

INSTITUT DES PARCS NATIONAUX  
DU CONGO BELGE

INSTITUUT DER NATIONALE PARKEN  
VAN BELGISCH CONGO

---

# Exploration du Parc National de l'Upemba

MISSION G. F. DE WITTE

en collaboration avec

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

---

FASCICULE 9

---

# Exploratie van het Nationaal Upemba Park

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)  
(With an english summary.)



BRUXELLES  
1953

BRUSSEL  
1953

Imprimerie M. HAYEZ, Bruxelles  
— 112, rue de Louvain, 112 —  
Dom. légal : av. de l'Horizon, 39

**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)**.  
Afllevering 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 connaissions-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<sup>r</sup> 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 broissage 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 apprend 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



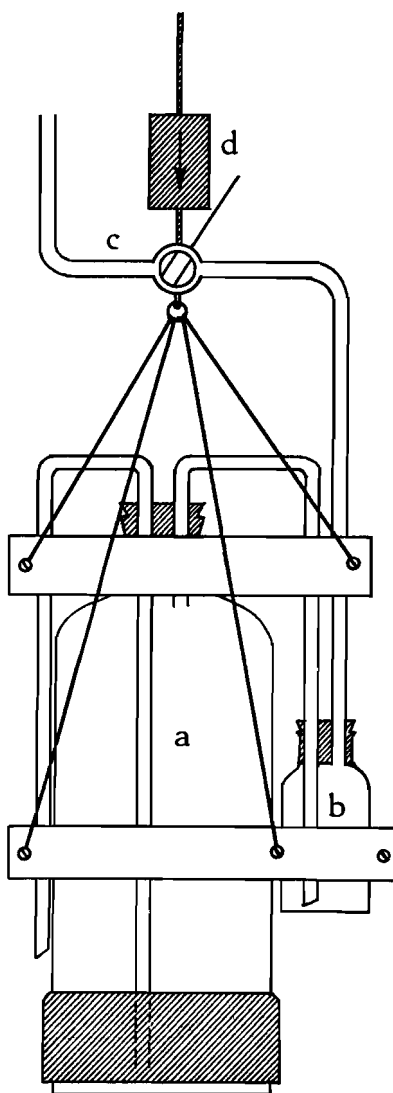


FIG. 1.

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 HClN/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 CO<sub>2</sub> en milliéquivalents, afin de faciliter le calcul des balances ioniques.

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

## 7. ACIDE CARBONIQUE LIBRE.

L'eau du lac était titrée par  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  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 manganoux avec mise en liberté d'iode, j'ai utilisé une solution à 50 % de bisulfate de sodium  $\text{NaHSO}_4$  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. BIRGE 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  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  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  $\text{NO}_3\text{K}$  au litre, correspondant à 0,1 mg  $\text{NO}_3$  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. SPLITTBERGER 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.

## 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

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

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 Kalumengongo 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.



» 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<sup>e</sup> parallèle : Kisale, Nyangwe, Zibambo, N'Sala, Lukanga, Kayumba, Lunda, Kalondo, Muyumbwe. Au Sud du 9<sup>e</sup> 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 kundelunguiens 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

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 km<sup>2</sup>, a une profondeur de 0,50 à 3,10 m (en novembre 1948) et une superficie de l'ordre de 530 km<sup>2</sup>, avec un volume d'eau d'environ 930 millions de m<sup>3</sup>, 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* dominent (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 héliophytes, 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 hélophytes, 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'hélophytes 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 minimale 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 <sup>(1)</sup> :

Relevé du 17.XII.1948. N° 17.		
<i>Typha angustifolia</i> L. ... ..		5,5
<i>Nymphaea capensis</i> THUNB. ... ..		4,4
<i>Jussieua 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'Etat à Bruxelles, par M. L. TOUSSAINT, botaniste à l'Institut National pour l'Etude 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.) STAPP. ... ..	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 elaphrocydon</i> (GUILL. 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.) STAPP. ... ..	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) STAFF. .. ..		5,4
N° 4818	<i>Dactyloctenium ægyptium</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.) STAFF. ... ..		+ ,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 Kotschy</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>Phylla 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) STAFF. ...	...	...	2,4
N° 4893	<i>Polygonum pulchrum</i> BLUME ...	...	...	1,1
N° 4894	<i>Setaria angustifolia</i> STAFF. ...	...	...	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>Melanoides</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 $\pm 300$ m du cordon végétal.
1,35 m	Vase molle. Coquilles vides de <i>Melanoides</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>Celatura</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>Melanoïdes</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>Melanoïdes</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>Melanoïdes</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 îlots 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).

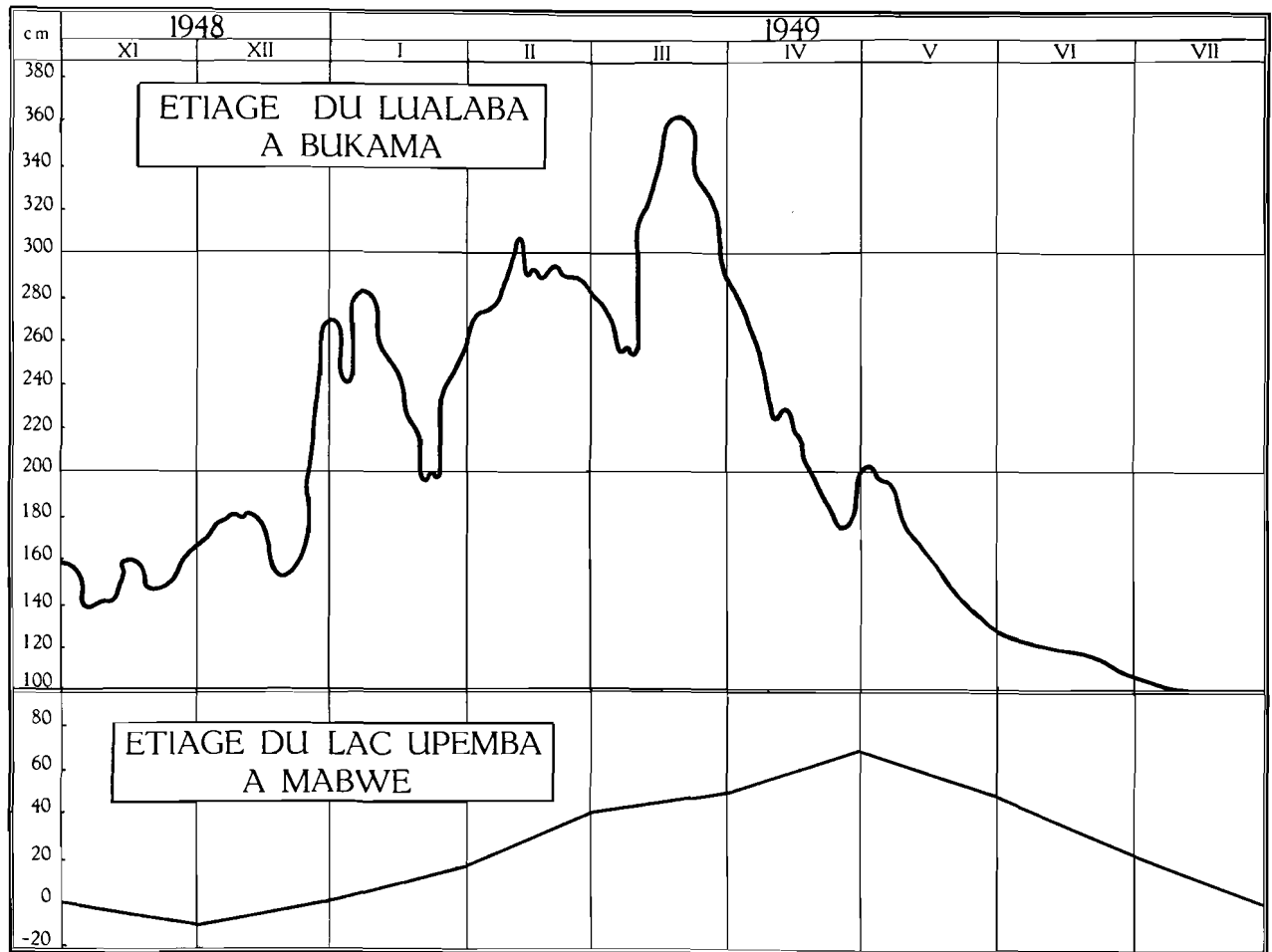


FIG. 5.

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 ATMOSPHERIQUES.

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  $(A_{w_s})S$ , 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  $(A_{w_s})S$  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  $(A_{w_s})S$  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 17	213,3 15	65,6 8	75,2 11	0,0 --	0,0 --	0,0 --	3,4 1	6,0 2	79,8 9	103,3 11	300,5 22	988,3 96
1935	117,6 11	219,9 18	137,0 9	140,0 9	50,0 3	0,0 --	0,0 --	1,8 1	52,3 4	74,2 6	106,6 14	248,9 17	1148,3 92
1936	150,3 17	177,2 14	117,8 11	114,5 9	4,7 2	2,0 1	0,0 --	12,7 5	53,6 9	100,0 14	219,1 18	222,2 17	1174,1 117
1937	231,7 18	253,5 17	242,5 14	127,0 12	16,5 2	0,0 --	0,0 --	0,0 --	51,0 5	47,5 7	164,0 11	205,5 15	1339,2 101
1938	192,5 11	215,0 14	152,5 14	85,0 6	0,0 --	0,0 --	0,0 --	6,0 1	71,6 5	157,0 9	165,5 12	134,0 15	1179,1 87
1939	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1940	145,2 8	118,0 9	139,3 10	115,3 8	11,0 1	0,0 --	0,0 --	8,5 1	13,0 2	170,0 13	109,0 7	58,5 5	887,8 64
1941	270,5 12	76,0 9	39,0 4	76,4 7	19,0 2	0,0 --	0,0 --	0,0 --	6,5 1	144,0 10	309,5 17	239,0 16	1179,9 78
1942	171,0 14	169,2 9	330,5 17	123,1 10	1,0 1	0,0 --	0,0 --	16,7 3	19,5 1	46,0 4	112,0 10	234,5 13	1223,5 82
1943	272,0 14	222,2 13	102,0 12	70,1 9	86,5 3	0,0 --	0,0 --	22,0 1	32,0 2	26,5 4	146,3 10	184,8 12	1164,4 80
1944	201,0 10	160,7 10	175,0 --	189,3 11	5,0 1	0,0 --	0,0 --	0,0 --	28,8 2	46,3 11	333,8 12	144,3 12	1284,2 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.

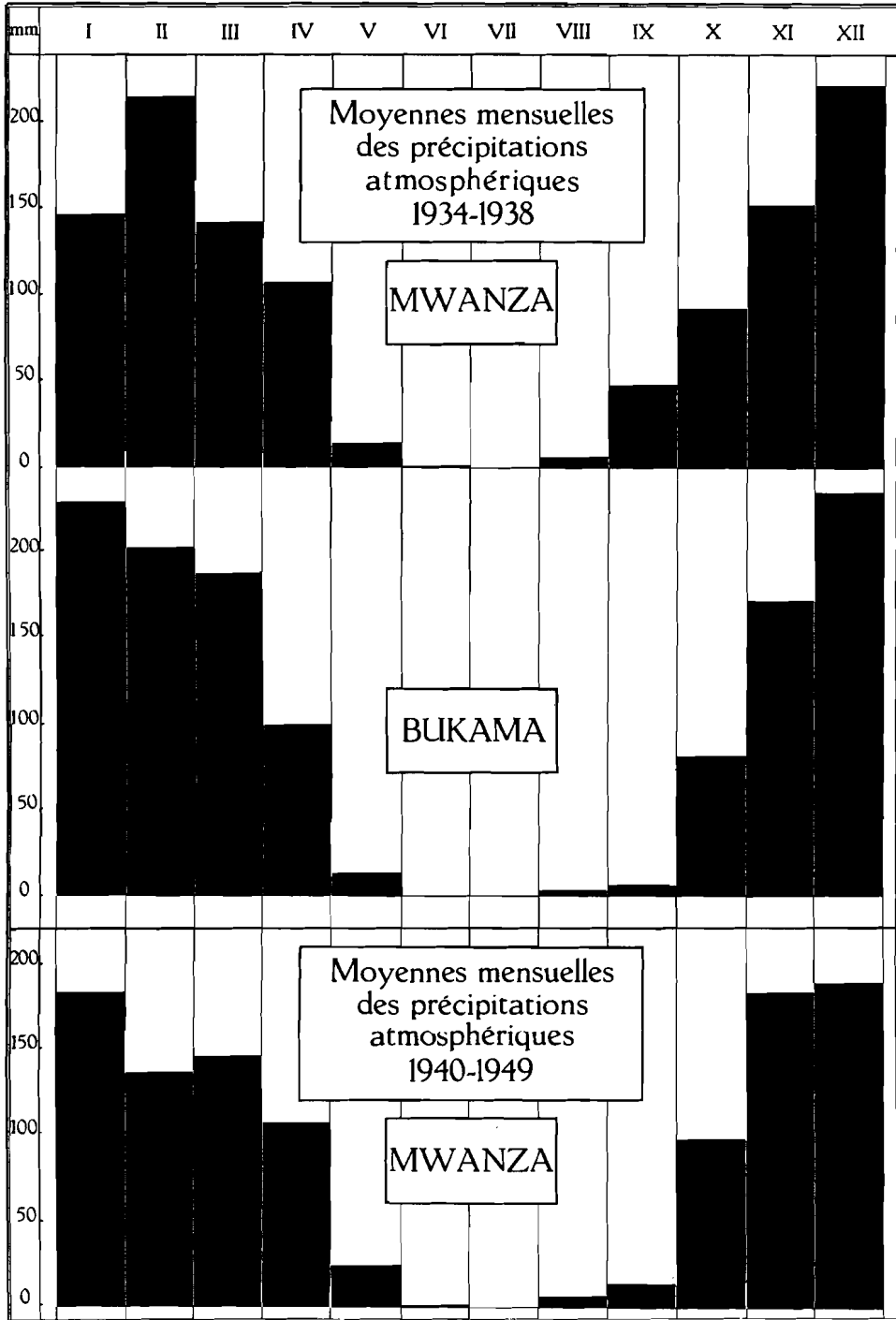


FIG. 6.

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 5,40 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 TEMPERATURES EN °C

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

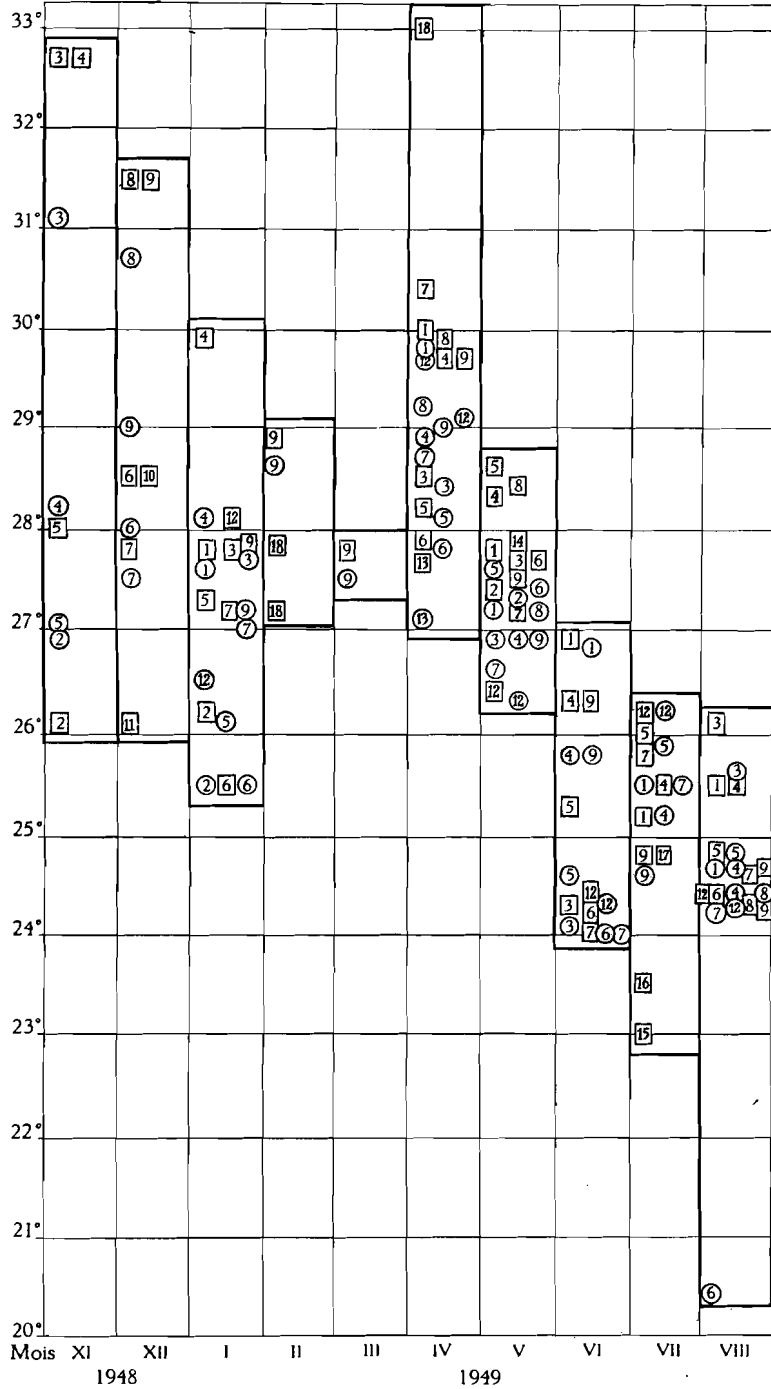


FIG. 7.

midi, a été de 33,0° C à 23,5° C. Près du fond elle était de 31,0° C à 24,0° C. La plus grande amplitude, avec une différence de 6,60° 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

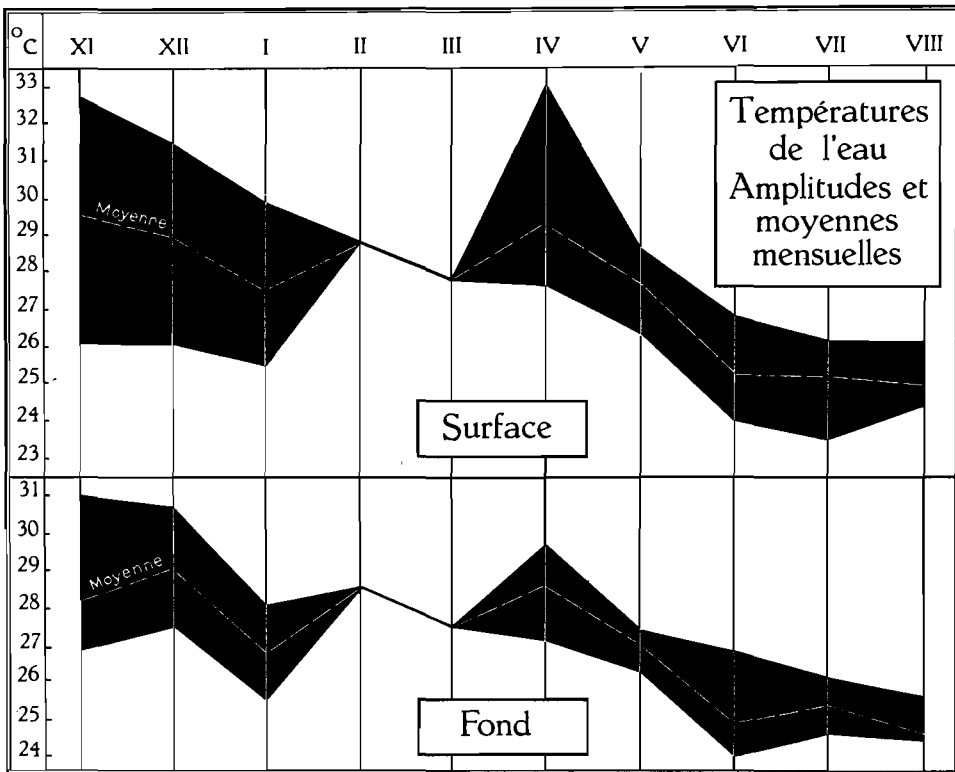


FIG. 8.

de 5,3° C. Les maxima de température furent observés au mois de novembre 1948 avec 32,7° C, et au mois d'avril 1949 avec 33,0° C, le minimum en juillet 1949 avec 23,5° 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.

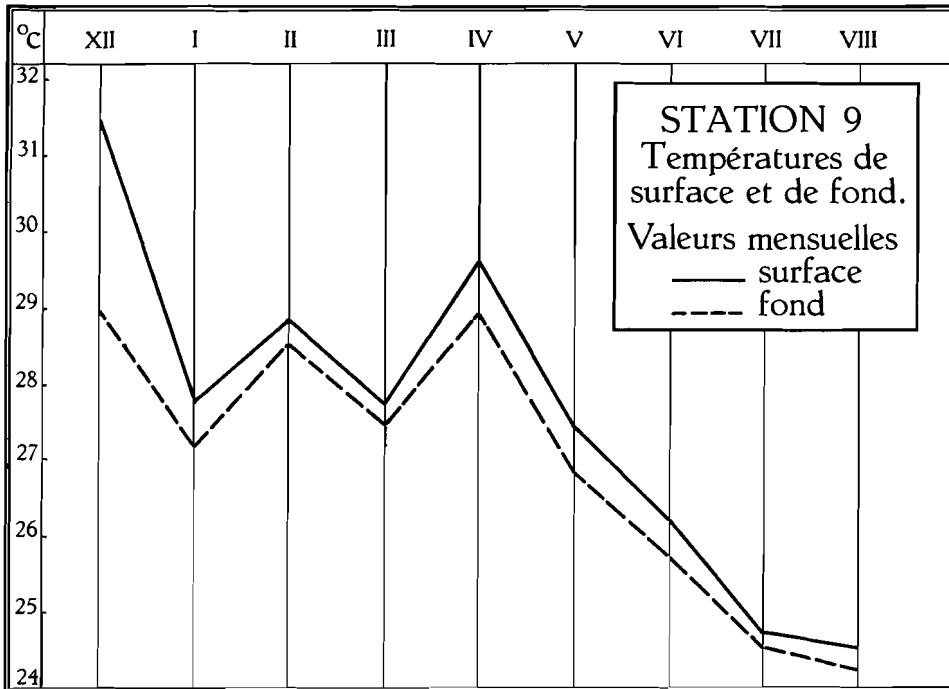


FIG. 9.

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. RUTTNER 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. WESEBERG-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<sup>os</sup> 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  $\Omega$  à 18° C, mais est située assez généralement aux environs de 5.300  $\Omega$ . Elle est, en moyenne, de 5.108  $\Omega$  pour les eaux de surface et 5.121  $\Omega$  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  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{=}$ . 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  $\text{CO}_2$  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  $0^\circ$  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.

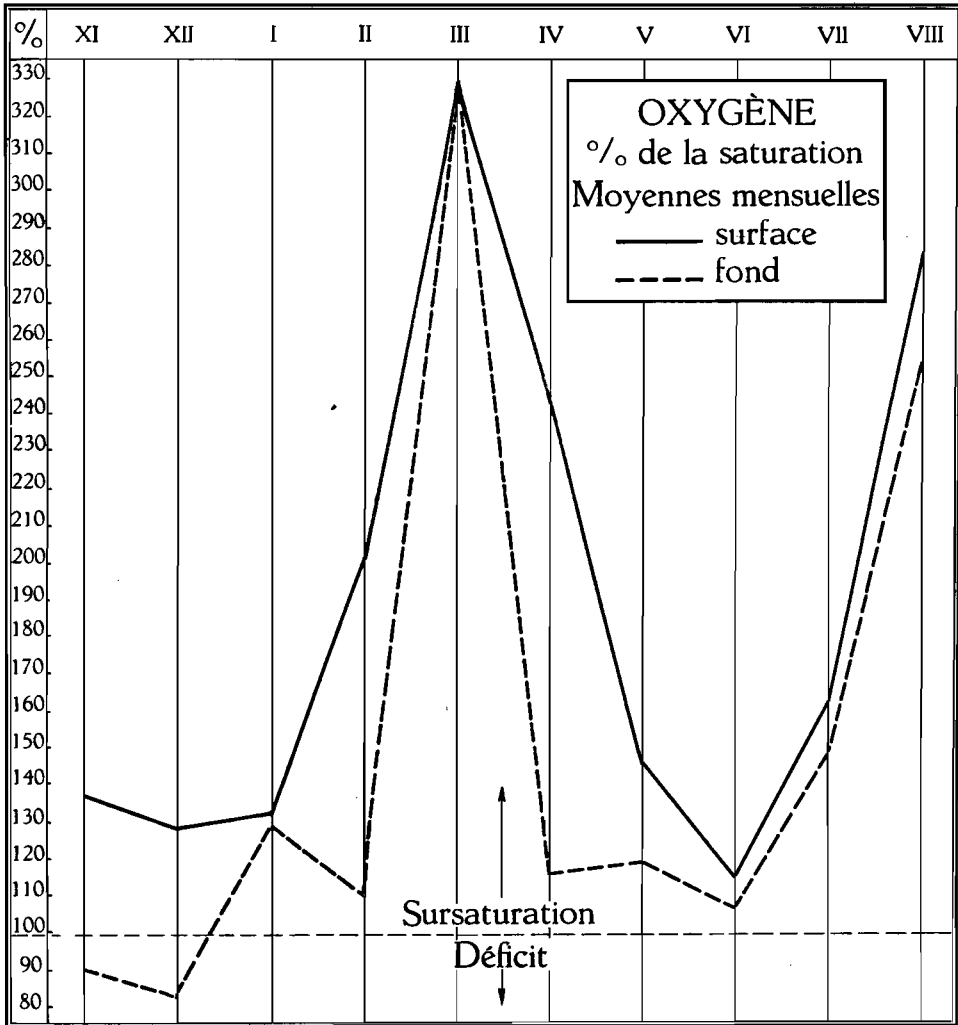


FIG. 10.

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

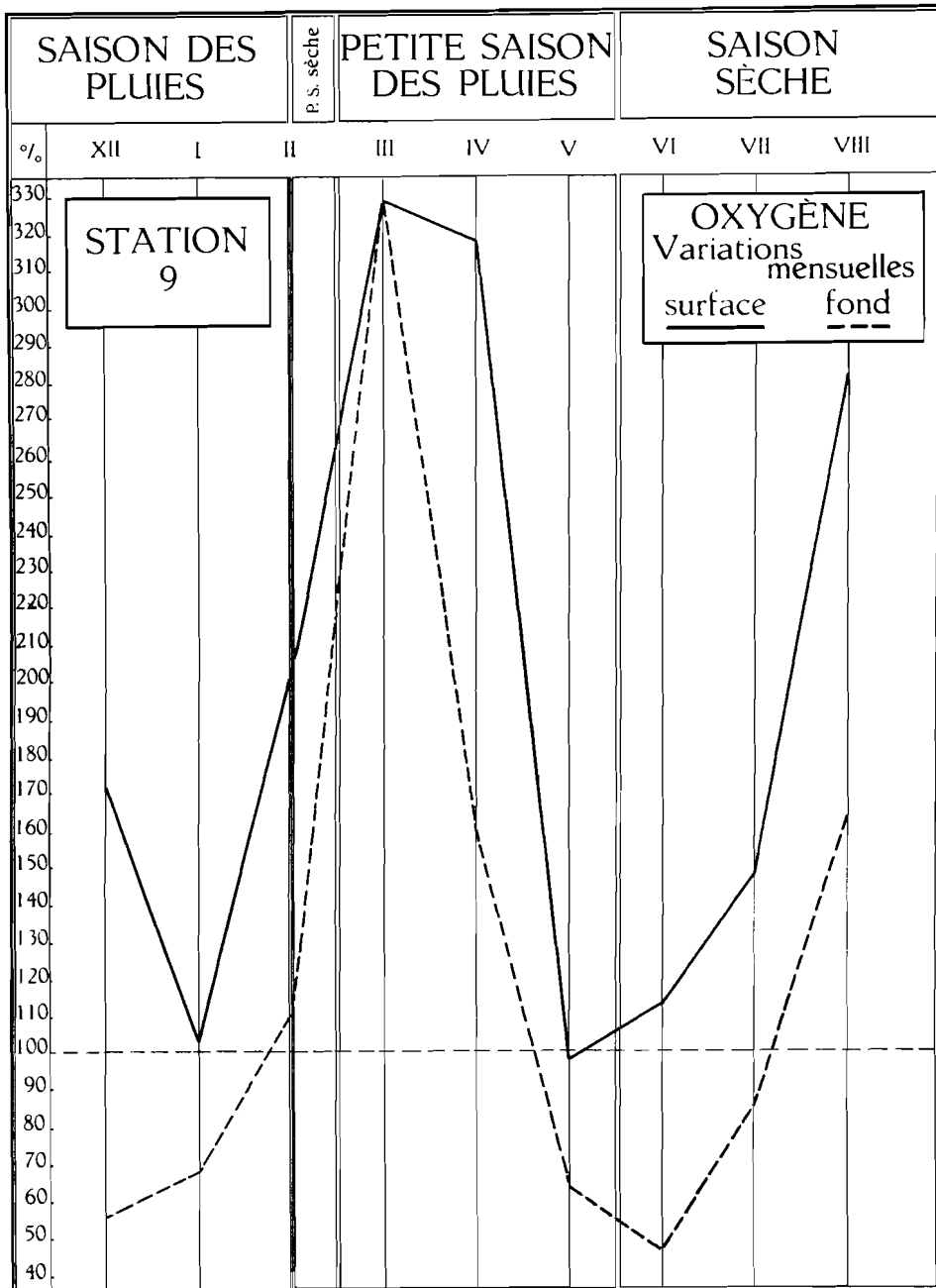


FIG. 11.

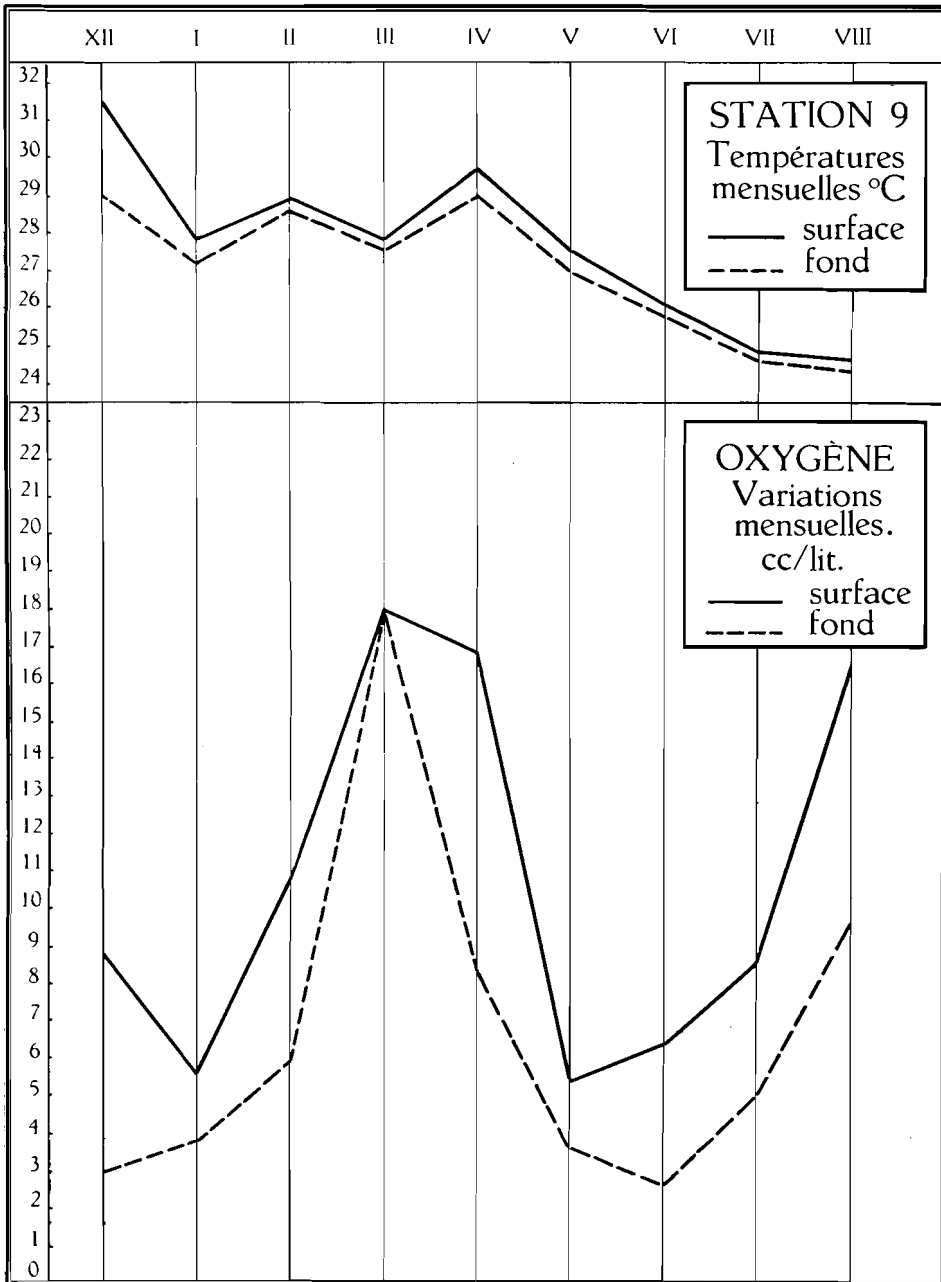


FIG. 12.

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	63,19 %	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 remontée 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. RUTNER 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

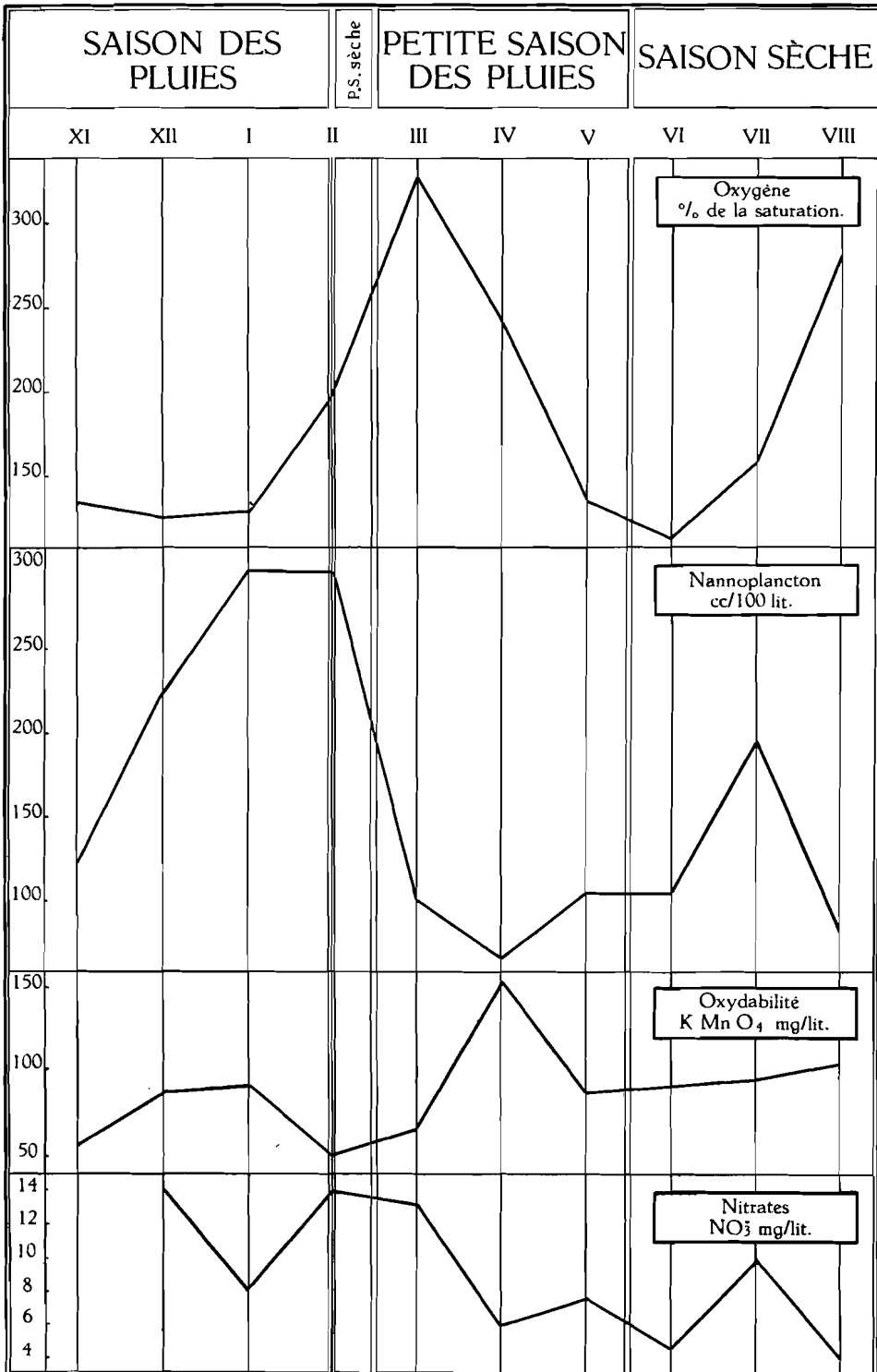


FIG. 13.

TABLE 19.

Oxygène. Moyennes mensuelles.				
Mois	Température °C	Oxygène cc <sup>0</sup> / <sub>100</sub>	Oxygène mg <sup>0</sup> / <sub>100</sub>	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	8,459	12,077	147,63
VIII	24°6	14,710	21,022	252,86

de juin, pendant que le nannoplancton, d'abord décré, 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 <sup>0</sup> / <sub>00</sub>	Oxygène mg <sup>0</sup> / <sub>00</sub>	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 nannoplankton qui en est la cause : « The upper waters always contains chlorophyll-bearing organisms whose numbers vary from a few hundreds 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 dioxide 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 « dégagé » 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 détritibus.

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 cm<sup>3</sup> 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.										
Mois	Saison des pluies			Petite saison sèche	Petite saison des pluies			Saison sèche		
	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. RUTNER (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-

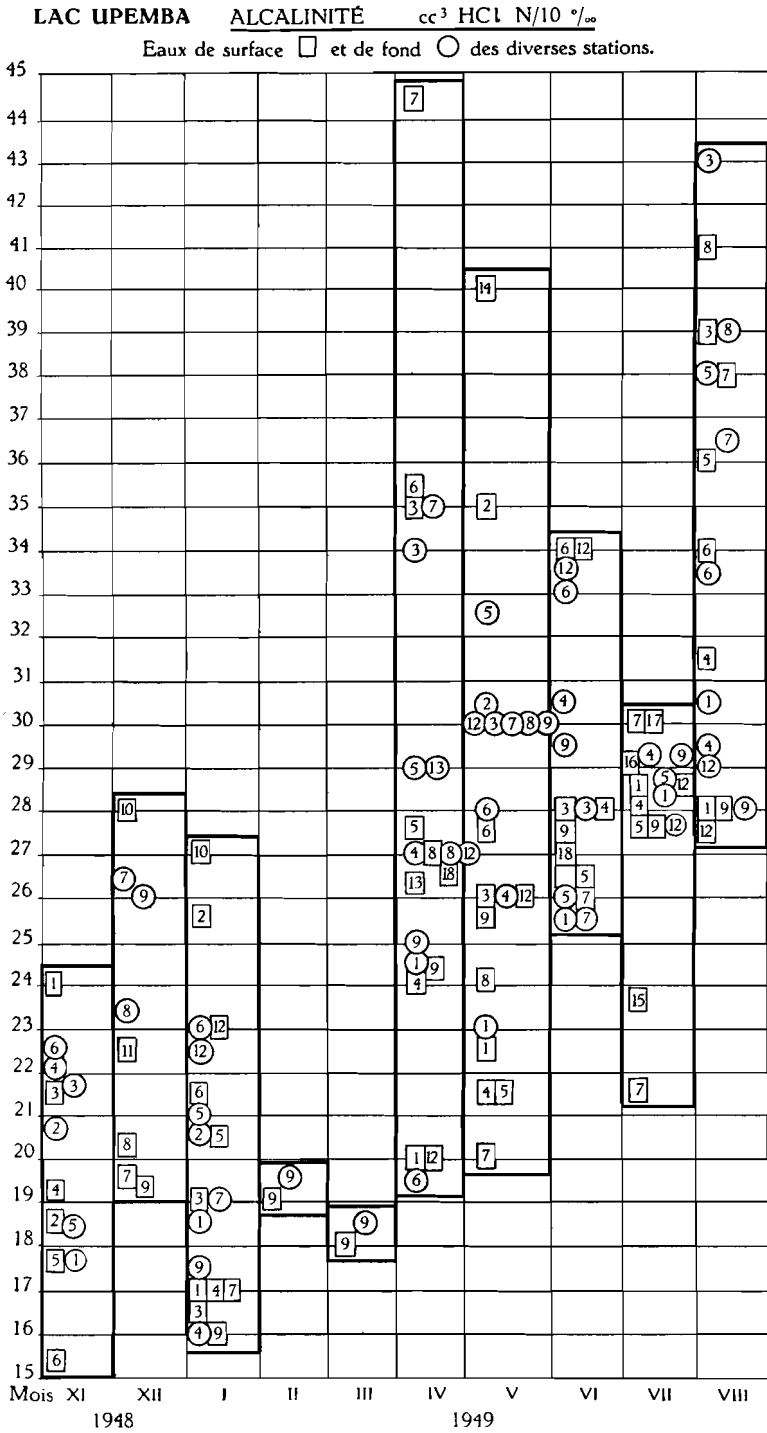


FIG. 14.

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.

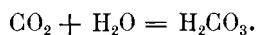
## 2. — ACIDE CARBONIQUE LIBRE. ALCALINITÉ, pH.

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 :

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

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

Si nous admettons qu'en général le  $\text{CO}_2$  a été transformé en entier en  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , on peut dire que le  $\text{CO}_2$  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

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

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

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

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

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

Les équations (4), (5) et (6) nous permettent de calculer les rapports entre  $\text{CO}_2$ , 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.									
$\text{H}^+$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$	$10^{-12}$
$\text{H}_2\text{CO}_3$	99,6	96,6	74,1	22,2	2,8	0,3	-, -	-, -	-, -
$\text{HCO}_3^-$	0,4	3,4	25,9	77,8	96,7	95,2	67,9	17,6	2,1
$\text{CO}_3^{=}$	-, -	-, -	-, -	-, -	0,5	4,5	32,1	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.

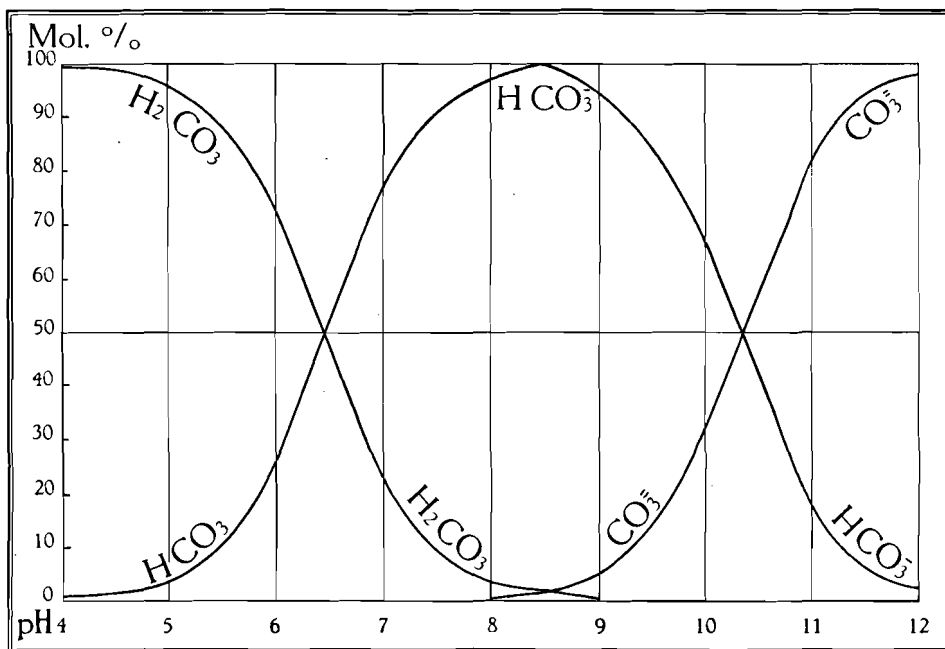


FIG. 15.

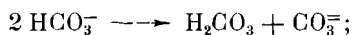
Comme les organismes à chlorophylle et les bactéries autotrophes utilisent l'acide carbonique contenu dans l'eau, on peut trouver dans ce diagramme sous quelle forme, à un pH donné, cet acide carbonique se trouvera à leur disposition. Le fait que beaucoup de plantes à chlorophylle ne parviennent plus 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  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Si donc il faut du  $\text{H}_2\text{CO}_3$  libre pour l'assimilation chlorophyllienne, il sera disponible, en petites quantités, toutefois. Mais, si, pendant l'assimilation,  $\text{H}_2\text{CO}_3$  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 :



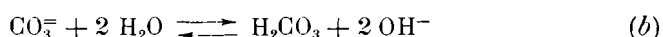
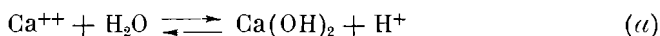
mais, comme la quantité totale d'acide carbonique a diminué, le rapport entre les trois formes d'acide carbonique a changé.

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.

\*  
\*\*

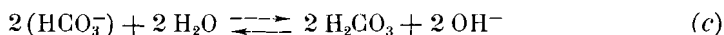
Le  $\text{CaCO}_3$  ne se présente dissous dans les eaux naturelles qu'en minimes quantités de l'ordre de 0,013 g par litre; l'eau ne parvient à en dissoudre de plus fortes quantités qu'en présence d'acide carbonique libre.

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 :

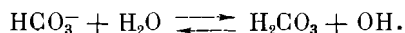


$\text{Ca}(\text{OH})_2$  étant une base relativement forte à dissociation presque complète, la réaction de dissociation (a) ne se produit pas, mais les ions  $\text{OH}^-$  de la réaction (b) confèrent aux solutions de  $\text{CaCO}_3$  une réaction alcaline.

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  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , correspondent deux OH et qu'en (c), à un  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , correspond un OH.

Il en résulte que le nombre des ions OH actuels, dans le cas d'une solution de  $\text{CaCO}_3$ , 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  $\text{CaCO}_3$  et acide libre existent en même temps en solution. On peut en définitive avoir les solutions ou mélanges suivants :

- a)  $\text{CaCO}_3$  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)  $\text{CO}_2$  (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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  dépasse les quantités normalement disponibles et les organismes doivent faire appel aux bicarbonates pour satisfaire leurs besoins en  $\text{CO}_2$ , d'où il résulte une alcalinisation temporaire des couches superficielles.

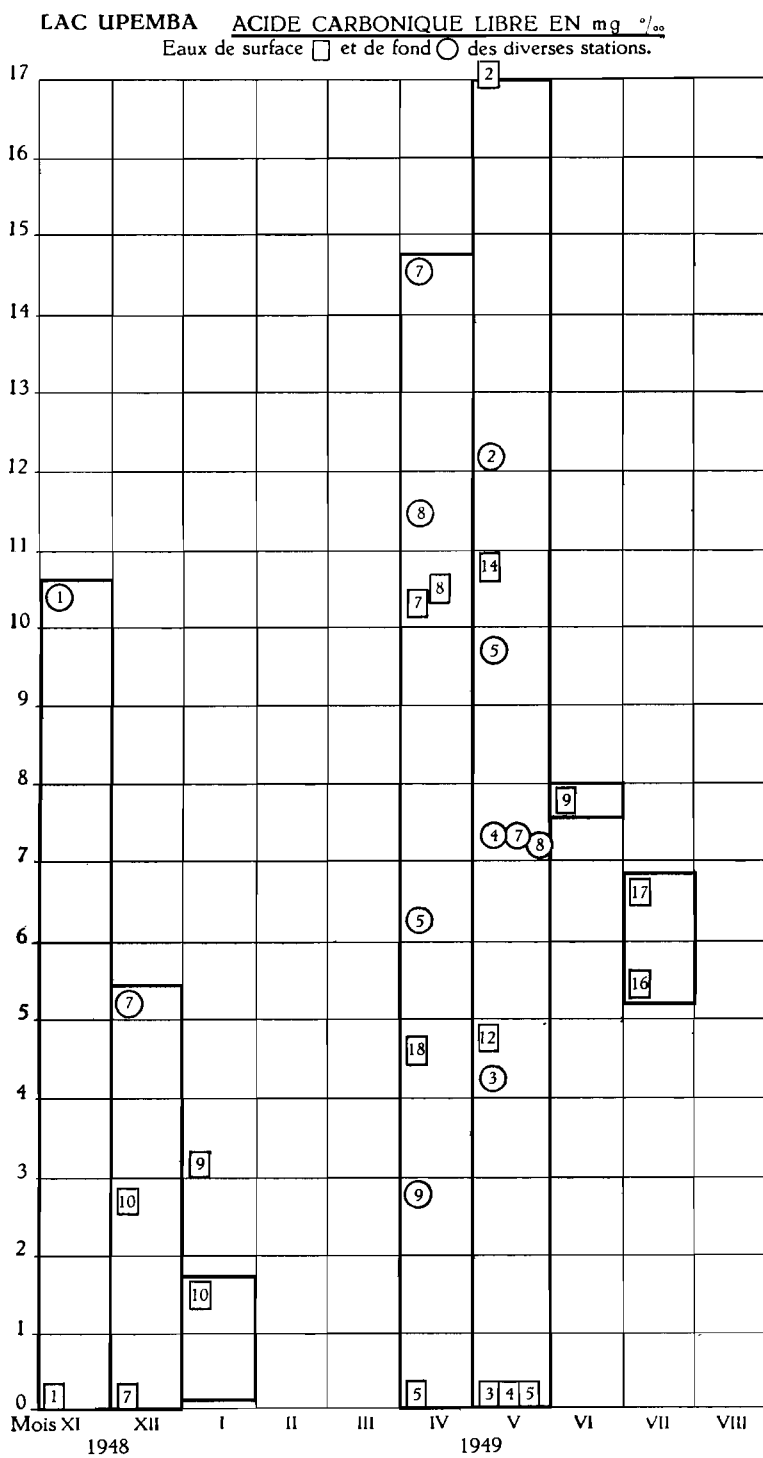


FIG. 16.



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 <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	pH théor.	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>
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.

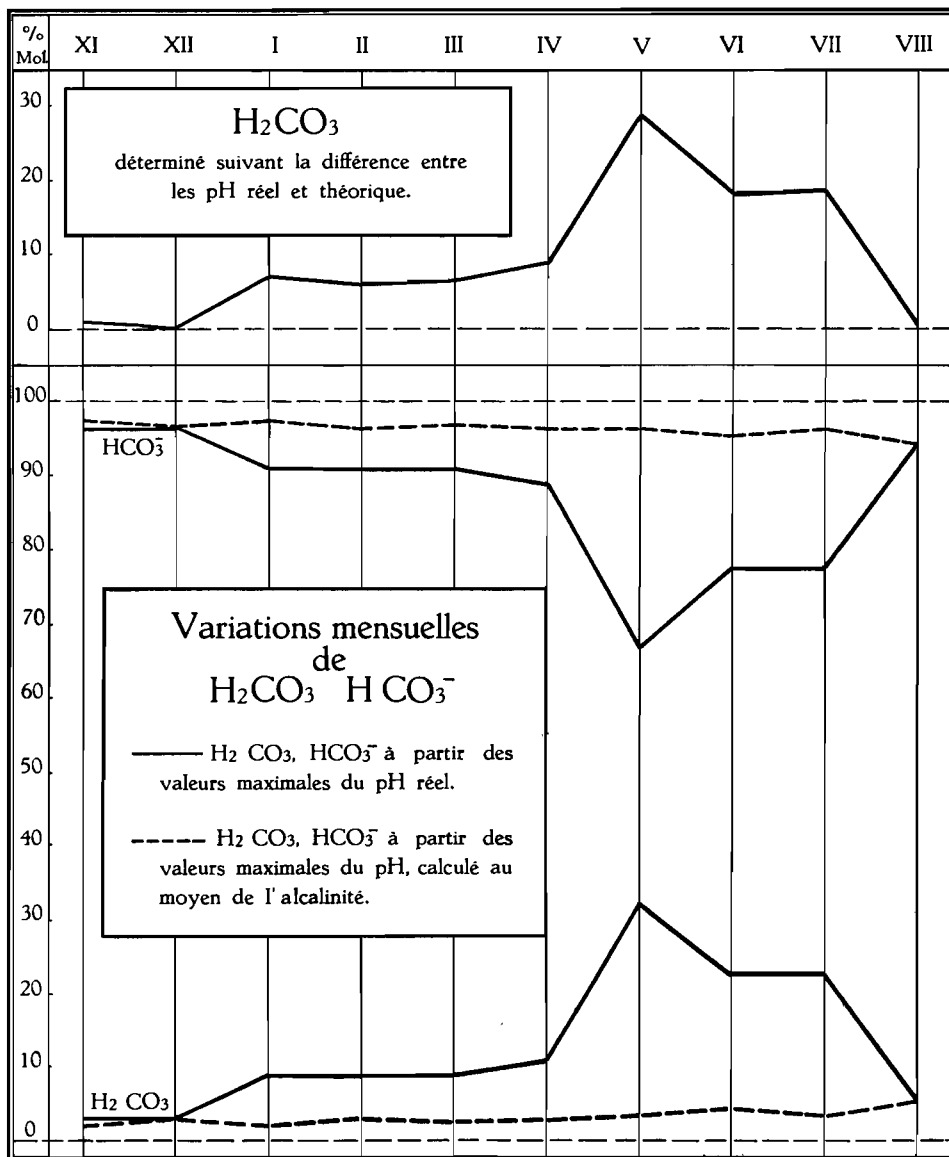


FIG. 26.

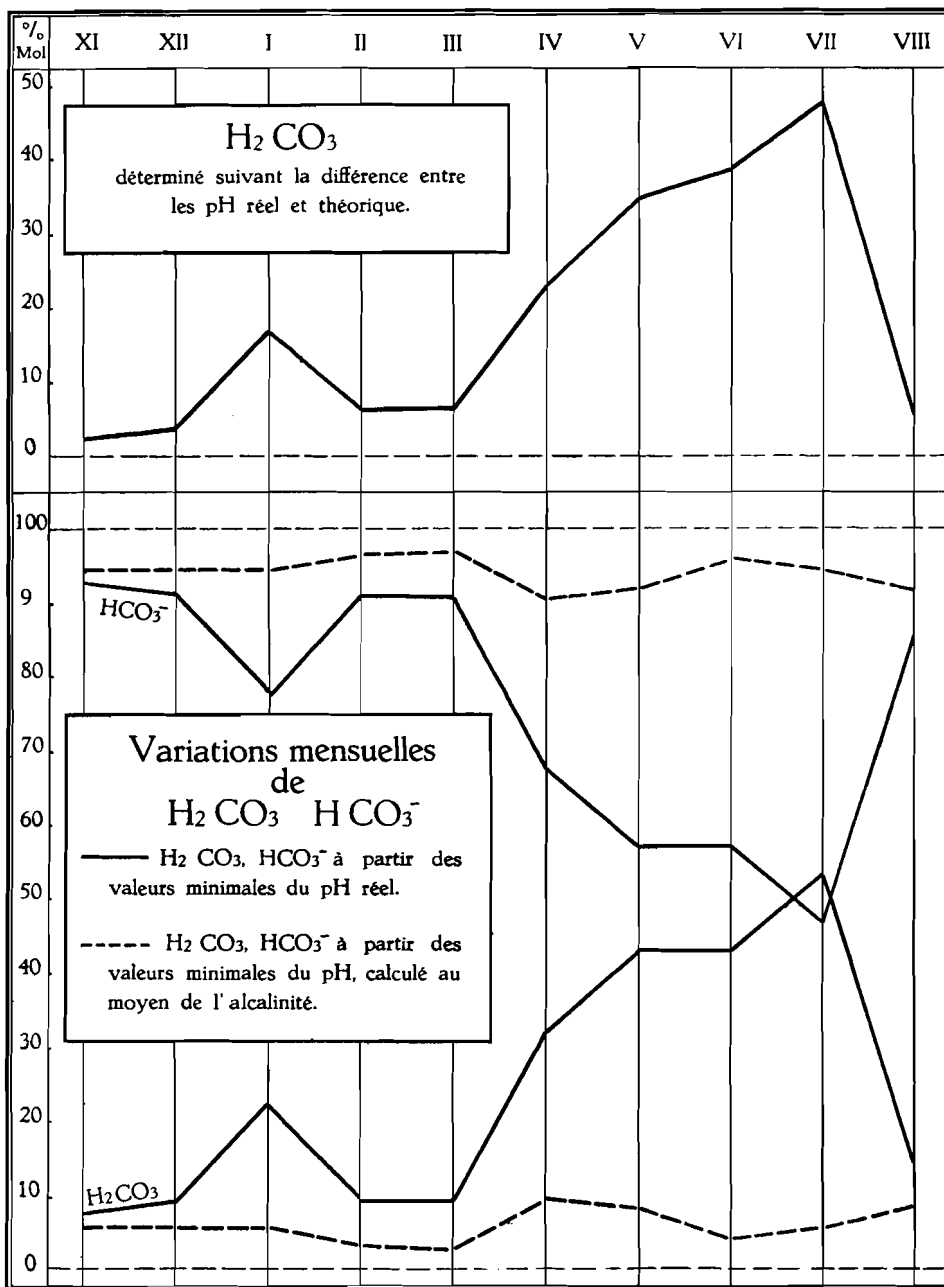


FIG. 27.

Au moyen de l'abaque, d'après L. BAAS-BECKING (fig. 15), j'ai recherché les proportions de  $H_2CO_3$ ,  $HCO_3^-$  et  $CO_3^{=}$  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 CZENSNY. 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)  $CO_3^{=}$  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)  $CO_3^{=}$ . Les valeurs minimales du pH réel sont trop basses pour permettre la présence d'ions  $CO_3^{=}$ .

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  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Si nous comparons cette production de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  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'ALCALINITE.

1° A partir des valeurs maximales du pH :

a)  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . L'allure générale de la courbe est presque rectiligne, avec une très légère pente vers le mois d'août. Partant d'une concentration de 2,66 %,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , après quelques variations minimales en plus ou en moins, aboutit, en août, à une concentration de 5,3 % (Table 36, fig. 26).

b)  $\text{HCO}_3^-$ . 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)  $\text{CO}_3^{=}$  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)  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . 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)  $\text{HCO}_3^-$  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)  $\text{CO}_3^{=}$ . Les valeurs minimales du pH ne permettent pas l'existence de l'ion  $\text{CO}_3^{=}$ .

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  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

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 nannoplancton, 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 phytonannoplancton.

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 phytonannoplancton est basée sur le quotient de l'assimilation exprimé par l'égalité

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

Pour calculer les molécules de  $\text{CO}_2$  assimilées, il faut déterminer la quantité équivalente de  $\text{O}_2$  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  $\alpha$  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  $\text{CO}_2$  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 phytonannoplankton 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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  diffusé à l'intérieur de la cellule est aussitôt assimilé par les chromatophores et ainsi la concentration du  $\text{CO}_2$  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,  $\tau$  le volume moyen,  $\varphi$  la surface moyenne des individus et enfin  $\nu$  leur nombre dans l'unité de volume d'eau, on obtient l'équation

$$\nu S \tau = \nu \varphi \sigma c; \quad (2)$$

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  $\rho$ , 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  $\rho$ . A une valeur déterminée de  $\rho$ ,  $c' = 0$ , 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  $\text{CO}_2$ . 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  $\text{CO}_2$  de l'eau. Comme la surface de saturation du phytonannoplancton est proportionnelle à la concentration en  $\text{CO}_2$  de l'eau, la constante de vitesse du processus de désassimilation doit être proportionnelle à la concentration en  $\text{CO}_2$ .

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  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{CO}_2$ . 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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$ .

On pourrait donc supposer que la multiplication du nannoplancton pourrait être regardée comme limitée par la concentration de l'eau en  $\text{CO}_2$ , puisque les individus ne savent se multiplier qu'au moment où leur surface atteint une valeur proportionnelle à la concentration de l'eau en  $\text{CO}_2$ , les individus ne pouvant se multiplier que lorsque leur surface atteint une valeur propre à la concentration en  $\text{CO}_2$ .

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 sinusoidale; 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 <sub>2</sub> 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 SiO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> et de bicarbonates, et se trouve alors sous forme de SiO<sub>2</sub> 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  $\text{SiO}_2$  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  $\text{SiO}_2$  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	$\text{SiO}_2$ 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  $\text{SiO}_2$  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 <sub>2</sub> en mg/litre et alcalinité en milliéquivalents CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> litre. Eaux de surface.								
Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	2,19	2,01	1,90	1,80	2,83	2,63	2,88	2,72
SiO <sub>2</sub>	100,04	115,79	-, -	68,48	185,11	125,40	-, -	144,45

La solubilité du SiO<sub>2</sub> 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 CO<sub>3</sub><sup>=</sup> en litre, et les teneurs en SiO<sub>2</sub>. A la plus petite alcalinité correspond aussi la plus petite teneur en SiO<sub>2</sub>, soit 68,48 mg-litre et réciproquement; à 2,83 d'alcalinité, 185,11 mg-litre de SiO<sub>2</sub> ont été mesurés.

TABLE 40.

SiO <sub>2</sub> en mg/litre et alcalinité en milliéquivalents CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> litre. Eaux de fond.								
Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	2,52	1,96	1,97	1,86	2,77	2,89	2,77	2,88
SiO <sub>2</sub>	-, -	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 CO<sub>3</sub><sup>=</sup> milliéquivalents-litre corres-

pond à une teneur en silice de 147,66 mg-litre et une alcalinité de 1,97  $\text{CO}_3$ =milliéquivalents-litre à une teneur en silice de 112,35 mg-litre.

Le mécanisme des dissolutions et précipitations successives du  $\text{SiO}_2$  est encore fort peu connu. W. A. OHLE (1934) estime qu'il faut considérer l'action de grandes quantités de  $\text{CO}_2$  comme facteur principal de la précipitation du  $\text{SiO}_2$ .

Si nous comparons les teneurs en  $\text{SiO}_2$  et en  $\text{CO}_2$  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  $\text{MnO}_4\text{K}$  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 <sub>3</sub> K ‰										
Surface	57,56	88,40	92,69	50,56	66,36	152,92	86,58	90,61	94,76	104,66
Fond	82,16	75,84	69,52	85,32	60,04	56,88	57,93	95,57	109,50	134,28
Nitrates mg NO <sub>3</sub> ‰										
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 ‰,

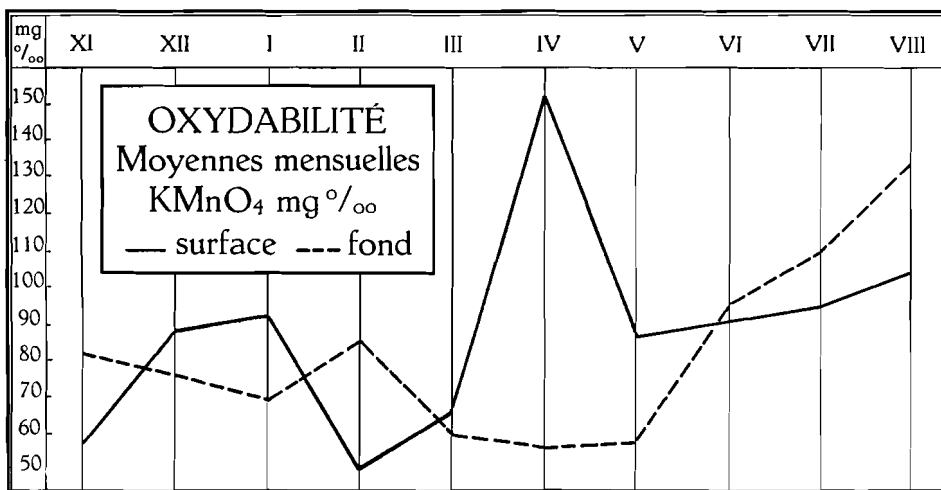


FIG. 28.

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



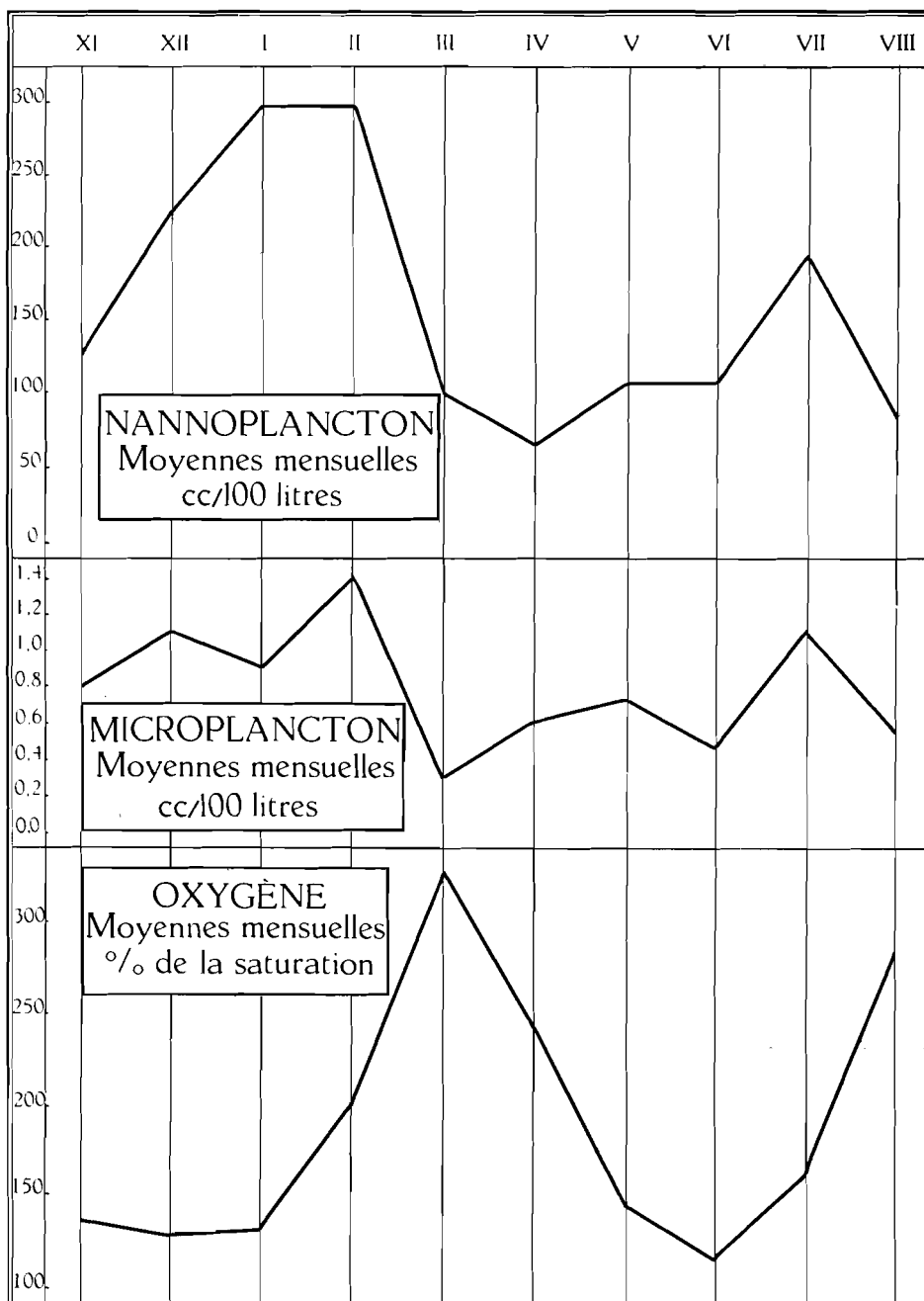


FIG. 29.

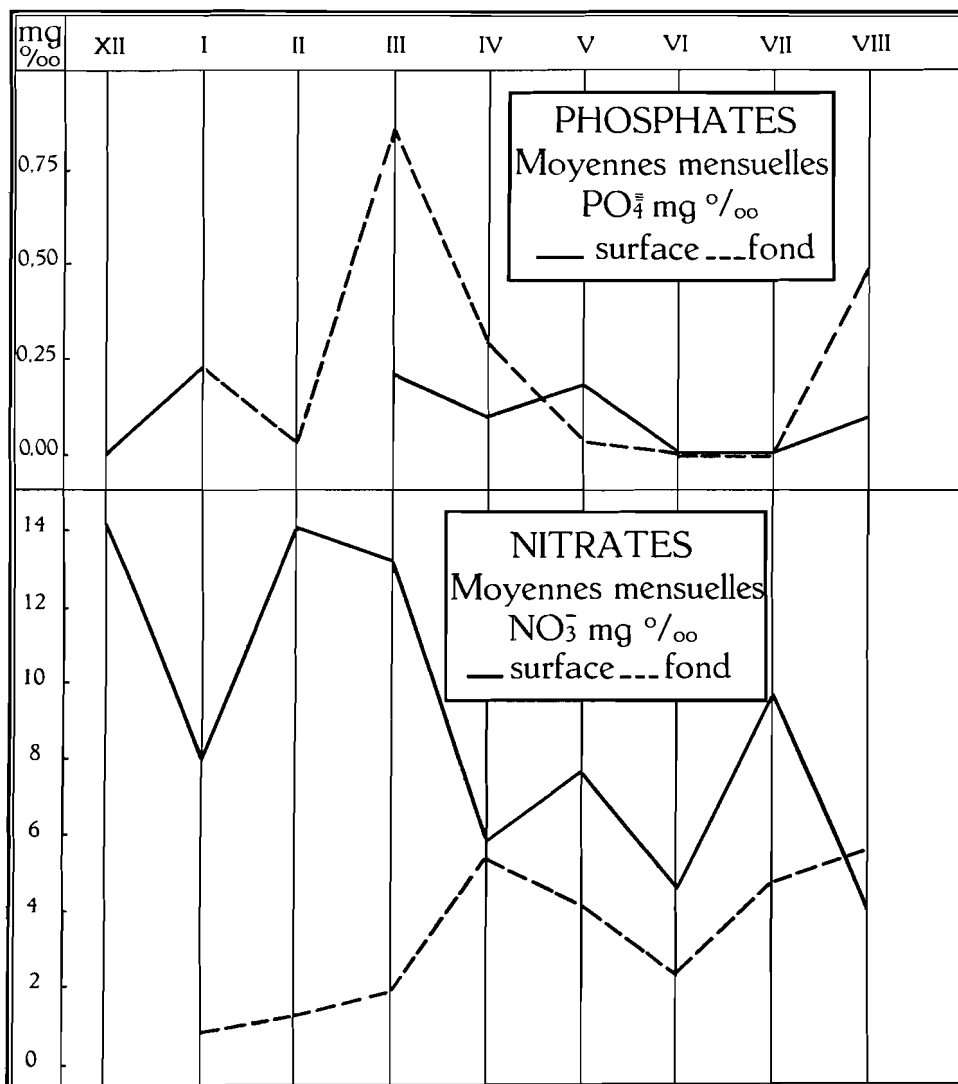


FIG. 30.

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 décréu, 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 <sub>4</sub> <sup>=</sup> 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  $\gamma$  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 Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> est peu soluble dans l'eau distillée exempte de CO<sub>2</sub> (0,74 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par litre); sa solubilité augmente en présence de CO<sub>2</sub>.

L'eau saturée de CO<sub>2</sub> dissout en effet 91,9 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par litre. En présence de Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, la solubilité diminue, car le produit de solubilité (Ca).(CO<sub>3</sub>) est plus grand que le produit de solubilité (Ca)<sub>3</sub>.(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. Lorsqu'il y a un excès de CaCO<sub>3</sub>, la solubilité du phosphate tricalcique diminue; il y a précipitation, tandis que la concentration en ions Ca<sup>++</sup> 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 CaCO<sub>3</sub>, et il sera donc remplacé par cette dernière substance.

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 <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	pH théor.	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>
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.

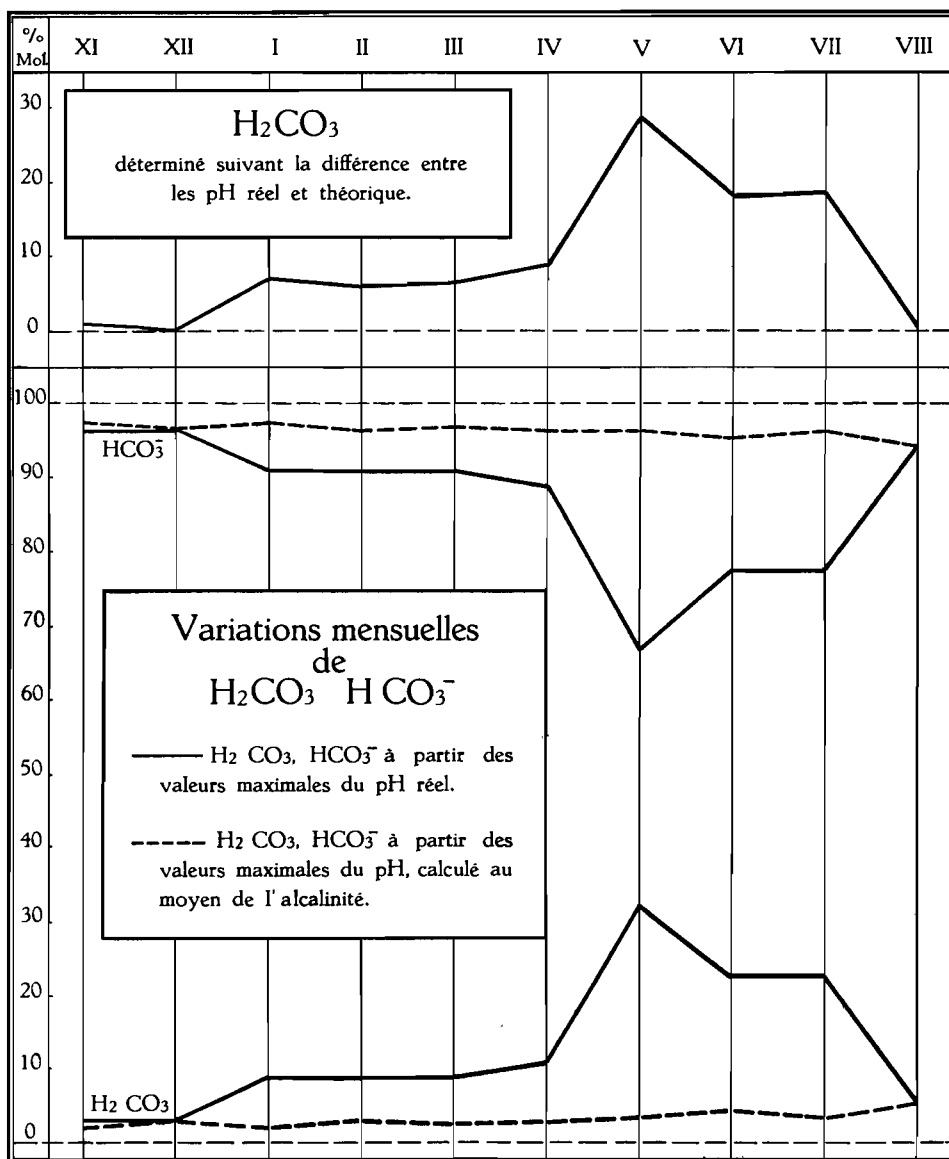


FIG. 26.

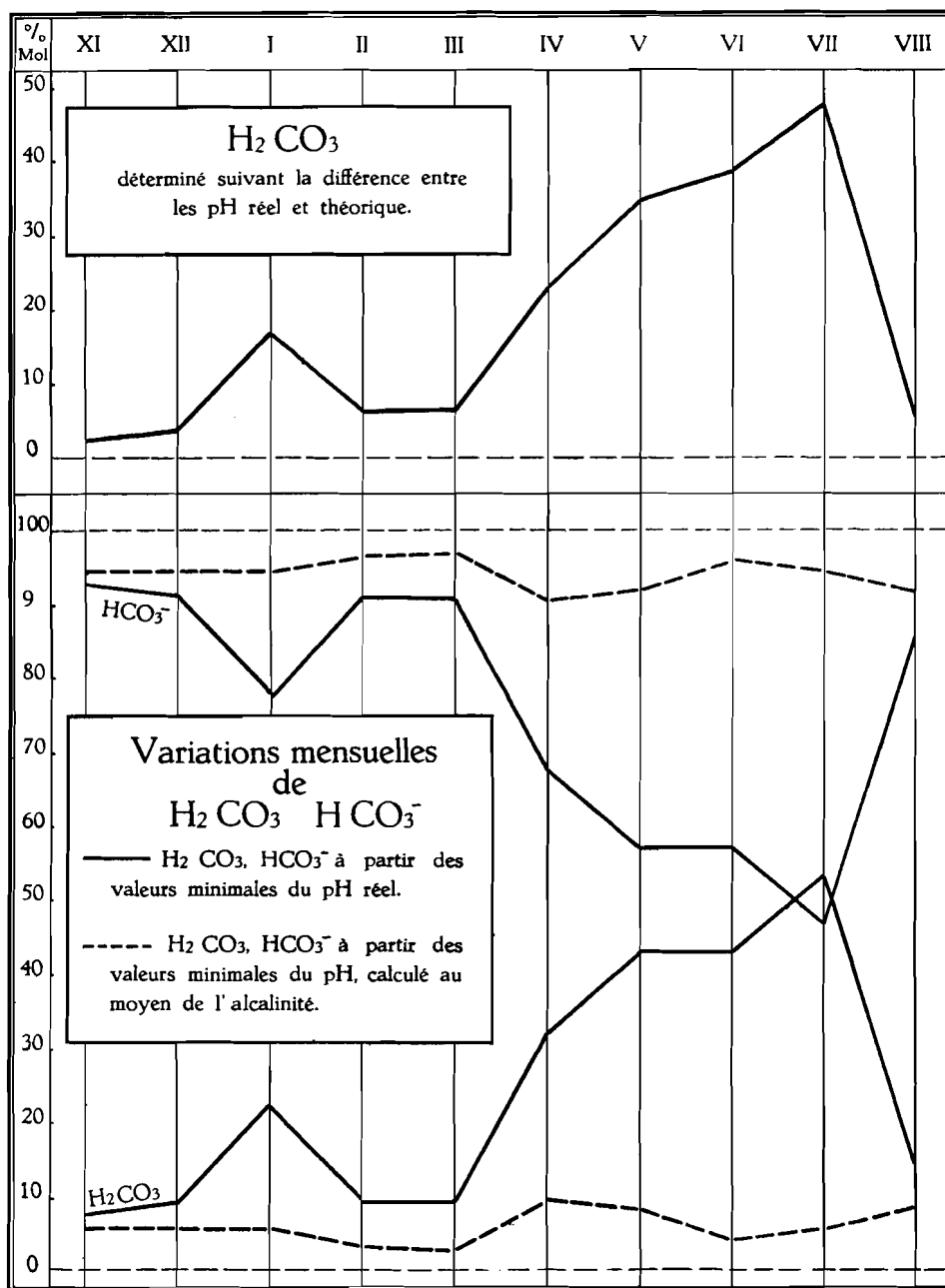


FIG. 27.

Au moyen de l'abaque, d'après L. BAAS-BECKING (fig. 15), j'ai recherché les proportions de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  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 CZENSNY. 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)  $\text{H}_2\text{CO}_3$  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)  $\text{HCO}_3^-$ , 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)  $\text{H}_2\text{CO}_3$  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)  $\text{HCO}_3^-$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Si nous comparons cette production de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  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'ALCALINITE.

1° A partir des valeurs maximales du pH :

a)  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . L'allure générale de la courbe est presque rectiligne, avec une très légère pente vers le mois d'août. Partant d'une concentration de 2,66 %,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , après quelques variations minimales en plus ou en moins, aboutit, en août, à une concentration de 5,3 % (Table 36, fig. 26).

b)  $\text{HCO}_3^-$ . 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)  $\text{CO}_3^{=}$  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)  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . 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)  $\text{HCO}_3^-$  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)  $\text{CO}_3^{=}$ . Les valeurs minimales du pH ne permettent pas l'existence de l'ion  $\text{CO}_3^{=}$ .

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  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

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 nannoplancton, 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 phytonannoplancton.

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 phytonannoplancton est basée sur le quotient de l'assimilation exprimé par l'égalité

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

Pour calculer les molécules de  $\text{CO}_2$  assimilées, il faut déterminer la quantité équivalente de  $\text{O}_2$  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  $\alpha$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  diffusé à l'intérieur de la cellule est aussitôt assimilé par les chromatophores et ainsi la concentration du  $\text{CO}_2$  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,  $\tau$  le volume moyen,  $\varphi$  la surface moyenne des individus et enfin  $\nu$  leur nombre dans l'unité de volume d'eau, on obtient l'équation

$$\nu S \tau = \nu \varphi \sigma c; \quad (2)$$

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  $\rho$ , 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  $\rho$ . A une valeur déterminée de  $\rho$ ,  $c' = 0$ , 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  $\text{CO}_2$ . 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  $\text{CO}_2$  de l'eau. Comme la surface de saturation du phytonannoplancton est proportionnelle à la concentration en  $\text{CO}_2$  de l'eau, la constante de vitesse du processus de désassimilation doit être proportionnelle à la concentration en  $\text{CO}_2$ .

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  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{CO}_2$ . 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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$ .

On pourrait donc supposer que la multiplication du nannoplancton pourrait être regardée comme limitée par la concentration de l'eau en  $\text{CO}_2$ , puisque les individus ne savent se multiplier qu'au moment où leur surface atteint une valeur proportionnelle à la concentration de l'eau en  $\text{CO}_2$ , les individus ne pouvant se multiplier que lorsque leur surface atteint une valeur propre à la concentration en  $\text{CO}_2$ .

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 sinusoidale; 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 <sub>2</sub> 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 SiO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> et de bicarbonates, et se trouve alors sous forme de SiO<sub>2</sub> 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  $\text{SiO}_2$  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  $\text{SiO}_2$  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	$\text{SiO}_2$ 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  $\text{SiO}_2$  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 <sub>2</sub> en mg/litre et alcalinité en milliéquivalents CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> litre. Eaux de surface.								
Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	2,19	2,01	1,90	1,80	2,83	2,63	2,88	2,72
SiO <sub>2</sub>	100,04	115,79	-, -	68,48	185,11	125,40	-, -	144,45

La solubilité du SiO<sub>2</sub> 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 CO<sub>3</sub><sup>=</sup> en litre, et les teneurs en SiO<sub>2</sub>. A la plus petite alcalinité correspond aussi la plus petite teneur en SiO<sub>2</sub>, soit 68,48 mg-litre et réciproquement; à 2,83 d'alcalinité, 185,11 mg-litre de SiO<sub>2</sub> ont été mesurés.

TABLE 40.

SiO <sub>2</sub> en mg/litre et alcalinité en milliéquivalents CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> litre. Eaux de fond.								
Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	2,52	1,96	1,97	1,86	2,77	2,89	2,77	2,88
SiO <sub>2</sub>	-, -	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 CO<sub>3</sub><sup>=</sup> milliéquivalents-litre corres-

pond à une teneur en silice de 147,66 mg-litre et une alcalinité de 1,97  $\text{CO}_3$ =milliéquivalents-litre à une teneur en silice de 112,35 mg-litre.

Le mécanisme des dissolutions et précipitations successives du  $\text{SiO}_2$  est encore fort peu connu. W. A. OHLE (1934) estime qu'il faut considérer l'action de grandes quantités de  $\text{CO}_2$  comme facteur principal de la précipitation du  $\text{SiO}_2$ .

Si nous comparons les teneurs en  $\text{SiO}_2$  et en  $\text{CO}_2$  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  $\text{MnO}_4\text{K}$  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 <sub>3</sub> K ‰										
Surface	57,56	88,40	92,69	50,56	66,36	152,92	86,58	90,61	94,76	104,66
Fond	82,16	75,84	69,52	85,32	60,04	56,88	57,93	95,57	109,50	134,28
Nitrates mg NO <sub>3</sub> ‰										
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 ‰,

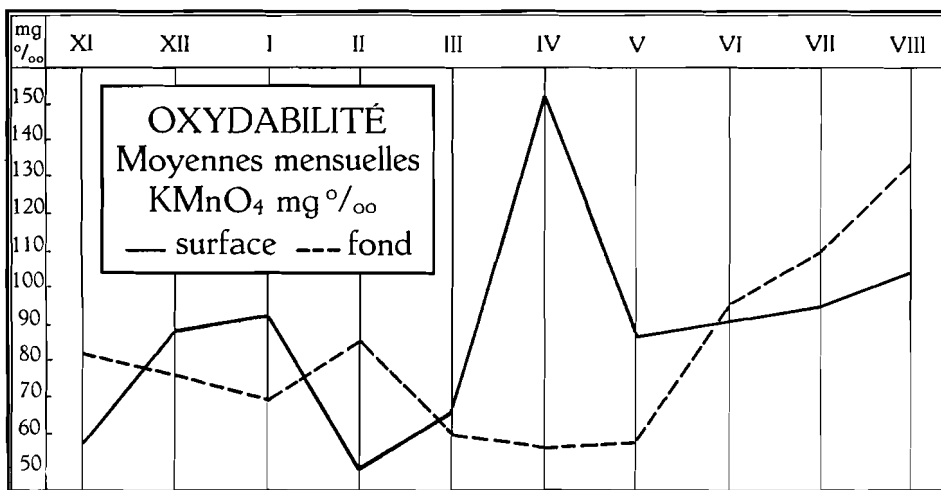


FIG. 28.

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

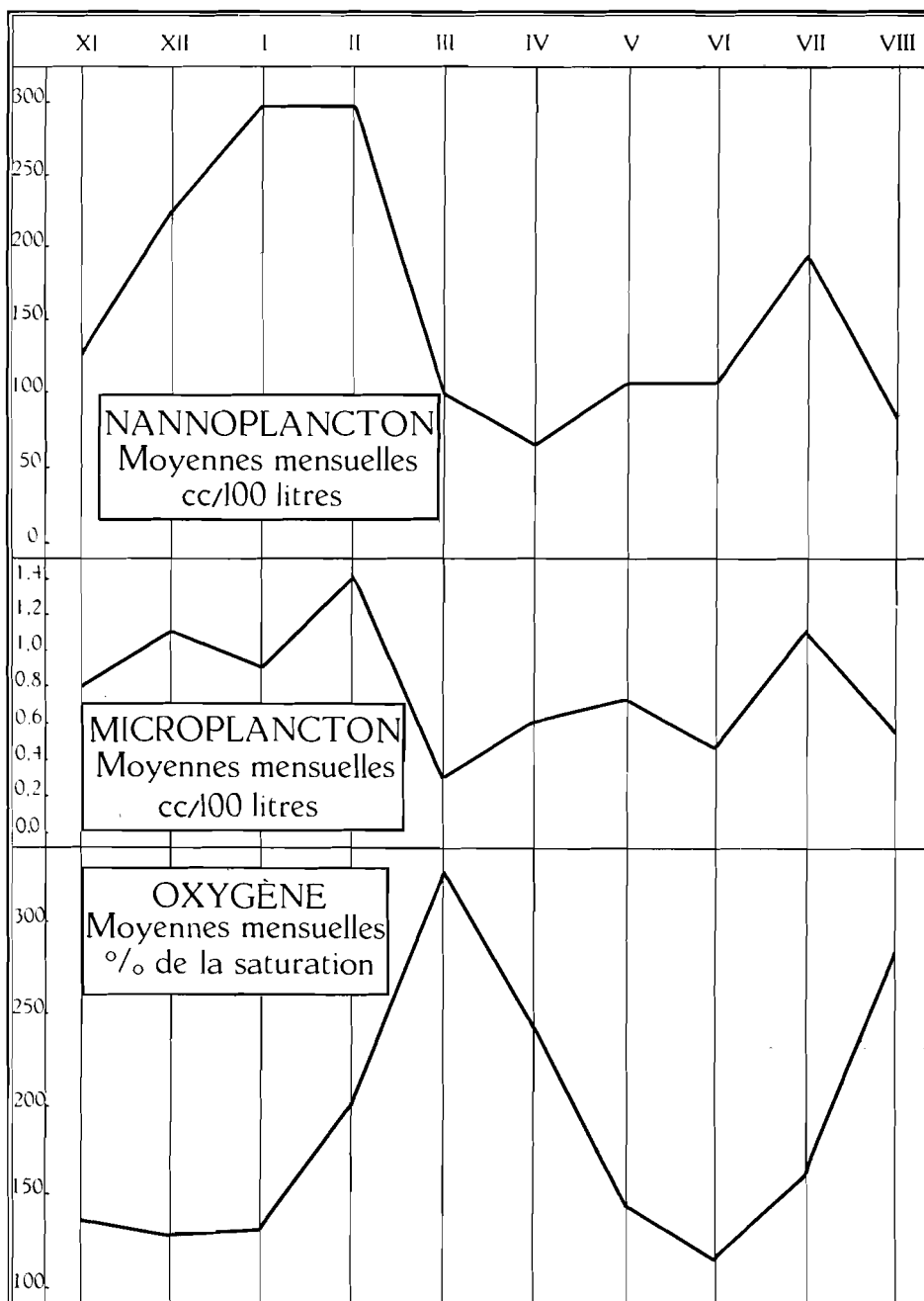


FIG. 29.

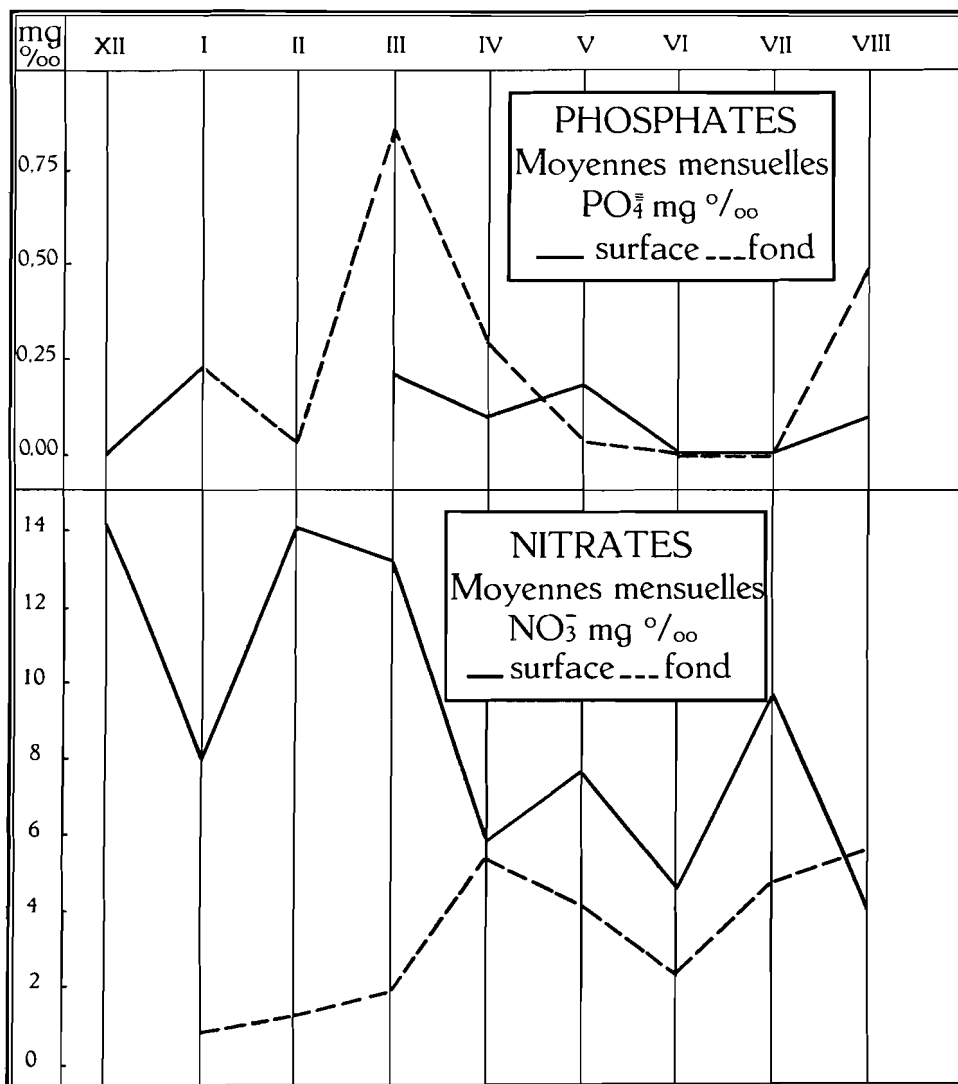


FIG. 30.

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 décréu, 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 <sub>4</sub> <sup>≡</sup> 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  $\gamma$  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 Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> est peu soluble dans l'eau distillée exempte de CO<sub>2</sub> (0,74 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par litre); sa solubilité augmente en présence de CO<sub>2</sub>.

L'eau saturée de CO<sub>2</sub> dissout en effet 91,9 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par litre. En présence de Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, la solubilité diminue, car le produit de solubilité (Ca).(CO<sub>3</sub>) est plus grand que le produit de solubilité (Ca)<sub>3</sub>.(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. Lorsqu'il y a un excès de CaCO<sub>3</sub>, la solubilité du phosphate tricalcique diminue; il y a précipitation, tandis que la concentration en ions Ca<sup>++</sup> 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 CaCO<sub>3</sub>, et il sera donc remplacé par cette dernière substance.



On sait, d'autre part, que les plantes utilisent le  $\text{CO}_2$  des bicarbonates au cours du processus de l'assimilation chlorophyllienne et qu'il en résulte une précipitation de  $\text{CaCO}_3$ . 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  $\text{CO}_2$  à l'eau, cause ainsi la précipitation de  $\text{CaCO}_3$  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  $\text{PO}_4$  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

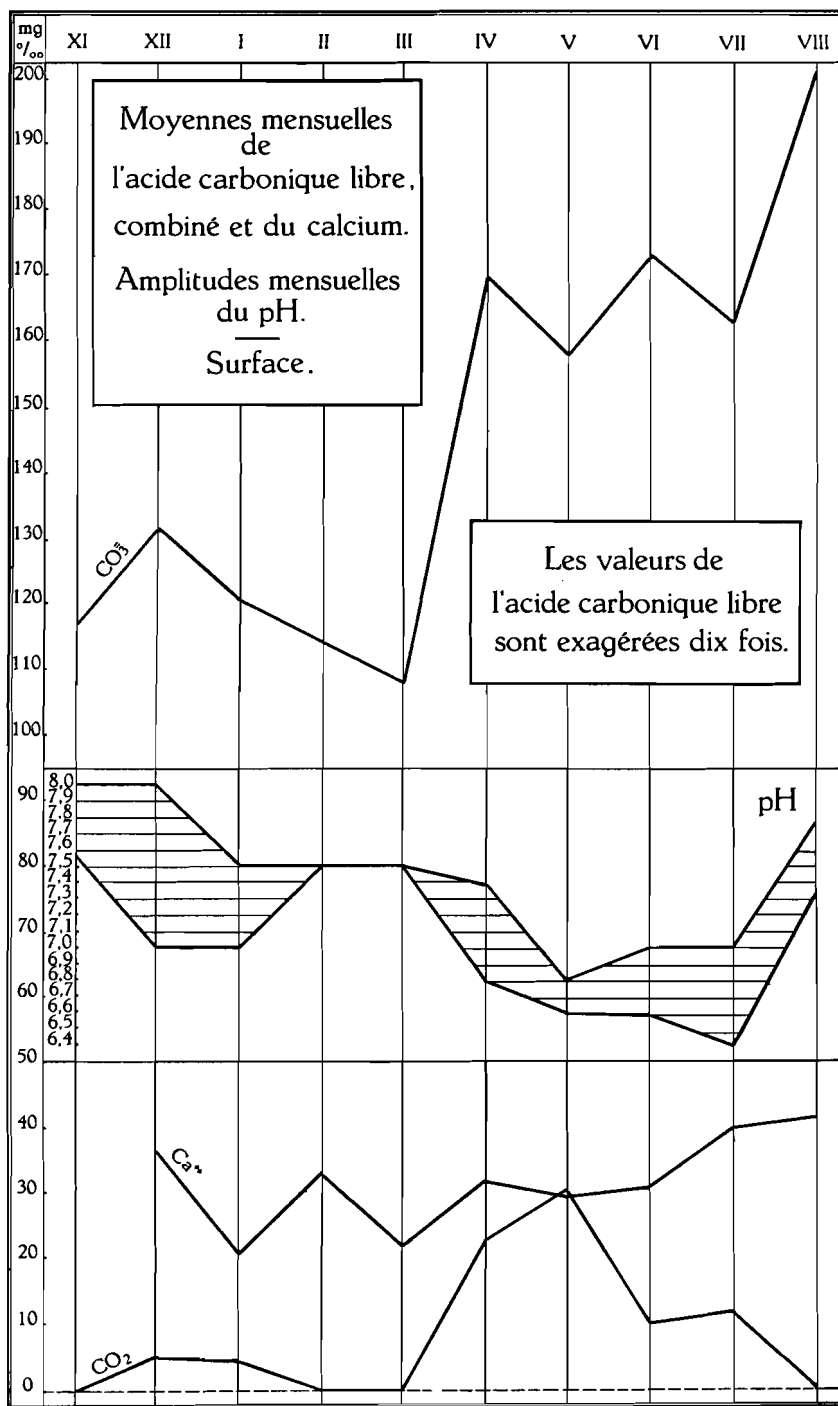


FIG. 31.

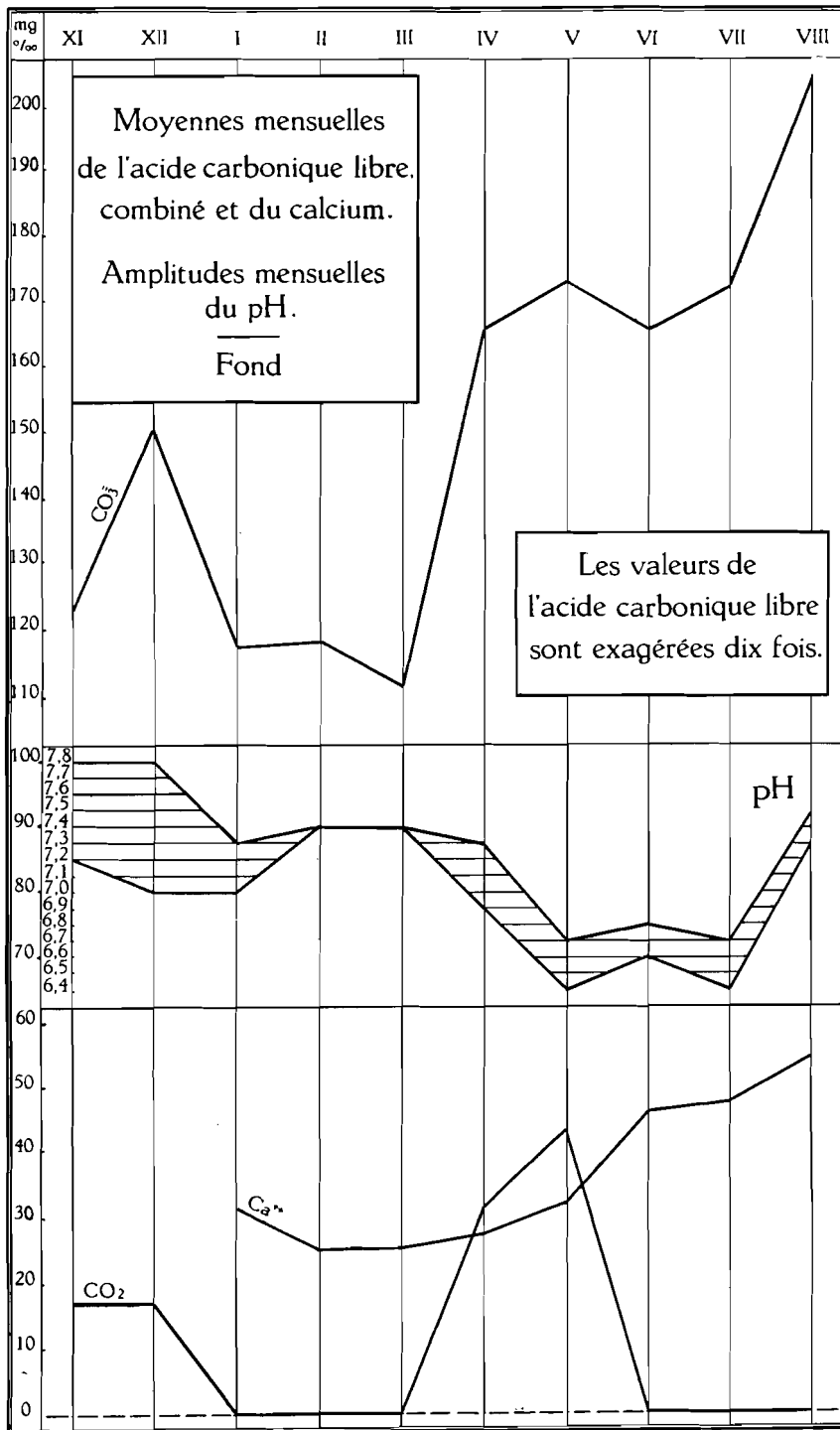


FIG. 32.

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 nucléoprotéides. 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 phosphore. 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).

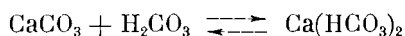
## 6. — CALCIUM.

L'ion  $\text{Ca}^{++}$  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  $\text{CO}_2$ .

Les quantités de  $\text{Ca}^{++}$  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  $\text{Ca}^{++}$  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  $\text{Ca}^{++}$  par mois en même temps que les valeurs correspondantes en  $\text{CaCO}_3$  obtenues en multipliant les quantités de  $\text{Ca}^{++}$  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  $\text{CO}_2$ , GMELIN et KRAUT (1911) ont établi les solubilités à différentes températures et estiment qu'une solution aqueuse contenant 10 à 15 mg de  $\text{CaCO}_3$  au litre doit être considérée comme saturée. Mais, lorsque  $\text{CaCO}_3$  est mis en présence d'une eau contenant du  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère de 0,000504 at, 1 litre d'eau à 16° C dissout 60,96 mg de  $\text{CO}_2$  et contient alors 74,6 mg de  $\text{CaCO}_3$ .

TABLE 43.

Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Calcium en mg <sup>o</sup> / <sub>100</sub> 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 <sub>3</sub> 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 CO<sub>2</sub> si la seule source de ce dernier était le CO<sub>2</sub> atmosphérique. Mais les processus biologiques, comme la dégradation de la matière organique morte, la respiration des animaux aquatiques apportent des quantités parfois considérables de CO<sub>2</sub> qui faciliteront la mise en solution de nouvelles quantités de CaCO<sub>3</sub>.

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 CaCO<sub>3</sub>.

Dans une solution, à une température déterminée, saturée de calcium pur, le produit de dissolution (Ca<sup>++</sup>). (CO<sub>3</sub><sup>=</sup>), produit de la concentration respective de l'ion (Ca<sup>++</sup>) et de l'ion (CO<sub>3</sub><sup>=</sup>), est une constante, indépendamment de la teneur en CO<sub>2</sub> 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  $\text{Ca}^{++}$  ou  $\text{CO}_3^{=}$  de n'importe quelle source, en prenant soin toutefois de déterminer la concentration ionique actuelle.

La concentration en  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ( $\text{CO}_2$  « libre ») est réglée par la pression partielle (P) ou proportion de  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (donc avec P), par le fait que cette dernière détermine la proportion d'ion carbonate ( $\text{CO}_3^{=}$ ), d'ion hydrocarbonate ( $\text{HCO}_3^{-}$ ) et d'ion hydroxyde ( $\text{OH}^{-}$ ) en accord avec les expressions mathématiques définies, et, puisque le produit de solubilité  $(\text{Ca}^{++}).(\text{CO}_3^{=})$  demeure constant,  $(\text{Ca}^{++})$  doit varier en raison inverse du  $(\text{CO}_3^{=})$ . 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  $(\text{Ca}^{++}).(\text{CO}_3^{=})$  atteigne sa valeur caractéristique.

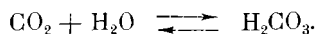
Le produit de solubilité constant du calcite diminue avec l'accroissement de la température et n'est pas affecté dans une grande mesure par les variations de la pression hydrostatique.

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.

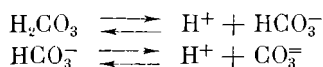
L'assimilation chlorophyllienne du phytoplancton et des hydrophytes est à la base de ce phénomène, car l'absorption du  $\text{CO}_2$  des bicarbonates a pour conséquence immédiate la précipitation du carbonate de calcium que l'on retrouve soit sous forme d'incrustation sur les hydrophytes ou au sein 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  $\text{HCO}_3^-$  diminue et sa dissociation augmente. L'équilibre se déplace vers la droite et cela d'autant plus rapidement que la quantité d'ions  $\text{HCO}_3^-$  diminue. La solution s'enrichit de cette manière en ions  $\text{CO}_3^{=}$ . Le produit  $(\text{Ca}^{++}) \cdot (\text{CO}_3^-)$  augmente. Lorsque la valeur dépasse celle d'une solution saturée, il y a précipitation de  $\text{CaCO}_3$ .

Cette représentation est basée sur les variations de la concentration en  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{CO}_2$  en dépend.

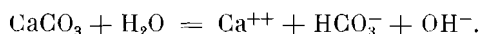
On peut dire avec L. MINDER que cette décalcification biologique et plus spécialement planctogène n'est pas rare dans les lacs et qu'elle est d'un intérêt primordial aussi bien pour le biologiste que pour le géologue et qu'elle est une propriété caractéristique des lacs du type eutrophe.

La décalcification n'a pas seulement lieu par l'intermédiaire du phytoplancton 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

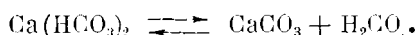
située à la fin de la saison sèche avec un léger empiètement sur la saison des pluies. Ce qui semble d'ailleurs se confirmer par la tendance du pH à se déplacer vers la zone alcaline au mois d'août (fig. 31 et 32).

TABLE 44.

Balance de l'acide carbonique.									
Mois	Ca <sup>++</sup> mg/l	CaCO <sub>3</sub> mg/l	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> mg/l	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> méq/l	Mg <sup>++</sup> mg/l	MgCO <sub>3</sub> mg/l	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> mg/l	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> méq/l	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> 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

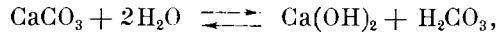
Durant les mois de septembre et d'octobre la situation semble avoir été la suivante :

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 :



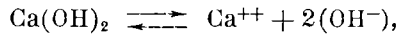


Le carbonate s'est hydrolysé en partie :



avec, dans les deux cas, absorption du  $\text{H}_2\text{CO}_3$  au cours de l'élaboration chlorophyllienne.

L'hydrolyse de l'hydroxyde de calcium donne ensuite



ions ( $\text{OH}^-$ ) 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 nannoplancton et les teneurs en magnésium.

TABLE 45.

Mois	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
<b>Magnésium en mg <sup>0</sup>/<sub>100</sub></b>									
<b>Moyennes mensuelles.</b>									
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
<b>Mg CO<sub>3</sub> en mg <sup>0</sup>/<sub>100</sub>.</b>									
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 nannoplancton (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 nannoplancton correspondent des minima de Mg et inversement. A mesure que le nannoplancton 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 <sup>0</sup>/<sub>100</sub>. 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.

## CHAPITRE IV.

**LES FACTEURS COSMIQUES. LES RADIATIONS.**

L'influence des radiations solaires est d'une importance tellement considérable sur les eaux d'un lac de l'espèce du lac Upemba, que son étude doit être faite séparément, alors que, logiquement, elle aurait dû être exposée ensemble avec les facteurs physiques.

Cette influence sur une partie du chimisme aquatique est telle qu'elle m'oblige à la traiter après l'étude des facteurs chimiques, ces derniers devant être connus avant de pouvoir aborder le problème dans son ensemble.

Un certain nombre de limnologues ont étudié l'action des radiations solaires totales sur les eaux lacustres ou marines; certains même ont fait des recherches sur des rayons de longueur d'onde déterminée, généralement dans la région visible du spectre, mais il semble que peu d'entre eux aient recherché leur influence réelle et en ont dégagé le retentissement profond sur le métabolisme de certaines eaux naturelles.

Il est vrai que peu d'auteurs ont eu l'occasion d'étudier des eaux tropicales, telles qu'en renferme le lac Upemba, qui offrent au limnologue un biotope tout à fait particulier, comparable en rien à ceux qu'on connaît généralement.

Je ne désire pas ériger en loi les conclusions des pages qui suivent, trop peu de recherches ayant été faites sur l'influence des radiations sur le métabolisme des eaux, et il sera nécessaire d'expérimenter sur une échelle beaucoup plus vaste, afin d'arriver à la connaissance complète de cette influence.

L'examen approfondi des chiffres analytiques en ce qui concerne l'oxygène et la productivité de certains lacs en phyto- et phytonannoplancton montre qu'il faut chercher l'anomalie apparente de certains phénomènes autre part que dans les connaissances normales de la physico-chimie ou les propriétés limnologiques généralement admises de ces lacs, mais qu'il faut aborder le problème du point de vue de la physique pure et de la photochimie.

Dans les chapitres précédents, j'ai admis jusqu'ici que la sursaturation en oxygène, qui, dans le lac qui nous occupe, dépasse de loin les valeurs enregistrées normalement dans les lacs étudiés, serait due à l'action de la fonction chlorophyllienne, poussée à l'extrême, de ces organismes nannoplanctoniques.

A l'examen, je n'ai pu admettre que difficilement la stabilité de telles quantités d'oxygène libre, en solution, à des températures ambiantes aussi élevées d'une eau lacustre, comme le lac Upemba. En outre, le fait des trente jours d'intervalle entre la production maximale du phytonannoplancton et

la teneur maximale en oxygène était si difficile à expliquer que j'ai cherché ailleurs une cause possible à cette accumulation et le mécanisme de cette dernière.

Aux fins de savoir d'où pouvait provenir cette sursaturation et si elle est bien imputable aux éléments du phytonannoplancton, je me suis livré à une série de calculs, trop longs à exposer ici. Il semble qu'il y ait une différence notable entre la quantité d'oxygène produite par les organismes du plancton et la quantité mesurée réellement.

\*  
\*\*

Ne devrait-on pas, dans ce cas tellement particulier, se rappeler les anciennes recherches de A. COEHN (1910), A. COEHN et G. GROTE (1913), H. THIELE (1908) et M. KERNBAUM (1909), récemment reprises par E. I. RABINOWITSCH (1945) dans son ouvrage monographique au sujet de la photosynthèse ?

Plusieurs auteurs ont étudié la présence du peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$  dans l'air atmosphérique et dans les eaux naturelles, notamment C. SCHÖNBEIN (1869), SCHMIDT (1869), STRUVE (1869), H. MEISSNER (1863), E. SCHÖNE (1893 et 1894).

D'après ce dernier auteur, on rencontrerait presque toujours l'eau oxygénée dans la pluie, la teneur étant plus forte en été (avec un maximum constaté en juillet entre midi et 16 heures). Elle croît avec la chaleur et la clarté du ciel et varie en raison inverse de la dispersion des gouttes. E. SCHÖNE attribue aux radiations solaires l'origine de l'eau oxygénée dans les précipitations atmosphériques.

L'action photochimique des radiations solaires a intéressé beaucoup de chercheurs. Tous sont unanimes à montrer que sous l'influence des rayons ultra-violetts d'une lampe à mercure en quartz, l'eau se décompose en donnant de l'eau oxygénée et de l'hydrogène.

A. TIAN (1915) a trouvé que l'ultra-violet s'étendant entre 2.500 Å et 3.000 Å décompose l'eau oxygénée, tandis qu'elle se forme au contraire pour les longueurs d'onde extrêmement courtes et inférieures à 1.900 Å. L'hydrogène et l'oxygène dégagés par ces deux réactions peuvent d'ailleurs s'unir avec formation d'eau oxygénée.

La production de celle-ci est favorisée par les très courtes longueurs d'onde et l'emploi de couches d'eau fort minces (E. WARBURG, 1915).

K. V. CHARITSCHKOFF (1910) prétend que, exposée à une lumière brillante, l'eau contenant de l'oxygène dissous renferme, au bout de quelques jours, de l'eau oxygénée. L'air dissous donne une réaction négative.

G. BARBAUDY (1931) passe en revue, dans le *Traité de Chimie minérale* de P. PASCAL, les principaux travaux qui ont été faits dans cet ordre d'idées.

Enfin, C. ELLIS et A. A. WELLS (1941), dans leur grand ouvrage sur l'action chimique des rayons ultra-violet, s'intéressent aussi à la question : « L'eau est relativement traversée par les rayons ultra-violet pour des longueurs d'onde plus grandes que 1950 Å, mais pour les valeurs inférieures, ce pouvoir décroît rapidement » [K. TSUKAMOTO (1928), E. O. HULBURT et L. H. DAWSON (1924-1928)]; d'autres auteurs avaient déjà montré dans des travaux antérieurs que les rayons ultra-violet, et même les rayons solaires, pouvaient occasionner la décomposition de l'eau pure exempte d'oxygène avec la production d'eau oxygénée. Des recherches ultérieures ont montré cependant que seulement des rayons d'une longueur d'onde déterminée (1.900 Å) étaient capables de produire un certain effet [A. TIAN (1913), J. HOUBEN et W. FISCHER (1928-1929); A. COEHN (1910)].

A. TIAN a déclaré que l'oxygène dissous dans l'eau est capable de réagir avec l'hydrogène libéré au cours de la décomposition primaire pour former du peroxyde d'hydrogène. De l'ozone produit à partir de l'oxygène pourrait réagir ensuite avec l'eau oxygénée (M. KERNBAUM, 1929). Mais il ajoute : « de nouvelles recherches seraient nécessaires ».

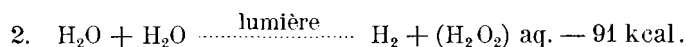
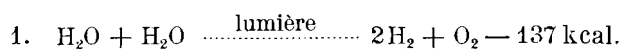
Par contre, si à 1.900 Å il y a production de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, la lumière vive accélère la décomposition de l'eau oxygénée produite (D. DAWSON et H. BLUNT, 1879; D'ARCY, 1901), comme les radiations issues d'une lampe à vapeur de mercure, mais la décomposition s'arrête quand on cesse l'exposition. La destruction photochimique de l'eau oxygénée dans l'ultra-violet a été étudiée par V. HENRY et A. WURMSER (1913), ainsi que par J. H. MATHEWS et H. A. CURTIS (1914). La vitesse de décomposition est proportionnelle à la concentration et à l'énergie incidente de chaque radiation. Elle est retardée par la présence d'une base ou d'un acide. La photolyse de l'eau oxygénée peut être empêchée par des substances variées, minérales ou organiques, comme l'ont montré J. H. MATHEWS et H. A. CURTIS (1914).

\*  
\*\*

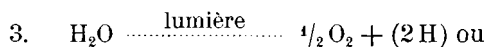
Après ce rappel de quelques considérations préliminaires, voyons maintenant quelle est l'action des rayons ultra-violet sur l'eau naturelle à l'air libre.

Les physiciens et les physico-chimistes ne se sont guère occupés de la question telle que je l'envisage ici. Néanmoins leurs expériences de laboratoire peuvent avoir un retentissement profond sur les divers problèmes qui nous occupent.

D'après les recherches de divers auteurs, l'eau peut libérer de l'oxygène par autooxydation d'après les équations :



ou bien au moyen d'une réaction d'oxydo-réduction en présence d'un accepteur capable de retenir l'hydrogène :



dans lesquelles les parenthèses indiquent l'accepteur.

Ces réactions peuvent se produire par absorption directe par l'eau des rayons ultra-violet, ou elles peuvent être sensibilisées. Si, dans les réactions 2, 3 et 4, l'accepteur lui-même est l'organisme absorbant la lumière, la réaction est une photooxydation de l'accepteur, plutôt qu'une photocatalyse réelle et ne peut être appelée que sensibilisée.

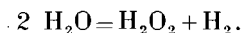
La décomposition photochimique directe de la vapeur d'eau en hydrogène et oxygène d'après la réaction 3 a été décrite par A. COEHN (1910) et en 1912 par A. COEHN et G. GROTE. La décomposition d'après la réaction 2, c'est-à-dire avec la formation de peroxyde d'hydrogène, a été découverte par H. THIELE (1908) et M. KERNBAUM (1909). A. TIAN (1916) a suggéré l'existence, dans l'eau éclairée par les rayons ultra-violet, d'un état permanent de production et de décomposition de peroxyde d'hydrogène.

Lorsque de l'oxygène est présent, tout l'hydrogène produit dans la réaction 2 est absorbé, rendant possible une accumulation de peroxyde d'hydrogène, et l'effet est une formation de peroxyde en accord avec l'équation 2.

Si nous admettons l'existence de ce mécanisme à certains moments dans l'eau du lac Upemba, le phénomène curieux de sursaturation massive et de thésaurisation de l'oxygène, à une température agissant probablement comme excitant, devient aisément explicable.

Nous devons donc chercher le mécanisme de ces réactions dans les recherches photochimiques.

G. P. PARKES et J. W. MELLOR (1939) s'expriment ainsi : « water confined in a quartz vessel is decomposed by exposure to ultra-violet light rays, from a mercury lamp, sunlight, etc., and hydrogen peroxide and hydrogen are formed :



Cette hypothèse de formation de  $\text{H}_2\text{O}_2$  dans un lac tropical à température élevée, étant, pour autant que j'aie pu consulter la littérature, une nouvelle en limnologie, j'ai cru qu'il était du plus haut intérêt de m'intéresser à ce problème, puisque sa solution apportait en même temps la solution à d'autres problèmes dont j'aurai l'occasion de traiter plus loin.

On pourrait donc conclure de ce qui précède par l'hypothèse que dans les eaux du lac Upemba, l'oxygène se trouve distribué comme suit :

Saturation par équilibre avec l'atmosphère;

Sursaturation légère par la photosynthèse;

Sursaturation par production de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Ces considérations permettraient donc d'expliquer deux problèmes physico-chimiques d'une grande importance :

1° La sursaturation massive dans le lac Upemba;

2° La légère sursaturation des eaux de certains lacs tropicaux où le phyto- et le phytonannoplancton font pratiquement défaut ou sont tout au moins présents en très faibles quantités.

Il reste maintenant à envisager un dernier problème, notamment la raison de l'absence, dans les eaux très claires, de phyto- ou de phytonannoplancton, et par ailleurs, sa grande abondance dans des eaux chargées de matières minérales en suspension ou de matières argileuses colloïdales.

Si, d'une part, ces rayons ultra-violet favorisent les oxydations, ne vont-ils pas, d'autre part, contrarier l'action chlorophyllienne des algues du plancton ?

E. RABINOWITSCH, 1945, insiste sur le fait que l'ultra-violet peut être très nocif pour les organismes à chlorophylle et détruit leur capacité de photosynthèse. Au-dessous de 300  $\mu$  la lumière est très nocive pour les plantes. D'après MEIER (1932, 1934, 1936), une illumination de 1.000 erg : cm<sup>2</sup>-seconde tue les cellules de *Chlorella* en 100 secondes, à 260  $\mu$ , et en 10.000 secondes à 302  $\mu$ .

E. V. SUCKLING (1944), traitant de la stérilisation des eaux, attribue aux rayons ultra-violet des propriétés analogues : « la lumière solaire a des propriétés destructives pour les bactéries aquatiques, mais, eu égard aux conditions climatiques, cette action n'est pas très marquée aux États-Unis. Dans les régions tropicales, cependant, c'est un facteur important dans l'auto-épuration des rivières, et, comme il a été noté par CLEMENSHA aux Indes et d'autres chercheurs dans les régions à climat chaud, il est en partie responsable de la disparition rapide des Streptocoques et certaines bactéries intestinales.

» Les rayons ordinaires du soleil ne jouent qu'un rôle minime dans cette action; celle-ci est due presque entièrement aux radiations ultra-violettes soutenues par les rayons calorifiques. Il a été suggéré que l'action bactéricide est due à des substances oxydantes comme l'ozone et le peroxyde d'hydrogène produits sous l'action du rayonnement. Il est évident que la présence d'oxygène est nécessaire pour l'action germicide des rayons ultra-violet ».

Devant ces diverses opinions et ces réactions photochimiques qui pourraient avoir une importance capitale insoupçonnée en limnologie, j'ai poussé mes recherches plus loin.

Dans une étude sur les variations du pouvoir abiotique des rayons ultra-violet avec la longueur d'onde, M. et M<sup>me</sup> V. HENRI (1912) ont démontré que le pouvoir abiotique des rayons ultra-violet est particulièrement intense

pour les rayons au-dessous de 300  $\mu$ . La discussion des nombres obtenus montre que le pouvoir abiotique augmente continuellement lorsque la longueur d'onde diminue. Ils ont trouvé un parallélisme absolument remarquable entre l'absorption par l'albumine et le pouvoir abiotique, de sorte qu'on peut énoncer cette loi générale que le pouvoir abiotique des rayons ultra-violet est proportionnelle au coefficient d'absorption du protoplasme.

Dans une autre étude de V. HENRI et A. WURMSER sur la loi d'absorption photochimique pour les réactions produites par les rayons ultra-violet, ces auteurs ont abouti à une série de conclusions.

Au point de vue quantitatif, P. LASAREFF a montré, en 1906, que la loi d'absorption photochimique est une loi quantitative, c'est-à-dire qu'il y a proportionnalité entre la quantité d'énergie de rayonnement absorbée par un corps et la vitesse de l'action chimique produite; cette proportionnalité a lieu pour les différents rayons du spectre visible, le coefficient de proportionnalité étant indépendant de la longueur d'onde.

V. HENRI et A. WURMSER ont montré que pour les actions chimiques produites par les rayons ultra-violet, la question de savoir si la loi d'absorption photochimique s'applique ou non est encore en suspens. Quelques auteurs admettent que l'action photochimique pour les rayons ultra-violet est d'autant plus forte que la longueur d'onde est plus courte; au point de vue physique on cherche à expliquer cet écart de la loi d'absorption photochimique par les actions photoélectriques exercées par les rayons ultra-violet, ces derniers étant d'autant plus forts que la longueur d'onde est plus petite.

Le rayonnement de certaines longueurs d'onde étant donc considéré comme nocif pour les plantes, comment expliquer une exubérance dans des lacs tels que l'Upemba, certains estuaires et des marais déterminés ?

F. GESSNER et A. DIEHL (1951) s'expriment comme suit à ce sujet : « Nous venons de montrer que, très souvent, un jour d'illumination intensive suffit pour détruire plus de 70 % de la chlorophylle du phytoplancton. Ceci nous conduit à la question de savoir pourquoi une association si délicate parvient à se maintenir pendant un temps relativement long. Celui-ci semble en effet se trouver dans les couches superficielles sans protection contre le rayonnement solaire total.

» Lorsque des associations algales du phytoplancton sont disposées dans des cristallisoirs bas et sont soumises à l'action de la lumière solaire, il suffit d'un jour pour voir la destruction de la moitié ou des trois quarts de la chlorophylle. Si, au contraire, on recouvre les cristallisoirs de plaques de verre épais, pour absorber l'ultra-violet de longueur d'onde très courte, la destruction de la chlorophylle cesse ou elle est beaucoup moindre que dans le cas de l'action de la lumière totale.

» La destruction de la chlorophylle augmente généralement en fonction de la durée de l'action du rayonnement. Dans des eaux profondes, cette



action destructive ne se manifeste pas, car l'ultra-violet est rapidement absorbé dans l'eau, et à un mètre de profondeur on ne trouve plus que 10 % du rayonnement primitif.

» La turbulence de l'épilimnion empêche les éléments du phytoplancton de rester longtemps dans les couches supérieures et de subir ici l'action destructive du rayonnement.

» Les algues du plancton d'eaux peu profondes se sont montrées plus résistantes. Il est possible que les rayons ultra-violet aient provoqué ici une adaptation chez les organismes du plancton ».

Nous trouvons chez G. J. CLARKE et H. R. JAMES (1939) l'explication de l'existence simultanée de rayons ultra-violet et de phytoplancton dans les eaux : « Les différences entre l'absorption d'échantillons d'eau de mer non filtrée et d'eau distillée sont occasionnées principalement par des matières en suspension pour des longueurs d'onde de 8.000 Å à 4.730 Å, et pour des longueurs de 4.730 Å à 3.650 Å dans les régions côtières. Dans des régions polluées les matériaux en solution et en suspension ont une action hautement sélective sur le rayonnement avec la plus grande absorption pour les courtes longueurs d'onde ».

On peut ainsi admettre que la masse de matière argileuse en suspension agit comme écran vis-à-vis du rayonnement ultra-violet et permet un développement intense de phytonannoplancton. Au contraire, les eaux limpides, sans écran, verraient le taux de leur plancton à chlorophylle diminuer considérablement.

F. RUTTNER (1942), dans un travail récent sur l'action des rayons solaires sur la vie des eaux, s'exprime dans le même sens : « Mais le facteur lumière n'est pas seulement d'une importance capitale dans l'assimilation chlorophyllienne des organismes à chlorophylle; dans la vie des animaux, il joue aussi un rôle très apparent. Les animaux du plancton, sauf quelques exceptions, craignent les couches aquatiques supérieures durant le jour. Si l'on oblige des Daphnies, par exemple, à séjourner dans ces couches, elles sont rapidement tuées sous l'influence des rayons ultra-violet encore présents en surface mais absents dans les couches plus profondes. La migration verticale journalière de beaucoup de crustacés planctoniques et de quelques rotifères est caractéristique. Durant le jour ils se tiennent à des profondeurs considérables et remontent durant la nuit sur une distance de plusieurs mètres ».

Ce n'est pas la place ici pour m'étendre davantage sur ce sujet. Des expériences sont en cours et seront publiées sous peu au sujet de l'action des ultra-violet sur les eaux naturelles.

De l'eau distillée, optiquement vide, tenue à l'abri de la lumière solaire, a été soumise à l'action ininterrompue d'un brûleur à ultra-violet contenant 25 % de rayons à longueur d'onde de 1.950 Å. On voit très bien que la concentration en oxygène monte très lentement mais progressivement et donne lieu à des phénomènes secondaires d'importance capitale.

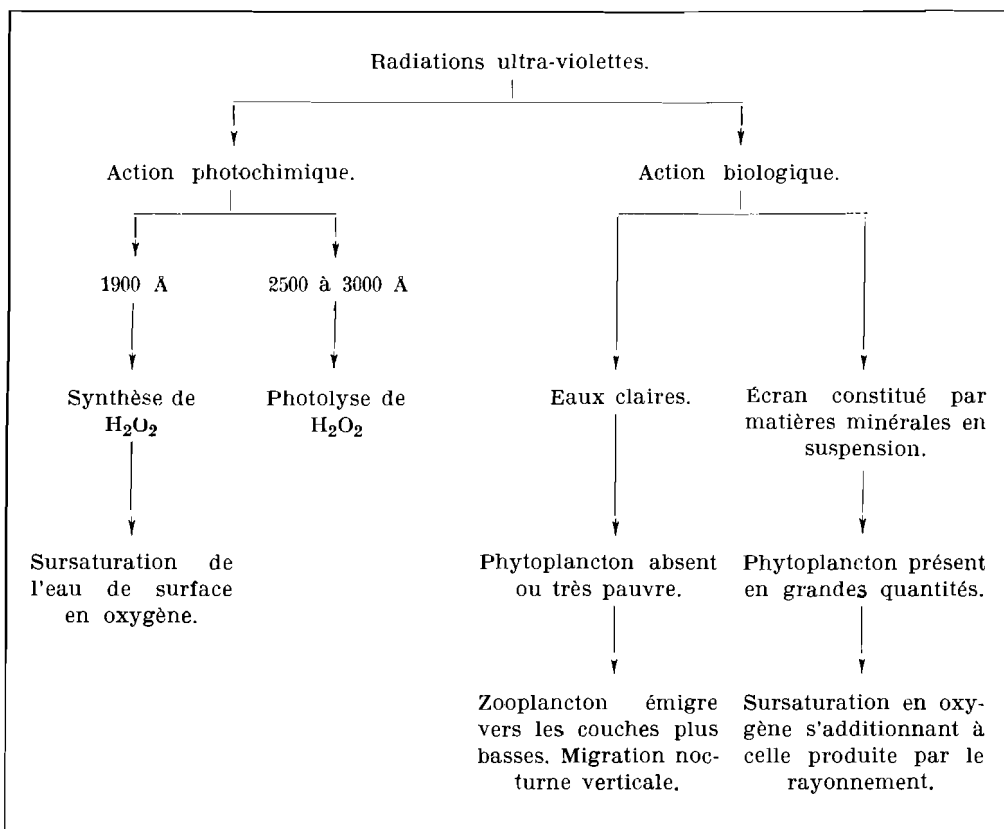
Il est toutefois difficile de se rendre exactement compte de l'évolution de cette réaction dans la nature, car il manque des données exactes sur le rayonnement.

Quoi qu'il en soit, les expériences *in vitro* donnent la conviction que l'influence de l'ultra-violet n'est pas à négliger et qu'elle permettra plus que probablement d'expliquer l'absence de phytoplancton avec cependant une légère sursaturation d'oxygène dans des eaux optiquement vides, ou presque, comme on en rencontre parfois dans certains grands lacs.

En résumé on peut ramener les diverses actions de l'ultra-violet dans un tableau récapitulatif :

TABLE 46.

Influence des radiations ultra-violettes en limnologie.



## CHAPITRE V

**CLASSIFICATION CHIMIQUE ET LIMNOLOGIQUE DU LAC.**

Comme on a pu le voir dans les chapitres précédents, les observations permettent un essai de classification du lac Upemba respectivement aux divers points de vue morphologique, thermique et échanges gazeux.

Arrivé à la fin des considérations physico-chimiques, le moment est venu d'essayer, en outre, d'introduire les eaux du lac dans la classification rationnelle en types des eaux naturelles et dans les groupes limnologiques connus actuellement.

Comme l'a bien montré J. KUFFERATH (1951), « la lecture, l'interprétation et la comparaison entre elles des données chimiques sont souvent ardues. Elles exigent une attention comparative qui doit tenir compte, à la fois, de chaque valeur numérique et des multiples rapports de cette valeur avec toutes les autres. Une représentation graphique, avec tout ce qu'elle apporte de suggestive visualisation synthétique des rapports, rendrait ici des services certains ».

Je ne ferai pas ici la critique des diverses méthodes préconisées par les auteurs : J. RUINEN, J. TELKESSY et R. MAUCHA; une vue d'ensemble en a été donnée par J. KUFFERATH (1951), qui a apporté en même temps quelques simplifications et a mis ainsi cette méthode élégante de représentation vraiment à la portée de l'hydrobiologiste.

Je me suis donc appuyé sur sa méthode en ce qui concerne les eaux du lac Upemba.

L'expression des divers éléments trouvés dans le lac en milliéquivalents permet de voir qu'au cation  $\text{CO}_3^-$  correspondent deux anions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ . Si le pourcentage du  $\text{CO}_3^-$  reste constant à 100 %, durant tout le cycle biologique annuel, il n'en est pas de même pour les anions qui subissent assez bien de fluctuations et dont le rapport change constamment dans le courant du cycle. Les balances ioniques dressées pour chaque mois et pour l'entièreté du lac sont groupées dans la table 46. Les représentations graphiques pour les eaux de surface seulement ont été rassemblées dans la figure 33.

Les valeurs obtenues dans la table 46 ont été calculées comme suit :

a) pour le calcium et le magnésium, on divise le poids trouvé par le quotient poids moléculaire/valence;

b) pour l'acide carbonique, on multiplie le nombre de cc HCl/N au litre, représentant l'alcalinité, par 30. On obtient ainsi les milligrammes de  $\text{CO}_3^-$ . Ce corps étant bivalent ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), on divise le chiffre obtenu par le quotient

pois moléculaire/valence ou  $60 : 2 = 30$ . C'est-à-dire que pour ce cas particulier le nombre de cc HCl/N au litre donne directement les millivalences de  $\text{CO}_3^-$ .

TABLE 47.

Balances ioniques mensuelles.								
Mois	Ca <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	CO <sub>3</sub>	% des sommes des valences		
	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	méq/l	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	CO <sub>3</sub>
Eaux de surface.								
XII	36,75	1,83	9,02	0,74	2,57	71,00	29,00	100
I	20,60	1,02	7,57	0,62	1,65	61,81	38,18	100
II	33,24	1,65	2,94	0,24	1,90	86,84	13,15	100
III	21,91	1,10	8,59	0,70	1,80	61,11	38,88	100
IV	31,73	1,58	10,42	0,86	2,44	64,75	35,24	100
V	29,67	1,48	17,26	1,42	2,90	51,03	48,87	100
VI	30,74	1,53	16,37	1,35	2,88	53,10	46,90	100
VII	39,92	1,99	8,85	0,73	2,72	73,10	26,90	100
VIII	42,23	2,10	12,6	1,04	3,15	66,66	33,33	100
Eaux de fond.								
I	31,55	1,57	4,14	0,34	1,92	82,00	18,00	100
II	25,16	1,25	8,68	0,71	1,97	63,45	36,55	100
III	25,53	1,27	7,12	0,58	1,86	68,27	31,73	100
IV	27,42	1,36	14,96	1,23	2,60	52,30	47,70	100
V	32,17	1,60	15,61	1,28	2,89	55,30	44,70	100
VI	46,41	2,31	4,54	0,37	2,69	85,80	14,20	100
VII	47,99	2,39	6,38	0,52	2,92	81,80	18,20	100
VIII	54,95	2,74	9,38	0,77	3,51	78,00	22,00	100

On peut donc facilement classer les eaux du lac Upemba parmi les eaux tri-ioniques du type calci-magnésique carbonatées, c'est-à-dire du calcium et du magnésium liés à l'acide carbonique (fig. 33).

Au point de vue limnologique, le classement des eaux du lac Upemba dans le groupe eutrophe s'impose tant par sa faible profondeur, ses rives basses et sa riche flore littorale que par ses autres propriétés physiques et chimiques : la couleur verte, jaune ou vert brunâtre propre à ce groupe, la transparence souvent minime, la teneur variable en électrolytes, la couche de boue constituée par des détritits autochtones et les quantités de plancton abondantes.

Une variante proposée par E. NAUMANN est le type argilotrophe, dont l'eau contient de grandes quantités de plancton, de détritits organiques et minéraux et de matières argileuses en suspension. Cette eau est colorée par de l'argile colloïdale.

E. NAUMANN (1932) distingue encore les eaux paramixotrophes, caractérisées par l'origine lointaine de l'eau, qui est oligotrophe à l'origine, mais s'eutrophie en route et surtout dans le lac même.

Il parle encore de paratrophie lors de l'introduction de substances en suspension ou colloïdales.

Ces deux termes peuvent être appliqués au lac Upemba.

Dans une autre classification proposée par K. HÖLL (1928) et basée principalement sur des caractères chimiques, le type anorganotrophe répond, dans les grandes lignes, au type eutrophe, *sensu* E. NAUMANN.

Ces eaux ont une teneur en bicarbonate de calcium assez élevée (de 50 à 150 mg de CaO par litre), constituant un système tampon en présence d'acide carbonique libre hydrolysé  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 : \text{H}_2\text{CO}_3$ . Elles ont généralement une réaction alcaline. Les variations du pH sont rares, mais peuvent être influencées par des facteurs secondaires : biologiques, physiques ou atmosphériques, qui les font osciller entre pH 6,8 et pH 8,3.

La décalcification biologique se produit régulièrement et est proportionnelle à l'importance des teneurs en calcium.

On y rencontre encore d'autres sels inorganiques en solution. Les nitrates sont abondants : 1-20 mg  $\text{N}_2\text{O}_5$  par litre. Les matières organiques présentent une concentration moyenne.

La table 54 comporte les points communs entre les divers types proposés et le lac Upemba. Il manque malheureusement beaucoup de données numériques dans la description des auteurs, de sorte que je dois m'en tenir à leurs indications générales.

Il résulte de cette comparaison, qu'au point de vue limnologique les eaux du lac ont des points communs avec le type eutrophe, le type argilotrophe et le groupe anorganotrophe de K. HÖLL, ce qui permettrait de le grouper comme lac eu-argilo-anorganotrophe, en attendant que des études ultérieures sur les classifications des lacs puissent fournir des éléments de comparaison plus précis.

Une grosse difficulté dans la caractérisation du lac au point de vue du comportement de l'oxygène est son peu de profondeur, ce qui ne permet presque pas de comparaison avec des courbes typiques trouvées dans les lacs eutrophes des régions tempérées ou tropicales.

Je ne puis recourir, plus ou moins, qu'à un cas seulement, celui de la station 9, où une profondeur relative de 3,25 m a permis de mesurer une différence de température de 2,5° C entre les eaux de surface et de fond au mois de décembre et une concentration en oxygène de 8,779 mg/litre en surface et 2,966 mg/litre près du fond, ce qui correspond, plus ou moins, à ce qui se passe normalement dans les eaux eutrophes. Pour les autres mois, la courbe suit environ la même direction, les concentrations sont plus fortes en surface qu'au fond, sauf au mois de mars, où, comme j'ai pu le montrer autre part dans ce travail, les concentrations s'identifient à peu de chose près.

Je ne dispose malheureusement pas de chiffres pour les profondeurs intermédiaires : le temps et les conditions de travail nécessaires pour mener à bien ce genre d'investigations m'ont fait complètement défaut.

Je crois cependant que les renseignements et les chiffres que j'ai pu réunir permettent la classification proposée ci-dessus.

## CHAPITRE VI.

**LE PLANCTON.**

Le plancton du lac Upemba peut être subdivisé en plusieurs composantes distinctes :

- 1° les matières minérales en suspension;
- 2° le microplancton;
- 3° le zooplancton;
- 4° le nanoplancton.

Au cours de nos investigations ces divers éléments ont été récoltés quantitativement de manière à fournir une base sérieuse pour établir des éléments de comparaison.

## 1° LES MATIÈRES MINÉRALES EN SUSPENSION.

La détermination des matières minérales en suspension a été soumise à beaucoup de difficultés, surtout le transport de litres d'eau à de grandes distances, parfois dans des conditions de terrain très difficiles, de sorte que certains échantillons m'ont fait défaut au moment de l'analyse, les flacons s'étant cassés en route, soit au Congo, soit au cours des manipulations dans les divers ports pendant le voyage Congo-Belgique.

Il me reste cependant assez de matériaux pour me permettre de calculer la teneur en matières minérales en suspension pour certains mois.

Dans ces conditions, le maximum observé était en juillet de 22,4 g par 100 litres de matière sèche à 100°; le minimum a été, pour une autre station faite au cours du même mois, de 0,1 g par 100 litres.

Le calcul des moyennes pour l'ensemble des stations durant trois mois nous donne les chiffres mentionnés dans la table 48.

TABLE 48.

Matières en suspension en grammes par 100 l.			
Mois	Matière sèche à 100°	Cendres	Cendres %
Juin . . . . .	5,648	1,020	18,05
Juillet . . . . .	4,988	0,515	10,32
Août . . . . .	3,015	0,6	19,90

Il résulte de ces observations que si nous prenons une moyenne de 5 g par 100 litres, soit 0,99 g de cendres, nous aurons une teneur totale pour tout le volume du lac de 46,5 tonnes de matière sèche, correspondant à 9,2 tonnes de cendres. Dispersées par km<sup>2</sup>, elles donneraient un dépôt de 87 kg au km<sup>2</sup> ou 8,7 g au m<sup>2</sup>.

On peut donc affirmer que la quantité de matière en suspension n'est pas sans importance, d'autant plus qu'une partie se présente sous forme colloïdale, très difficile à filtrer, possédant donc des propriétés tout à fait particulières qui ont une influence capitale sur l'évolution biologique du lac. Son rôle est primordial dans la productivité du lac. En effet, d'après certaines hypothèses que l'examen d'autres lacs ont fait adopter, ces colloïdes fonctionneraient comme écran protecteur contre les rayons ultra-violet. Ceci expliquerait la pauvreté du microplancton de certaines eaux où ces colloïdes font défaut, par opposition avec certains autres petits lacs, marais, étangs, estuaires où le phytoplancton est très abondant, à côté de ces matières en suspension.

Nous trouvons chez F. RUTNER (1952) une observation fort intéressante au sujet des suspensions : « Nach dem bisher gesagten ist es ohne weiteres einleuchtend, dass ein blauer Farbton nur bei abwesenheit merklicher Mengen von Humusstoffen und von gefärbten Suspensionen, also auch von Phytoplankton, entstehen kann. Blau kann daher nur ein an organischer Produktion armes Gewässer sein : « Blau ist die Wüstenfarbe des Meeres » (FR. SCHÜTT).

» Wie die tiefblauen tropischen Meere (bei aller Mannigfaltigkeit der Arten) mengenmässig eine nur sehr geringe Planktonproduktion aufweisen, so enthalten auch die Binnengewässer, je blauer um so kleinere Mengen freischwebenden Lebewesen, je blauer Sie sind. Andererseits werden Seen mit hohem Planktongehalt stets ein gelbgrünes bis gelbes Wasser führen. Es bietet uns daher die Beachtung der Farbe eines Gewässers gewisse Anhaltspunkte für die Beurteilung seiner Produktion, wofern eine erhebliche Beeinflussung durch Humusstoffe ausgeschlossen werden kann. »

## 2° LE MICROPLANCTON.

Le microplancton se compose d'une partie animale et d'une partie végétale.

La partie végétale est relativement pauvre. Quelques *Pediastrum*, de minuscules *Scenedesmus*, un *Staurastrum*, un très rare *Navicula*, voilà tout ce que j'ai pu voir dans les échantillons examinés. Les Diatomacées font pratiquement défaut; nous n'avons rencontré aucune Desmidiée, même en phase acide; le grand groupe même des Cyanophycées est assez mal représenté.

La partie animale du microplancton est plus riche : certains mois les petits Copépodes et leurs larves, plusieurs espèces de Rotifères pullulent à côté de quelques Cladocères et leurs larves, de même que quelques insectes.



J'ai calculé, pour les eaux du large, les rapports entre les différents groupes de la population zooplanctonique.

TABLE 49.

Population zooplanctonique. Eaux du large.							
Mois	Nombre total examiné	Copépodes	Larves	Rotifères	Cladocères	Larves	Divers
XII	5487	7,27 %	5,08 %	84,33 %	—	3,32 %	0,01 %
I	6992	9,60 %	9,34 %	78,18 %	0,04 %	2,73 %	0,10 %
IV	1193	6,37 %	11,97 %	71,23 %	0,33 %	7,71 %	0,39 %
V	292	8,43 %	21,64 %	59,47 %	0,45 %	9,34 %	0,68 %
VI	301	10,18 %	15,04 %	65,93 %	0,22 %	8,63 %	—
VIII	4073	11,21 %	14,34 %	72,33 %	0,04 %	1,85 %	0,23 %

### 3° LE ZOOPLANCTON.

Les récoltes faites au moyen du filet à soie n° 3 renfermaient surtout des Copépodes et des débris considérables d'exuviae de Chironomides. Ceux-ci sont si nombreux qu'à certaines époques de l'année on pouvait observer l'éclosion massive des insectes parfaits par les nuages noirs compacts s'élevant au-dessus de la surface aquatique (notamment le 26.XI.1948).

Les Copépodes de ces récoltes ont déjà été déterminés par K. LINDBERG (1951) et sont représentés par les espèces suivantes : *Mesocyclops leuckarti* (CLAUS), *Thermocyclops neglectus* (SARS) et *Mesocyclops varicans* (SARS). K. LINDBERG conclut son étude par l'observation que l'ubiquiste *Mesocyclops leuckarti* (CLAUS) prédomine de beaucoup sur l'autre, l'espèce commune africaine *Thermocyclops neglectus* (SARS). Il n'est pas impossible que l'étude de la partie zoologique du microplancton fasse encore découvrir de nouveaux détails à ce sujet.

### 4° LE NANNOPLANCTON.

L'élément le plus important du plancton au sens le plus large est le nannoplancton. Il est composé d'une énorme quantité d'éléments minuscules, la plupart du temps globuleux, aplatis légèrement aux pôles, quelques formes filamenteuses, toutes de dimensions réduites de l'ordre de 2,9 à 4,3  $\mu$  pour les unicellulaires globuleuses et de 72,5 à 20,3  $\mu$  de long et 2,9 à 2,1  $\mu$  de large pour les formes filamenteuses. On y trouve en outre de toutes

petites formes ressemblant à des bactéries. La densité de cette population nannoplanctonique peut s'estimer, d'après les stations et l'époque de l'année, entre 62.500 et 3.420.000 éléments par cc d'eau.

Il n'a pas encore été possible de déterminer ces éléments spécifiquement. Cette étude fera l'objet du second volume du présent travail.

Quoi qu'il en soit, la quantité de ces éléments est énorme si on la compare aux quantités de microplancton et de zooplancton récoltées aux mêmes endroits et aux mêmes époques de l'année. La table 50 groupe les chiffres exprimant le nombre de centimètres cubes des divers planctons récoltés quantitativement sur 100 litres d'eau,

TABLE 50.

Plancton. Moyennes mensuelles en cc par 100 l d'eau.										
Mois	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Zooplancton	0.100	0.150	0.150	0.240	0.100	0.130	0.115	0.100	0.180	0.120
Microplancton	0.800	1.100	0.900	1.400	0.300	0.600	0.720	0.460	1.100	0.560
Nannoplancton										
Surface	125	225	297	295	100	67,5	108	107	195	83,3
Fond	240	—	66	—	100	—	109	155	297	85,7

Ces chiffres ne tendent pas à exprimer des valeurs absolues. Mais il faut bien se rendre compte qu'un premier travail en Afrique ne permettait pas des récoltes telles qu'on aurait pu songer à des échantillons destinés à la dessiccation, voire à la destruction, de manière à pouvoir exprimer les divers planctons en milligrammes par litre, méthode évidemment beaucoup plus correcte que la nôtre. On voudra, j'espère, me concéder que le présent travail ne constitue qu'une première approximation.

On connaît des lacs du type tempéré où la production du plancton affecte la forme d'une courbe diacmique, d'autres où il n'existe pas de maximum ni de minimum, d'autres, enfin, qui ont parfois trois maxima et trois minima. Au lac Upemba la situation est la suivante : pour le nannoplancton, une courbe diacmique très nettement dessinée (fig. 13 et 29) avec deux maxima, l'un à la fin de la saison des pluies, janvier-février, l'autre en saison sèche, au mois de juillet, et un minimum situé entre le mois de mars et le mois de juin, correspondant, dans les grandes lignes, à la phase d'acidification des eaux lacustres.

Le microplancton, moins aisément contrôlable, puisque composé de deux groupes totalement différents dans leur comportement biologique : phyto- et zooplancton, l'un producteur et l'autre consommateur, a, lui aussi, deux maxima correspondant aux mêmes périodes du cycle annuel que les maxima du nannoplancton.

Le zooplancton suit sensiblement la même courbe.

Avec P. S. WELCH (1952), on peut dire que dans l'étude d'une population planctonique totale d'un lac il est nécessaire d'étudier séparément les changements rythmiques saisonniers des espèces ou groupes d'espèces planctoniques et que les maxima et minima produits ne le sont pas nécessairement par tous les composants du plancton. Il faut donc se méfier des conclusions trop générales et étudier des espèces ou des groupes de genres ou d'espèces qui ont tous leurs propriétés, leur individualité et leur plus ou moins grande dépendance de certains facteurs, dans leur biotope aquatique. « While the plankton is an organic community in which exist many interdependencies, it must be remembered that each component of this heterogenous assemblage has its own form of life cycle, its own problems of maintenance, and its own characteristic reactions to stimuli; also, that these features may differ even among those species which are most closely related taxonomically. The plankton community is, in this respect, no different from some terrestrial community in which each of the various species, while influencing associated organisms in many ways, has its own individual sequence of life-history stages, generations, and reactions.

» Each plankter is directly or indirectly subject to the complex of influences which changes of seasons impose, and the proper responses must be made, some of which result in quantitative changes, i.e. increases or decreases of size of the population. The annual quantitative history of many plankter is a succession of appearances and disappearances or of waves of development followed by decline. These sequences of increase and decline vary greatly on magnitude. In some species, the amplitude of rise and fall in quantity, while distinct, is not great enough to produce more than minimal changes in the total plankton population; in others, the change is so great that a wave of development of a single plankter may be sufficient to dominate numerically a whole plankton population and even produce the greater part of a seasonal maximum. All sorts of intergrades between these two extremes occur.

» The periods of quantitative increase and decline of the individual plankters do not, in many species, coincide with the seasonal minima and maxima of the total plankton described previously; in fact, certain species may exhibit their maxima during the general seasonal maxima and vice-versa. »

L'existence de fluctuations périodiques dans le volume du plancton a été expliquée pour les lacs d'une certaine profondeur par l'action du brassage amenant de nouvelles matières en solution du fond vers la surface.

Dans le cas d'eaux comme celles du lac Upemba, où la profondeur minimale semble devoir exclure l'existence d'un thermocline, certains semblent admettre l'influence d'inondations saisonnières qui transportent des quantités de substances nutritives essentielles dans un temps relativement court. Cependant, ajoute P. S. WELCH, dans des lacs fermés, sans apports d'eau d'une certaine importance, cette explication n'est pas soutenable.

Si nous voulons nous placer au point de vue de l'influence des inondations sur la production maximale du plancton dans le lac Upemba, on peut invoquer l'apport de matières minérales au cours de la saison des pluies aussi bien par les eaux de ruissellement coulant directement dans le lac que par le fleuve Lualaba, qui a drainé une immense région avant d'arriver dans la vallée du Kamolondo aux endroits où s'amorcent les passes vers l'Upemba. Admettant que la saison des pluies s'étende, *mutatis mutandis*, d'octobre jusqu'en avril, le maximum absolu de la quantité de plancton aux mois de janvier-février serait ainsi dû aux lavages opérés par les pluies durant les mois précédents, d'où la montée progressive constatée depuis novembre et même plus tôt. Nous ne savons malheureusement rien sur le comportement du fleuve Lualaba dans les parages du lac Upemba, aucune analyse n'ayant jamais été faite au point de vue biologique. Pour l'Expédition le prélèvement périodique d'échantillons dans le fleuve était pratiquement impossible, les communications étant très difficiles et le temps dont nous disposions strictement limité. Aussi est-ce une donnée du problème qui demeure en suspens et à laquelle l'avenir devra apporter une solution.

Dans tous les cas, l'apport de matières minérales par l'étiage du fleuve n'explique pas la seconde montée du plancton en saison sèche, au mois d'août.

Il semble dès lors très difficile de désigner un facteur isolé comme la seule cause de la périodicité du plancton. Sans aucun doute, est-ce l'interaction d'une combinaison de plusieurs facteurs agissant à des degrés et des intensités divers.

E. A. BIRGE et C. JUDAY (1934), en traitant des substances organiques dissoutes dans les eaux des lacs américains, suggèrent : « the relation between depth and plankton production, however, is by no means a simple one, since size, shape of basin and other factors have a modifying influence. The larger yields of the shallow lakes seem to be due largely to the fact that the raw materials required for the maximum growth of the phytoplankton may be used repeatedly because the water is so shallow that it is kept in complete circulation during the summer; thus the dissolved substances derived from decomposition and from other sources are uniformly distributed from surface to bottom and become available, therefore, for the phytoplankton ».

Certains auteurs ont prêté une assez grande attention à la relation azote-phosphore. On connaît mieux ce rapport pour l'eau de mer que pour les eaux douces, malgré que certains se soient occupés de la question. Son

importance découle de l'hypothèse, qui semble avoir une évidence assez défendable : que les concentrations de ces deux corps sont étroitement parallèles. Il semble que pour l'eau de mer, le rapport tende à se rapprocher d'une valeur constante, avec un excès d'azote sur la concentration en phosphore, et que les deux substances seraient contenues dans le plancton dans des proportions analogues. On connaît des variations autour de cette proportion, mais seulement dans des conditions particulières. En outre, le rapport serait différent non seulement en grandeur, mais aussi l'amplitude des variations par rapport à la moyenne proposée. Les études dans ce sens n'en sont encore que dans un premier stade et il est souhaitable que des recherches plus fouillées soient faites.

Comme je dispose de quelques chiffres de nitrates et de phosphates, j'ai calculé les valeurs correspondantes en azote et phosphore, de même que le rapport. On trouve ces données dans la table 51.

TABLE 51.

Concentrations moyennes en azote et phosphore en mg/litre. Rapport N : P. Eaux de surface.			
Mois	N	P	N : P
Décembre 1948 ... ..	3,19	0	$\infty$
Janvier 1949 .. ...	1,79	0,071	25,07
Février ... ..	3,17	—	—
Mars . ... ..	2,98	0,065	45,72
Avril ... ..	1,31	0,029	45,01
Mai .. ... ..	1,73	0,573	30,26
Juin . ... ..	1,05	0	$\infty$
Juillet ... ..	2,22	0	$\infty$
Août ... ..	0,91	0,030	25,57

F. RUTTNER (1952), en parlant de la loi du minimum, fait observer très judicieusement : « Wegen der sehr verschiedenen Ansprüche, welche die einzelnen Organismen an die Umweltbedingungen stellen, ist für ein Verständnis des Stoffwechsels der Gewässer eine eingehende Kenntnis der Physiologie der Arten und Rassen notwendig. Auf diesem eine mühsame Kleinarbeit mit Reinkulturen erfordernden Gebiet sind wie erst in den Anfängen ».

L'interprétation de ces valeurs est très délicate et est loin de donner une idée claire satisfaisante. Si nous comparons le rapport N : P avec les chiffres de la table 50 pour les quantités moyennes de nannoplancton reportées plus haut sur le graphique figure 34, nous nous trouvons devant la situation suivante :

TABLE 52.

Corrélations entre le rapport N : P et les quantités de nannoplancton en cc par 100 l.		
Mois	Rapport N : P	Le nannoplancton :
Décembre 1948 . ...	∞	croît 225 cc
Janvier 1949 ... ..	25,07	maximum 297 cc
Février ... ..	?	maximum 295 cc
Mars .. ... ..	45,72	décroit 100 cc
Avril .. ... ..	45,01	minimum 67 cc
Mai ... ..	30,26	croît 108 cc
Juin ... ..	∞	croît 107 cc
Juillet . ... ..	∞	maximum 195 cc
Août .. ... ..	25,57	décroit 83 cc

Il ne faut pas chercher très loin pour remarquer tout de suite qu'il n'y a, dans ce cas, aucun rapport particulier apparent entre le volume du nannoplancton et le rapport N : P. Même pour les océans, H. U. SVERDRUP, M. W. JOHNSON et R. H. FLEMING (1946) ne semblent pas attacher une importance exagérée à ce rapport : « The utilisation of nitrates and phosphates in the synthesis of organic substance proceeds at an approximately parallel rate so that, although both may be become markedly reduced by plants, the ratio of the two approaches fifteen atoms of nitrogen to one atom of phosphorus, with some deviation called the « anomaly of the nitrate-phosphate ratio », perhaps dependent upon stages in the nitrogen cycle, a more rapid bacterial regeneration of phosphates, and the history of the particular body of water. In keeping with this there is an agreement in the ratio of nitrate-nitrogen to phosphate-phosphorus in offshore waters and of the nitrogen-to-phosphorus ratio found in the organic substance of mixed plankton. This agreement suggests that the composition of the composite population of the sea, both animals and plants, is determined by the ratio of these elements in sea water. Although the two elements discussed above have been shown to be vital to plant production, yet in

nature the diatom population has been known to decrease while these nutrients were still present in sufficient quantity to support production. In these instances the limiting factors must be looked for elsewhere ».

A. THIENEMANN (1925) n'est pas très explicite non plus.

D. S. RAWSON (1936), W. R. G. ATKINS, A. H. WIEBE (1931) ont traité la question pour des lacs et des rivières de l'Amérique du Nord.

Il résulte de toutes ces recherches que nous savons relativement peu au sujet des variations des diverses formes de l'azote par rapport à la production du plancton. Il est difficile d'assigner le rôle de facteur limitant au phosphore ou à l'azote aussi longtemps que nous ne serons pas en possession de relevés complets.

Je ne puis donc insister davantage sur ce problème en ce qui concerne la production du phytoplancton du lac Upemba <sup>(1)</sup>.

---

(1) Le présent volume était déjà sous presse lorsque j'eus connaissance d'un travail fort intéressant de W. OHLE (1952) : « Die hypolimnische Kohlendionyd-Akkumulation als produktionsbiologischer Indikator », publié dans *Archiv für Hydrobiologie*, XLVI, pp. 153-285.

## CHAPITRE VII.

**INTERACTION DES CYCLES BIOLOGIQUE  
ET PHYSICO-CHIMIQUE DU LAC.**

En possession des diverses considérations sur les principaux facteurs étudiés dans les chapitres précédents, essayons maintenant d'en dégager une vue d'ensemble sur leur interaction.

Un tel essai, extrêmement complexe à réaliser, est cependant nécessaire, car il est impossible de comprendre le chimisme d'une eau sans se baser sur ses relations logiques avec le métabolisme des divers éléments de sa biocénose.

Nous allons donc reprendre brièvement ici les divers facteurs un à un et voir comment ils réagissent les uns sur les autres (fig. 34).

\*  
\*\*

L'oxygène, comme nous l'avons vu précédemment, est généralement présent en quantités telles que le % normal est une sursaturation poussée très loin. Cette production massive est due partiellement à une croissance exubérante du nannoplancton et partiellement à l'action photochimique des rayons ultra-violet. Il est à remarquer que le début de la croissance des sommets de la courbe diacmique de l'oxygène se trouve à peu de chose près aux changements de saison, c'est-à-dire au début de la petite saison sèche et au début de la saison sèche proprement dite. Une seconde remarque importante est la curieuse propriété de l'oxygène de manifester son maximum dans le lac Upemba environ trente jours après le maximum produit par les organismes qui lui ont donné naissance.

La consommation a lieu par la respiration des vertébrés et invertébrés aquatiques, mais surtout par la quantité considérable de matières organiques provenant de la dégradation de la matière vivante et principalement par le nannoplancton lors des périodes de décroissance, de même que la production de quantités incalculables de déchets de Chironomides. L'oxydation consomme des quantités considérables d'oxygène, dont la courbe décrit une décroissance très rapide quelques jours après le début de la chute du nannoplancton. Ces diverses phases se dessinent très nettement sur les graphiques de la figure 34.

Les oxydations dont les eaux du lac sont le siège aux dépens de l'oxygène produit par le nannoplancton et le rayonnement ultra-violet aboutissent à la formation, d'une part, d'acide carbonique libre et, d'autre part, à la production de nitrates.

\*  
\*\*



Il n'est pas sans intérêt de mettre ici en parallèle l'évolution des nitrates pendant le même temps. Il faut tenir compte toutefois du fait que la grande masse de matière vivante utilise des quantités appréciables de nitrates. Le graphique tel que nous le montrons est donc en réalité la résultante de deux actions, l'une de production depuis les matières organiques, l'autre de consommation par le nanoplancton. Il est donc difficile, sinon impossible, d'y voir une similitude complète avec les variations des deux facteurs composants en cause. Au maximum du nanoplancton du mois de janvier correspond un minimum des nitrates, ce qui était à prévoir. Le nanoplancton, ne continuant pas à croître, alors que l'oxydation de la matière organique se poursuit, les nitrates augmentent et constituent donc en quelque sorte une réserve. Quant au fait qu'il y a décroissance des nitrates, devons-nous y voir une réduction en azote par une action bactérienne en passant par les nitrites ?

Dans les grandes lignes on pourrait considérer dans ce cas la courbe des nitrates comme étant l'inverse de celle de l'oxydabilité, sauf vers la fin du cycle, où une pointe demeure momentanément inexplicable.

L'examen de la situation près du fond montre une allure sensiblement analogue pour l'oxygène, sauf, toutefois, un léger déficit en saison des pluies.

Le maximum des nitrates se présente au mois d'avril, un mois après le premier sommet de la courbe de l'oxygène, l'oxydabilité étant à un de ses points les plus bas. Puis, la concentration en nitrates diminue en rapport avec la diminution de l'oxygène; on voit donc que la quantité de matières organiques augmente progressivement jusqu'en août, où le nanoplancton accomplit sa seconde courbe de décroissance.

En saison sèche, à la seconde montée de l'oxygène, toujours pour les eaux près du fond, les nitrates augmentent presque parallèlement, les matières organiques montent vers le mois d'août, suivant en cela la décroissance du nanoplancton, qui fait environ la même chute près du fond qu'à la surface.

Quant aux premiers mois, la matière vivante, en l'occurrence le nanoplancton, ayant fortement diminué, et reprenant seulement sa croissance au mois de janvier, il est normal que l'oxydabilité diminue, que les nitrates augmentent parallèlement à l'oxygène jusqu'au mois d'avril, époque à laquelle la productivité du nanoplancton n'est pas encore assez élevée pour consommer la quantité de nitrates disponible.

\*  
\* \*

Comme il a été expliqué au cours des chapitres précédents, le  $\text{CO}_2$ , sous toutes ses formes, joue un rôle prépondérant dans le métabolisme du lac Upemba.

Absorbé en quantités considérables par le nanoplancton au cours de son élaboration chlorophyllienne, sa présence est absolument nécessaire pour permettre aux organismes phytoplanctoniques de jouer le rôle qui leur est dévolu dans la biocénose aquatique.

Comme producteurs de  $\text{CO}_2$  nous voyons en premier lieu l'atmosphère et la respiration des macro- et microorganismes. Mais c'est surtout la vase, siège des fermentations, qui est le plus grand producteur des quantités nécessaires de  $\text{CO}_2$ .

Dans le lac la production d'anhydride carbonique libre joue un rôle très important, car c'est sa présence qui détermine, à certains moments du cycle annuel, l'évolution du pH avec toutes les conséquences biologiques que cela comporte.

La plus grande quantité est élaborée entre les mois d'avril, mai et juin, c'est-à-dire à la fin de la petite saison des pluies et au début de la saison sèche, correspondant à un déplacement du pH vers la zone acide, d'une importance telle qu'il descend à  $\text{pH} = 6,6$  à la fin du mois de mai.

C'est bien l'acide carbonique libre qui est en cause, car les valeurs de pH obtenues par le calcul à partir de l'alcalinité et que nous appelons sur les graphiques le pH théorique, RpH ou réserve pH (*sensu* WELLS), montrent une tendance beaucoup moins prononcée à se déplacer dans le sens acide.

L'amplitude du pH réel durant cette période d'acidification s'étend de pH 7,4 à 6,8, de pH 6,8 à 6,6 et de pH 7,6 à 6,6 pour les trois mois en cause.

Dans les grandes lignes, la consommation du  $\text{CO}_2$  libre est en raison directe de la production du nanoplancton et les maxima de l'un correspondent aux minima de l'autre; mais le  $\text{CO}_2$  libre n'est pas seul à être la source du  $\text{CO}_2$  consommé par les plantes.

Celles-ci ont la propriété d'assimiler le  $\text{CO}_2$  des bicarbonates dissous produits aux dépens, d'une part, du carbonate de calcium présent dans le sous-sol ou dans la vase et, d'autre part, de l'anhydride carbonique apporté par l'équilibre avec l'atmosphère ou produit au cours des réactions de dégradation de la matière organisée.

A cela s'ajoute qu'au cours de l'année, pour des raisons expliquées plus haut, les teneurs en  $\text{Ca}^{++}$  lié aux bicarbonates peuvent varier dans de larges mesures ou même devenir très minimales à cause de précipitations imputables à diverses causes physiques, chimiques et biologiques.

L'évolution de l'anhydride carbonique dans le lac Upemba nous a permis de diviser le cycle annuel en quatre phases : une alcaline, correspondant à l'ionisation de l'hydroxyde de calcium provenant de l'hydrolyse du carbonate de calcium précipité, une phase plus ou moins neutre correspondant à une quantité d'anhydride carbonique libre très minime, une phase acide se rapportant à la période de production maximale de  $\text{CO}_2$  et, enfin, le retour à une phase plus ou moins neutre avec tendance alcaline annonçant la période probable de décalcification. La courbe de l'alcalinité suit d'ailleurs une gradation progressive depuis le mois de mars jusqu'en août, ce qui correspond assez bien avec celle du calcium (fig. 35).

Si nous comparons l'alcalinité à la production du nanoplancton, comme nous savons que sa chlorophylle élabore aux dépens des bicarbonates, nous voyons qu'il semble qu'on puisse établir une certaine relation entre les périodes de productivité maximale du nanoplancton et les minima de la concentration en  $\text{CO}_3=$ .

En valeur absolue, il y a plus de  $\text{CO}_2$  libre dans les eaux du fond, avec cependant des périodes d'absence plus longues que pour les eaux de surface; le pH a une amplitude au cours de la période avril-mai-juin, respectivement de pH 7,3 à 6,9, de pH 6,7 à 6,4 et de pH 6,8 à 6,6, alors que les valeurs extrêmes de l'alcalinité correspondent à peu de chose près à celles des eaux de surface.

La courbe du calcium a pratiquement la même allure avec une valeur absolue légèrement plus élevée au mois d'août.

Dans les lignes consacrées au phosphore dans le lac Upemba, nous avons vu comment s'est comporté ce corps au cours des fluctuations du nanoplancton. Les minima et maxima correspondent à peu de chose près respectivement aux maxima et minima du plancton et l'on peut remarquer, dans une certaine mesure, que les eaux de surface semblent emprunter du phosphore aux couches plus profondes.

\*  
\*\*

Un point essentiel, semble-t-il, dans l'étude des lacs africains est la transparence et la turbidité. J'ai remarqué, durant nos séjours en Afrique, que les eaux très transparentes étaient pauvres en phyto- et nanoplancton, alors que celles chargées d'une grande quantité de matières minérales en suspension, comme au lac Upemba, certains marais, renfermant cependant des eaux comparables au point de vue de la composition chimique, produisaient un phytoplancton très dense.

J'ai pensé que la qualité du rayonnement pénétrant dans les couches lacustres serait en cause, et jusqu'à plus ample information j'ai adopté l'hypothèse suivante : la radiation ultra-violette ne serait pas tolérée par le phytoplancton. Lorsque l'eau renferme des matières argileuses en suspension, celles-ci feraient fonction d'écran et le phytoplancton pourrait ainsi se développer librement.

En attendant des recherches dans ce sens, on pourrait se baser sur les recherches déjà anciennes de H. BIERRY et LARGUIER DES BANCELS (1911) sur la décoloration de la chlorophylle par les rayons ultra-violets. Ces recherches sont certainement liées à celles de N. PRINGSHEIM (1881) sur l'action des rayons solaires froids et concentrés. Dans ces circonstances, l'action des rayons à petite longueur d'onde est tellement significative que la décoloration de la chlorophylle dans le vert foncé et le bleu a lieu en quelques minutes, alors qu'elle n'a pas lieu dans le rouge, toutes conditions étant égales.

Cette hypothèse permettrait d'expliquer l'absence de phytoplancton dans les grands lacs tropicaux comme le lac Tanganika, à grande transparence, environ 25 mètres, et sa présence dans des eaux fortement chargées de matières en suspension : certains lacs comme l'Upemba, des marais et les estuaires de grandes rivières de plaine aboutissant dans les lacs. Le contraste entre la population phytoplanctonique de ces estuaires et celle du lac est frappant.

Quant aux agrégations locales du nannoplancton produisant de véritables nuages au sein de l'eau, comme j'ai eu l'occasion de le remarquer maintes fois, elles constituent un phénomène obscur, dont aucune explication plausible ne semble avoir été donnée jusqu'à présent.

\*

\*\*

Enfin, dans une étude récente de M. POLL et H. RENSON (1948), sur les poissons, leur milieu et leur pêche au bief supérieur du Lualaba, ces auteurs ont publié un graphique mettant en relief les données acquises jusqu'à présent au sujet de la reproduction des poissons dans une partie de la région qui nous occupe. Si nous comparons leur courbe d'espèces, en période de maturation ovigère, aux graphiques de pH et de productivité du nannoplancton du présent travail, pour la période durant laquelle l'Expédition a pu travailler sur le lac, c'est-à-dire en excluant les mois de septembre et d'octobre 1949, on voit :

1° Que le sommet janvier-février du nannoplancton du lac Upemba correspond à la première période de maturité ovigère;

2° Que le second sommet de juin-août du nannoplancton est suivi immédiatement d'une seconde période de maturité ovigère de juillet-octobre;

3° Que la période de non-maturité d'avril à juillet correspond à notre phase acide de pH 7,0 et moins, allant d'avril à juillet.

Il est particulièrement intéressant de pouvoir constater cette relation entre les données obtenues dans des disciplines différentes par des chercheurs travaillant indépendamment l'un de l'autre.

\*

\*\*

Par ce qui précède on peut donc se convaincre qu'il est impossible d'étudier un lac ou même un étang d'une manière superficielle. Pour bien comprendre l'histoire biologique d'un cycle complet il faut faire le plus de mesures possible, car, un facteur réagissant sur l'autre, on risque de se trouver devant des problèmes insolubles si l'on négligeait l'une ou l'autre recherche.

Dans un ensemble harmonieux tel que le lac Upemba, dont le plancton est en quelque sorte le pivot, aucun effort ne peut être négligé pour arriver à la compréhension du mécanisme ordonnateur.

Cette tâche est ardue mais féconde en résultats. La compréhension de la nature est à ce prix.

## CHAPITRE VIII.

**RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.****(With an english summary.)**

Les connaissances au sujet des eaux du centre africain étant encore fragmentaires, j'ai essayé d'étudier le lac Upemba, avec tous les moyens à ma disposition, au double point de vue physico-chimique et biologique, lors de ma participation à la Mission au Parc National de l'Upemba organisée par l'Institut des Parcs Nationaux en 1946-1949 et dirigée par G. F. DE WITTE.

J'ai rassemblé dans ce premier volume les résultats de ces recherches physico-chimiques et biologiques; un second tome sera consacré à l'étude systématique du microplancton.

Les constatations que j'ai pu faire sur le lac peuvent se résumer comme suit :

**I. — GÉOGRAPHIE.**

1° Situation géographique. — Le lac est situé dans le Katanga méridional, autour des axes formés par le 26°30' longitude Est et le 8°30' latitude Sud. La région dans laquelle est situé le lac occupe le Graben de l'Upemba sur une distance d'environ 200 à 250 km et une largeur moyenne de 40 km, à une altitude de 585 m au-dessus du niveau de la mer.

2° Morphologie. — Vaste zone d'inondation du fleuve Lualaba, à considérer comme « *Einschwemmungssee* » d'après les conceptions de VON RICHTHOFEN, ou comme lac du type astatique d'après GAIL (1924).

Pour l'année 1948-1949, les profondeurs minimales et maximales ont été respectivement 0,50 et 3,25 m.

Très large cuvette en profil, peu profonde; les points les plus bas se trouvent vers la rive Est. Le fond se relève vers la rive Ouest, où se produit l'alluvionnement au point de contact avec le fleuve.

Rives basses et marécageuses portant une riche flore d'Hélophytes. Bords souvent formés de prairies flottantes.

3° Climat. — Pour la répartition annuelle des températures moyennes réduites au niveau de la mer, l'isotherme de 29,0° C traverse la partie Sud du lac Upemba.

Pour 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 25,0° C et des minima de 6,0° C (1930-1939) (A. VANDENPLAS).

L'indice de la région (F. BULTOT, 1950) est : (Aw<sub>s</sub>) S à cinq mois de saison sèche.

La pluie est comprise entre 1.000 et 1.200 mm. A. VANDENPLAS (1934) fait traverser le lac Upemba par l'isohyète de 1.000 mm.

## II. — PHYSICO-CHIMIE.

4° Température de l'eau. — Amplitude de la température en surface : de 23,5° C à 33,0° C; près du fond : de 24,0° C à 31,0° C. La stratification y est directe.

Dans la classification de FOREL-WHIPPLE : lac tropical de l'ordre 3, à circulation pratiquement continue au cours de l'année.

5° Transparence et couleur. — Transparence de  $\pm 0,45$  m. Couleur vert-jaune brunâtre. Échelle de FOREL n° 11-12.

6° Résistivité. — En surface : de 4.100 à 7.200  $\Omega$  à 18° C. En moyenne de 5.108  $\Omega$  à 18° C en surface, de 5.121  $\Omega$  à 18° C près du fond.

7° Oxygène. — Déficits assez rares, localisés. Sursaturations près du fond très fréquentes. En surface : 115,0 à 328,8 %, en moyenne, près du fond : 82,9 à 329,4 %. Les sursaturations sont en relation avec la production massive de nannoplancton et probablement avec l'action photochimique des rayons ultra-violet. Premier maximum en petite saison des pluies, second maximum en août, vers la fin de la saison sèche.

8° Alcalinité. — L'alcalinité monte en flèche depuis décembre jusqu'en août. Valeurs en surface et près du fond très voisines. En surface : 1,80 à 3,36 milliéquivalents  $\text{CO}_3$  par litre; près du fond : 1,86 à 3,41 milliéquivalents  $\text{CO}_3$  par litre.

9° Acide carbonique libre. — Maximum au mois de mai en surface. Complètement absent dans les deux couches en février-mars. Production par dégradation de la matière organique au cours de sa descente vers le fond et les fermentations de la vase.

10° pH. — Cycle annuel subdivisé en quatre phases : successivement phase alcaline (novembre-décembre : pH 8,0), phase neutre (janvier-février-mars : pH 7,0-7,5), phase acide (avril-mai-juin-juillet : pH 6,4-7,4), phase neutre avec tendance à l'alcalinisation (août : pH 7,3-7,75).

11° Calcium. — Tampon et décalcification biologique. Teneurs en  $\text{Ca}^{++}$  moyennes : 20,60 à 42,23 mg-litre. Décalcification ayant probablement lieu en phase alcaline aux mois de septembre-octobre-novembre-décembre. Le tampon est ici :  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  :  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

12° Oxydabilité. — En surface : de 50,56 à 152,92 mg de permanganate de potassium au litre; au fond : 56,88 à 143,28 mg de permanganate de potassium au litre.

13° Azote et phosphore. — En surface : 9,66 à 33,77 mg  $\text{N}_2\text{O}_5$ ; au fond : 1,90 à 13,48 mg  $\text{N}_2\text{O}_5$ ; soit en  $\text{NO}_3^-$ , respectivement : en surface : 0,09 à 0,220 mg  $\text{PO}_4^{=}$  au litre; au fond : 0,025 à 0,490 mg  $\text{PO}_4^{=}$  au litre.

14° Classification chimique. — Eau tri-ionique du type calcium-magnésique carbonaté.

III. — **BIOLOGIE.**

15° Faune benthique. — Chironomides.

Matières minérales en suspension : grandes quantités.

Microplancton : absence de Diatomées et de Desmidiées. Quelques Proto-coccales : *Pediastrum* et *Scenedesmus*.

Zooplancton : Copépodes, quantités importantes de Rotifères et quantités considérables de restes d'exuvies de Chironomides.

Nannoplancton : particulièrement important, de l'ordre de 297 cc par cent litres d'eau au mois de janvier, avec minima et maxima au cours du cycle annuel. Composé surtout de petites cellules circulaires de l'ordre de 2,9 à 4,3  $\mu$  de diamètre. D'après les mois et les stations, la densité du nannoplancton est de 62.000 à 3.420.000 cellules par cc d'eau.

IV. — **LIMNOLOGIE.**

16° Lac à Chironomides, à vase autochtone et allochtone, riche en substances organiques. Argile en suspension. Matière nutritives abondantes.

Lac du type eutrophe, variante eu-argilo-anorganotrophe, *sensu* E. NAUMANN-K. HÖLL; du type astatique par sa communication avec le Fleuve et sa tendance à en subir les fluctuations. Changements périodiques, avec baisses de niveau considérables pouvant aller jusqu'à la mise à sec partielle, probables, assez rares cependant et ne se produisant qu'au cours de périodes de plusieurs années.

## SUMMARY.

Formed in 1939, National Upemba Park is situated in Upper Katanga between Latitude 8° and 10° North and between Longitude 26° and 27° East. Its surface extends over more than two and a half million acres which is an area equivalent to two-fifths of that of Belgium, or one two-hunderth of that of the Belgian Congo.

This territory, which has been uninhabited by man for over ten years, has been selected as a National Park, chiefly on account of its highly varied natural aspects and of the exuberance of its vegetation and fauna.

Five biologists, all belonging to the Belgian « Institut royal des Sciences naturelles de Belgique », took part in the exploration in various purposes, and for longer or shorter periods spread over nearly three years (1946-1949). In addition to the leader of the expedition, G. F. DE WITTE, a specialist in reptiles and batrachians, the expedition included W. ADAM, malacologist, A. JANSSENS, entomologist, R. VERHEYEN, ornithologist, and my-self.

The natural aspects of National Upemba Park are highly varies.

The western side of the Park stretches out into the large Kamolondo Plain, which is situated in the region of the great African rift-valleys.

Having been entrusted by the « Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge », with taking part, as hydrobiologist, in the expedition sent to explore National Upemba Park, I endeavoured to gather as much information as possible on the behaviour of Lake Upemba after which the Park has been named.

Whereas the objective was clearly defined, it was not achieved without coming up against innumerable difficulties : practically nothing was known of this lake, except that its shores are very marshy and overgrown with vegetation, as might be expected in view of the features peculiar to its neighbour, Lake Kisale, which is better known from the morphological standpoint because it comprises a track of the inland waterway on the Lualaba. Since no hydrobiological research had hitherto been undertaken on this huge lake-basin, it was of an extreme interest to enter upon a series of preliminary investigations in that direction.

The task is a strenuous one, especially in Central Africa, where, in the majority of cases, the setting up of a temporary laboratory equipped for advanced hydrobiological research, situated on a lakeside and far from any center of population, is almost impossible, and where it is therefore necessary to work under tents or an improvised cover.

I was able, on the spot, to perform the principal physico-chemical determinations : temperature, pH, the substances such as dissolved oxygen, alkalinity, free carbonic acid, nitrates and phosphates, substances they do not kept in storage, while the deferred analysis concerning calcium and other elements was to be carried out in Brussels immediatly on arrival of the samples taken for that purpose. Likewise the estimation and calculation of the volume of the various plankton, quantitatively collected, and of the mineral matter in suspension, were carried out in the laboratory of the « Institut royal des Sciences naturelles de Belgique » in Brussels.

All the measurements were made in the field or in the laboratory by means of the methods familiar to limnology and to analytical chemistry applied to water.

Improperly described as a lake, the vast flood-zone of the Lualaba, situated at a height of 1930 feet, which collects the waters from a basin of many thousands of square miles, has a depth of between 1 ft 8" and 10 ft 2" (in November 1948) and an area of 200 square miles or thereabouts, with a volume of water of some 1.216 million cubic yards, and encloses a greenish-brown water holding in suspension a considerable quantity of mineral matter and organisms. It is situated in Southern Katanga about the axes formed by Longitude 26°30' East and Latitude 8°30' South. The zone constituting Lake Upemba occupies its lower left-hand corner.



Au point de vue limnologique, le classement des eaux du lac Upemba dans le groupe eutrophe s'impose tant par sa faible profondeur, ses rives basses et sa riche flore littorale que par ses autres propriétés physiques et chimiques : la couleur verte, jaune ou vert brunâtre propre à ce groupe, la transparence souvent minime, la teneur variable en électrolytes, la couche de boue constituée par des détritits autochtones et les quantités de plancton abondantes.

Une variante proposée par E. NAUMANN est le type argilotrophe, dont l'eau contient de grandes quantités de plancton, de détritits organiques et minéraux et de matières argileuses en suspension. Cette eau est colorée par de l'argile colloïdale.

E. NAUMANN (1932) distingue encore les eaux paramixotrophes, caractérisées par l'origine lointaine de l'eau, qui est oligotrophe à l'origine, mais s'eutrophie en route et surtout dans le lac même.

Il parle encore de paratrophie lors de l'introduction de substances en suspension ou colloïdales.

Ces deux termes peuvent être appliqués au lac Upemba.

Dans une autre classification proposée par K. HÖLL (1928) et basée principalement sur des caractères chimiques, le type anorganotrophe répond, dans les grandes lignes, au type eutrophe, *sensu* E. NAUMANN.

Ces eaux ont une teneur en bicarbonate de calcium assez élevée (de 50 à 150 mg de CaO par litre), constituant un système tampon en présence d'acide carbonique libre hydrolysé  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 : \text{H}_2\text{CO}_3$ . Elles ont généralement une réaction alcaline. Les variations du pH sont rares, mais peuvent être influencées par des facteurs secondaires : biologiques, physiques ou atmosphériques, qui les font osciller entre pH 6,8 et pH 8,3.

La décalcification biologique se produit régulièrement et est proportionnelle à l'importance des teneurs en calcium.

On y rencontre encore d'autres sels inorganiques en solution. Les nitrates sont abondants : 1-20 mg  $\text{N}_2\text{O}_5$  par litre. Les matières organiques présentent une concentration moyenne.

La table 54 comporte les points communs entre les divers types proposés et le lac Upemba. Il manque malheureusement beaucoup de données numériques dans la description des auteurs, de sorte que je dois m'en tenir à leurs indications générales.

Il résulte de cette comparaison, qu'au point de vue limnologique les eaux du lac ont des points communs avec le type eutrophe, le type argilotrophe et le groupe anorganotrophe de K. HÖLL, ce qui permettrait de le grouper comme lac eu-argilo-anorganotrophe, en attendant que des études ultérieures sur les classifications des lacs puissent fournir des éléments de comparaison plus précis.

Une grosse difficulté dans la caractérisation du lac au point de vue du comportement de l'oxygène est son peu de profondeur, ce qui ne permet presque pas de comparaison avec des courbes typiques trouvées dans les lacs eutrophes des régions tempérées ou tropicales.

Je ne puis recourir, plus ou moins, qu'à un cas seulement, celui de la station 9, où une profondeur relative de 3,25 m a permis de mesurer une différence de température de 2,5° C entre les eaux de surface et de fond au mois de décembre et une concentration en oxygène de 8,779 mg/litre en surface et 2,966 mg/litre près du fond, ce qui correspond, plus ou moins, à ce qui se passe normalement dans les eaux eutrophes. Pour les autres mois, la courbe suit environ la même direction, les concentrations sont plus fortes en surface qu'au fond, sauf au mois de mars, où, comme j'ai pu le montrer autre part dans ce travail, les concentrations s'identifient à peu de chose près.

Je ne dispose malheureusement pas de chiffres pour les profondeurs intermédiaires : le temps et les conditions de travail nécessaires pour mener à bien ce genre d'investigations m'ont fait complètement défaut.

Je crois cependant que les renseignements et les chiffres que j'ai pu réunir permettent la classification proposée ci-dessus.

## CHAPITRE VI.

**LE PLANCTON.**

Le plancton du lac Upemba peut être subdivisé en plusieurs composantes distinctes :

- 1° les matières minérales en suspension;
- 2° le microplancton;
- 3° le zooplancton;
- 4° le nanoplancton.

Au cours de nos investigations ces divers éléments ont été récoltés quantitativement de manière à fournir une base sérieuse pour établir des éléments de comparaison.

## 1° LES MATIÈRES MINÉRALES EN SUSPENSION.

La détermination des matières minérales en suspension a été soumise à beaucoup de difficultés, surtout le transport de litres d'eau à de grandes distances, parfois dans des conditions de terrain très difficiles, de sorte que certains échantillons m'ont fait défaut au moment de l'analyse, les flacons s'étant cassés en route, soit au Congo, soit au cours des manipulations dans les divers ports pendant le voyage Congo-Belgique.

Il me reste cependant assez de matériaux pour me permettre de calculer la teneur en matières minérales en suspension pour certains mois.

Dans ces conditions, le maximum observé était en juillet de 22,4 g par 100 litres de matière sèche à 100°; le minimum a été, pour une autre station faite au cours du même mois, de 0,1 g par 100 litres.

Le calcul des moyennes pour l'ensemble des stations durant trois mois nous donne les chiffres mentionnés dans la table 48.

TABLE 48.

Matières en suspension en grammes par 100 l.			
Mois	Matière sèche à 100°	Cendres	Cendres %
Juin . . . . .	5,648	1,020	18,05
Juillet . . . . .	4,988	0,515	10,32
Août . . . . .	3,015	0,6	19,90

Il résulte de ces observations que si nous prenons une moyenne de 5 g par 100 litres, soit 0,99 g de cendres, nous aurons une teneur totale pour tout le volume du lac de 46,5 tonnes de matière sèche, correspondant à 9,2 tonnes de cendres. Dispersées par km<sup>2</sup>, elles donneraient un dépôt de 87 kg au km<sup>2</sup> ou 8,7 g au m<sup>2</sup>.

On peut donc affirmer que la quantité de matière en suspension n'est pas sans importance, d'autant plus qu'une partie se présente sous forme colloïdale, très difficile à filtrer, possédant donc des propriétés tout à fait particulières qui ont une influence capitale sur l'évolution biologique du lac. Son rôle est primordial dans la productivité du lac. En effet, d'après certaines hypothèses que l'examen d'autres lacs ont fait adopter, ces colloïdes fonctionneraient comme écran protecteur contre les rayons ultra-violets. Ceci expliquerait la pauvreté du microplancton de certaines eaux où ces colloïdes font défaut, par opposition avec certains autres petits lacs, marais, étangs, estuaires où le phytoplancton est très abondant, à côté de ces matières en suspension.

Nous trouvons chez F. RUTTNER (1952) une observation fort intéressante au sujet des suspensions : « Nach dem bisher gesagten ist es ohne weiteres einleuchtend, dass ein blauer Farbton nur bei abwesenheit merklicher Mengen von Humusstoffen und von gefärbten Suspensionen, also auch von Phytoplankton, entstehen kann. Blau kann daher nur ein an organischer Produktion armes Gewässer sein : « Blau ist die Wüstenfarbe des Meeres » (FR. SCHÜTT).

» Wie die tiefblauen tropischen Meere (bei aller Mannigfaltigkeit der Arten) mengenmässig eine nur sehr geringe Planktonproduktion aufweisen, so enthalten auch die Binnengewässer, je blauer um so kleinere Mengen freischwebenden Lebewesen, je blauer Sie sind. Andererseits werden Seen mit hohem Planktongehalt stets ein gelbgrünes bis gelbes Wasser führen. Es bietet uns daher die Beachtung der Farbe eines Gewässers gewisse Anhaltspunkte für die Beurteilung seiner Produktion, wofern eine erhebliche Beeinflussung durch Humusstoffe ausgeschlossen werden kann. »

## 2° LE MICROPLANCTON.

Le microplancton se compose d'une partie animale et d'une partie végétale.

La partie végétale est relativement pauvre. Quelques *Pediastrum*, de minuscules *Scenedesmus*, un *Staurastrum*, un très rare *Navicula*, voilà tout ce que j'ai pu voir dans les échantillons examinés. Les Diatomacées font pratiquement défaut; nous n'avons rencontré aucune Desmidiée, même en phase acide; le grand groupe même des Cyanophycées est assez mal représenté.

La partie animale du microplancton est plus riche : certains mois les petits Copépodes et leurs larves, plusieurs espèces de Rotifères pullulent à côté de quelques Cladocères et leurs larves, de même que quelques insectes.

J'ai calculé, pour les eaux du large, les rapports entre les différents groupes de la population zooplanctonique.

TABLE 49.

Population zooplanctonique. Eaux du large.							
Mois	Nombre total examiné	Copépodes	Larves	Rotifères	Cladocères	Larves	Divers
XII	5487	7,27 %	5,08 %	84,33 %	—	3,32 %	0,01 %
I	6992	9,60 %	9,34 %	78,18 %	0,04 %	2,73 %	0,10 %
IV	1193	6,37 %	11,97 %	71,23 %	0,33 %	7,71 %	0,39 %
V	292	8,43 %	21,64 %	59,47 %	0,45 %	9,34 %	0,68 %
VI	301	10,18 %	15,04 %	65,93 %	0,22 %	8,63 %	—
VIII	4073	11,21 %	14,34 %	72,33 %	0,04 %	1,85 %	0,23 %

### 3° LE ZOOPLANCTON.

Les récoltes faites au moyen du filet à soie n° 3 renfermaient surtout des Copépodes et des débris considérables d'exuviae de Chironomides. Ceux-ci sont si nombreux qu'à certaines époques de l'année on pouvait observer l'éclosion massive des insectes parfaits par les nuages noirs compacts s'élevant au-dessus de la surface aquatique (notamment le 26.XI.1948).

Les Copépodes de ces récoltes ont déjà été déterminés par K. LINDBERG (1951) et sont représentés par les espèces suivantes : *Mesocyclops leuckarti* (CLAUS), *Thermocyclops neglectus* (SARS) et *Mesocyclops varicans* (SARS). K. LINDBERG conclut son étude par l'observation que l'ubiquiste *Mesocyclops leuckarti* (CLAUS) prédomine de beaucoup sur l'autre, l'espèce commune africaine *Thermocyclops neglectus* (SARS). Il n'est pas impossible que l'étude de la partie zoologique du microplancton fasse encore découvrir de nouveaux détails à ce sujet.

### 4° LE NANNOPLANCTON.

L'élément le plus important du plancton au sens le plus large est le nannoplancton. Il est composé d'une énorme quantité d'éléments minuscules, la plupart du temps globuleux, aplatis légèrement aux pôles, quelques formes filamenteuses, toutes de dimensions réduites de l'ordre de 2,9 à 4,3  $\mu$  pour les unicellulaires globuleuses et de 72,5 à 20,3  $\mu$  de long et 2,9 à 2,1  $\mu$  de large pour les formes filamenteuses. On y trouve en outre de toutes

petites formes ressemblant à des bactéries. La densité de cette population nannoplanctonique peut s'estimer, d'après les stations et l'époque de l'année, entre 62.500 et 3.420.000 éléments par cc d'eau.

Il n'a pas encore été possible de déterminer ces éléments spécifiquement. Cette étude fera l'objet du second volume du présent travail.

Quoi qu'il en soit, la quantité de ces éléments est énorme si on la compare aux quantités de microplancton et de zooplancton récoltées aux mêmes endroits et aux mêmes époques de l'année. La table 50 groupe les chiffres exprimant le nombre de centimètres cubes des divers planctons récoltés quantitativement sur 100 litres d'eau,

TABLE 50.

Plancton.										
Moyennes mensuelles en cc par 100 l d'eau.										
Mois	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Zooplancton	0.100	0.150	0.150	0.240	0.100	0.130	0.115	0.100	0.180	0.120
Microplancton	0.800	1.100	0.900	1.400	0.300	0.600	0.720	0.460	1.100	0.560
Nannoplancton										
Surface	125	225	297	295	100	67,5	108	107	195	83,3
Fond	240	—	66	—	100	—	109	155	297	85,7

Ces chiffres ne tendent pas à exprimer des valeurs absolues. Mais il faut bien se rendre compte qu'un premier travail en Afrique ne permettait pas des récoltes telles qu'on aurait pu songer à des échantillons destinés à la dessiccation, voire à la destruction, de manière à pouvoir exprimer les divers planctons en milligrammes par litre, méthode évidemment beaucoup plus correcte que la nôtre. On voudra, j'espère, me concéder que le présent travail ne constitue qu'une première approximation.

On connaît des lacs du type tempéré où la production du plancton affecte la forme d'une courbe diacmique, d'autres où il n'existe pas de maximum ni de minimum, d'autres, enfin, qui ont parfois trois maxima et trois minima. Au lac Upemba la situation est la suivante : pour le nannoplancton, une courbe diacmique très nettement dessinée (fig. 13 et 29) avec deux maxima, l'un à la fin de la saison des pluies, janvier-février, l'autre en saison sèche, au mois de juillet, et un minimum situé entre le mois de mars et le mois de juin, correspondant, dans les grandes lignes, à la phase d'acidification des eaux lacustres.

Le microplancton, moins aisément contrôlable, puisque composé de deux groupes totalement différents dans leur comportement biologique : phyto- et zooplancton, l'un producteur et l'autre consommateur, a, lui aussi, deux maxima correspondant aux mêmes périodes du cycle annuel que les maxima du nanoplancton.

Le zooplancton suit sensiblement la même courbe.

Avec P. S. WELCH (1952), on peut dire que dans l'étude d'une population planctonique totale d'un lac il est nécessaire d'étudier séparément les changements rythmiques saisonniers des espèces ou groupes d'espèces planctoniques et que les maxima et minima produits ne le sont pas nécessairement par tous les composants du plancton. Il faut donc se méfier des conclusions trop générales et étudier des espèces ou des groupes de genres ou d'espèces qui ont tous leurs propriétés, leur individualité et leur plus ou moins grande dépendance de certains facteurs, dans leur biotope aquatique. « While the plankton is an organic community in which exist many interdependencies, it must be remembered that each component of this heterogenous assemblage has its own form of life cycle, its own problems of maintenance, and its own characteristic reactions to stimuli; also, that these features may differ even among those species which are most closely related taxonomically. The plankton community is, in this respect, no different from some terrestrial community in which each of the various species, while influencing associated organisms in many ways, has its own individual sequence of life-history stages, generations, and reactions.

» Each plankter is directly or indirectly subject to the complex of influences which changes of seasons impose, and the proper responses must be made, some of which result in quantitative changes, i.e. increases or decreases of size of the population. The annual quantitative history of many plankter is a succession of appearances and disappearances or of waves of development followed by decline. These sequences of increase and decline vary greatly on magnitude. In some species, the amplitude of rise and fall in quantity, while distinct, is not great enough to produce more than minimal changes in the total plankton population; in others, the change is so great that a wave of development of a single plankter may be sufficient to dominate numerically a whole plankton population and even produce the greater part of a seasonal maximum. All sorts of intergrades between these two extremes occur.

» The periods of quantitative increase and decline of the individual plankters do not, in many species, coincide with the seasonal minima and maxima of the total plankton described previously; in fact, certain species may exhibit their maxima during the general seasonal maxima and vice-versa. »

L'existence de fluctuations périodiques dans le volume du plancton a été expliquée pour les lacs d'une certaine profondeur par l'action du brassage amenant de nouvelles matières en solution du fond vers la surface.

Dans le cas d'eaux comme celles du lac Upemba, où la profondeur minimale semble devoir exclure l'existence d'un thermocline, certains semblent admettre l'influence d'inondations saisonnières qui transportent des quantités de substances nutritives essentielles dans un temps relativement court. Cependant, ajoute P. S. WELCH, dans des lacs fermés, sans apports d'eau d'une certaine importance, cette explication n'est pas soutenable.

Si nous voulons nous placer au point de vue de l'influence des inondations sur la production maximale du plancton dans le lac Upemba, on peut invoquer l'apport de matières minérales au cours de la saison des pluies aussi bien par les eaux de ruissellement coulant directement dans le lac que par le fleuve Lualaba, qui a drainé une immense région avant d'arriver dans la vallée du Kamolondo aux endroits où s'amorcent les passes vers l'Upemba. Admettant que la saison des pluies s'étende, *mutatis mutandis*, d'octobre jusqu'en avril, le maximum absolu de la quantité de plancton aux mois de janvier-février serait ainsi dû aux lavages opérés par les pluies durant les mois précédents, d'où la montée progressive constatée depuis novembre et même plus tôt. Nous ne savons malheureusement rien sur le comportement du fleuve Lualaba dans les parages du lac Upemba, aucune analyse n'ayant jamais été faite au point de vue biologique. Pour l'Expédition le prélèvement périodique d'échantillons dans le fleuve était pratiquement impossible, les communications étant très difficiles et le temps dont nous disposions strictement limité. Aussi est-ce une donnée du problème qui demeure en suspens et à laquelle l'avenir devra apporter une solution.

Dans tous les cas, l'apport de matières minérales par l'étiage du fleuve n'explique pas la seconde montée du plancton en saison sèche, au mois d'août.

Il semble dès lors très difficile de désigner un facteur isolé comme la seule cause de la périodicité du plancton. Sans aucun doute, est-ce l'interaction d'une combinaison de plusieurs facteurs agissant à des degrés et des intensités divers.

E. A. BIRGE et C. JUDAY (1934), en traitant des substances organiques dissoutes dans les eaux des lacs américains, suggèrent : « the relation between depth and plankton production, however, is by no means a simple one, since size, shape of basin and other factors have a modifying influence. The larger yields of the shallow lakes seem to be due largely to the fact that the raw materials required for the maximum growth of the phytoplankton may be used repeatedly because the water is so shallow that it is kept in complete circulation during the summer; thus the dissolved substances derived from decomposition and from other sources are uniformly distributed from surface to bottom and become available, therefore, for the phytoplankton ».

Certains auteurs ont prêté une assez grande attention à la relation azote-phosphore. On connaît mieux ce rapport pour l'eau de mer que pour les eaux douces, malgré que certains se soient occupés de la question. Son



importance découle de l'hypothèse, qui semble avoir une évidence assez défendable : que les concentrations de ces deux corps sont étroitement parallèles. Il semble que pour l'eau de mer, le rapport tende à se rapprocher d'une valeur constante, avec un excès d'azote sur la concentration en phosphore, et que les deux substances seraient contenues dans le plancton dans des proportions analogues. On connaît des variations autour de cette proportion, mais seulement dans des conditions particulières. En outre, le rapport serait différent non seulement en grandeur, mais aussi l'amplitude des variations par rapport à la moyenne proposée. Les études dans ce sens n'en sont encore que dans un premier stade et il est souhaitable que des recherches plus fouillées soient faites.

Comme je dispose de quelques chiffres de nitrates et de phosphates, j'ai calculé les valeurs correspondantes en azote et phosphore, de même que le rapport. On trouve ces données dans la table 51.

TABLE 51.

Concentrations moyennes en azote et phosphore en mg/litre. Rapport N : P. Eaux de surface.			
Mois	N	P	N : P
Décembre 1948 ... ..	3,19	0	$\infty$
Janvier 1949 .. ...	1,79	0,071	25,07
Février ... ..	3,17	—	—
Mars . ... ..	2,98	0,065	45,72
Avril ... ..	1,31	0,029	45,01
Mai .. ... ..	1,73	0,573	30,26
Juin . ... ..	1,05	0	$\infty$
Juillet ... ..	2,22	0	$\infty$
Août ... ..	0,91	0,030	25,57

F. RUTTNER (1952), en parlant de la loi du minimum, fait observer très judicieusement : « Wegen der sehr verschiedenen Ansprüche, welche die einzelnen Organismen an die Umweltbedingungen stellen, ist für ein Verständnis des Stoffwechsels der Gewässer eine eingehende Kenntnis der Physiologie der Arten und Rassen notwendig. Auf diesem eine mühsame Kleinarbeit mit Reinkulturen erfordernden Gebiet sind wie erst in den Anfängen ».

L'interprétation de ces valeurs est très délicate et est loin de donner une idée claire satisfaisante. Si nous comparons le rapport N : P avec les chiffres de la table 50 pour les quantités moyennes de nannoplancton reportées plus haut sur le graphique figure 34, nous nous trouvons devant la situation suivante :

TABLE 52.

Corrélations entre le rapport N : P et les quantités de nannoplancton en cc par 100 l.		
Mois	Rapport N : P	Le nannoplancton :
Décembre 1948 . ...	$\infty$	croît 225 cc
Janvier 1949 ... ..	25,07	maximum 297 cc
Février ... ..	?	maximum 295 cc
Mars .. ... ..	45,72	décroit 100 cc
Avril .. ... ..	45,01	minimum 67 cc
Mai ... ..	30,26	croît 108 cc
Juin ... ..	$\infty$	croît 107 cc
Juillet . ... ..	$\infty$	maximum 195 cc
Août .. ... ..	25,57	décroit 83 cc

Il ne faut pas chercher très loin pour remarquer tout de suite qu'il n'y a, dans ce cas, aucun rapport particulier apparent entre le volume du nannoplancton et le rapport N : P. Même pour les océans, H. U. SVERDRUP, M. W. JOHNSON et R. H. FLEMING (1946) ne semblent pas attacher une importance exagérée à ce rapport : « The utilisation of nitrates and phosphates in the synthesis of organic substance proceeds at an approximately parallel rate so that, although both may be become markedly reduced by plants, the ratio of the two approaches fifteen atoms of nitrogen to one atom of phosphorus, with some deviation called the « anomaly of the nitrate-phosphate ratio », perhaps dependent upon stages in the nitrogen cycle, a more rapid bacterial regeneration of phosphates, and the history of the particular body of water. In keeping with this there is an agreement in the ratio of nitrate-nitrogen to phosphate-phosphorus in offshore waters and of the nitrogen-to-phosphorus ratio found in the organic substance of mixed plankton. This agreement suggests that the composition of the composite population of the sea, both animals and plants, is determined by the ratio of these elements in sea water. Although the two elements discussed above have been shown to be vital to plant production, yet in

nature the diatom population has been known to decrease while these nutrients were still present in sufficient quantity to support production. In these instances the limiting factors must be looked for elsewhere ».

A. THIENEMANN (1925) n'est pas très explicite non plus.

D. S. RAWSON (1936), W. R. G. ATKINS, A. H. WIEBE (1931) ont traité la question pour des lacs et des rivières de l'Amérique du Nord.

Il résulte de toutes ces recherches que nous savons relativement peu au sujet des variations des diverses formes de l'azote par rapport à la production du plancton. Il est difficile d'assigner le rôle de facteur limitant au phosphore ou à l'azote aussi longtemps que nous ne serons pas en possession de relevés complets.

Je ne puis donc insister davantage sur ce problème en ce qui concerne la production du phytoplancton du lac Upemba <sup>(1)</sup>.

---

(1) Le présent volume était déjà sous presse lorsque j'eus connaissance d'un travail fort intéressant de W. OHLE (1952) : « Die hypolimnische Kohlendionyd-Akkumulation als produktionsbiologischer Indikator », publié dans *Archiv für Hydrobiologie*, XLVI, pp. 153-285.

## CHAPITRE VII.

**INTERACTION DES CYCLES BIOLOGIQUE  
ET PHYSICO-CHIMIQUE DU LAC.**

En possession des diverses considérations sur les principaux facteurs étudiés dans les chapitres précédents, essayons maintenant d'en dégager une vue d'ensemble sur leur interaction.

Un tel essai, extrêmement complexe à réaliser, est cependant nécessaire, car il est impossible de comprendre le chimisme d'une eau sans se baser sur ses relations logiques avec le métabolisme des divers éléments de sa biocénose.

Nous allons donc reprendre brièvement ici les divers facteurs un à un et voir comment ils réagissent les uns sur les autres (fig. 34).

\*  
\*\*

L'oxygène, comme nous l'avons vu précédemment, est généralement présent en quantités telles que le % normal est une sursaturation poussée très loin. Cette production massive est due partiellement à une croissance exubérante du nannoplancton et partiellement à l'action photochimique des rayons ultra-violet. Il est à remarquer que le début de la croissance des sommets de la courbe diacmique de l'oxygène se trouve à peu de chose près aux changements de saison, c'est-à-dire au début de la petite saison sèche et au début de la saison sèche proprement dite. Une seconde remarque importante est la curieuse propriété de l'oxygène de manifester son maximum dans le lac Upemba environ trente jours après le maximum produit par les organismes qui lui ont donné naissance.

La consommation a lieu par la respiration des vertébrés et invertébrés aquatiques, mais surtout par la quantité considérable de matières organiques provenant de la dégradation de la matière vivante et principalement par le nannoplancton lors des périodes de décroissance, de même que la production de quantités incalculables de déchets de Chironomides. L'oxydation consomme des quantités considérables d'oxygène, dont la courbe décrit une décroissance très rapide quelques jours après le début de la chute du nannoplancton. Ces diverses phases se dessinent très nettement sur les graphiques de la figure 34.

Les oxydations dont les eaux du lac sont le siège aux dépens de l'oxygène produit par le nannoplancton et le rayonnement ultra-violet aboutissent à la formation, d'une part, d'acide carbonique libre et, d'autre part, à la production de nitrates.

\*  
\*\*

Il n'est pas sans intérêt de mettre ici en parallèle l'évolution des nitrates pendant le même temps. Il faut tenir compte toutefois du fait que la grande masse de matière vivante utilise des quantités appréciables de nitrates. Le graphique tel que nous le montrons est donc en réalité la résultante de deux actions, l'une de production depuis les matières organiques, l'autre de consommation par le nanoplancton. Il est donc difficile, sinon impossible, d'y voir une similitude complète avec les variations des deux facteurs composants en cause. Au maximum du nanoplancton du mois de janvier correspond un minimum des nitrates, ce qui était à prévoir. Le nanoplancton, ne continuant pas à croître, alors que l'oxydation de la matière organique se poursuit, les nitrates augmentent et constituent donc en quelque sorte une réserve. Quant au fait qu'il y a décroissance des nitrates, devons-nous y voir une réduction en azote par une action bactérienne en passant par les nitrites ?

Dans les grandes lignes on pourrait considérer dans ce cas la courbe des nitrates comme étant l'inverse de celle de l'oxydabilité, sauf vers la fin du cycle, où une pointe demeure momentanément inexplicable.

L'examen de la situation près du fond montre une allure sensiblement analogue pour l'oxygène, sauf, toutefois, un léger déficit en saison des pluies.

Le maximum des nitrates se présente au mois d'avril, un mois après le premier sommet de la courbe de l'oxygène, l'oxydabilité étant à un de ses points les plus bas. Puis, la concentration en nitrates diminue en rapport avec la diminution de l'oxygène; on voit donc que la quantité de matières organiques augmente progressivement jusqu'en août, où le nanoplancton accomplit sa seconde courbe de décroissance.

En saison sèche, à la seconde montée de l'oxygène, toujours pour les eaux près du fond, les nitrates augmentent presque parallèlement, les matières organiques montent vers le mois d'août, suivant en cela la décroissance du nanoplancton, qui fait environ la même chute près du fond qu'à la surface.

Quant aux premiers mois, la matière vivante, en l'occurrence le nanoplancton, ayant fortement diminué, et reprenant seulement sa croissance au mois de janvier, il est normal que l'oxydabilité diminue, que les nitrates augmentent parallèlement à l'oxygène jusqu'au mois d'avril, époque à laquelle la productivité du nanoplancton n'est pas encore assez élevée pour consommer la quantité de nitrates disponible.

\*  
\* \*

Comme il a été expliqué au cours des chapitres précédents, le  $\text{CO}_2$ , sous toutes ses formes, joue un rôle prépondérant dans le métabolisme du lac Upemba.

Absorbé en quantités considérables par le nanoplancton au cours de son élaboration chlorophyllienne, sa présence est absolument nécessaire pour permettre aux organismes phytoplanctoniques de jouer le rôle qui leur est dévolu dans la biocénose aquatique.

Comme producteurs de  $\text{CO}_2$  nous voyons en premier lieu l'atmosphère et la respiration des macro- et microorganismes. Mais c'est surtout la vase, siège des fermentations, qui est le plus grand producteur des quantités nécessaires de  $\text{CO}_2$ .

Dans le lac la production d'anhydride carbonique libre joue un rôle très important, car c'est sa présence qui détermine, à certains moments du cycle annuel, l'évolution du pH avec toutes les conséquences biologiques que cela comporte.

La plus grande quantité est élaborée entre les mois d'avril, mai et juin, c'est-à-dire à la fin de la petite saison des pluies et au début de la saison sèche, correspondant à un déplacement du pH vers la zone acide, d'une importance telle qu'il descend à  $\text{pH} = 6,6$  à la fin du mois de mai.

C'est bien l'acide carbonique libre qui est en cause, car les valeurs de pH obtenues par le calcul à partir de l'alcalinité et que nous appelons sur les graphiques le pH théorique, RpH ou réserve pH (*sensu* WELLS), montrent une tendance beaucoup moins prononcée à se déplacer dans le sens acide.

L'amplitude du pH réel durant cette période d'acidification s'étend de pH 7,4 à 6,8, de pH 6,8 à 6,6 et de pH 7,6 à 6,6 pour les trois mois en cause.

Dans les grandes lignes, la consommation du  $\text{CO}_2$  libre est en raison directe de la production du nanoplancton et les maxima de l'un correspondent aux minima de l'autre; mais le  $\text{CO}_2$  libre n'est pas seul à être la source du  $\text{CO}_2$  consommé par les plantes.

Celles-ci ont la propriété d'assimiler le  $\text{CO}_2$  des bicarbonates dissous produits aux dépens, d'une part, du carbonate de calcium présent dans le sous-sol ou dans la vase et, d'autre part, de l'anhydride carbonique apporté par l'équilibre avec l'atmosphère ou produit au cours des réactions de dégradation de la matière organisée.

A cela s'ajoute qu'au cours de l'année, pour des raisons expliquées plus haut, les teneurs en  $\text{Ca}^{++}$  lié aux bicarbonates peuvent varier dans de larges mesures ou même devenir très minimales à cause de précipitations imputables à diverses causes physiques, chimiques et biologiques.

L'évolution de l'anhydride carbonique dans le lac Upemba nous a permis de diviser le cycle annuel en quatre phases : une alcaline, correspondant à l'ionisation de l'hydroxyde de calcium provenant de l'hydrolyse du carbonate de calcium précipité, une phase plus ou moins neutre correspondant à une quantité d'anhydride carbonique libre très minime, une phase acide se rapportant à la période de production maximale de  $\text{CO}_2$  et, enfin, le retour à une phase plus ou moins neutre avec tendance alcaline annonçant la période probable de décalcification. La courbe de l'alcalinité suit d'ailleurs une gradation progressive depuis le mois de mars jusqu'en août, ce qui correspond assez bien avec celle du calcium (fig. 35).

Si nous comparons l'alcalinité à la production du nanoplancton, comme nous savons que sa chlorophylle élabore aux dépens des bicarbonates, nous voyons qu'il semble qu'on puisse établir une certaine relation entre les périodes de productivité maximale du nanoplancton et les minima de la concentration en  $\text{CO}_3=$ .

En valeur absolue, il y a plus de  $\text{CO}_2$  libre dans les eaux du fond, avec cependant des périodes d'absence plus longues que pour les eaux de surface; le pH a une amplitude au cours de la période avril-mai-juin, respectivement de pH 7,3 à 6,9, de pH 6,7 à 6,4 et de pH 6,8 à 6,6, alors que les valeurs extrêmes de l'alcalinité correspondent à peu de chose près à celles des eaux de surface.

La courbe du calcium a pratiquement la même allure avec une valeur absolue légèrement plus élevée au mois d'août.

Dans les lignes consacrées au phosphore dans le lac Upemba, nous avons vu comment s'est comporté ce corps au cours des fluctuations du nanoplancton. Les minima et maxima correspondent à peu de chose près respectivement aux maxima et minima du plancton et l'on peut remarquer, dans une certaine mesure, que les eaux de surface semblent emprunter du phosphore aux couches plus profondes.

\*  
\*\*

Un point essentiel, semble-t-il, dans l'étude des lacs africains est la transparence et la turbidité. J'ai remarqué, durant nos séjours en Afrique, que les eaux très transparentes étaient pauvres en phyto- et nanoplancton, alors que celles chargées d'une grande quantité de matières minérales en suspension, comme au lac Upemba, certains marais, renfermant cependant des eaux comparables au point de vue de la composition chimique, produisaient un phytoplancton très dense.

J'ai pensé que la qualité du rayonnement pénétrant dans les couches lacustres serait en cause, et jusqu'à plus ample information j'ai adopté l'hypothèse suivante : la radiation ultra-violette ne serait pas tolérée par le phytoplancton. Lorsque l'eau renferme des matières argileuses en suspension, celles-ci feraient fonction d'écran et le phytoplancton pourrait ainsi se développer librement.

En attendant des recherches dans ce sens, on pourrait se baser sur les recherches déjà anciennes de H. BIERRY et LARGUIER DES BANCELS (1911) sur la décoloration de la chlorophylle par les rayons ultra-violets. Ces recherches sont certainement liées à celles de N. PRINGSHEIM (1881) sur l'action des rayons solaires froids et concentrés. Dans ces circonstances, l'action des rayons à petite longueur d'onde est tellement significative que la décoloration de la chlorophylle dans le vert foncé et le bleu a lieu en quelques minutes, alors qu'elle n'a pas lieu dans le rouge, toutes conditions étant égales.

Cette hypothèse permettrait d'expliquer l'absence de phytoplancton dans les grands lacs tropicaux comme le lac Tanganika, à grande transparence, environ 25 mètres, et sa présence dans des eaux fortement chargées de matières en suspension : certains lacs comme l'Upemba, des marais et les estuaires de grandes rivières de plaine aboutissant dans les lacs. Le contraste entre la population phytoplanctonique de ces estuaires et celle du lac est frappant.

Quant aux agrégations locales du nannoplancton produisant de véritables nuages au sein de l'eau, comme j'ai eu l'occasion de le remarquer maintes fois, elles constituent un phénomène obscur, dont aucune explication plausible ne semble avoir été donnée jusqu'à présent.

\*

\*\*

Enfin, dans une étude récente de M. POLL et H. RENSON (1948), sur les poissons, leur milieu et leur pêche au bief supérieur du Lualaba, ces auteurs ont publié un graphique mettant en relief les données acquises jusqu'à présent au sujet de la reproduction des poissons dans une partie de la région qui nous occupe. Si nous comparons leur courbe d'espèces, en période de maturation ovigère, aux graphiques de pH et de productivité du nannoplancton du présent travail, pour la période durant laquelle l'Expédition a pu travailler sur le lac, c'est-à-dire en excluant les mois de septembre et d'octobre 1949, on voit :

1° Que le sommet janvier-février du nannoplancton du lac Upemba correspond à la première période de maturité ovigère;

2° Que le second sommet de juin-août du nannoplancton est suivi immédiatement d'une seconde période de maturité ovigère de juillet-octobre;

3° Que la période de non-maturité d'avril à juillet correspond à notre phase acide de pH 7,0 et moins, allant d'avril à juillet.

Il est particulièrement intéressant de pouvoir constater cette relation entre les données obtenues dans des disciplines différentes par des chercheurs travaillant indépendamment l'un de l'autre.

\*

\*\*

Par ce qui précède on peut donc se convaincre qu'il est impossible d'étudier un lac ou même un étang d'une manière superficielle. Pour bien comprendre l'histoire biologique d'un cycle complet il faut faire le plus de mesures possible, car, un facteur réagissant sur l'autre, on risque de se trouver devant des problèmes insolubles si l'on négligeait l'une ou l'autre recherche.

Dans un ensemble harmonieux tel que le lac Upemba, dont le plancton est en quelque sorte le pivot, aucun effort ne peut être négligé pour arriver à la compréhension du mécanisme ordonnateur.

Cette tâche est ardue mais féconde en résultats. La compréhension de la nature est à ce prix.



## CHAPITRE VIII.

**RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.****(With an english summary.)**

Les connaissances au sujet des eaux du centre africain étant encore fragmentaires, j'ai essayé d'étudier le lac Upemba, avec tous les moyens à ma disposition, au double point de vue physico-chimique et biologique, lors de ma participation à la Mission au Parc National de l'Upemba organisée par l'Institut des Parcs Nationaux en 1946-1949 et dirigée par G. F. DE WITTE.

J'ai rassemblé dans ce premier volume les résultats de ces recherches physico-chimiques et biologiques; un second tome sera consacré à l'étude systématique du microplancton.

Les constatations que j'ai pu faire sur le lac peuvent se résumer comme suit :

**I. — GÉOGRAPHIE.**

1° Situation géographique. — Le lac est situé dans le Katanga méridional, autour des axes formés par le 26°30' longitude Est et le 8°30' latitude Sud. La région dans laquelle est situé le lac occupe le Graben de l'Upemba sur une distance d'environ 200 à 250 km et une largeur moyenne de 40 km, à une altitude de 585 m au-dessus du niveau de la mer.

2° Morphologie. — Vaste zone d'inondation du fleuve Lualaba, à considérer comme « *Einschwemmungssee* » d'après les conceptions de VON RICHTHOFEN, ou comme lac du type astatique d'après GAIL (1924).

Pour l'année 1948-1949, les profondeurs minimales et maximales ont été respectivement 0,50 et 3,25 m.

Très large cuvette en profil, peu profonde; les points les plus bas se trouvent vers la rive Est. Le fond se relève vers la rive Ouest, où se produit l'alluvionnement au point de contact avec le fleuve.

Rives basses et marécageuses portant une riche flore d'Hélophytes. Bords souvent formés de prairies flottantes.

3° Climat. — Pour la répartition annuelle des températures moyennes réduites au niveau de la mer, l'isotherme de 29,0° C traverse la partie Sud du lac Upemba.

Pour 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 25,0° C et des minima de 6,0° C (1930-1939) (A. VANDENPLAS).

L'indice de la région (F. BULTOT, 1950) est :  $(Aw_s) S$  à cinq mois de saison sèche.

La pluie est comprise entre 1.000 et 1.200 mm. A. VANDENPLAS (1934) fait traverser le lac Upemba par l'isohyète de 1.000 mm.

## II. — PHYSICO-CHIMIE.

4° Température de l'eau. — Amplitude de la température en surface : de 23,5° C à 33,0° C; près du fond : de 24,0° C à 31,0° C. La stratification y est directe.

Dans la classification de FOREL-WHIPPLE : lac tropical de l'ordre 3, à circulation pratiquement continue au cours de l'année.

5° Transparence et couleur. — Transparence de  $\pm 0,45$  m. Couleur vert-jaune brunâtre. Échelle de FOREL n° 11-12.

6° Résistivité. — En surface : de 4.100 à 7.200  $\Omega$  à 18° C. En moyenne de 5.108  $\Omega$  à 18° C en surface, de 5.121  $\Omega$  à 18° C près du fond.

7° Oxygène. — Déficits assez rares, localisés. Sursaturations près du fond très fréquentes. En surface : 115,0 à 328,8 %, en moyenne, près du fond : 82,9 à 329,4 %. Les sursaturations sont en relation avec la production massive de nannoplancton et probablement avec l'action photochimique des rayons ultra-violet. Premier maximum en petite saison des pluies, second maximum en août, vers la fin de la saison sèche.

8° Alcalinité. — L'alcalinité monte en flèche depuis décembre jusqu'en août. Valeurs en surface et près du fond très voisines. En surface : 1,80 à 3,36 milliéquivalents  $\text{CO}_3$  par litre; près du fond : 1,86 à 3,41 milliéquivalents  $\text{CO}_3$  par litre.

9° Acide carbonique libre. — Maximum au mois de mai en surface. Complètement absent dans les deux couches en février-mars. Production par dégradation de la matière organique au cours de sa descente vers le fond et les fermentations de la vase.

10° pH. — Cycle annuel subdivisé en quatre phases : successivement phase alcaline (novembre-décembre : pH 8,0), phase neutre (janvier-février-mars : pH 7,0-7,5), phase acide (avril-mai-juin-juillet : pH 6,4-7,4), phase neutre avec tendance à l'alcalinisation (août : pH 7,3-7,75).

11° Calcium. — Tampon et décalcification biologique. Teneurs en  $\text{Ca}^{++}$  moyennes : 20,60 à 42,23 mg-litre. Décalcification ayant probablement lieu en phase alcaline aux mois de septembre-octobre-novembre-décembre. Le tampon est ici :  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  :  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

12° Oxydabilité. — En surface : de 50,56 à 152,92 mg de permanganate de potassium au litre; au fond : 56,88 à 143,28 mg de permanganate de potassium au litre.

13° Azote et phosphore. — En surface : 9,66 à 33,77 mg  $\text{N}_2\text{O}_5$ ; au fond : 1,90 à 13,48 mg  $\text{N}_2\text{O}_5$ ; soit en  $\text{NO}_3^-$ , respectivement : en surface : 0,09 à 0,220 mg  $\text{PO}_4^{=}$  au litre; au fond : 0,025 à 0,490 mg  $\text{PO}_4^{=}$  au litre.

14° Classification chimique. — Eau tri-ionique du type calcium-magnésique carbonaté.

III. — **BIOLOGIE.**

15° Faune benthique. — Chironomides.

Matières minérales en suspension : grandes quantités.

Microplancton : absence de Diatomées et de Desmidiées. Quelques Protozoococcales : *Pediastrum* et *Scenedesmus*.

Zooplancton : Copépodes, quantités importantes de Rotifères et quantités considérables de restes d'exuvies de Chironomides.

Nannoplancton : particulièrement important, de l'ordre de 297 cc par cent litres d'eau au mois de janvier, avec minima et maxima au cours du cycle annuel. Composé surtout de petites cellules circulaires de l'ordre de 2,9 à 4,3  $\mu$  de diamètre. D'après les mois et les stations, la densité du nannoplancton est de 62.000 à 3.420.000 cellules par cc d'eau.

IV. — **LIMNOLOGIE.**

16° Lac à Chironomides, à vase autochtone et allochtone, riche en substances organiques. Argile en suspension. Matière nutritives abondantes.

Lac du type eutrophe, variante eu-argilo-anorganotrophe, *sensu* E. NAUMANN-K. HÖLL; du type astatique par sa communication avec le Fleuve et sa tendance à en subir les fluctuations. Changements périodiques, avec baisses de niveau considérables pouvant aller jusqu'à la mise à sec partielle, probables, assez rares cependant et ne se produisant qu'au cours de périodes de plusieurs années.

## SUMMARY.

Formed in 1939, National Upemba Park is situated in Upper Katanga between Latitude 8° and 10° North and between Longitude 26° and 27° East. Its surface extends over more than two and a half million acres which is an area equivalent to two-fifths of that of Belgium, or one two-hunderth of that of the Belgian Congo.

This territory, which has been uninhabited by man for over ten years, has been selected as a National Park, chiefly on account of its highly varied natural aspects and of the exuberance of its vegetation and fauna.

Five biologists, all belonging to the Belgian « Institut royal des Sciences naturelles de Belgique », took part in the exploration in various purposes, and for longer or shorter periods spread over nearly three years (1946-1949). In addition to the leader of the expedition, G. F. DE WITTE, a specialist in reptiles and batrachians, the expedition included W. ADAM, malacologist, A. JANSSENS, entomologist, R. VERHEYEN, ornithologist, and my-self.

The natural aspects of National Upemba Park are highly varies.

The western side of the Park stretches out into the large Kamolondo Plain, which is situated in the region of the great African rift-valleys.

Having been entrusted by the « Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge », with taking part, as hydrobiologist, in the expedition sent to explore National Upemba Park, I endeavoured to gather as much information as possible on the behaviour of Lake Upemba after which the Park has been named.

Whereas the objective was clearly defined, it was not achieved without coming up against innumerable difficulties : practically nothing was known of this lake, except that its shores are very marshy and overgrown with vegetation, as might be expected in view of the features peculiar to its neighbour, Lake Kisale, which is better known from the morphological standpoint because it comprises a track of the inland waterway on the Lualaba. Since no hydrobiological research had hitherto been undertaken on this huge lake-basin, it was of an extreme interest to enter upon a series of preliminary investigations in that direction.

The task is a strenuous one, especially in Central Africa, where, in the majority of cases, the setting up of a temporary laboratory equipped for advanced hydrobiological research, situated on a lakeside and far from any center of population, is almost impossible, and where it is therefore necessary to work under tents or an improvised cover.

I was able, on the spot, to perform the principal physico-chemical determinations : temperature, pH, the substances such as dissolved oxygen, alkalinity, free carbonic acid, nitrates and phosphates, substances they do not kept in storage, while the deferred analysis concerning calcium and other elements was to be carried out in Brussels immediatly on arrival of the samples taken for that purpose. Likewise the estimation and calculation of the volume of the various plankton, quantitatively collected, and of the mineral matter in suspension, were carried out in the laboratory of the « Institut royal des Sciences naturelles de Belgique » in Brussels.

All the measurements were made in the field or in the laboratory by means of the methods familiar to limnology and to analytical chemistry applied to water.

Improperly described as a lake, the vast flood-zone of the Lualaba, situated at a height of 1930 feet, which collects the waters from a basin of many thousands of square miles, has a depth of between 1 ft 8" and 10 ft 2" (in November 1948) and an area of 200 square miles or thereabouts, with a volume of water of some 1.216 million cubic yards, and encloses a greenish-brown water holding in suspension a considerable quantity of mineral matter and organisms. It is situated in Southern Katanga about the axes formed by Longitude 26°30' East and Latitude 8°30' South. The zone constituting Lake Upemba occupies its lower left-hand corner.

This region lies in a south-eastern, north-westerly direction, from the rapids of the Lualaba south of Bukama, up to the Kalumengongo junction, i.e. over a length of about 125 to 155 miles with an average width of 25 miles.

From Bukama to Mulongo, the inland lakes are disposed on either side of the river, with which, moreover, they communicate through narrow channels, hardly visible in the midsts of the luxuriant aquatic vegetation.

The sides of the lake are low-lying and generally swampy. The eastern shore is formed by an agglomeration of floating vegetation of fairly uniform floristic composition, made up chiefly of *Typha angustifolia* L., which is extremely abundant, of *Carex*, of *Polygonum* and of other helophytes, edged with a fringe of yellow-flowered *Jussieuia repens* L. Above all, the Ambatsch : *Æschynomene elaphroxylon* TAUB., is particularly prevalent in many places, where it then forms real little clumps. As one approaches the dry land, *Æschynomene* becomes scarcer, the *Graminaceæ* become more and more abundant, and an evolution is witnessed towards the more or less marshy grassland which is liable to inundation and rises gradually, reaching its boundary at the foot of a kind of sandy ridge on which is set the skirt of the tropical savannah forest or open woodland.

The extreme South is made up of very large coves where the silting caused by the helophytes, mainly *Typha angustifolia* L., is intensively developed; the accumulation of decayed plants and mineral muds is considerable, so that, in many place, whenever the water shows the slightest tendency to subside, mud-banks are seen to appear above the surface. In some cases, the hydrophytes multiply rapidly, especially *Nymphæa capensis* THUNB. and *Potamogeton* sp., forming circular screens, which may cover up to several square yards, on the water. Here and there, clinging to the floating vegetation, comprising generally Grasses, *Carex*, a.o., are *Utricularia*, *Myriophyllum* and, except in a few places, very occasional specimens of *Pistia Stratiotes* L.

The Western shore is chiefly made up of small channels where the water from the Lualaba flows into the lake and, owing to this fact, forms a rather peculiar biotope. Huge screens of *Trapa bipinnata* ROTH., a species which thus seems to be connected with a slightly rheophilic environment, and various species of *Nymphæa*, among others *Nymphæa capensis* THUNB., are to be found there. Fairly large quantities of *Pistia Stratiotes* L., extremely rare in all other parts of the lake, are also to be observed.

In the North, huge clumps of *Æschynomene elaphroxylon* TAUB., isolated, abroad of the shore, give rise to small channels, sometimes of very wide extent, where circulation is rendered difficult by the accumulation of mud and by silt deposits. *Typha angustifolia* L. is also very abundant and propagates by means of pioneers. The centre of the lake is a vast body of water without floating or sublacustrine vegetation.

The patches of floating vegetation at first form an integral part of the marshy shores; they many become detached at any moment, especially in time of flood, be swept off by the fairly frequent gusts of wind, and then form the floating islands which are so plentiful at certain times.

I have had the opportunity of examining most closely the floristic composition and the microclimate of the swampy shores, of the grass-land liable to flooding and the floating vegetation. The herbarium materials are now being studied at the « Jardin Botanique de l'Etat » in Brussels.

#### MORPHOLOGY.

In profile, the lake appears as a very broad and shallow basin, the lowest points of which are towards the eastern shore. As one approaches the western shore, the bottom rises progressively as a result of the alluviation which takes place mainly towards the points of contact of the channels between the river and the lake. Here and there, the bottom rises a little and forms a few sublacustrine islands which may emerge on the occasion of particularly dry seasons.

The composition and consistency of the silt deposited on the lake bottom are not uniform, and depend on factors which I have not been able to study in detail in the course of our preliminary exploration.

The bottom is generally constituted by a more or less fluid or soft, blackish mud, comprising very fine decayed plant fragments. It may be arenaceous or argillo-arenaceous. Or else it is quite sandy or densely clayey. The clay is grey and very stiff, and seems to form considerable beds.

In certain places, the mud was mixed with abundant mollusc fragments. As my colleague W. ADAM, the malacologist of the expedition, often observed in the course of our exploration, living molluscs were seldom to be seen, for reasons which still remain obscure.

On very rare occasions, we noticed the characteristic smell of sulphuretted hydrogen, especially at Station 4 at a depth of 10 ft 2".

Near the shore, considerable disengagement of gas could very often be observed at the least disturbance of the mud.

The low-water graph shows a minimum in the month of December and a maximum in the month of May, with a difference of 21,6 Inches in level.

#### METEOROLOGY.

In the course of my stay on the lakeside and of my subsequent visits, I have had the opportunity of being concerned in some measure with meteorology. I will not dwell on this subject. I shall merely quote a few figures and a few observations. The temperature of the air, moisture and wind velocity have arrested my attention. The fact which must interest us primarily is the existence of a five month's dry season. The isotherm of 29° C runs across the southern part of Lake Upemba. As far as the distribu-

tion of the absolute maximum and minimum temperatures (actual temperatures not reduced to sea-level) is concerned, the lake is crossed by the isotherm of the 36,0° C and 35,0° C maximum and by the isotherm of the 6,0° C minimum temperatures during the period 1930-1939. From the point of view of moisture, the 90 to 100 % maximum is situated between 2 and 8 a.m., while the minimum, being fairly generally from 70 to 75 % is liable to fall to 55 % in the course of a day with a maximum temperature of 34,0° C.

As for rainfall, I refer here to the figures published by the Government service : the district is located in the 40-inch to 48-inch per year zone.

Comparison of the average temperature of the air and of the average temperatures of the surface-water makes it possible to observe at once that there is in the course of the day an inversion of temperature according to the seasons. In the rainy season, the water was warmer; in the minor dry season, there was almost equilibrium. In the minor rainy season, the air is colder, and in the dry season there is another inversion.

It may be concluded that, generally, the temperature of the air is warmer than the surface-layer in the dry season, and that in the rainy season (whether major or minor) the opposite is the case, i.e. the air is colder than the water-surface.

Let us now turn to the behaviour of the lake from the physico-chemical point of view.

#### TEMPERATURE.

One of the great difficulties to be overcome in the comparative study of the Lake Upemba with well-known lakes is brought about by the very slight thermal differences between the surface-water and that at the bottom. Few lake-basins of such shallowness have until now been studied, especially in tropical regions.

In the course of ten month's observation, the amplitude of surface temperature over the measurements taken between 8,30 a.m. and 3 p.m. to 4 p.m. (observations could not be made during the night) was from 33,0° C to 23,5° C. Near the bottom, it was from 31,0° C to 24,0° C. The greatest amplitude, with a difference of 6,60° C occurs in the month of November, and progressively diminishes to increase again and show a fresh maximum in the month of April, with a gradient of 5,3° C. The highest temperatures were observed in the month of November 1948, with 32,7° C, and in the month of April 1949 with 33,0° C, and the lowest in July with 23,5° C.

The difference between the mean temperatures for the period under consideration is 4,7° C for the surface and 4,5° C for the bottom.

At one station only I was able to carry out very accurate measurements of surface and bottom temperatures, because of its relative depth 10 ft 8". The maximum amplitude observed between the two temperatures, and included between 2,5° C and 0,2° C, occurs in the month of December 1948, with a greater or lesser decrease in the course of the year, but reaching its minimum with a difference of 0,2° C only on the month of July, i.e. in the dry season.

Before being more amply informed, it is certainly premature to attempt to deduce anything more from our figures than the mere acknowledgment of a fact : more thorough research by means of instruments adapted to measuring very slight differences in a water-column of small thickness will, alone, make it possible to establish differences able to prove the existence of a thermocline.

The action of the winds on this « film of water », if I may so describe it, must not be underestimated; it is certain that it brings about considerable changes in the thermal balance-sheet of the lake.

It follows from our measurements that the only conclusions we are entitled to draw from them for the time being are that, from the standpoint of Forel's scale, modified by Whipple, lake Upemba is a tropical lake of the third order, where surface and bottom temperatures are almost similar, and where circulation is therefore practically continuous throughout the year.

#### **TRANSPARENCY AND COLOUR.**

There is hardly anything noteworthy about the transparency and the colour of the lake water. Measured with SECCHI's disk, transparency oscillate around 1 ft 6". It is directly dependent upon the large quantity of organised matter and of argillaceous substances in suspension. I shall, moreover, have the opportunity of showing the influence of these large quantities of matter in suspension in connection with the interaction of the biological and physico-chemical cycles.

With regard to colour, this corresponds approximately to number 11 and 12 of FOREL's scale, the yellow tinge being attributable to the peculiar colour of the clayey matter, and the green tinge to the particularly abundant nannoplankton. There are, in the course of the year, very few variations between the different stations.

#### **RESISTIVITY.**

Resistivity varies between 4.100 and 7.200  $\Omega$  at 18° C, but its fairly generally in the neighbourhood of 5.300  $\Omega$  at 18,0° C; it averages 5.108  $\Omega$  for the surface water and 5.121  $\Omega$  for water collected near the bottom. We might therefore almost come to the conclusion that there is a close similarity between the surface and the bottom water, which is in any case rather likely, in view of the shallowness and the consequent extreme ease which the water is mixed.



**OXYGEN.**

The surface water of the lake is strongly supersaturated with Oxygen throughout the yearly cycle. The maximum observed has averaged 328,85 % in the month of March, and the minimum 115,06 % in the month of June. Close to the bottom, the maximum was 329,40 % in the month of March, and an 82,94 % minimum was measured in the month of December.

The average figures for the bottom show two months of deficiency in the saturation of the months of November and December, with 90,33 and 82,94 % respectively. For the remaining months, the bottom water averages show a supersaturation reaching a maximum of 329,4 %.

If we examine the Oxygen curves in relation to the seasons, we observe that the two peaks respectively occur at the beginning of the minor rainy season and in the middle of the dry season, both in the case of the surface water and in that of the deeper layer. The upward and downward trends of the curves are generally very rapid.

If, instead of examining monthly averages, we study the separate values, we obviously find higher supersaturations and much lower deficiencies, the former of which may reach 408,9 % on the surface, and the latter of which may fall to 45,46 % close to the bottom. The deficiencies in saturation are chiefly observed, apart from a few exceptions, near the bottom, where bacterial reductions give rise to heavy consumption. Considered from the standpoint of the situation of the hydrobiological station, we find that the deficiency occurs in the majority of cases at places where the waterlevel is very shallow and where decay of the organic matter and fermentation of the mud bring about considerable consumption of the Oxygen produced at the surface.

It is also noteworthy that proximity of the shores, in certain cases, probably has an effect, through the drift of waste organic matter, upon the deficiency in Oxygen. I here have in mind, the presence, at Station 12 at the time of our expedition, of several Hippopotamuses that, by stirring up the mud, have undoubtedly contributed towards putting the lower layer into contact with the upper layers, whence faster oxidation and the deficiency observed. This is a typical instance of the influence of a zoobiotic factor.

It is, moreover, of interest to point out that in the month of March the % of saturation is practically identical at the surface and close to the bottom, with 328,85 % and 329,40 % respectively, and almost absolute homothermy : 27,8° C for the surface and 27,5° C for the bottom.

If we compare the curve obtained by means of the monthly averages with that of the quantitative nannoplankton, we notice that the Oxygen maximums do not correspond to the nannoplankton maximums, but that these large concentrations of Oxygen take place some thirty days later than the mass production of the plankton.

I have also been able to measure the variations in Oxygen during the day-time : all I can say about them at this stage is that in the dry season, in the month of August, there is a very marked progression between 8,45 a.m. and 11,20 a.m. The higher concentrations occur around noon. The same fact recurs in the rainy season but less regularly, which may be readily understood on account of the tremendous and sudden dilutions caused by the atmospheric precipitations.

#### FREE CARBONIC ACID, ALKALINITY AND pH.

At the surface and at the bottom of the lake, free carbonic acid reaches its maximum in the month of May, it is entirely lacking in both layers in February and March, and it is more frequently to be found at the surface than on the bottom. At the surface, I was able to measure a 2,98 mg/litre maximum; at the bottom, a 4,37 mg/litre maximum.

The water of Lake Upemba being in fact a more or less diluted solution of calcium and magnesium bicarbonate, it is the greater or lesser concentration of bicarbonate which gives the lake its characteristic properties. The bicarbonates and the free carbonic acid together form a buffer solution which regulates the reaction of the water.

Alkalinity is greater, generally, towards the bottom of the lake, apart from a few exceptions, probably due to local influences.

At the surface, except for a slight peak in the month of December alkalinity rises very steeply until the month of August, producing a kind level from the month of April until July. The values obtained at the surface and close to the bottom remain fairly similar. As for temperature and oxygen, we may, here too, notice a unification of the surface and bottom concentration in the month of March.

The alkalinity figures, expressed in milliequivalents of  $\text{CO}_3=$  per litre, are in the region of 1,80 to 3,36 for the surface, and 1,86 to 3,41 for the bottom.

The pH reveals a very uncommon position. The chemical evolution of the lake may, so it seems, be split up into three large periods : an alkaline phase in November-December, a more or less neutral phase in January-February and March, an acid phase partly covering the rainy season and the dry season, then the beginning of a second alkaline phase in the month of August.

The pH-values vary between pH 8,0 and pH 6,4 for the surface, and pH 7,8 and pH 6,4 for the bottom water, the acid regions obviously corresponding to periods when large quantities of free carbonic acid are present.

Alkalinity seems to be more marked in the shore zone than in midlake during the rainy season; in the dry season, on the other hand, alkalinity is more pronounced away from the shore. There are also diurnal variations :

in the dry season, alkalinity is greater in absolute value during the whole morning. Both in the rainy season and in the dry season maximum alkalinity occurs in the late morning.

The quantities of silica are highly variable and, generally amount to between a few tens of mg to close on 2 centigrams per litre or thereabouts, very roughly corresponding to the greater or lesser alkalinity of the water.

In spite of the few points which remain difficult to understand in the plankton-organic matter-oxygen and nitrates mechanism, a very definite correlation does seem to exist between the production of nannoplankton and the various factors I have just enumerated.

The quantity of organic matter, expressed in mg of permanganate used for the oxidation, is approximately between 50,56 mg and 104,66 mg for the surface water, and 56,58 mg and 134,28 mg for that at the bottom. At the surface, nitrates, expressed in mg  $\text{NO}_3^-$  per litre, are from 4,05 to 14,15 mg  $\%$  or thereabouts and, near the bottom, 0,80 mg to 5,65 mg  $\%$ .

Phosphates present at the surface amount to 0,095 to 0,2 mg/litre and, at the bottom, 0,2 to 0,8 mg/litre.

Calcium is extremely important because of the part it is called upon to play in the carbonate-bicarbonate-free carbonic acid equilibrium.

The mean quantities of  $\text{Ca}^{++}$  revealed in the lake water are hardly considerable and do not exceed a few tens of milligrams per litre : at the surface, the maximum was 42,33, towards the bottom we find 54,95 mg/litre. The minima are 20,60 and 25,16 mg/litre respectively for the surface and the bottom.

Researches carried out into the water of the lake have up to now been too few to render possible the mathematical demonstration of any actual lime precipitation. For the moment, we are reduced to an hypothesis. Examination of the evolution of the various elements in the course of the year gives grounds for the belief that a such formation takes place between the months of August and November, whence the movement of the pH towards the alkaline zone due to hydrolysis of the precipitated Calcium carbonate. The month of November, the first of the cycle we were able to study, would thus come at the end of this period of lime precipitation : pH still amounts to 8,0 but already shows a tendency to decrease, free carbonic acid is absent, or present in such minute quantities that the analytical methods used in the field were unable to reveal it, and alkalinity is not very high. The decalcification period might thus be situated, *mutatis mutandis*, at the end of the dry season, slightly encroaching on the rainy season. This seems further to be confirmed by the tendency of the pH to shift towards the alkaline zone in the month of August.

It is possible that intensive evaporation in the course of the later months of the dry season, September and October, may have had a partial influence on the lime precipitation, through the concentration of salts and the lowering of the coefficient of solubility of the free  $\text{CO}_2$ .

From the point of view of the chemical classification of the water of the lake, the absence of chlorides, of sulphates and of metals other than alkaline earth metals as calcium and magnesium, makes it possible to place it, through calculation of the ionic balances, among the tri-ionic waters of the carbonates calci-magnesian type.

From the limnological point of view, classification of the water of lake Upemba in the eutrophic group is called for both on account of its shallowness, its gently sloping shores and its exuberant littoral vegetation, and of its other properties, physical and chemical : the yellow-green or brownish-green colour peculiar to that group, the often very slight transparency, the variable electrolytic content, the layer of silt formed by autochthonal detritus, and the particularly abundant quantities of vegetable plankton.

We shall here adopt the term proposed by E. NAUMANN : the argillotropic type, because of the large quantities of plankton, of organic and mineral detritus, and of argillaceous matter in suspension.

#### PLANKTON.

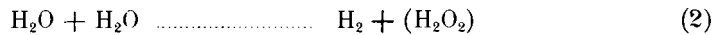
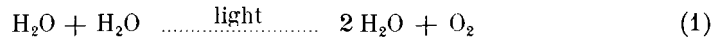
Finally, to conclude, a few words about the plankton. The lake contains zooplankton characterized by some ten species of *Rotifera*, three species of *Copepoda* already recognized : *Mesocyclops leuckarti* (CLAUS); *Thermocyclops neglectus* (SARS) and *Microcyclops varicans* (SARS), as well as *Cladocera* whose species have not yet been determined. A large quantity of zooplankton was composed by residues of *Chironomide* exuviae.

As far as phytoplankton properly so called is concerned, the lake only contains a few *Scenedesmus* and *Pediastrum* and perhaps a very few small forms of the Protococcal group. Diatoms and Desmids are practically lacking.

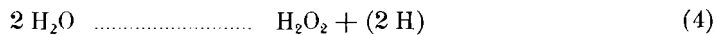
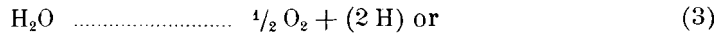
The large majority of the vegetable plankton is composed of nanoplankton comprising very small forms of globular, filiform or helicoïdal *Cyanophyceæ* and *Chlorophyceæ* of an order of magnitude of 2,4 to 4,9  $\mu$ , and a fairly important quantity of large bacteria which will probably be very difficult to determine. I have counted in some quantitative pelagic plankton samples 3.420.000 cells pro one cc.

I have considered till now, that phytoplankton was the principal producer of the oxygen supersaturation in the waters of Upemba lake. I mean that I have to change my opinion about that important question. It is in fact quite impossible to explain correctly a storage of oxygen in waters of about 33,0° C, for a lapse of time of 30 days. I remember me, the former researches of A. COEHN and G. GROTE, H. THIELE and M. KERNBAUM, recently resumed by RABINOWITSCH in his work about Photosynthesis.

The liberation of oxygen from water can occur by « self-oxidation » (dismutation).



or, (if hydrogen is taken over by an « acceptor ») by an oxidation-reduction.



where brackets indicate « acceptor » molecules.

Reaction 1 to 4 can be brought about by direct absorption of ultra-violet light by water, or they can be sensitized. If, in 3 and 4 the acceptor itself is the light-absorbing species, the reaction is a « photooxidation » of the acceptor, rather than the true photocatalysis and can only be called « sensitized ».

The direct photochemical decomposition of water into hydrogen and oxygen according to equation 1 was described in 1910 by A. COEHN and in 1912 by A. COEHN and G. GROTE. The decomposition according to 2 i.e. with formation of hydrogen peroxide, was discovered by H. THIELE (1908) and M. KERNBAUM (1909). A. TIAN (1916) suggested the existence, in ultra-violet illuminated liquid water, of a stationary state involving photochemical formation and decomposition of hydrogen peroxide. If oxygen is present, all hydrogen formed by 4 is taken away, making it possible for hydrogen peroxide to accumulate, and the net effect is a peroxide formation according to equation 4.

Ultra-violet light is present in the tropics but no figures have been published.

I suppose therefore that in the case of the Upemba lake, oxygen may be present in two forms : free oxygen, from atmosphere and photosynthesis, and combined as hydrogen peroxide.

In a series of experiences I have found that ultra-violet radiation are able to increase the concentration of oxygen in distilled water after the action of the radiation for a few days. The results of these experiences shall be soon published.

The production of a large quantity of about 67,5 to 297 cc per 100 litres of water of nannoplankton obtained by centrifugation at a speed of 2.500 t/m is certainly connected, on the one hand, with the bicarbonate concentration of the lake water and, on the other, doubtless, to the presence of appreciable quantities of argillaceous matter in suspension ranging about 2,10 to 8,8 gr of dry matter at 100° C per 100 litres of water, corresponding respectively to 0,4 and 1,8 g of ash per 100 litres.

It is may be possible that this suspension with colloidal character acts as a screen with respect to the ultra-violet rays. That is what explains, perhaps, the presence of appreciable quantities of phytoplankton in the estuaries of tropical rivers, marshes and similar waters, and their almost complete absence in clear and very transparent waters.

The future and subsequent research will certainly teach us the mechanism of these special factors.

Such are, in brief, the main observations I have been able to carry out at lake Upemba. They are merely preliminary and a great deal still remains to be done.

Lecture given before the  
Freshwater Biological Association at Windermere  
Great Britain.

31.VII.1952.

---

## INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

(Les ouvrages marqués d'un astérisque n'ont pu être consultés.)

- ALLEN, C. W., 1946, Variations of the sun's ultraviolet radiation from ionospheric and geomagnetic observations (*Terr. Magn. Atmos. Elect.*, LI, pp. 1-18).
- ALLGEIER, R. J., HAFFORD, B. C. and JUDAY, C., 1941, Oxidation-Reduction potentials and pH of Lake Waters and of Lake Sediments (*Trans. Wiscons. Acad. Sc. Lett.*, XXXIII, pp. 115-133).
- ALSTERBERG, G., 1924, Die Nahrungszirkulation einiger Binnenseetypen (*Arch. f. Hydrob.*, XV, pp. 291-338).
- 1929, Über das aktuelle und absolute O<sup>2</sup> defizit der Seen im Sommer (*Botan. Notis. Lund*, 1929, pp. 354-376).
- 1930, Die thermischen und chemischen Ausgleiche in den Seen zwischen Boden- und Wasserkontakt sowie ihre biologische Bedeutung (*Intern. Rev. ges. Hydrob. u. Hydrogr.*, XXIV, pp. 290-327).
- ANGELSTEIN, U., 1910, Über die kohlenensäure-Assimilation submerser Wasserpflanzen in Bikarbonat- und Karbonatlösungen (*Beitr. z. Biol. d. Pfl.*, LXXXVII, pp. 87-117).
- ARENS, K., 1930, Zur Kenntnis der Karbonatassimilation der Wasserpflanzen (*Planta*, X, pp. 814-816).
- 1933, Physiologisch polarisierter Massenaustausch und Photosynthese bei submerser Wasserpflanzen (*Planta*, XX, pp. 621-658).
- ARON, H., 1911, Investigation on the action of the tropical sun on men and animals (*Philippine Journ. of Sci.*, VI.B, pp. 101-130).
- ATKINS, W. R. G., 1926, A quantitative consideration of some factors concerned in Plant Growth in water (*J. Cons. Intern. Explor. mer*, I, pp. 1-28, 28-58).
- ATKINS, W. R. G. and POOLE, H. H., 1933, The photo-electric measurements of the penetration of light of various wavelenghts into the sea and the physiological bearing of the results (*Phil. Trans. Roy. Soc. London*, B., CCXXII, pp. 129-164).
- AUERBACH, F. A., und PICH H., 1911, Die Alkalität wässriger Lösungen kohlenaurer Salze (*Arbeiten aus dem Kais. Ges. amt.*, XXXVIII, p. 243).
- \*AUFSESS, O., 1905, Die physikalischer Eigenschaften der Seen (Braunschweig).
- BAAS BECKING, L. G. M., 1934, Geobiologie of inleiding tot de milieukunde (Den Haag, 263 p., 65 fig.).
- BAIER, C. R., 1935, Studien zur Hydrobakteriologie stehender Binnengewässer (*Arch. f. Hydrob.*, XXIX, pp. 183-264).
- BALDWIN, H. B. and WHIPPLE, G. C., 1906, Observed relations between Carbonic acid and algæ growth in Wesquah Lake, n° 7 (*Rep. Am. publ. Health*, XXXII).
- \*BARNES, T. C. and JOHN, T. L., 1934, Properties of water of biological interest (*Quart. Rev. Biol.*, IX, pp. 293-341).

- BATES, J. R. and TAYLOR, H. S., 1927, Studies in photosensitization (*Journ. Amer. Chem. Soc.*, XLIX, pp. 2438-2456).
- BAUR, E. und NEUWEILER, C., 1927, Über photolytische bildung von Hydroperoxyd (*Helv. chim. Acta*, X, pp. 901-907).
- BAVENDAMM, W., 1931, The possible role of microorganisms on the precipitation of Calcium carbonate in tropical sees (*Science*, LXXIII, pp. 597-598).
- 1931, Die Frage der bakteriologischen Kalkfällung in der tropischen See (*Ber. d. dtsh. Botan. Gesellsch.*, XLIX, pp. 282-287).
- 1932, Die mikrobiologische Kalkfällung in der tropische See (*Arch. f. Microbiol.*, III, pp. 205-276).
- BEADLE, L. C., 1932-1934, Scientific Results of the Cambridge Expedition to the East African Lakes, 1930-1931. Observations on the bionomics of some East African Swamps (*Journ. Linn. Soc. Zool.*, XXXVIII, pp. 135-155).
- 1932-1934, Scientific Results of the Cambridge Expedition to the East African Lakes, 1930-1931. The waters of some East African Lakes in relation to their Fauna and Flora (*Journ. Linn. Soc. Zool.*, XXXVIII, pp. 157-211).
- 1943, Osmotic regulation and the Faunas of Inland waters (*Biol. Rev.*, XVIII, pp. 172-183).
- BECHER, S., 1921, Die sinnesempfindlichkeit für extremes Ultraviolett bei Daphnien (*Verhandl. deutsch. zool. Ges.*, XXVIII, pp. 52-55).
- BEQUAERT, J., 1912, Botanische reisindrukken uit Belgisch Congo (*Hand. XVI<sup>e</sup> Vl. Nat. en gen. Congres te Leuven*, pp. 148-170).
- BIRGE, E. A. and JUDAY, C., 1911, The dissolved gases of the water and their biological significance (*Wiscons. Geol. Nat. Hist. Survey Bull.*, XXII, 259 p.).
- 1934, Particulate and Dissolved Organic Matter in Inland Lakes (*Ecol. Monogr.*, IV, pp. 440-474).
- BOHR, Chr., 1899, Definition und Methode zur Bestimmung der Evasions- und Evasionskoeffizienten bei der Auflösung von Gasen in Flüssigkeiten. Werte der genannten Konstanten sowie der Absorptionskoeffizienten der Kohlensäure bei Auflösung in Wasser und in Chlornatriumlösungen (*Ann. d. Phys. und Chem. N. F.*, LXVIII, pp. 500-525).
- BOURGUIGNON, A., 1951, La pression atmosphérique au Congo Belge. Première partie. Diagrammes de la pression pour 20 stations (1946-1949). Mém. in 8° (*Inst. Roy. Col. Belge. Sect. Sc. Techn.*, VI, pp. 5-188).
- BOWI, W. T., 1915, The action of Shumann rays on living organisms (*Bot. Gaz.*, LIX, p. 149).
- BRAID, K. W., 1923, The measurement of light for ecological purposes (*Journ. Ecol.*, XI, pp. 49-63).
- BRAUN, R., 1952, Limnologische Untersuchungen an einigen Seen im Amazonagebiet (*Rev. Suisse d'Hydrol.*, XIV, pp. 1-128).
- BRESSLAU, E., 1926, Die Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration für die Hydrobiologie (*Verh. Intern. Ver. f. theor. u. angew. Limnol.*, III, pp. 56-108).
- BRIEN, P., 1938, La plaine du Kamolondo. Son aspect naturel, sa faune, ses feux de brousse (*Ann. Soc. Roy. Zool. Belg.*, LXIX, pp. 119-137).
- BRÖNSTEDT, J. N. und WESENBERG-LUND, C., 1911, Chemisch-Physikalische Untersuchungen der dänischer gewässer nebst Bemerkungen über ihre Bedeutung für unsere Auffassung der Temporalvariation (*Int. Rev. d. Ges. Hydrob. u. Hydrogr.*, IV, pp. 251-492).



- BROWN, A. F., 1904-1906, Some notes on the « Sudd » formation of the Upper Nile (*Journ. Linn. Soc. Bot.*, XXXVII, pp. 51-58).
- BRUCE, J. R., 1925, A pH method for determining the Carbon Dioxide Exchanges of Marine, Brakish-Water and Freshwater organisms (*The Brit. Journ. Exper. Biol.*, II, pp. 57-64).
- BUCHHOLZ, J. und JENEY, A. V., 1935, Über das Wesen der bakteriziden Wirkung von monochromatischen ultraviolet-Strahlen (*Zbl. Bakteriologie*, CXXXIII, pp. 299-304).
- BULTOT, F., 1950, Carte des régions climatiques du Congo Belge établie d'après les critères de Köppen (*Public. I.N.E.A.C. Communications du bureau climatologique*, n° 2, 15 p.).
- BURNS, G. P., 1923, Measurement of solar radiant energy in plant habitat (*Ecology*, IV, pp. 189-195).
- BURR, G. O., 1941, Photosynthesis of Algæ and other aquatic plants (*A symposium of Hydrobiology. Madison*, pp. 163-181).
- BUSCHKIEL, A. L., 1936, Periodizitäten und Biozyklen im tropischen Süßwasser (*Arch. f. Hydrob.*, Suppl. Bd XIV : *Tropische Binnengewässer*, pp. 506-511).
- BUTCHER, R. W., PENTELON, F. T. K. and WOODLEY, J. W. A., 1927, The diurnal variations of the gaseous constituents of river waters (*Biochemical Journ.*, XXI, pp. 945-957).
- BUYTENDIJK, F. J. J., BRINKMAN, R. and HOOK, H. W., 1927, A study of the system carbonic acid, carbonic dioxide and water. I. Determination of the true dissociation constant of carbonic acid (*Bioch. Journ.*, XXI, pp. 576-584).
- BYCK, H. T., 1932, Effect of dissolved CO<sub>2</sub> on the pH of water (*Science N. S.*, LXXV, n° 1938, p. 224).
- CARTER, G. and BEADLE, L. C., 1930, Fauna of swamp of Paraguayan Chaco. I. Physico-chemical nature of the environment (*Journ. Linn. Soc. Zool.*, XXXVII, pp. 205-258).
- CERNAJEV, W. P. und NOWAK, W., 1930, Ein Beitrag zur Frage des Gasstoffwechsel im Wasser (*Arch. f. Hydrob.*, XXI, pp. 687-730).
- CHAMBERLAIN W. P. and VEDDER, E. B., 1911, The effect of ultra-violet rays on Amœbæ, and the use of these radiation in the sterilization of water (*The Philippine Journ. Sc.*, VI.B, pp. 383-394).
- CHAMBERS C. O. 1912, The relation of Algæ to dissolved oxygen and Carbon dioxide, etc. (*Rep. Missouri bot. garden*, XXIII, pp. 171-207).
- CHANDLER, D. C., 1942, Limnological studies of Western Lake Erie. II. Light penetration and its relations to turbidity (*Ecology*, XXIII, pp. 41-52).
- CLARKE, G. L., 1939, The utilisation of solar energy by aquatic organisms (*Amer. Assoc. Adv. Sci.*, Publ. n° 10 : *Problems of Lake Biology*, pp. 27-38).
- 1942, The utilisation of solar energy by aquatic organisms (*Woods Hole oceanogr. Inst. Contrib.*, n° 201).
- CLARKE G. L. and JAMES, H. A., 1942, Laboratory analysis of the selective absorption of light by sea water (*Woods Hole Oceanogr. Inst. Contrib.*, n° 193).
- CLEMENS, W. A., 1924, The limnology of Lake Nipigon in 1923 (*Univ. Toronto Studies Biol.*, XX, pp. 1-31; XXII, pp. 1-14).
- COBLENTZ, W. W. and STAIR, R., 1931, Measurements of extreme ultraviolet solar radiation using a filter method (*Bur. Stand. J. Res.*, VI, pp. 951-976).
- 1934, A portable ultraviolet intensity meter (*Bur. Stand. J. Res.*, XII, pp. 231-237).

- COBLENTZ, W. W. and STAIR, R., 1936, Evaluation of ultraviolet solar radiation of short wave lengths (*Bur. Stand. J. Res.*, XVI, pp. 315-347).
- 1936, Distribution of the energy in the extreme ultraviolet of the solar spectrum (*Bur. Stand. J. Res.*, XVII, pp. 1-6).
- COEHN, A., 1910, Studien über photochemische Gleichgewichte. IV. Das Lichtgleichgewicht Knallgaswasserdampf (*Ber. dtsh. chem. Ges.*, XLIII, pp. 880-884).
- COLLET, L. W., 1925, Les lacs. Leur mode de formation, leurs eaux, leur destin. Eléments d'hydro-géologie (Paris, 320 p., 63 fig., 28 pl.).
- COOPER, E. R., 1948, The measurement of solar plus sky ultra-violet radiation (*N. Zeal. Journ. Techn. Sci.*, XXX, n° 3, pp. 181-187).
- COOPER, E. R. and PROBINE, M. C., 1949, Measurement of radiations falling on a flat surface (*Journ. Sci. Instrum. Phys. Ind.*, XXVI, pp. 181-187).
- COOPER, L. H. N., 1937, On the ratio of nitrogen to phosphorus in the sea (*J. Mar. Biol.*, XXII, pp. 177-182).
- CORNET, J., 1904-1905, Les dislocations du Bassin du Congo. I. Le graben de l'Upemba (*Ann. Soc. Géol. Belg.*, XXXII, pp. M 205-M 234).
- COURMONT, J., NOGIER, TH. et ROCHAIX, 1910, L'eau stérilisée par les rayons ultra-violetts contient-elle de l'eau oxygénée (*C. rend. Acad. Sc.*, CL, p. 1453).
- COURMONT, J. et NOGIER, TH., 1909, Sur la faible pénétration des rayons ultra-violetts à travers les liquides contenant des substances colloïdes (*C. rend. Acad. Sc.*, CXLIX, pp. 364-365).
- CRONHEIM, W., 1904, Die Bedeutung des pflanzlichen Schwebeorganismen für der Sauerstoffhaushalt des Wassers (*Forschungsber. Biol. Stat. Plon*, XI, pp. 276-288).
- CZAPEK, F., 1922, Biochemie der Pflanzen (Jena, I, 828 p.).
- DAMAS, H., 1939, La biologie lacustre équatoriale (*Ass. Franç. Avancem. Sciences*, 63<sup>e</sup> session. Liège, pp. 692-705).
- DAWSON, L. H. and HULBURT, E. O., 1934, The absorption of ultra-violet and visible light by water (*Journ. Opt. Soc. Amer.*, XXIV, pp. 175-177).
- 1937, The scattering of light by water (*Journ. Opt. Soc. Amer.*, XXVII, pp. 199-201).
- DECKSBACH, N. K., 1929, Über verschiedene Typenfolgen der Seen (*Arch. f. Hydrob.*, XX, pp. 65-80).
- 1929, Zur Klassifikation der Gewässer vom astatischen Typus (*Arch. f. Hydrob.*, XX, pp. 299-406).
- DUERLING, O., 1910, Die Pflanzenbarren der Afrikanischen Flüsse mit Berücksichtigung der wichtigsten pflanzlichen Verlandungserscheinungen (*in* GUNTHER, S., *Munchener Geografische Studien*. Munchen, 253 p.).
- DEVROEY, E. J., 1951, Observations hydrographiques au Congo Belge et au Ruanda-Urundi (1948-1950) (*Mém. in-8° Inst. Roy. Col. Belge*, 177 p.).
- DE WILDEMAN, E. 1912, Documents pour l'étude de la géobotanique congolaise (*Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.*, LI, 406 p.).
- DOBSON, G. M. B., 1923, Measurements of the sun's ultra-violet radiation and its absorption in the earth's atmosphere (*Roy. Soc. London. Proc.*, A, CIV, pp. 252-271).
- \*DORNO, C., 1919, Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung (Braunschweig).
- \*DORSEY, E. D., 1940, Properties of Ordinary Water-substances (New-York, 673 p.).
- DOWNIE SMITH, J. F., 1940, The killing of Bacteria with ultra-violet light (*Journ. Frankl. Inst.*, CCIX, pp. 775-778).

- \*DUGGAR, 1936, Biological effects of radiation (2 vol., New-York).
- DYÉ, A. H., 1902, Le Bahr el Ghazal (*Ann. Géogr.*, XI, pp. 315-338).
- EINSELE, W., 1936, Über die Beziehungen des Eisenkreislaufs zum Phosphatkreislauf im eutrophen See (*Arch. f. Hydrob.*, XXIX, pp. 664-686).
- 1938, Über chemische und kolloidchemische Vorgänge in Eisenphosphat systemen unter limnochemischen und limnologischen Gesichtspunkten (*Arch. f. Hydrob.*, XXXIII, pp. 361-387).
- ELLIS, C. and WELLS, A. A., 1941, The chemical action of ultra-violet rays (New-York, 961 p.).
- EMERSON, R., 1930, The chlorophyll factor in photosynthesis (*Amer. Natur.*, LXIV, pp. 252-260).
- EMERSON, R., GREEN, L. and WELSCH, J. C., 1940, Relations between quantity of Chlorophyll and capacity of photosynthesis (*Plant Physiol.*, XV, pp. 311-317).
- EMMERLING, O., 1914, Praktikum der chemischen, biologischen und bakteriologischen Wasseruntersuchung (*Sammlung naturwissenschaftlicher Praktika*, Bd V., Berlin, 200 p., 171 fig.).
- FABRY, C. and BRISSON, H., 1921, A study of the ultra-violet end of the solar spectrum (*Astrophys. Journ.*, LIV, pp. 297-322).
- FAURHOLT, C., 1924, Studier over kuldioxyd, kulsyre og karbonater (*Journ. Chim. Phys.*, XXI, p. 400; 1925, XXII, p. 1).
- FINDENEGG, I., 1936, Die Bedeutung des Klimas für die Entstehung biolog. Seentypen (*Bioklim. Beibl.*, III).
- FISCHER, H., 1931, Die Frage der bakteriologische kalkfällung in der tropischen See (*Ber. d. deutsch. Bot. Ges.*, XLIX, pp. 357-359).
- FLEISCHER, W. E., 1934-1935, The relation between chlorophyll content and rate of photosynthesis (*Journ. gen. Physiol.*, XVIII, pp. 573-597).
- \*FORSYTHE, W. E., 1937, Measurement of radiant energy (New-York).
- FORSYTHE, W. E., BARNES, B. T. and EASLEY, M. A., 1934, Ultraviolet sources and their radiation (*Journ. Optic. Soc. Amer.*, XXIV, pp. 178-182).
- FOX, C. J. J., 1909, On the coefficients of absorption of the atmospheric gases in distilled water and sea water. Part II. Carbonic Acid (*Publ. circonst. Cons. perm. intern. explor. de la mer*, XLIV, 31 p.).
- \*FRANCK, J. and LOOMIS, W. E., 1950, Photosynthesis in plants (Jowa).
- FRANQUI, E. et CORNET, J., 1893, L'exploration du Lualaba depuis ses sources jusqu'au lac Kabele (*Le Mouvem. Géogr.*, 1893, pp. 87-91, 101-102).
- FRANQUIN, J. et MARECAUX, P., 1938, Etude de l'équilibre  $\text{CO}_2\text{Ca}-\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ . Théorie des eaux douces (*Congrès de Chimie industrielle*, Nancy, comptes rendus, II, pp. 532-547).
- FRARY, F. C. and NIETZ, A. H., 1905, The hydrolysis of sodium carbonate in solution (*Journ. Amer. chem. Soc.*, XXXVII, p. 2268).
- FULLEBORN, F., 1900, Über Untersuchungen im Nyassa Seen und in den Seen im Nördlichen Nyassa-land (*Verh. d. Ges. f. Erdkunde Berlin*, XXVII, pp. 332-338).
- GALLAHER, W. D., BUSWELL, A. M., 1926, Studies on precipitation of Ca, Mg and Al (*Illin. Stat. Water. Surv. Bull.*, n° 22, pp. 73-118).
- GATES, F. L., 1929, A study of the bactericidal action of ultraviolet light. I. The reaction to monochromatic radiations (*J. Gen. Physiol.*, XIII, pp. 231-248).

- GATES, F. L., 1929, A study of the bactericidal action of ultraviolet light. II. The effect of various environmental factors and conditions (*J. Gen. Physiol.*, XIII, pp. 249-260).
- 1930, A study of the bactericidal action of ultraviolet light. III. The absorption of ultraviolet light by bacteria (*J. Gen. Physiol.*, XIV, pp. 31-42).
- GEFFRON, H., 1944, Photosynthesis, photoreduction and dark red action of carbon dioxide in certain algæ (*Biolog. Rev.*, XIX, pp. 1-19).
- GESSNER, F., 1932, Schwankungen im chemismus kleiner Gewässer in ihre Beziehung zur Pflanzenassimilation (*Arch. f. Hydrob.*, XXIV, pp. 590-602).
- 1935, Phosphat und Nitrat als Produktionsfaktoren der Gewässer (*Verh. Intern. ver. Limnol.*, VII, pp. 525-538).
- 1939, Phosphorarmut der Gewässer und ihre Beziehungen zum Kalkgehalt (*Intern. Rev. f. ges. Hydrob. u. Hydrogr.*, XXXVIII, pp. 203-211).
- 1942-1945, Der Chlorophyllgehalt der Seen als Ausdruck ihrer Produktivität (*Arch. f. Hydrob.*, XL, pp. 687-732).
- 1943, Die assimilatorische Leistung der Phytoplanktons bezogen auf seinen Chlorophyllgehalt (*Zeitschr. f. Botan.*, XXXVIII, pp. 414-424).
- 1949, Der Chlorophyllgehalt in See und seine photosynthetische Valenz als geophysikalischen Problem (*Rev. Suisse Hydrol.*, XI, pp. 378-410).
- GESSNER, F. und DIEHL, A., 1951, Die Wirkung natürlicher Ultraviolettstrahlung auf die Chlorophyllzerstörung von Planktonalgen (*Arch. f. Mikrobiol.*, XV, pp. 439-454).
- GILLIARD, A., 1950, Sur les Parcs Nationaux du Congo Belge et spécialement le Parc National de l'Upemba (*Compt. Rend. Congr. scient. C.S.K. Elisabethville*, II, pp. 231-249).
- GÖTZ, F. W. P., 1931, Das atmosphärische Ozon (*Erg. kosm. Phys.*, I, pp. 180-235).
- 1938, Das atmosphärische Ozon (*Erg. kosm. Phys.*, III, pp. 253-325).
- GRANATH, L. P., 1929, The absorption of ultraviolet light by oxygen, watervapor and quartz (*Phys. Rev.*, XXXIV, pp. 1045-1048).
- GRENFIELD, R. E. and BAKER, Y. C., 1920, Relationship of hydrogenion concentration of natural waters, to carbonic dioxide content (*Journ. Ind. Eng. Chem.*, XII, p. 989).
- GROTE, A., 1934, Über Sauerstoffhaushalt der Seen (*Die Binnengewässer*, XIV, 217 p., 35 fig., 12 tables).
- HALBFASS, W., 1923, Grundzüge einer vergleichenden Seenkunde (Berlin, 354 p., 110 fig.).
- HARDER, R., 1921, Kritische Verzuhe zu Blackmans Theorie der « begrenzenden Faktoren » bei der Kohlensäure Assimilation (*Jahr. f. Wissenschaftl. Botan.*, LX, pp. 531-571).
- 1923, Über die Bedeutung von Lichtintensität und Wellenlänge für die Assimilation farbiger Algen (*Zeitschr. f. Botan.*, XV, pp. 305-355).
- 1923, Bemerkungen über die Variationsbreite des Kompensationspunktes beim Gaswechsel der Pflanzen (*Ber. d. deutsch. botan. Gesell.*, XLI, pp. 194-198).
- HASTINGS, A. B. and SENDROY, J. jun., 1925, The effect of variation in ionic strenght of the apparent first and second dissociation constants of carbonic acid (*Journ. Biol. Chem.*, LXV, p. 445).
- HENRI, 1912, Variation du pouvoir abiotique des rayons ultra-violetts avec leur longueur d'onde (*Compt. rend. Acad. Sc.*, CLV, pp. 315-318).

- HESS, P., 1939, Die spektrale Energieverteilung der Himmelstrahlung (*Gerl. Beitr. Geophys.*, LV, pp. 204-220).
- HILL, L., 1927, Measurements of the biologically active ultraviolet rays of sunlight (*Proc. Roy. Soc.*, B, CII, pp. 119-128).
- HILL, L. and EIDENOW, A., 1923, The biological action of light (*Proc. Roy. Soc.*, B, XCV, pp. 163-180).
- HÖLL, K., 1932, Freie Kohlensäure als Faktor für die Verbreitung der Planktonorganismen (*Arch. f. Hydrob.*, XXIV, pp. 301-304).
- 1943, Wasseruntersuchungen (Dresden, 132 p.).
- HOPE, C. W., 1902, The « Sadd » of the Upper-Nile; its Botany compared with that of similar obstructions in Bengal and American waters (*Ann. Botan.*, XVI, pp. 495-516).
- \*HOPPE-SEILER, F., 1895, Über die Verteilung absorbierter Gase im Wasser (*Schr. des Vereins f. Geschichte des Bodensees*, XXIV).
- HULBURT, E. O., 1928, The penetration of ultraviolet light into pure water and sea water (*J. Opt. Soc. Am. and Res. Sci. Inst.*, XVII, pp. 15-22).
- 1935, Attenuation of light in the lower atmosphere (*Journ. Opt. Soc. Amer.*, XXV, pp. 125-130).
- HUNTSMAN, A. G., 1924, Limiting factors for marine animals. I. The lethal effect of sunlight (*Contrib. to Canad. Biol.*, N. S. 2, pp. 83-88).
- HUTCHINSON, G. E., 1937, Limnological Studies in Indian Tibet (*Int. rev. Ges. Hydrob. u. Hydrogr.*, XXXV, pp. 134-177).
- 1938, On the relation between the Oxygen deficit and the productivity and typology of lakes (*Intern. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr.*, XXXVI, pp. 336-355).
- 1944, Limnological studies in Connecticut. VII. A critical examination of the supposed relationship between phytoplankton periodicity and chemical changes in Lake waters (*Ecology.*, XXV, pp. 3-26).
- 1947, A direct demonstration of the Phosphorus cycle in a small lake (*Proc. Nat. Acad. Sci.*, XXXIII, pp. 148-153).
- HUTCHINSON, G. E., DEEVEY, E. S. and WOLLACK, A., 1939, The oxydation reduction potentials of lake waters and their ecological significance (*Proc. Nat. Acad. Sci.*, XXV, pp. 78-90).
- HUTCHINSON, G. E., PICKFORD, G. E. and SCHUURMAN, I. F. M., 1929, The inland waters of South Africa (*Nature*, CXXIII, pp. 832-833).
- I.N.E.A.C., 1951, Chutes de pluie au Congo Belge et au Ruanda-Urundi pendant la décade 1940-1949 (*Commun. du Bureau Climatologique*, n° 3, 248 p.).
- JAMES, H. R., 1941, Beer's law and the properties of organic matter in lake waters (*Trans. Wiscons. Acad. Sc. Lett.*, XXXIII, pp. 73-82).
- JAMES, W. O., 1928, Experimental researches on vegetable assimilation and respiration. XIX. The effect on variations of carbon dioxide supply upon the rate of assimilation of submerged water plants (*Proc. Roy. Soc. London*, Ser. B, MIII, pp. 1-42).
- JÄRNEFELT, H., 1925, Zur Limnologie einiger gewässer Finnlands (*Ann. Soc. Zool. Bot. Fenn. Vanamo*, II, pp. 185-352).
- 1936, Zur Limnologie einiger gewässer Finnlands. XII (*Ann. Zool. Soc. Zool. Bot. Fenn. Vanamo*, III, pp. 1-206).

- JENKIN, P. M., 1932, Reports on the Percy Sladen Expedition to some Rift Valley Lakes in Kenya in 1929. Introduction Account tot the Biological Survey of five freshwater and alkaline lakes (*Ann. and Mag. Nat. Hist.*, IX, pp. 533-552).
- JOHNSTON, J., 1916, The determination of carbonic acid, combined and free in solution, particulary in natural waters (*Journ. Amer. chem. Soc.*, XXXVIII, p. 947).
- 1916, The solubility product constant of Calcium and Magnesium carbonates (*Journ. Amer. Chem. Soc.*, XXVII, pp. 2001-2020).
- JOHNSTON, J. and WILLIAMSON, E. A., 1916, The complete solubility curve of calcium carbonate (*Journ. Amer. Chem. Soc.*, XXXVIII, pp. 975-983).
- 1916, The role of inorganic agencies in the deposition of calcium carbonate (*Journ. of Geol.*, XXIV, pp. 729-750).
- JUDAY, C., 1915, Limnological studies on some lakes in Central America (*Trans. Wiscons. Acad. Sc. Arts. Lett.*, XVIII, pp. 214-250).
- JUDAY, C., and BIRGE, E. A., 1932, Dissolved oxygen and oxygen consumed in the lake waters of Northeastern Wisconsin (*Trans. Wiscons. Acad. Sc. Arts. Lett.*, XXVII, pp. 415-486).
- JUDAY, C., BIRGE, E. A., MELSCHE, V. W., 1935, The carbon dioxide and hydrogen ion content of lake waters of Northeastern Wisconsin (*Trans. Wiscons. Acad. Sc. Arts. Lett.*, XXIX, pp. 1-82).
- KAUKO, Y., 1934, Mathematisqhe und graphische Behandlung des Gleichgewichtes Base-Kohlensäure-Wasser bei den verdünnten Lösungen (*Ann. Acad. Scient. Fennicæ*, A. XXXIX, 83 p.).
- \*KAWAMURA, T., 1918, Freshwater Biology (En japonais). 2 vol. (Tokyo, 616 p.).
- KELLERMANN, K. F., 1915, Relation of bacteria to deposition of calcium carbonate (*Bull. Geol. Soc. of America*, XXVI, p. 58).
- KERNBAUM, M., 1909, Sur la décomposition de l'eau par les rayons b du Radium et par les rayons ultraviolets (*Le Radium*, VI, pp. 225-228).
- 1909, Décomposition de l'eau par les rayons ultra-violets (*Compt. rend. Acad. Sc.*, CXLIX, pp. 273-275).
- KIEPENHEUEUR, K. O., 1938, Nachweis der Sonnenstrahlung bei 2150 Å (*Naturwiss.*, XXVI, p. 678; *Z. Geophys.*, XIV, pp. 327-332).
- KIMBALL, H. H., 1935, Intensity of solar radiation at the surface of the earth, and its variations with latitude, altitude, season and time of day (*Monthly Weather Rev.*, LXIII, pp. 1-4).
- KING, E. J. and DAVIDSON, V., 1933, The Biochemistry of Silicic Acid. IV. Relation of Silica to the Growth of Phytoplankton (*Biochem. Journ.*, XXVII, pp. 1015-1021).
- KLEEREKOPER, H., 1939, Estudo limnologico da Represa de Santo Amaro em Sao Paulo (*Bol. Fac. Philos. Sci. Letras. Univ. Sao Paulo*, XVII).
- \* — 1944, Introduçao ao Estudo da Limnologica (Rio de Janeiro, 329 p.).
- KLEMENC, A. und HERZOG, M., 1926, Zur Kenntnis der Dissoziations-konstanten der Kohlensäure (*Monatsh. Chem.*, XLVII, p. 407).
- KLUT, H., 1938, Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle (Berlin, 201 p., 41 fig.).
- \*KOLKWITZ, R., 1911, Beziehungen des Kleinplanktons zum Chemismus der Gewässer (*Mitt. aus d. Kgl. Prüfungsanst. f. Wasser u. Abwasser*, XIV).
- KORGH, O., und LANGE, E., 1932, Quantitative Untersuchungen über Plankton, Kolloide und gelöste organische und anorganische Substanzen in dem Furesee (*Intern. rev. ges. Hydrob. u. Hydrogr.*, XXVI, pp. 20-53).

- KOSTYTSHEV, S. und SOLDATENKOW, S., 1926, Der tägliche Verlauf und die spezifische Intensität der Photosynthese der Wasserpflanzen (*Planta, Arch. f. Wiss. Botan.*, II, pp. 1-9).
- KOZMINSKI, Z., 1938, Amount and distribution of the chlorophyll in some lakes of Northeastern Wisconsin (*Trans. Wiscons. Acad. Sc. Arts. Lett.*, XXI, pp. 411-438).
- KRIZENECKY, J., 1925, Untersuchungen über die Assimilationsfähigkeit der Wassertiere für im Wasser gelöste Nährstoffe (*Biologia generalis* I, pp. 79-149).
- KROGH A., 1904, On the tension of carbonic acid in natural waters and especially in the sea (*Meddel. om Grönland*, XXVI, pp. 331-405).
- KUFFERATH, J., 1951, Représentation graphique et classification rationnelle en types des eaux naturelles.  
I. Représentation graphique de la composition chimique des eaux (*Bull. Inst. Roy. Sc. nat. Belg.*, XXVII, n° 43, 8 p.; XXVII, n° 44, 6 p.).  
II. Classification chimique rationnelle des eaux naturelles (*Bull. Inst. Roy. Sc. nat. Belg.*, XXVII, n° 45, 8 p.).
- KURASIGA H., 1932, Some experimental observations on the diurnal change of pH and Oxygen production by aquatic plants in relation to the solar radiation (*Geophys. Magas.*, VI, pp. 343-359).
- \*KUSNETZOW, S. I. and KARSINKIN, G. S., 1931, Direct method for the quantitative study of bacteria in water and some considerations on the causes which produce a zone of Oxygen minimum in lake Glubokoja (*Zentralbl. Bakt Parasitenk. u. Infektionskrakh.*, LXXXIII, pp. 169-174).
- LAGLER, K. F., 1949, Studies in Freshwater Fishery Biology (*Ann. Arbor, Mich.*, 240 p.).
- LAURENS, H., 1928, The physiological effects of radiation (*Physiol. Rev.*, VIII, pp. 1-91).
- LAURENS, H. and HOOKER, H. D., 1920, Studies on the relative physiological value of spectral lights (*Journ. Exper. Zool.*, XXX, pp. 345-368).
- LEA, D. E., HAINES, R. B. and COULSON, C. A., 1936, The action of radiations on bacteria (*Proc. Roy. Soc. London*, B, CXX, pp. 47; 1937, CXXIII, pp. 1-21).
- LEFRANC, M., 1931, Recherches sur le rayonnement ultra-violet en vue de ses applications en biologie. Thèse (Alger, 102 p.).
- LEHMANN, C., 1924, Die Bedeutung der Alkalität im Stoffhaushalt der Wässer unter besonderer Berücksichtigung ihres fischerei biologischen Wertes (*Biol. Zentralbl.*, XLIV, pp. 560-578).
- 1924, Die Bedeutung der Alkalität im Stoffhaushalt der Wässer unter Berücksichtigung ihres fischerei biologischen Wertes (*Zeitschr. f. Fischerei*, XXIII, pp. 299-316).
- LENZ, FR., 1925, Chironomiden und Seetypenlehre (*Naturwissenschaften*, XIII, pp. 5-10).
- 1928, Biologie der Süßwasserseen (*Biol. Studienb.*, IX, Berlin, 221 p., 104 fig.).
- LÉONARD, J., 1950, Botanique du Congo Belge. I. Les groupements végétaux (*Encyclopédie du Congo Belge*, I, pp. 345-389).
- 1950, Aperçu préliminaire des groupements végétaux pionniers dans la région de Yangambi, Congo Belge (*Vegetatio*, III, pp. 279-297).
- LEUTELT-KIPKE, S., 1934, Ein Beitrag zur Kenntnis des hydrographischen und hydrochemischen Verhältnisse einiger Tiroler Hoch- und Mittelgebirgseen (*Arch. f. Hydrob.*, XXVII, pp. 286-352).
- LINDBERG, K., 1951, Cyclopides (Crustacés Copépodes) (*Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge. Exploration du Parc National de l'Upemba*, fasc. 2, 13 p., 3 pl., Bruxelles).

- \*LLOYD B., 1935, The bactericidal action of ultraviolet light (*J. roy. techn. Coll. Glasgow*, III, pp. 505-511).
- LOMBARD, M., 1910, Sur les effets chimiques et biologiques des rayons ultraviolets (*C. rend. Acad. Sc.*, CL, pp. 227-229).
- LUCKIESH, M., 1922, Ultraviolet radiation (New-York).
- LUNDQVIST, G., 1927, Bodenablagerungen und Entwicklungstypen der Seen (*Die Binnengewässer*, II, 124 p., 60 fig., 14 tables, 3 annexes).
- LUNELAND, H. and RAUNION, N., 1948, Radiation measurements in South Finland with bioclimatic ultraviolet dosimeter (*Comment. Phys. Math. Helsingf.*, XIII, 2, 12 p.).
- LYMAN, T., 1924, L'ultra-violet (227 p.).
- MAC COY, H. N. and SMITH, H. J., 1911, Equilibrium between alkali earth carbonates, carbon dioxide and water (*Journ. Amer. chem. Soc.*, XXXIII, p. 468).
- MAC COY, H. N. and TEST, C. D., 1911, Equilibrium between sodium carbonate, sodium bicarbonate and water (*Journ. Amer. chem. Soc.*, XXXIII, p. 473).
- MAC INNES, D. A. and BELCHER, D., 1933, The thermodynamic ionisation constants of carbonic acid (*Journ. Amer. Chem. Soc.*, LV, pp. 2630-2646).
- MANNING, W. M., and HUDAY, R. E., 1941, The chlorophyll content and productivity in some lakes in Northern Wisconsin (*Trans. Wisconsin Acad. Sc. Arts. Lett.*, XXXIII, pp. 363-393).
- MARPMANN, G., 1905, Über das Vorkommen und die Aufnahme des Siliciums in den Kieselalgen usw. (*Zeitschr. f. angew. Mikroskopie und klin. Chemie*, XI, pp. 28-39).
- MASON, W. P., 1946, Examination of water, chemical and bacteriological (6<sup>e</sup> éd., New-York, 230 p., 34 fig.).
- MAST, S. O., 1917, The relation between spectral colour and stimulation in the lower organisms (*Journ. Exper. Zool.*, XXII, p. 471).
- MAUCHA, R., 1923, Upon the influence of Temperature and Intensity of light on the photosynthetic production of Nannoplankton (*Verh. Int. Ver. theor. angew. Limnol.*, II, pp. 381-401).
- 1927, Zur Theorie des Assimilations- und Dissimilationsvorganges der Phytonannoplanktons (*Intern. Rev. ges. Hydrob. u. Hydrogr.*, XVII, pp. 239-248).
- 1929, Zur Frage der aktuellen Reaktion als Milieufaktor der Gewässer (*Verh. Int. Ver. theor. u. angew. Limnol.*, IV, pp. 435-450).
- 1932, Hydrochemische Methoden in der Limnologie (*Die Binnengewässer*, XII, 173 p., 36 fig., 19 tables).
- 1938, Über einigen kosmische Faktoren der Phytoplankton produktion (*Arch. f. Hydrob.*, XXXII, pp. 434-461).
- 1942-1945, Einige neuere Gesichtspunkte in der Hydrochemie (*Arch. f. Hydrob.*, XL, pp. 305-328).
- 1944, Das Gleichgewicht des limnischen Lebensraumes (*Arch. f. Hydrob.*, XXXIX, pp. 24-62).
- 1947, Hydrochemische Halbmikro-Feldmethoden (*Arch. f. Hydrob.*, XLI, pp. 352-391).
- 1948-1949, Die Photosynthese des Phytoplanktons vom Gesichtspunkte der Quantenlehre (*Hydrobiologia.*, I, pp. 45-61).
- MERKER, E., 1930, Sehen die Daphnien ultraviolettes Licht (*Zool. Jahrb. Physiol.*, XLVIII, pp. 277-348).



# PLANCHES

PLANCHE I

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — *Æschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB., le long de la rive Nord-Est du lac Upemba. (Alt. 585 m). 11.IX.1947. La rive est formée ici de petites anses marécageuses envahies presque totalement par des pieds isolés de *Æschynomene*.

Photo G. F. DE WITTE, 2022

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

FIG. 2. — Prairie flottante, encore attachée à la rive, au sud de Mabwe. (Alt. 585 m). 8.VIII.1949.

Des pieds isolés de *Typha angustifolia* L. ainsi qu'un massif plus dense à gauche. Quelques rares exemplaires de *Cyperus papyrus* L. La prairie est composée de Graminées et de petites Cypéracées diverses.

Photo W. ADAM, 671

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

---



Fig. 1. — *Æschynomene elaphroxylon* TAUB. le long de la rive Nord-Est du lac.



Fig. 2. — Prairie flottante, attachée à la rive, au Sud de Mabwe.

PLANCHE II

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — *Eschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB., le long de la rive Est au Nord de Mabwe. (Alt. 585 m). 16.XI.1948.  
Ici l'espèce croît dans le lac même sur fond très vaseux à une profondeur maximum de 0.50 à 0.75 m.

Photo G. F. DE WITTE, 2535

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

FIG. 2. — *Eschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB., le long de la rive Est au Nord de Mabwe. (Alt. 585 m). 16.XI.1948.  
Un autre aspect de cette association. Une île flottante est restée engagée entre les troncs.

Photo G. F. DE WITTE, 2541,

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

---

Exploration du Parc National de l'Upemba.

Mission G.-F. de WITTE.

en collaboration avec W. ADAM, A. JANSSENS.

L. VAN MEEL et R. VERHEYEN (1946-1949). Fasc. 9.



Fig. 1. — *Aeschynomene elaphroxylon* TAUB. le long de la rive au Nord de Mabwe.



Fig. 2. — Rive Est au Nord de Mabwe. *Aeschynomene elaphroxylon* TAUB.

PLANCHE III



## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — Cordon d'*Æschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB. en petits massifs le long de la rive Nord-Est du lac. (Alt. 585 m). 12.VIII.1949. A droite quelques touffes très denses de *Cyperus papyrus* L., à gauche quelques pieds de *Typha angustifolia* L., au milieu, prairie flottante dont une pointe s'avance vers le lac, à droite.

Photo W ADAM, 722

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

FIG. 2. — Rive marécageuse du lac au Nord de Mabwe. (Alt. 585 m). 16.XI.1949. A gauche, quelques pieds en rideau d'*Æschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB. L'arrière-plan montre des *Æschynomene* s'avancant dans le lac en pionniers. A droite, quelques *Typha angustifolia* L. La prairie est composée ici de Graminées, de Cypéracées très basses et de *Polygonum* sp. dominant.

Photo G. F. DE WITTE, 2512

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

---

Exploration du Parc National de l'Upemba.

Mission G.-F. de WITTE.

en collaboration avec W. ADAM, A. JANSSENS.

L. VAN MEEL et R. VERHEYEN (1946-1949). Fasc. 9.



Fig. 1. — Rive Nord-Est du lac. Prairies flottantes, *Typha* sp. et cordon d'*Æschynomene elaphroxylon* TAUB.



Fig. 2. — Nord de Mabwe. Rive marécageuse du lac.

PLANCHE IV

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — Rive Nord-Est du lac. (Alt. 585 m). 12.VIII.1949. A l'avant-plan à droite, fragment de prairie flottante suivi immédiatement d'un petit massif de *Typha angustifolia* L. Au second plan, *Æschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB. en bosquet très touffu.

Photo W. ADAM, 725

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

FIG. 2. — Petit marais dans les prairies inondables le long du lac au Nord de Mabwe. (Alt. 585 m). 10.VIII.1949. Entre des fûts déracinés et tombés, se sont formés de petits marigots plus ou moins reliés au lac, avec une flore d'hydrophytes comme *Lemna* sp., *Pistia stratiotes* L. Les souches et les espèces ligneuses buissonnantes sont envahies par des épiphytes et des espèces volubiles.

Photo W. ADAM, 689

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

---

PLANCHE V

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — Aspects de la végétation ripicole du Nord de Mabwe. (Alt. 585 m). 1.IX.1947. On remarque ici une succession de *Typha angustifolia* L., de *Cyperus papyrus* L. et à l'arrière-plan, *Æschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB.

Photo G. F. DE WITTE, 5852

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

FIG. 2. — Fragment de prairie flottante devant *Æschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB. en rideau à l'arrière-plan. La prairie, formée de *Polygonum* sp., de Graminées et de petites Cypéracées, porte quelques pieds de *Typha angustifolia* L. (Alt. 585 m), 12.VIII.1949.

Photo W. ADAM, 727

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

---

Exploration du Parc National de l'Upemba.

Mission G.-F. de WITTE.

en collaboration avec W. ADAM, A. JANSSENS.

L. VAN MEEL et R. VERHEYEN (1946-1949). Fasc. 9.



Fig. 1. — Nord-Est du lac. Massif d'*Æschynomene elaphroxylon* TAUB. et *Typha* sp..



Fig. 2. — Petit marais au Nord de Mabwe. *Pistia stratiotes* L.



Fig. 2. — Nord de Mabwe. *Typha* sp..



Fig. 1. — Nord-Est du lac. *Typha* sp. et *Cyperus papyrus* L.



PLANCHE VI

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — Aspects de la végétation au Nord du lac. (Alt. 585 m).  
10.VIII.1949. Devant un rideau d'*Eschynomene elaphroxylon*  
(GUILL. et PERR.) TAUB., une prairie très marécageuse à *Polygonum*  
sp. dominant.

Photo L. VAN MEEL, 298

(Coll. *Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge*).

FIG. 2. — Petite île au Nord-Ouest de Mabwe. (Alt. 585 m). 14.XI.1948.  
Formée sur hauts fonds sablonneux. La végétation est composée  
de Graminées, Cypéracées et *Typha angustifolia* L. En période  
des crues, l'île est entièrement submergée.

Photo G. F. DE WITTE, 2505

(Coll. *Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge*).

---



Fig. 1. — Nord du lac. Massif d'*Æschynomene elaphroxylon* TAUB., *Cyperus papyrus* L.  
et *Polygonum* sp..



Fig. 2. — Petite île au Nord-Ouest de Mabwe.

PLANCHE VII

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — Rive Nord-Est du lac. (Alt. 585 m). 5.IX.1947. De larges franges successives de *Typha angustifolia* L. forment ici le cordon d'Hélophytes ripicoles. Au fond, la lisière de la forêt claire de savane (forêt katangaise).

Photo G. F. DE WITTE, 2001

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

FIG. 2. — Aspects de la végétation de la rive Nord du lac. (Alt. 585 m). 11.XII.1948. *Typha angustifolia* L. entremêlé d'une multitude d'espèces grimpantes. Quelques rares *Cyperus papyrus* L. Au fond, quelques *Eschynomene elaphroxyton* (GUILL. et PERR.) TAUB.

Photo W. ADAM, 709

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

---

# PLANCHE VIII

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1 — Rive Sud du lac. (Alt. 585 m). 18.I.1949. Franges et pionniers d'Hélophytes : *Typha angustifolia* L. Au fond, à gauche, massifs d'*Æschynomene elaphroxyton* (GUILL. et PERR.) TAUB.

Photo G. F. DE WITTE, 2755

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

FIG. 2. — Rive Sud du lac vers Kisungi (Alt. 585 m). 18.I.1949. Franges de *Typha angustifolia* L. formant de larges couloirs envahis par *Nymphæa capensis* THUNB. et parfois *Nymphæa lotus* L.

Photo G. F. DE WITTE, 2742

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

---

Exploration du Parc National de l'Upemba.

Mission G.-F. de WITTE.

en collaboration avec W. ADAM, A. JANSSENS.

L. VAN MEEL et R. VERHEYEN (1946-1949). Fasc. 9.



Fig. 1. — Sud du lac. Pionniers d'hélophytes.



Fig. 2. — Sud du lac vers Kisungi. *Typha* sp. et *Nymphæa* sp..



PLANCHE IX

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — Rive Nord-Est du lac. (Alt. 585 m).  
A gauche, prairie flottante ondulant à la surface de l'eau.  
Large bande de *Typha angustifolia* L. Au fond: la lisière de la  
forêt claire de savane (forêt katangaise).

Photo W. ADAM, 716

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

FIG. 2. — Rive au Nord de Mabwe. (Alt. 585 m). 11.VIII.1949. Petits massifs  
d'*Æschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB. alternant  
avec de petites prairies flottantes de *Jussieua repens* L. A la  
surface de l'eau, larges plages de *Potamogeton* sp.

Photo W. ADAM, 700

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

---



Fig. 1. — Nord-Est du lac, *Typha* sp.. Lisière de la forêt katangaise.



Fig. 2. — Nord de Mabwe. Petits massifs d'*Æschynomene elaphroxylon* TAUB.  
Dans l'eau, *Potamogeton* sp..

PLANCHE X

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — Rive Est du lac. (Alt. 585 m). 10.VIII.1949. Long rideau d'*Eschynomene elaphroxylon* (GUILL. et PERR.) TAUB. Dans l'eau très larges plages de *Potamogeton* sp. A l'avant-plan vase molle presque exondée.

Photo L. VAN MEEL, 302

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

FIG. 2. — Ile Bemba. (Alt. 585 m). 30.XI.1948. Très larges franges de *Typha angustifolia* L., créant des couloirs parfois très étroits, envahis par *Nymphæa capensis* THUNB. Ici la vase a formé un banc exondé.

Photo L. VAN MEEL, 52

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

---

Exploration du Parc National de l'Upemba.

Mission G.-F. de WITTE.

en collaboration avec W. ADAM, A. JANSSENS.

L. VAN MEEL et R. VERHEYEN (1946-1949). Fasc. 9.



Fig. 1. — Rive Est du lac. Dans l'eau : *Potamogeton* sp.. Vase molle au premier plan.



Fig. 2. — Ile Bemba. Grandes bandes de *Typha* sp.. Banc de vase exondé.

PLANCHE XI

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — Ile Bemba. (Alt. 585 m). 30.XI.1949. Aspects de la végétation aquatique.

Au fond, très larges bandes de *Typha angustifolia* L. délimitant des couloirs.

Presque toute la surface aquatique est couverte d'une végétation très dense de *Nymphæa capensis* THUNB.

Photo L. VAN MEEL, 56

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

FIG. 2. — Ile Bemba. (Alt. 585 m). 30.XI.1949. Aspects de la végétation aquatique.

Aspect identique au précédent.

Photo L. VAN MEEL, 50

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

---



Exploration du Parc National de l'Upemba.

Mission G.-F. de WITTE.

en collaboration avec W. ADAM, A. JANSSENS.

L. VAN MEEL et R. VERHEYEN (1946-1949). Fasc. 9.



Fig. 1. — Ile Bemba. Larges bandes de *Typha* sp., *Nymphaea* sp..



Fig. 2. — Ile Bemba. Larges bandes de *Typha* sp., *Nymphaea* sp..

PLANCHE XII

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — Ile Bemba. (Alt. 585 m). 30.XI.1948.  
Prairies touffues de *Potamogeton* sp. sur hauts-fonds vaseux.

Photo L. VAN MEEL, 47

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

FIG. 2. — Passes vers Nyonga, rive Ouest du lac. (Alt. 585 m). 2.V.1949.  
Tapis très étendus et très denses de *Trapa bispinosa* ROTH. La  
profondeur n'atteint pas 50 cm par endroits.

Photo L. VAN MEEL, 237

(Coll. Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge).

---

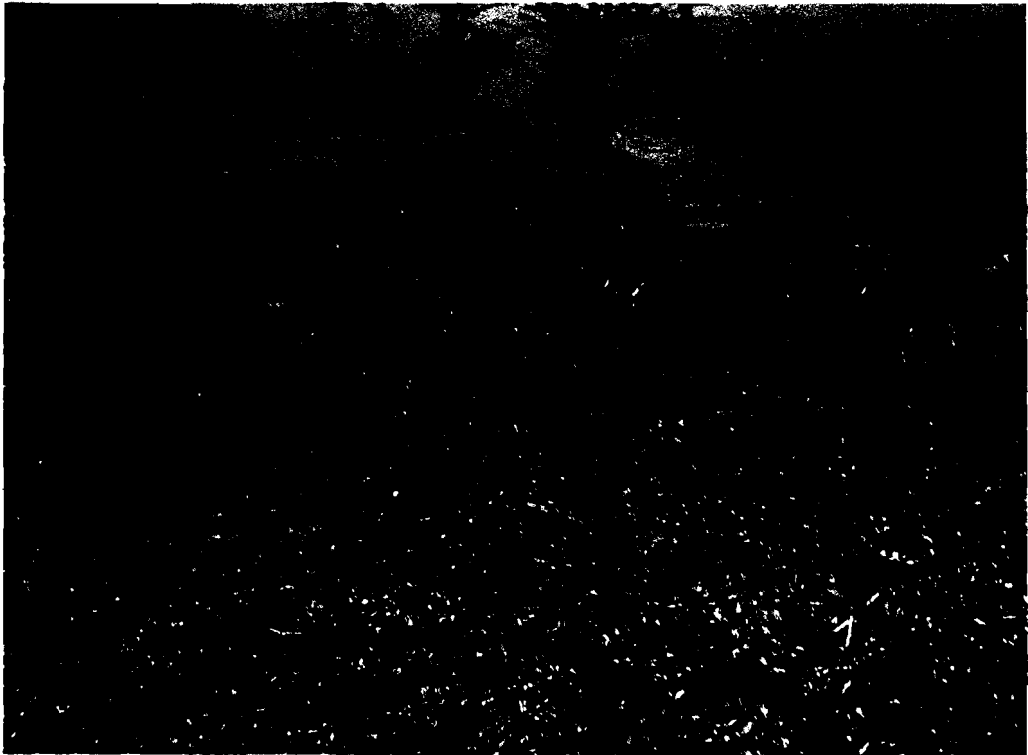


Fig. 1. — Ile Bemba. Tapis de *Potamogeton* sp..

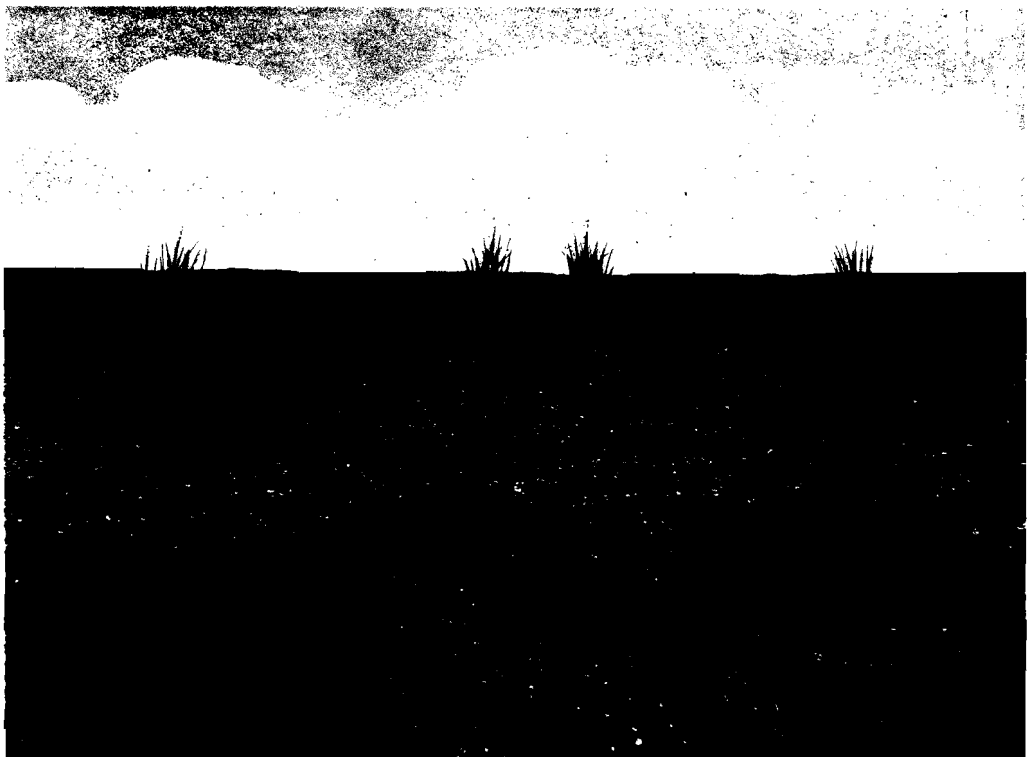


Fig. 2. — Passes vers Nyonga. Tapis étendus de *Trapa bispinosa* ROTH.

PLANCHE XIII

## EXPLICATION DES FIGURES.

---

FIG. 1. — Nord de Mabwe. (Alt. 585 m). 20.I.1949.  
Ile flottante, aspect général.

Photo Kodachrome G. F. DE WITTE, 1708  
(Coll. *Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge*).

FIG. 2. — Bord d'une prairie flottante. *Jussieu repens* L.

Photo Kodachrome G. F. DE WITTE, 1434  
(Coll. *Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge*).

---



Fig. 1. — Nord de Mabwe, Ile flottante.



Fig. 2. — *Jussieua* sp. au bord des prairies flottantes.

---

Sorti de presse le 20 août 1953.

---



AVIS

BERICHT

L'Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge a commencé, en 1937, la publication des résultats scientifiques des missions envoyées aux Parcs Nationaux, en vue d'en faire l'exploration.

Les divers travaux paraissent sous forme de fascicules distincts. Ceux-ci comprennent, suivant l'importance du sujet, un ou plusieurs travaux d'une même mission. Chaque mission a sa numérotation propre.

Les fascicules peuvent s'acquérir séparément.

L'Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge n'accepte aucun échange.

Het Instituut der Nationale Parken van Belgisch Congo heeft in 1937 de publicatie aangevangen van de wetenschappelijke uitslagen der zendingen welke naar de Nationale Parken afgevaardigd werden, ten einde ze te onderzoeken.

De verschillende werken verschijnen in vorm van afzonderlijke afleveringen welke, volgens de belangrijkheid van het onderwerp, één of meer werken van dezelfde zending bevatten. Iedere zending heeft haar eigen nummering.

De afleveringen kunnen afzonderlijk aangeschaft worden.

Het Instituut der Nationale Parken van Belgisch Congo neemt geen ruilingen aan.

FASCICULES PARUS

VERSCHENEN AFLEVERINGEN

HORS SÉRIE :

Les Parcs Nationaux et la Protection de la Nature.

Discours prononcé par le Roi Albert à l'installation de la Commission du Parc National Albert.

Discours prononcé par le Duc de Brabant à l'African Society, à Londres, à l'occasion de la Conférence Internationale pour la Protection de la Faune et de la Flore africaines.

La Protection de la Nature. Sa nécessité et ses avantages, par V. VAN STRAELEN, 1937.

BUITEN REEKS :

De Nationale Parken en de Natuurbescherming.

Redevoering uitgesproken door Koning Albert op de vergadering tot aanstelling der Commissie van het Nationaal Albert Park.

Redevoering door den Hertog van Brabant gehouden in de African Society, te Londen, bij de gelegenheid van de Internationale Conferentie voor de Bescherming van de Afrikaansche Fauna en Flora.

De Natuurbescherming. Haar noodzakelijkheid en haar voordeelen, door V. VAN STRAELEN, 1937.

Exploration du Parc National Albert. — Exploratie van het Nationaal Albert Park

I — Mission G. F. DE WITTE (1933-1935).

I — Zending G. F. DE WITTE (1933-1935).

Fasc.  
Afl.

1.	G. F. DE WITTE (Bruxelles), <i>Introduction</i> . . . . .	1937
2.	C. ATTEMS (Vienne), <i>Myriopodes</i> . . . . .	1937
3.	W. MICHAELSEN (Hamburg), <i>Oligochäten</i> . . . . .	1937
4.	J. H. SCHUURMANS-STEKHOVEN Jr (Utrecht), <i>Parasitic Nematoda</i> . . . . .	1937
5.	L. BURGEON (Tervueren), <i>Carabidae</i> . . . . .	} 1937
	M. BANNERING (Giessen), <i>Carabidae (Scaritini)</i> . . . . .	
6.	L. BURGEON (Tervueren), <i>Lucanidae</i> . . . . .	1937
7.	L. BURGEON (Tervueren), <i>Scarabaeidae (S. Fam. Cetoniinae)</i> . . . . .	1937
8.	R. KLEINE (Stettin), <i>Brenthidae und Lycidae</i> . . . . .	1937
9.	H. SCHOUTEDEN (Tervueren), <i>Oiseaux</i> . . . . .	1938
10.	S. FRECHKOP (Bruxelles), <i>Mammifères</i> . . . . .	1938
11.	J. BEQUAERT (Cambridge, Mass.), <i>Vespides solitaires et sociaux</i> . . . . .	1938
12.	A. JANSSENS (Bruxelles), <i>Onitini (Coleoptera Lamellicornia, Fam. Scarabaeidae)</i> . . . . .	1938
13.	L. GSCHWENDTNER (Linz), <i>Halplidae und Dytiscidae</i> . . . . .	1938
14.	E. MEYRICK (Marlborough), <i>Pterophoridae (Tortricina and Tineina)</i> . . . . .	1938
15.	C. MOREIRA (Rio de Janeiro), <i>Passalidae</i> . . . . .	1938
16.	R. J. H. TEUNISSEN (Utrecht), <i>Tardigraden</i> . . . . .	1938
17.	W. D. HINCKS (Leeds), <i>Dermaptera</i> . . . . .	1938
18.	R. HANITSCH (Oxford), <i>Blattids</i> . . . . .	1938
19.	G. OCHS (Frankfurt a. Main), <i>Gyrinidae</i> . . . . .	1938
20.	H. DEBAUCHE (Louvain), <i>Geometridae</i> . . . . .	1938
21.	A. JANSSENS (Bruxelles), <i>Scarabaeini (Coleoptera Lamellicornia, Fam. Scarabaeidae)</i> . . . . .	1938
22.	J. H. SCHUURMANS-STEKHOVEN Jr et R. J. H. TEUNISSEN (Utrecht), <i>Nematodes libres terrestres</i> . . . . .	1938
23.	L. BURGEON (Tervueren), <i>Curculionidae, S. Fam. Apioninae</i> . . . . .	1938
24.	M. POLL (Tervueren), <i>Poissons</i> . . . . .	1939
25.	A. JANSSENS (Bruxelles), <i>Oniticellini (Coleoptera Lamellicornia, Fam. Scarabaeidae)</i> . . . . .	1939
26.	L. BURGEON (Tervueren), <i>Histeridae</i> . . . . .	1939
27.	<i>Arthropoda : Hexapoda : 1. Orthoptera : Mantidae, par M. BEIER (Wien); 2. Gryllidae, par L. CHOPARD (Paris); 3. Coleoptera : Cicindelidae, par W. HORN (Berlin); 4. Rutelinae, par F. OHAUS (Mainz); 5. Heteroceridae, par R. MAMITZA (Wien); 6. Prioninae, par A. LAMEERE (Bruxelles); Arachnoidea : 7. Opiliones, par C. FR. ROEWER (Bremen)</i> . . . . .	1939
28.	A. HUSTACHE (Lagny), <i>Curculionidae</i> . . . . .	1939
29.	A. JANSSENS (Bruxelles), <i>Coprini (Coleoptera Lamellicornia, Fam. Scarabaeidae)</i> . . . . .	1940
30.	L. BERGER (Bruxelles), <i>Lepidoptera-Rhopalocera</i> . . . . .	1940
31.	V. LABOISSIÈRE (Paris), <i>Galerucinae (Coleoptera Phytophaga, Fam. Chrysomelidae)</i> . . . . .	1940
32.	V. LALLEMAND (Bruxelles), <i>Homoptera (Cicadidae, Cercopidae, Fulgoridae, Dictyophoridae, Ricaniidae, Cixiidae, Derbidae, Flatidae)</i> . . . . .	1941
33.	G. F. DE WITTE (Bruxelles), <i>Batraciens et Reptiles, avec Introduction de V. VAN STRAELEN</i> . . . . .	1941

Fasc. Afl.		
34.	L. MADER (Wien), <i>Coccinellidae</i> . — I. Teil ... ..	1941
	H. Teil ... ..	1950
35.	R. PAULIAN (Paris), <i>Aphodiinae</i> ( <i>Coleoptera Lamellicornia</i> , Fam. <i>Scarabaeidae</i> ) ... ..	1942
36.	A. VILLIERS (Paris), <i>Languriinae</i> et <i>Cladoxeninae</i> ( <i>Coleoptera Clavicornia</i> , Fam. <i>Erotylidae</i> ) ... ..	1942
37.	L. BURGEON (Tervueren), <i>Chrysomelidae</i> (S. Fam. <i>Eumolpinae</i> ) ... ..	1942
38.	A. JANSSENS (Bruxelles), <i>Dynastinae</i> ( <i>Coleoptera Lamellicornia</i> , Fam. <i>Scarabaeidae</i> ) ... ..	1942
39.	V. LABOISSIÈRE (Paris), <i>Halticinae</i> ( <i>Coleoptera Phytophaga</i> , Fam. <i>Chrysomelidae</i> ) ... ..	1942
40.	F. BORCHMANN (Hamburg), <i>Lagriidae</i> und <i>Alleculidae</i> ... ..	1942
41.	H. DEBAUCHE (Louvain), <i>Lepidoptera Heterocera</i> ... ..	1942
42.	E. UHMANN (Stollberg), <i>Hispinae</i> ... ..	1942
43.	<i>Arthropoda : Arachnoidea</i> : 1. <i>Pentastomida</i> , par R. HEYMONS (Berlin); <i>Hexapoda</i> : 2. <i>Orthoptera : Phasmodae</i> , par K. GUENTHER (Dresden); 3. <i>Hemiptera : Membracidae</i> , by W. D. FUNKHOUSER (Lexington U.S.A.); 4. <i>Coleoptera : Silphidae</i> , par A. JANSSENS (Bruxelles); 5. <i>Dryopidae</i> , par J. DELÈVE (Bruxelles); 6. <i>Lymezytonidae</i> , par L. BURGEON (Tervueren); 7. <i>Bostrychidae</i> , par P. LESNE (Paris); 8. <i>Scarabaeidae : Geotrupinae</i> , par A. JANSSENS (Bruxelles); 9. <i>Cassidinae</i> , von A. SPAETH (Wien); 10. <i>Ipidae</i> , von H. EGGERS (Bad Nauheim); 11. <i>Platypodidae</i> , par K. E. SCHEDEL (Hann. Münden); 12. <i>Hymenoptera : Sphegidae</i> , by G. ARNOLD (Bulawayo) ... ..	1943
44.	G. MARLIER (Bruxelles), <i>Trichoptera</i> ... ..	1943
45.	H. SCHOUTEDEN (Tervueren), <i>Reduviidae</i> , <i>Emesidae</i> , <i>Henicocephalidae</i> ( <i>Hemiptera Heteroptera</i> ) ... ..	1944
46.	R. PAULIAN (Paris), <i>Hybosoridae</i> et <i>Trogidae</i> ( <i>Coleoptera Lamellicornia</i> ) ... ..	1944
47.	H. DE SAEGER (Bruxelles), <i>Microgasterinae</i> ( <i>Hymenoptera Apocrita</i> ) ... ..	1944
48.	G. SCHMITZ (Louvain), <i>Chalcididae</i> ( <i>Hymenoptera Chalcidoidea</i> ) ... ..	1946
49.	H. DEBAUCHE (Louvain), <i>Mymaridae</i> ( <i>Hymenoptera Apocrita</i> ) ... ..	1949
50.	H. DE SAEGER (Bruxelles), <i>Euphorinae</i> ( <i>Hymenoptera Apocrita</i> , Fam. <i>Braconidae</i> ) ... ..	1946
51.	A. COLLART (Bruxelles), <i>Helomyzinae</i> ( <i>Diptera Brachycera</i> , Fam. <i>Helomyzidae</i> ) ... ..	1946
52.	P. VANSCHUYTBROECK (Bruxelles), <i>Sphaerocerinae</i> ( <i>Diptera Acalyptatae</i> , Fam. <i>Sphaeroceridae</i> ) ... ..	1948
53.	H. DE SAEGER (Bruxelles), <i>Cardiochilinae</i> , <i>Sigalphinae</i> ( <i>Hymenoptera Apocrita</i> , Fam. <i>Braconidae</i> ) ... ..	1948
54.	A. THÉRY (Neully), <i>Buprestidae</i> ( <i>Coleoptera Sternoxia</i> ) ... ..	1948
55.	M. GOETGHEBUER (Gand), <i>Ceratopogonidae</i> ( <i>Diptera Nematocera</i> ) ... ..	1948
56.	H. SCHOUTEDEN (Tervueren), <i>Coreidae</i> ( <i>Hemiptera Heteroptera</i> ) ... ..	1948
57.	H. F. STROHECKER (Miami), <i>Endomychidae</i> ( <i>Coleoptera Clavicornia</i> ) ... ..	1949
58.	R. POISSON (Rennes), <i>Hémiptères aquatiques</i> ... ..	1949
59.	M. CAMERON (London), <i>Staphylinidæ</i> ( <i>Coleoptera Polyphaga</i> ) ... ..	1950
60.	J. PASTEELS (Bruxelles), <i>Tenthredinidae</i> ( <i>Hymenoptera Tenthredinoidea</i> ) ... ..	1949
61.	F. C. FRASER (Bornemouth), <i>Odonata</i> ... ..	1949
62.	D. ELMO HARDY (Honolulu, Hawaii), <i>Dorilaidæ</i> ( <i>Diptera</i> ) ... ..	1950
63.	J. BALFOUR-BROWNE (London), <i>Palpicornia</i> ... ..	1950
64.	R. LAURENT, <i>Genres Afrixalus et Hyperolius</i> ( <i>Amphibia Salientia</i> ) ... ..	1950
65.	D. ELMO HARDY (Honolulu, Hawaii), <i>Bibionidæ</i> ( <i>Diptera Nematocera</i> ) ... ..	1950
66.	J. VERBEKE (Gand), <i>Sciomyzidæ</i> ( <i>Diptera Cyclorrhapha</i> ) ... ..	1950
67.	H. OLDROYD (London), <i>Genera Hæmatopota and Hippocentrum</i> ( <i>Diptera</i> , Fam. <i>Tabanidæ</i> ) ... ..	1950
68.	A. REICHENSBERGER (Bohm) <i>Paussidæ</i> ... ..	1950
69.	H. HAUT (Halle), <i>Pompilidæ</i> ( <i>Hymenoptera Sphecoidea</i> ) ... ..	1950
70.	<i>Hexapoda</i> : 1. <i>Orthoptera : Tridactylidæ</i> , par L. CHOPARD (Paris); 2. <i>Hemiptera : Coccidæ</i> , par P. VAYSSIÈRE (Paris); 3. <i>Coleoptera : Trogositidæ</i> , par G. FAGEL (Bruxelles); <i>Erotylidæ</i> von K. DELKESKAMP (Berlin); <i>Bostrychidæ</i> , par J. VRYDAGH (Bruxelles); <i>Megalopodinæ</i> , by G. E. BRYANT (London); <i>Anthribidæ</i> , by K. JORDAN (Tring); 4. <i>Diptera : Therevidæ</i> , par P. VANSCHUYTBROECK (Bruxelles); <i>Conopidæ</i> , par P. VANSCHUYTBROECK (Bruxelles); 5. <i>Hymenoptera : Chrysididæ</i> , von S. ZIMMERMANN (Wien) ... ..	1950
71.	K. ERMISCH (Radiumbad), <i>Mordellidæ</i> ( <i>Coleoptera Heteromera</i> ) ... ..	1950
72.	J. VERBEKE (Gand), <i>Tæniapterinæ</i> ( <i>Diptera Cyclorrhapha</i> , Fam. <i>Micropezidæ</i> ) ... ..	1951
73.	P. L. G. BENOIT (Tervueren), <i>Dryinidæ</i> ( <i>Hymenoptera Aculeata</i> ); <i>Evanidæ</i> ( <i>Hymenoptera Terebrantia</i> ) ... ..	1951
74.	P. VANSCHUYTBROECK (Bruxelles), <i>Dolichopodidæ</i> ( <i>Diptera Brachycera Orthorrhapha</i> ) ... ..	1951
75.	N. BRUCE (Stockholm), <i>Cryptophagidæ</i> ( <i>Coleoptera Polyphaga</i> ) ... ..	1951
76.	M. C. MEYER (Orono), <i>Hirudinea</i> ... ..	1951
77.	1. <i>Thysanoptera</i> , by H. PRIESNER (Cairo); 2. <i>Suctorina</i> ( <i>Aphaniptera</i> ), par J. COOREMAN (Bruxelles); 3. <i>Homoptera</i> , par V. LALLEMAND et H. SYNAVE (Bruxelles); 4. <i>Coleoptera : Sagridæ</i> , par P. JOLIVET (Bruxelles); <i>Clytridæ</i> , par P. JOLIVET (Bruxelles); 5. <i>Diptera : Asilidæ</i> , by S. W. BROMLEY (Stamford, U.S.A.); <i>Simuliidæ</i> , g. <i>Simulium</i> , by P. FREEMAN (London) ... ..	1951
78.	J. VERBEKE (Zürich), <i>Psilidæ</i> ( <i>Diptera Cyclorrhapha</i> ) ... ..	1952

I. — Mission G. F. DE WITTE (1933-1935) (suite).

I. — Zending G. F. DE WITTE (1933-1935) (vervolg).

Fasc.  
Afl.

- |     |  |                            |
|-----|--|----------------------------|
| 79. | 1. <i>Dermaptera</i> , by W. D. HISCKS (Manchester); 2. <i>Hemiptera : Cixiidæ</i> , par H. SYNAVE (Bruxelles); 3. <i>Reduviidæ</i> , par A. VILLIERS (Dakar); 4. <i>Coleoptera Laminae</i> , par S. BREUNING (Paris); 5. <i>Chrysomelinae</i> , von J. BECHYNE (München); 6. <i>Diptera : Celyphidæ</i> , par P. VANSCHUYTBROECK (Bruxelles); 7. <i>Hippoboscidae</i> and <i>Nycteribiidae</i> , by J. BEQUAERT (Cambridge, Mass.); 8. <i>Argidæ</i> , par J. PASTEELS (Bruxelles) ... .. | 1953                       |
| 80. | L. MADER (Wien), <i>Coccinellidæ</i> (III <sup>e</sup> Teil) ... ..  | (Sous presse.) (Ter pers.) |
| 81. | L. P. MESNIL (Feldmeilen), Genre <i>Actia</i> et voisins ( <i>Diptera Brachycera Acalyptratae</i> ) ... ..   | (Sous presse.) (Ter pers.) |
| 82. | † A. THÉRY (Paris), Genre <i>Paracylindromorphus</i> ( <i>Coleoptera Buprestidae</i> ) ... ..  | (Sous presse.) (Ter pers.) |

II. — Mission H. DAMAS (1935-1936).

II. — Zending H. DAMAS (1935-1936).

- |     |  |      |
|-----|--|------|
| 1.  | H. DAMAS (Liège), <i>Recherches Hydrobiologiques dans les Lacs Kivu, Edouard et Ndalaga</i> ... ..   | 1937 |
| 2.  | W. ARNDT (Berlin), <i>Spongilliden</i> ... ..  | 1938 |
| 3.  | P. A. CHAPPUIS (Cluj, Roumanie), <i>Copépodes Harpacticoides</i> ... ..                              | 1938 |
| 4.  | E. LOLOUP (Bruxelles), <i>Moerisia Alberti</i> nov. sp. ( <i>Hydropolype dulcicole</i> ) ... ..      | 1938 |
| 5.  | P. DE BEAUCHAMP (Strasbourg), <i>Rotifères</i> ... ..  | 1939 |
| 6.  | M. POLL (Tervueren), avec la collaboration de H. DAMAS (Liège), <i>Poissons</i> ... ..               | 1939 |
| 7.  | V. BREHM (Eger), <i>Cladocera</i> ... ..   | 1939 |
| 8.  | F. HUSTEDT (Ploen), <i>Süsswasser Diatomeen</i> ... ..   | 1940 |
| 9.  | J. H. SCHUURMANS STEKHOVEN Jr (Utrecht), <i>Nématodes libres d'eau douce</i> ... ..                  | 1944 |
| 10. | J. H. SCHUURMANS STEKHOVEN Jr (Utrecht), <i>Nématodes parasites</i> ... ..                           | 1944 |
| 11. | G. MARLIER (Bruxelles), <i>Trichoptera</i> ... ..  | 1943 |
| 12. | W. KLIE (Bad Pyrmont), <i>Ostracoda</i> ... ..   | 1944 |
| 13. | G. MARLIER (Bruxelles), <i>Collemboles</i> ... ..  | 1944 |
| 14. | J. COOREMAN (Bruxelles), <i>Acari</i> ... ..   | 1948 |
| 15. | A. ARCANGELI (Torino), <i>Isopodi terrestri</i> ... ..   | 1950 |
| 16. | F. GUIGNOT (Avignon), <i>Dytiscidae et Gyrinidae (Coleoptera Adephaga)</i> ... ..                    | 1948 |
| 17. | H. BERTRAND (Dinard), <i>Larves d'Hydrocanthares</i> ... ..  | 1948 |
| 18. | O. LUNDBLAD (Stockholm), <i>Hydrachnellae</i> ... ..   | 1949 |
| 19. | W. CONRAD (Bruxelles), P. FRÉMY (St.-Lô) et A. PASCHER (Prague), <i>Algues et Flagellates</i> ... .. | 1949 |
| 20. | M.-L. VERRIER (Paris), <i>Ephéméroptères</i> ... ..  | 1951 |
| 21. | FR. KIEFER (Konstanz), <i>Copépodes</i> ... ..   | 1952 |

III. — Mission P. SCHUMACHER (1933-1936).

III. — Zending P. SCHUMACHER (1933-1936).

- |    |  |      |
|----|--|------|
| 1. | P. SCHUMACHER (Antwerpen), <i>Die Kivu-Pygmäen und ihre soziale Umwelt im Albert-Nationalpark</i> ... .. | 1943 |
| 2. | P. SCHUMACHER (Antwerpen), <i>Anthropometrische Aufnahmen bei den Kivu-Pygmäen</i> ... ..                | 1939 |

IV. — Mission J. LEBRUN (1937-1938).

IV. — Zending J. LEBRUN (1937-1938).

- |      |   |      |
|------|---|------|
| 1.   | J. LEBRUN (Bruxelles), <i>La végétation de la plaine alluviale au Sud du lac Edouard</i> ... .. | 1947 |
| 2-5. | ... .. (En préparation.) (In voorbereiding.)  |      |
| 6.   | F. DEMARET et V. LEROY (Bruxelles), <i>Mousses</i> ... ..                                       | 1944 |
| 7.   | ... .. (En préparation.) (In voorbereiding.)  |      |
| 8.   | P. VAN OYE (Gand), <i>Desmidiées</i> ... ..   | 1943 |
| 9.   | P. VAN OYE (Gand), <i>Rhizopodes</i> ... ..   | 1948 |
| 10.  | P. DUVIGNEAUD et J.-J. SYMOENS (Bruxelles), <i>Cyanophycées</i> ... ..                          | 1948 |

V. — Mission S. FRECHKOP (1937-1938).

V. — Zending S. FRECHKOP (1937-1938).

- |    |   |      |
|----|---|------|
| 1. | S. FRECHKOP (Bruxelles), <i>Mammifères</i> ... .. | 1943 |
| 2. | R. VERHEYEN (Bruxelles), <i>Oiseaux</i> ... ..    | 1947 |

VI. — Missions J. VERHOOGEN (1938 et 1940).

VI. — Zendingen J. VERHOOGEN (1938 en 1940).

- |    |   |      |
|----|---|------|
| 1. | J. VERHOOGEN (Bruxelles), <i>Les éruptions 1938-1940 du volcan Nyamuragira</i> ... .. | 1948 |
|----|---|------|

FLORE DES SPERMATOPHYTES DU PARC NATIONAL ALBERT.

Vol.

- |    |   |      |
|----|---|------|
| 1. | W. ROBYNS (Bruxelles), <i>Gymnospermes et Choripétales</i> ... ..                       | 1948 |
| 2. | W. ROBYNS (Bruxelles), <i>Sympétales</i> ... ..   | 1947 |
| 3. | W. ROBYNS (Bruxelles), <i>Monocotylées</i> ... .. (En préparation.) (In voorbereiding.) |      |

**Exploration du Parc National Albert et du Parc National de la Kagera.  
 Exploratie van het Nationaal Albert Park en van het Nationaal Park der Kagera**

I. — Mission L. VAN DEN BERGHE (1936).

I. — Zending L. VAN DEN BERGHE (1936).

Fasc.  
Afl.

- |    |   |      |
|----|---|------|
| 1. | L. VAN DEN BERGHE (Anvers), <i>Enquête parasitologique</i> . — I. — <i>Parasites du sang des vertébrés</i> ... .. | 1942 |
| 2. | L. VAN DEN BERGHE (Anvers), <i>Enquête parasitologique</i> . — II. — <i>Helminthes parasites</i> .                | 1943 |

**Exploration du Parc National de la Kagera. — Exploratie van het Nationaal Park der Kagera.**

I. — Mission J. LEBRUN (1937-1938).

I. — Zending J. LEBRUN (1937-1938).

- |    |   |      |
|----|---|------|
| 1. | J. LEBRUN, L. TOUSSAINT, A. TATON (Bruxelles), <i>Contribution à l'étude de la flore du Parc National de la Kagera</i> ... .. | 1948 |
|----|---|------|

II. — Mission S. FRECHKOP (1938).

II. — Zending S. FRECHKOP (1938).

- |    |   |      |
|----|---|------|
| 1. | S. FRECHKOP (Bruxelles), <i>Mammifères</i> ... .. | 1944 |
| 2. | R. VERHEYEN (Bruxelles), <i>Oiseaux</i> ... ..    | 1947 |

**Exploration du Parc National de l'Upemba. — Exploratie van het Nationaal Upemba Park.**

I. — Mission G. F. DE WITTE en collaboration avec W. ADAM, A. JANSSENS, L. VAN MEEL et R. VERHEYEN (1946-1949).

I. — Zending G. F. DE WITTE met medewerking van W. ADAM, A. JANSSENS, L. VAN MEEL en R. VERHEYEN (1946-1949).

Fasc.  
Afl.

- |     |  |      |
|-----|--|------|
| 1.  | G. F. DE WITTE, W. ADAM, A. JANSSENS, L. VAN MEEL et R. VERHEYEN (Bruxelles), <i>Introduction</i> ... .. (En préparation.) (In voorbereiding.)   |      |
| 2.  | K. LINDBERG (Lund), <i>Cyclopides (Crustacés Copépodes)</i> ... ..   | 1951 |
| 3.  | A. JANSSENS (Bruxelles), <i>Onitini (Coleoptera Lamellicornia, Fam. Scarabæidæ)</i> ... ..   | 1951 |
| 4.  | 1. <i>Coleoptera : Paussidæ</i> , par E. JANSSENS (Bruxelles); <i>Megalopodidæ</i> , par P. JOLIVET (Bruxelles); <i>Sagridæ</i> , par P. JOLIVET (Bruxelles). — 2. <i>Diptera : Muscidæ</i> (Genre <i>Glossina</i> ), par C. HENRARD (Bruxelles) ... ..  | 1951 |
| 5.  | C. FR. ROEWER (Bremen), <i>Solifuga, Opliones, Pedipatpi und Scorpiones</i> ... ..   | 1952 |
| 6.  | G. F. DE WITTE (Bruxelles), <i>Reptiles</i> ... ..   | 1953 |
| 7.  | H. F. STROHECKER (Miami), <i>Endomychidæ</i> ... ..  | 1952 |
| 8.  | 1. <i>Plecoptera : Perlidæ</i> , by H. B. N. HYNES (Liverpool); 2. <i>Coleoptera : Histeridæ</i> , par J. THÉRON (Nîmes); 3. <i>Chrysomelidæ</i> , par P. JOLIVET (Bruxelles); 4. <i>Scolytoidea</i> , par K. E. SCHEDL (Lienz); 5. <i>Diptera : Bibionidæ and Dorilaidæ</i> , by D. E. HARDY (Honolulu, Hawaii) ... ..  | 1952 |
| 9.  | L. VAN MEEL (Bruxelles), <i>Contribution à l'étude du lac Upemba. — I. Le milieu physico-chimique</i> ... ..   | 1953 |
| 10. | P. BASILEWSKY (Tervuren), <i>Carabidæ</i> ... ..   | 1953 |
| 11. | A. JANSSENS (Bruxelles), <i>Oniticellini (Coleoptera Lamellicornia, Fam. Scarabæidæ)</i> ... .. (Sous presse.) (Ter pers.)   | 1952 |
| 12. | P. VANSCHUYTBROECK (Bruxelles), <i>Dolichopodidæ (Diptera Brachycera Orthorrhapha)</i> . ... ..  | 1952 |
| 13. | R. JEANNEL (Paris), <i>Pselaphidæ</i> ... ..   | 1952 |
| 14. | S. FRECHKOP (Bruxelles), <i>Mammifères</i> ... .. (En préparation.) (In voorbereiding.)  | 1952 |
| 15. | A. VILLIERS (Dakar), <i>Languriidæ et Cladoreninæ</i> ... ..   | 1952 |
| 16. | G. OCHS (Hannover), <i>Gyrinidæ</i> ... ..   | 1953 |
| 17. | 1. <i>Nematodes</i> , par C. VUYLSTEKE (Geluwe); 2. <i>Embioptera</i> , par Y. JOLIVET (Bruxelles); 3. <i>Lonchodidæ</i> , par Y. JOLIVET (Bruxelles); 4. <i>Coleoptera : Erotylidæ</i> , von K. DELKESKAMP (Berlin); 5. <i>Prioninæ</i> , par P. BASILEWSKY (Tervuren); 6. <i>Cerambycinæ</i> , by E. A. J. DUFFY (London); 7. <i>Diptera : Celyphidæ</i> , par P. VANSCHUYTBROECK (Bruxelles); 8. <i>Tenthredinoida</i> , par J. PASTEELS (Bruxelles) ... (Sous presse.) (Ter pers.) | 1953 |
| 18. | A. VILLIERS (Dakar), <i>Reduviidæ</i> ... .. (Sous presse.) (Ter pers.)  | 1953 |
| 19. | R. VERHEYEN (Bruxelles), <i>Oiseaux</i> ... ..   | 1953 |
| 20. | M. BEIER (Wien), <i>Mantidæ</i> ... .. (Sous presse.) (Ter pers.)  | 1953 |
| 21. | E. MARCUS (São Paulo), <i>Turbellaria</i> ... .. (Sous presse.) (Ter pers.)  | 1953 |
| 22. | C. FR. ROEWER (Bremen), <i>Orthognatha</i> ... .. (Sous presse.) (Ter pers.)   | 1953 |
| 23. | H. SYNAVE (Bruxelles), <i>Cixiidæ</i> ... .. (Sous presse.) (Ter pers.)  | 1953 |
| 24. | C. KOCH (Pretoria), <i>Pycnocerini</i> ... .. (Sous presse.) (Ter pers.)   | 1953 |

**Exploration des Parcs Nationaux du Congo Belge — Exploratie der Nationale Parken van Belgisch Congo.**

I. — Mission H. HEDIGER - J. VERSCHUREN (1948).

I. — Zending H. HEDIGER - J. VERSCHUREN (1948).

- |    |  |      |
|----|--|------|
| 1. | H. HEDIGER (Bâle), <i>Observations sur la psychologie animale dans les Parcs Nationaux du Congo Belge</i> ... .. | 1951 |
|----|--|------|

AVIS

Les *Aspects de Végétation des Parcs Nationaux du Congo Belge* paraissent par fascicules de six planches, accompagnées de notices explicatives.

La publication est divisée en séries, consacrées chacune à un *Parc National du Congo Belge*.

La première série a pour objet le *Parc National Albert*.

Les fascicules peuvent s'acquérir séparément.

L'*Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge* n'accepte aucun échange

BERICHT

De *Vegetatiebeelden der Nationale Parken van Belgisch Congo* verschijnen in afleveringen van zes platen, van verklarende aantekeningen vergezeld

De publicatie is ingedeeld in reeksen, waarvan elke afdeling der *Nationale Parken van Belgisch Congo* gewijd is.

De eerste reeks handelt over het *Nationaal Albert Park*.

De afleveringen kunnen afzonderlijk aangeschaft worden.

Het *Instituut der Nationale Parken van Belgisch Congo* neemt geen ruilingen aan.

FASCICULES PARUS

SÉRIE I. — PARC NATIONAL ALBERT.

Volume I

- fasc. 1-2. — W. ROBYNS (Bruxelles), *Aperçu général de la végétation* (d'après la documentation photographique de la mission G. F. DE WITTE) ... .. 1937
- Fasc. 3-4-5 — J. LEBRUN (Bruxelles), *La végétation du Nyiragongo* ... .. 1942

VERSCHEENEN AFLEVERINGEN

REEKS I — NATIONAAL ALBERT PARK

Boekdeel I.

- Afl. 1-2 — W. ROBYNS (Brussel), *Algemeen overzicht der vegetatie* (volgens de fotografische documentatie der zending G. F. DE WITTE) ... .. 1937

PUBLICATIONS SÉPARÉES

- Mammifères et Oiseaux protégés au Congo Belge*, par S. FRECHKOP, avec Introduction de V. VAN STRAELEN ... .. (Épuisé.) (Uitgeput.)
- Contribution à l'étude de la Morphologie du Volcan Nyamuragira*, par R. HOIER (Rutshuru) ... .. 1939
- Animaux protégés au Congo Belge et dans le Territoire sous mandat du Ruanda-Urundi, ainsi que les espèces dont la protection est assurée en Afrique (y compris Madagascar) par la Convention Internationale de Londres du 8 novembre 1933 pour la protection de la Faune et de la Flore africaines, avec la Législation concernant la Chasse, la Pêche, la Protection de la Nature et les Parcs Nationaux au Congo Belge et dans le Territoire sous Mandat du Ruanda-Urundi*, par S. FRECHKOP, en collaboration avec G. F. DE WITTE, J.-P. HARROY et E. HUBERT, avec Introduction de V. VAN STRAELEN (1941).  
(Épuisé.) (Uitgeput.)
- Beschermde Dieren in Belgisch Congo en in het Gebied onder mandaat van Ruanda-Urundi, evenals de Soorten waarvan de bescherming verzekerd is in Afrika (met inbegrip van Madagascar) door de Internationale Overeenkomst van Londen van 8 November 1933 voor de bescherming van de Afrikaansche Flora en Fauna, met de Wetgeving betreffende de Jacht, de Visscherij, de Natuurbescherming en de Nationale Parken van Belgisch Congo en in het Gebied onder mandaat van Ruanda-Urundi*, door S. FRECHKOP, in medewerking met G. F. DE WITTE, J.-P. HARROY en E. HUBERT, met Inleiding van V. VAN STRAELEN (1943) ... .. (Épuisé.) (Uitgeput.)
- La faune des grands Mammifères de la plaine Rwindi-Rutshuru (lac Edouard). Son évolution depuis sa protection totale*, par E. HUBERT ... .. 1947
- Animaux protégés au Congo Belge et dans le Territoire sous mandat du Ruanda-Urundi*, 3<sup>e</sup> édition.  
(Épuisé.) (Uitgeput.)
- Les territoires biogéographiques du Parc National Albert*, par W. ROBYNS ... .. 1948
- A travers plaines et volcans au Parc National Albert*, par R. HOIER ... .. 1950
- Parcs Nationaux du Congo Belge* ... .. 1949
- Contribution à l'étude éthologique des mammifères du Parc National de l'Upemba*, par R. VERHEYEN ... .. 1951
- Animaux protégés au Congo Belge et dans le Territoire sous mandat du Ruanda-Urundi*, édition 1953.  
(Sous presse.) (Ter pers.)