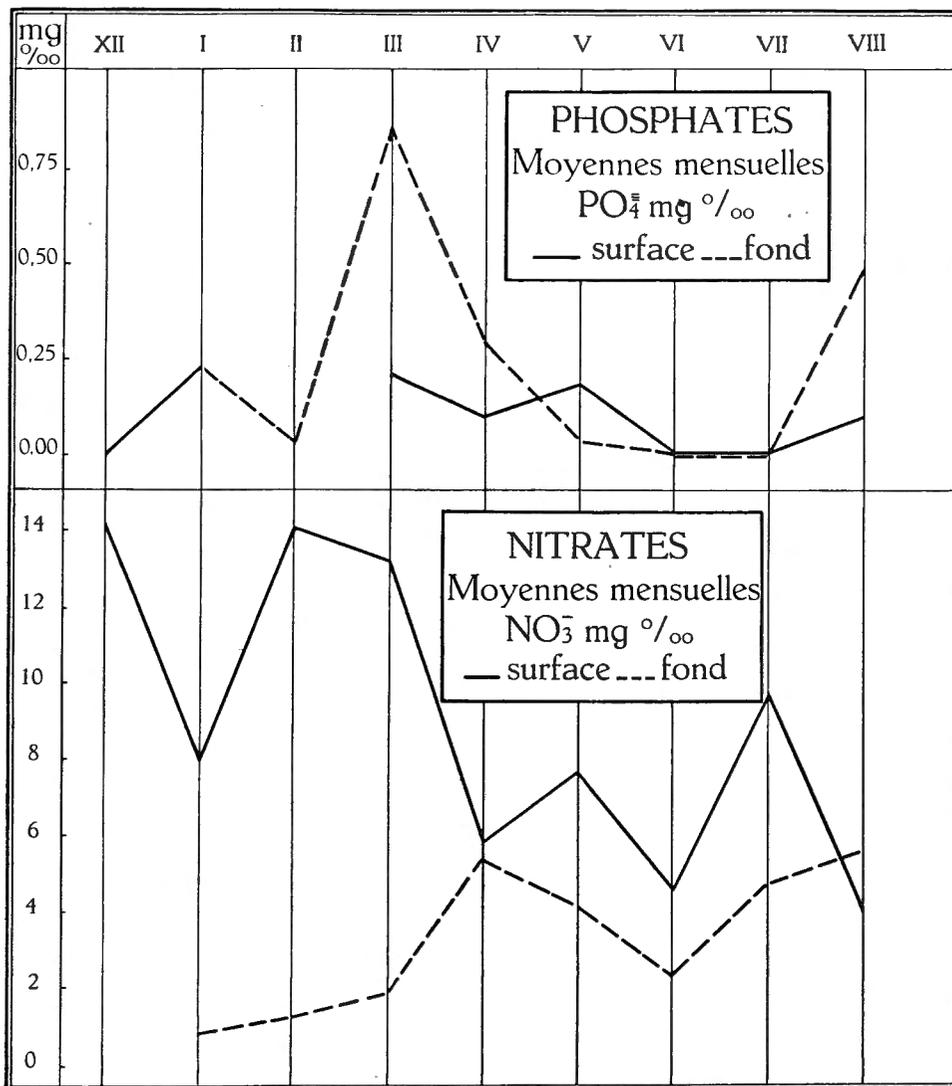


FIG. 30.

l'oxygène, qui décroît, puisse opérer l'oxydation partielle, car la matière organique n'atteint son point minimum qu'au cours des mois qui suivent, les nitrates augmentant un peu. Il faut aussi observer qu'au mois de mai le nannoplancton commence à croître à nouveau, pour atteindre un second sommet au mois de juillet. Au cours de cette période, l'oxygène a effectué une seconde montée, l'oxydabilité demeure moyenne, mais a une tendance à monter vers un sommet situé peut-être après le mois d'août et demeure encore assez élevé.

Les nitrates provenant de l'oxydation ont d'abord augmenté, mais la montée progressive du nannoplancton depuis avril les garde à un taux peu élevé.

Au mois de juillet, le nannoplancton a atteint son second sommet et l'oxygène est par conséquent en pleine croissance, qu'il gardera jusqu'en août. A ce moment le nannoplancton a décliné, l'oxydabilité a augmenté et les nitrates sont en décroissance.

Malgré les quelques points qui demeurent obscurs dans ce mécanisme, il semble cependant qu'au lac Upemba il existe une corrélation assez nette entre la production du nannoplancton, l'oxygène, la matière organique et les nitrates, ces derniers étant réabsorbés par le nannoplancton.

Tout ce qui précède se produit dans les eaux de surface.

Dans la couche de fond le maximum de nannoplancton s'observe beaucoup plus tard : au mois de juillet seulement, le minimum probable étant au mois de janvier (Table 41).

En juillet, l'oxydabilité de la couche tropholytique tend vers un maximum se trouvant soit au mois d'août, soit plus tard. Il n'est pas impossible toutefois que cette croissance de l'oxydabilité soit due en partie à la décroissance du nannoplancton en surface depuis juillet.

L'oxygène atteint un premier maximum au mois d'avril, puis décroît régulièrement, pour remonter et atteindre un second maximum en août. Cette seconde pointe au mois d'août est partiellement explicable par la grande quantité de nannoplancton du mois précédent, qui commence à décroître ensuite.

Le maximum de l'oxydabilité du mois d'août correspond donc à une décroissance du nannoplancton depuis juillet, conjointement au point maximal de l'oxygène et des nitrates.

Comme on a pu le voir par ce qui précède, l'ensemble des réactions et interactions nannoplancton-oxygène-matière organique-nitrates est extrêmement complexe, surtout dans une couche d'eau si peu profonde que le lac Upemba.

Un maillon dans la chaîne matière organique-nitrates fait défaut. Il s'agit notamment des sels ammoniacaux et des nitrites qui n'ont pu être dosés pour des raisons pratiques.

Nous devons en rester là pour le moment. D'autres investigations plus poussées seront nécessaires pour arriver à une connaissance complète de ce mécanisme. Quoi qu'il en soit, il semble que l'on puisse conclure à une corrélation probable, sinon réelle, entre les divers facteurs envisagés ici et au rôle régulateur que semble y jouer le nannoplancton à la fois producteur et consommateur.

5. — PHOSPHATES.

Dans l'état actuel des recherches, il est impossible de délimiter exactement les facteurs produisant les fluctuations des phosphates du lac Upemba et il faudra des investigations plus approfondies avant d'en arriver à une connaissance exacte.

TABLE 42.

Phosphates. PO ₄ [≡] en mg/litre. Moyennes mensuelles.									
Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Surface	0,00	0,220	-, -	0,200	0,090	0,176	0,00	0,00	0,095
Fond	-, -	0,220	0,025	0,850	0,278	0,025	0,00	0,00	0,490

F. GESSNER (1939), ayant remarqué la pauvreté des eaux tempérées et tropicales en phosphore (de l'ordre de quelques γ par litre), étudia les rapports possibles entre le calcium et ce corps. Il attira surtout l'attention sur le curieux phénomène que partout où les teneurs en phosphore sont considérables à l'origine, certains facteurs concourent ensuite à les diminuer et à inhiber ainsi la productivité du phytoplancton. La question se pose donc de savoir à quoi est dû cet appauvrissement des eaux en phosphore.

F. GESSNER a pu démontrer qu'il faut chercher les causes de cette déficience dans les relations entre ce corps et le calcium et il s'appuya dans ce but sur les recherches de TH. SCHLÖSING, qui datent de 1898 à 1900.

Le phosphate tricalcique Ca₃(PO₄)₂ est peu soluble dans l'eau distillée exempte de CO₂ (0,74 mg P₂O₅ par litre); sa solubilité augmente en présence de CO₂.

L'eau saturée de CO₂ dissout en effet 91,9 mg P₂O₅ par litre. En présence de Ca(HCO₃)₂, la solubilité diminue, car le produit de solubilité (Ca).(CO₃) est plus grand que le produit de solubilité (Ca)₃.(PO₄)₂. Lorsqu'il y a un excès de CaCO₃, la solubilité du phosphate tricalcique diminue; il y a précipitation, tandis que la concentration en ions Ca⁺⁺ s'élève dans le produit de solubilité à la puissance troisième. C'est pourquoi le phosphate tricalcique est plus difficilement soluble dans l'eau contenant des bicarbonates que ne l'est CaCO₃, et il sera donc remplacé par cette dernière substance.

On sait, d'autre part, que les plantes utilisent le CO_2 des bicarbonates au cours du processus de l'assimilation chlorophyllienne et qu'il en résulte une précipitation de CaCO_3 . F. GESSNER a démontré qu'au cours de cette réaction il y a entraînement de phosphates.

Un processus parallèle a été mis en valeur récemment par W. EINSELE (1936). Les eaux eutrophes contenant du fer sont le siège de réactions particulières : en présence de fer et de phosphates il y a précipitation de phosphate ferrique insoluble, lorsque la réaction de l'eau est alcaline et qu'il y a de l'oxygène disponible. Ce phosphate ferrique est précipité en même temps que de l'hydrate ferrique. Dans la vase, des réactions réductrices, en l'absence d'oxygène, transforment le phosphate ferrique en phosphate ferreux, dont le radical phosphoré devient libre et rentre en solution.

Il faut encore ajouter à cela qu'au cours de sa précipitation sur le fond après sa mort, le plancton est en partie soumis à l'autolyse; certains ferments du groupe des phosphatases libèrent le phosphore des nucléoprotéides et le font rentrer immédiatement en circulation.

Les eaux à végétation abondante d'hydrophytes verraient une rétrogradation rapide de leur florule aquatique si cette dernière n'était capable de réabsorber, au moyen de son système racinaire, les phosphates précipités dans la vase.

Il n'en est pas de même pour le phytoplancton, qui enlève de grandes quantités de CO_2 à l'eau, cause ainsi la précipitation de CaCO_3 en même temps que de phosphates et n'est pas capable de les reprendre directement aux couches du fond. Ainsi la décalcification biologique pourrait être considérée comme une des causes d'un appauvrissement abiologique en phosphates.

Si l'eau s'appauvrit en phosphates sous forme de phosphate tricalcique, la quantité de phytoplancton diminue et il peut donc se reformer progressivement du phosphate dissous. Le phytoplancton se reproduit alors dès que la quantité disponible est arrivée à un certain taux. Le phosphore est donc à considérer comme un des facteurs limitants de la productivité du phytoplancton.

Les observations faites au cours de l'expédition sont trop peu nombreuses pour permettre l'application intégrale de ces diverses recherches. Les quantités de PO_4 varient ici de 0 à 0,220 mg-litre.

On peut dire, dans les grandes lignes, que les réactions se passent comme suit : en novembre-décembre (fig. 30), fin de la phase alcaline, les phosphates sont précipités, complètement ou partiellement; c'est ce qui explique l'absence observée au mois de décembre. Vers janvier, l'acide carbonique libre des eaux profondes facilite la solubilisation des phosphates précipités et le phytoplancton croît jusqu'en février, où il atteint son premier maximum. La teneur en phosphates diminue fortement, du moins près du fond : 0,025 mg-litre. Le microplancton décroît rapidement et atteint un minimum

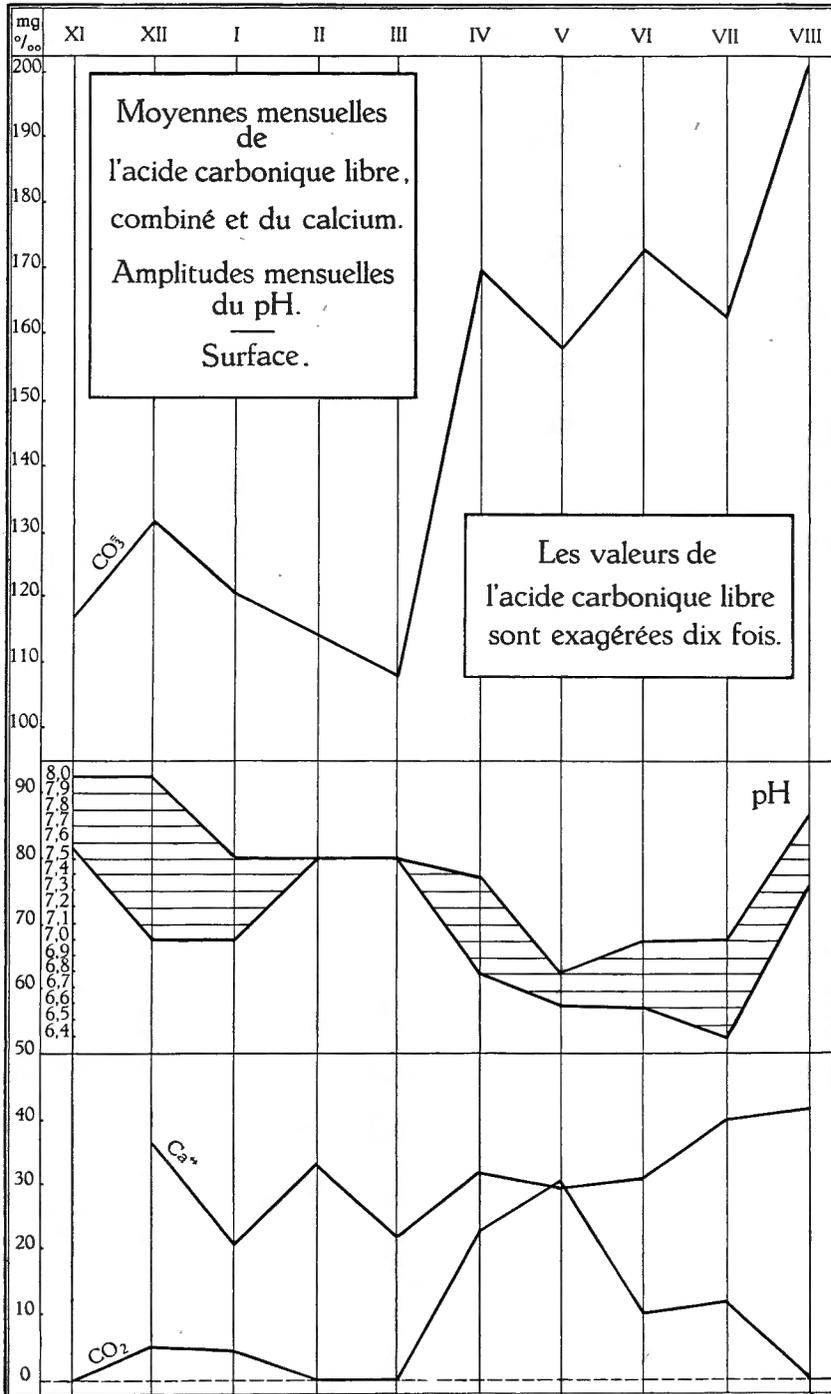


FIG. 31.

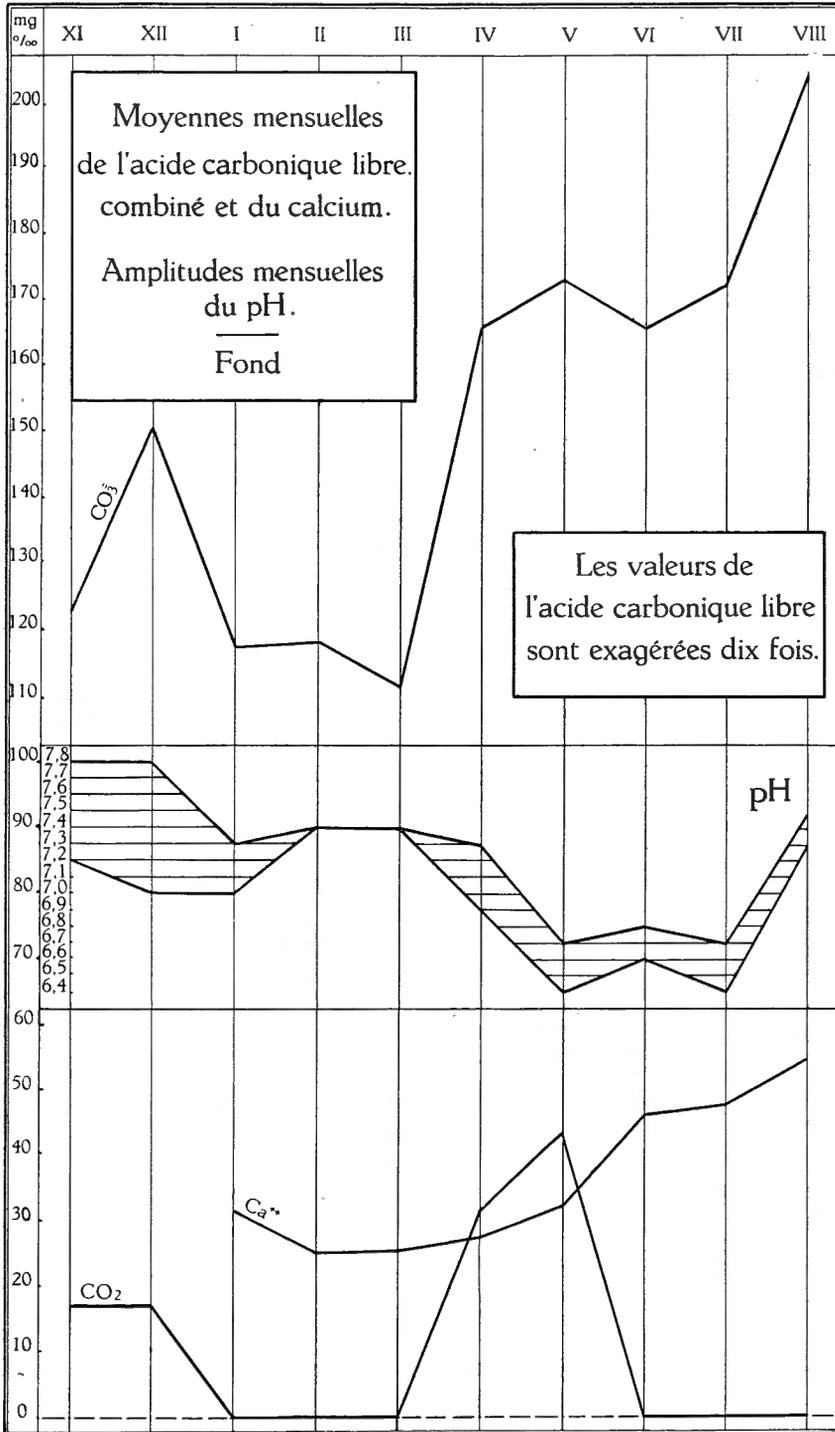


FIG. 32.

en avril. Nous voyons le taux des phosphates remonter immédiatement à 0,2 mg-litre en mars, peut-être à cause de l'autolyse des nucleoprotéides. Le taux descend encore à 0,09 mg pour une raison qui nous échappe et remonte à 0,176 en mai, moment où le microplancton recommence à croître. Ce dernier atteint son maximum en juillet; pendant ce temps, en juin et juillet, le taux des phosphates retombe à zéro près du fond et, au moment où le nannoplancton commence à décroître en août, le taux des phosphates remonte à 0,095 mg-litre en surface.

Au mois de mars, l'eau du fond s'est enrichie jusqu'à 0,85 mg-litre, décroît progressivement, probablement au profit de l'eau de surface, au mois de mai, l'eau du fond s'étant fortement appauvrie vers cette époque.

Il est possible, toutefois, que des investigations plus poussées auraient permis de serrer de plus près l'évolution saisonnière du phosphoré. D'autre part, les phosphates fixés par les hydrophytes et par les animaux, aussi bien macro- que microscopiques, nous échappent, et il n'y a donc pas moyen de faire un bilan pour un laps de temps de quelques mois seulement (fig. 30).

6. — CALCIUM.

L'ion Ca^{++} est extrêmement important par le rôle qu'il est appelé à jouer dans l'équilibre $\text{CaCO}_3\text{-Ca}(\text{HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{CO}_3$ d'une eau naturelle, comme je l'ai montré dans les pages consacrées à l'étude du CO_2 .

Les quantités de Ca^{++} décelées en moyenne dans les eaux du lac Upemba peuvent être considérées comme moyennes; elles ne dépassent pas quelques dizaines de milligrammes par litre : en surface le maximum a été de 42,33; vers le fond il a été de 54,95 mg-litre. Les minima sont respectivement : 20,60 et 25,16 mg Ca^{++} au litre pour la surface et le fond. Les deux maxima pour la surface aussi bien que pour le fond se sont présentés au mois d'août (fig. 31 et 32).

La table 43 donne les différentes teneurs moyennes en Ca^{++} par mois en même temps que les valeurs correspondantes en CaCO_3 obtenues en multipliant les quantités de Ca^{++} en mg-litre par le facteur analytique 2,4972.

Partant du fait que le carbonate de calcium est difficilement soluble dans l'eau exempte de CO_2 , GMELIN et KRAUT (1911) ont établi les solubilités à différentes températures et estiment qu'une solution aqueuse contenant 10 à 15 mg de CaCO_3 au litre doit être considérée comme saturée. Mais, lorsque CaCO_3 est mis en présence d'une eau contenant du CO_2 , la solubilité de cette substance augmente considérablement, car dans la réaction



il se forme du bicarbonate de calcium soluble. L'expérience a montré qu'à une pression partielle de CO_2 dans l'atmosphère de 0,000504 at, 1 litre d'eau à 16° C dissout 60,96 mg de CO_2 et contient alors 74,6 mg de CaCO_3 .

TABLE 43.

Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Calcium en mg ‰ Moyennes mensuelles.									
Surface	36,75	20,60	33,24	21,91	31,73	29,67	30,74	39,92	42,33
Fond	-, -	31,55	25,16	25,53	27,42	32,17	46,14	47,99	54,95
CaCO ₃ en mg/litre									
Surface	91,77	51,44	83,00	54,7	79,23	74,09	76,76	99,68	105,45
Fond	-, -	78,78	62,82	63,75	68,47	80,33	115,89	119,84	137,22

Il découle immédiatement de ce qui précède qu'une eau naturelle serait pauvre en CO₂ si la seule source de ce dernier était le CO₂ atmosphérique. Mais les processus biologiques, comme la dégradation de la matière organique morte, la respiration des animaux aquatiques apportent des quantités parfois considérables de CO₂ qui faciliteront la mise en solution de nouvelles quantités de CaCO₃.

A cela s'ajoute que dans certaines conditions bien déterminées on peut se trouver devant le phénomène de décalcification biologique ou abiologique assez bien connu et décrit par plusieurs auteurs.

J. JOHNSTON et E. D. WILLIAMSON (1916) ont étudié le rôle des agents inorganiques dans la précipitation du CaCO₃.

Dans une solution, à une température déterminée, saturée de calcium pur, le produit de dissolution (Ca⁺⁺). (CO₃), produit de la concentration respective de l'ion (Ca⁺⁺) et de l'ion (CO₃⁼), est une constante, indépendamment de la teneur en CO₂ libre de la solution, de la présence d'autres sels. Ce produit de solubilité constant, caractéristique, est à distinguer avec soin de la solubilité, concentration du calcium total d'une solution en équilibre avec du calcite pur, d'après les mesures habituelles. Ce calcium est associé à du bicarbonate et de l'hydroxyde, ou à tout autre anion présent, ou à du carbonate : en effet, dans les conditions atmosphériques habituelles une

fraction seulement du calcium total est toujours associée à du carbonate. Le fait de la constance de ce produit de solubilité en présence de calcite pur permet de calculer avec toute la précision requise la solubilité du calcite à n'importe quelle condition spécifiée, en présence d'ion Ca^{++} ou CO_3^- de n'importe quelle source, en prenant soin toutefois de déterminer la concentration ionique actuelle.

La concentration en H_2CO_3 (CO_2 « libre ») est réglée par la pression partielle (P) ou proportion de CO_2 dans la couche atmosphérique en contact avec la solution et réciproquement. Pour une valeur donnée de P, cette concentration diminue avec l'augmentation de la température, puisque le coefficient d'absorption du CO_2 diminue.

A une température déterminée, la solubilité totale, c'est-à-dire la concentration totale du calcium dans la solution, varie avec la concentration de H_2CO_3 (donc avec P), par le fait que cette dernière détermine la proportion d'ion carbonate (CO_3^-), d'ion hydrocarbonate (HCO_3^-) et d'ion hydroxyde (OH^-) en accord avec les expressions mathématiques définies, et, puisque le produit de solubilité (Ca^{++}).(CO_3^-) demeure constant, (Ca^{++}) doit varier en raison inverse du (CO_3^-). La présence d'autres sels influence également cette solubilité totale. Aussi longtemps que le calcite pur est la phase solide stable en équilibre avec la solution, la grandeur de cet effet sera tout de suite calculable, puisque les diverses concentrations s'ajustent toujours elles-mêmes jusqu'à ce que le produit de solubilité (Ca^{++}).(CO_3^-) atteigne sa valeur caractéristique.

Le produit de solubilité constant du calcite diminue avec l'accroissement de la température et n'est pas affecté dans une grande mesure par les variations de la pression hydrostatique.

J. N. BRÖNSTED et C. WESEBERG-LUND (1912), surtout L. MINDER (1923) et J. PIA (1932, 1933), ont fait de nombreuses recherches concernant la décalcification biologique, au sujet desquelles il n'y a pas moyen de nous étendre longuement ici.

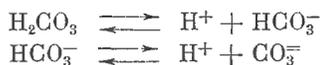
L'assimilation chlorophyllienne du phytoplancton et des hydrophytes est à la base de ce phénomène, car l'absorption du CO_2 des bicarbonates a pour conséquence immédiate la précipitation du carbonate de calcium que l'on retrouve soit sous forme d'incrustation sur les hydrophytes ou au sein de la masse gélatineuse englobant certaines espèces d'algues, soit en minces cristaux flottant au sein de l'eau et précipités progressivement dans la vase.

En se basant sur la théorie déjà relativement ancienne de la dissociation, certains auteurs ont expliqué la décalcification.

L'anhydride carbonique est lié, en petites quantités, à l'eau :



Cet acide carbonique montre une double dissociation :



Le carbonate de calcium se dissocie d'après la formule



Lorsque l'acide carbonique formé au cours de la dissociation est soustrait, l'équilibre se déplace vers la gauche. La concentration en ions HCO_3^- diminue et sa dissociation augmente. L'équilibre se déplace vers la droite et cela d'autant plus rapidement que la quantité d'ions HCO_3^- diminue. La solution s'enrichit de cette manière en ions CO_3^{--} . Le produit $(\text{Ca}^{++}) \cdot (\text{CO}_3^{--})$ augmente. Lorsque la valeur dépasse celle d'une solution saturée, il y a précipitation de CaCO_3 .

Cette représentation est basée sur les variations de la concentration en CO_2 , par suite de l'équilibre du gaz avec l'atmosphère. L'influence de la température est très grande, car la grandeur du coefficient d'absorption du CO_2 en dépend.

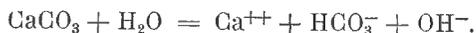
On peut dire avec L. MINDER que cette décalcification biologique et plus spécialement planctogène n'est pas rare dans les lacs et qu'elle est d'un intérêt primordial aussi bien pour le biologiste que pour le géologue et qu'elle est une propriété caractéristique des lacs du type eutrophe.

La décalcification n'a pas seulement lieu par l'intermédiaire du phyto-plancton ou des hydrophytes supérieurs, il existe aussi des bactéries qui possèdent la propriété de précipiter du carbonate de calcium cristallin.

Plusieurs auteurs, notamment H. MOLISCH (1925), H. FISCHER (1931), H. KÜHN (1925), G. A. NADSON (1928), ont étudié la question pour les eaux douces, tandis que W. BAVENDAMM (1931), C. B. LIPMAN (1929), J. MURRAY et R. IRVINE (1889-1890), N. R. SMITH (1926) se sont plutôt intéressés aux mêmes phénomènes dans les eaux marines. C'est H. DREW qui, en 1912-1914, indiqua le premier cette curieuse propriété de certaines bactéries cultivées *in vitro*.

La durée des recherches faites sur les eaux du lac Upemba a été trop brève pour permettre la démonstration mathématique d'une décalcification réelle. Pour le moment nous en sommes réduits à une hypothèse.

L'examen de l'évolution des divers éléments au cours de l'année nous permet de supposer qu'une décalcification a lieu entre les mois d'août et de novembre, d'où le déplacement du pH vers la zone alcaline par l'hydrolyse du carbonate de calcium précipité d'après la formule



Le mois de novembre, premier du cycle que nous avons pu étudier, serait ainsi la fin de cette période de décalcification; le pH atteint encore 8,0, mais montre déjà une tendance à descendre, l'acide carbonique libre est absent, ou présent en quantités si minimes que les méthodes analytiques *in situ* ne permettent pas de le déceler, et l'alcalinité est peu élevée. La période de décalcification pourrait ainsi être estimée, *mutatis mutandis*, comme

située à la fin de la saison sèche avec un léger empiètement sur la saison des pluies. Ce qui semble d'ailleurs se confirmer par la tendance du pH à se déplacer vers la zone alcaline au mois d'août (fig. 31 et 32).

TABLE 44.

Balance de l'acide carbonique.									
Mois	Ca ⁺⁺ mg/l	CaCO ₃ mg/l	CO ₃ ⁼ mg/l	CO ₃ ⁼ méq/l	Mg ⁺⁺ mg/l	MgCO ₃ mg/l	CO ₃ ⁼ mg/l	CO ₃ ⁼ méq/l	CO ₃ ⁼ total méq/l
Eaux de surface.									
XII	36,75	91,77	55,02	1,833	9,02	31,28	22,63	0,742	2,575
I	20,60	51,44	30,84	1,027	7,57	26,26	28,69	0,623	1,65
II	33,24	83,00	49,76	1,658	2,94	10,20	7,26	0,242	1,90
III	21,91	54,71	32,80	1,093	8,59	29,81	21,21	0,707	1,80
IV	31,73	79,23	47,50	1,583	10,42	36,13	25,71	0,857	2,44
V	29,67	74,09	44,42	1,480	17,26	59,87	42,60	1,420	2,90
VI	30,74	76,76	46,02	1,533	16,37	56,79	40,41	1,347	2,88
VII	39,92	99,68	59,76	1,992	8,85	30,69	21,84	0,728	2,72
VIII	42,23	105,45	63,22	2,107	12,68	43,97	31,29	1,043	3,15
Eaux du fond.									
I	31,55	78,78	47,23	1,574	4,14	14,37	10,23	0,341	1,91
II	25,16	62,82	37,66	1,255	8,68	30,10	21,42	0,714	1,97
III	25,53	63,75	38,22	1,273	7,12	24,70	17,58	0,586	1,86
IV	27,42	68,47	41,05	1,368	14,96	51,90	36,93	1,231	2,60
V	32,17	80,33	48,16	1,605	15,61	54,13	38,52	1,284	2,89
VI	46,41	115,89	69,48	2,315	4,54	15,76	11,22	0,374	2,69
VII	47,99	119,84	71,85	2,394	6,38	22,13	15,75	0,525	2,92
VIII	54,95	137,22	82,27	2,742	9,38	32,54	23,16	0,772	3,51

Durant les mois de septembre et d'octobre la situation semble avoir été la suivante :

L'acide carbonique des bicarbonates a été absorbé en tout ou en partie par le microplancton, comme on peut le voir dans les graphiques. Il en est résulté une précipitation de carbonate de calcium :



Le carbonate s'est hydrolysé en partie :



avec, dans les deux cas, absorption du H_2CO_3 au cours de l'élaboration chlorophyllienne.

L'hydrolyse de l'hydroxyde de calcium donne ensuite



ions (OH^-) qui ont conféré à l'eau une réaction alcaline dont l'action se ressent encore plus ou moins jusqu'au mois de décembre.

Il est, en outre, possible que l'évaporation intense au cours des derniers mois de saison sèche : septembre et octobre, ait eu une influence partielle sur la décalcification par la concentration des sels et augmentation du calcium au delà des teneurs établies par J. FRANQUIN et R. MARÉCAUX (1938).

Je ne puis donc fournir que la preuve indirecte d'une décalcification; il n'est pas douteux que des recherches ultérieures, auxquelles il ne fallait pas songer au cours de notre séjour dans le Parc National de l'Upemba, auraient pu montrer une situation nette, bien déterminée. Elle a eu lieu probablement au cours des mois pendant lesquels l'expédition n'a pas eu l'occasion de travailler sur le lac.

7. — MAGNÉSIUM.

L'établissement des balances ioniques mensuelles des eaux du lac m'ayant amené à doser le magnésium, j'esquisse succinctement son évolution au cours du cycle annuel.

On semble avoir fait relativement peu de recherches sur les conséquences biologiques de la présence de bicarbonate de magnésium dans les eaux lacustres. On connaît cependant, au point de vue géochimique, des lacs à eaux carbonatées renfermant du bicarbonate de calcium et du bicarbonate de magnésium.

La différence entre le comportement du calcium et du magnésium réside dans la solubilité un peu plus grande du carbonate de magnésium, qui ne se précipite pas aussi rapidement que le carbonate de calcium.

Le carbonate de magnésium se rencontre aussi sous forme d'incrustations sur les plantes aquatiques, allié au carbonate de calcium en proportions variables.

Au point de vue biologique, le magnésium a une importance liée à celle du calcium et il semble établi que la productivité de l'eau est directement proportionnelle à la concentration de ces deux corps, toutes choses égales d'ailleurs.

La chlorophylle contenant une certaine quantité de magnésium, il y a lieu d'examiner s'il existe, au lac Upemba, une relation entre le nanoplancton et les teneurs en magnésium.

TABLE 45.

Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Magnésium en mg ‰ Moyennes mensuelles.									
Surface	9,02	7,57	2,94	8,59	10,42	17,26	16,37	8,85	12,68
Fond	—,—	4,14	8,68	7,12	14,96	15,61	4,54	6,38	9,38
Mg CO ₃ en mg ‰.									
Surface	31,28	26,26	10,20	29,81	36,13	59,87	56,79	30,69	43,97
Fond	—,—	14,37	30,10	24,70	51,30	54,13	15,76	22,13	32,54

La comparaison des valeurs du nanoplancton (fig. 34) et les concentrations du magnésium en mg-litre montre un rapport assez étroit entre les diverses teneurs de ce dernier corps et la matière flottante à chlorophylle. Aux maxima du nanoplancton correspondent des minima de Mg et inversement. A mesure que le nanoplancton croît, la concentration en ions Mg diminue et devient minimale. Au mois de février, au cours duquel la chlorophylle atteint sa plus grande concentration, le Mg tombe à 2,94 mg ‰. Le plancton diminue rapidement et atteint son minimum en avril. La concentration en Mg a progressivement augmenté et acquiert presque son maximum, qui est atteint en mai avec 17,26 mg-litre.

La concentration en chlorophylle semble donc être ici proportionnelle à celle du magnésium. Le même phénomène se produit en juillet et août.