

EXTRAIT DU BULLETIN  
DE LA  
SOCIÉTÉ ROYALE DES SCIENCES  
DE LIÈGE

N° 11 — 1964

ÉTUDE LIMNOLOGIQUE DES LACS ARTIFICIELS  
DE LA LUFIRA ET DU LUALABA (HAUT-KATANGA)

II. ÉTUDE CHIMIQUE DES EAUX DE LA RETENUE DE LA LUFIRA  
(LAC DE MWADINGUSHA)

par NOËL MAGIS

*Assistant à l'Université de Liège*

*Chargé de Mission FULREAC*

LIÈGE  
IMPRIMERIE GEORGE MICHIELS, S. A.  
6 RUE DE LA PAIX

1964



# ÉTUDE LIMNOLOGIQUE DES LACS ARTIFICIELS DE LA LUFIRA ET DU LUALABA (HAUT-KATANGA)

## II. ÉTUDE CHIMIQUE DES EAUX DE LA RETENUE DE LA LUFIRA (LAC DE MWADINGUSHA) (\*)

par NOËL MAGIS  
*Assistant à l'Université de Liège*  
*Chargé de Mission FULREAC*

*A la mémoire du Professeur H. DAMAS*  
*Chef de la « Mission des Lacs » FULREAC.*

### RÉSUMÉ

La composition chimique des eaux du lac de barrage de Mwadingusha et de son affluent la Lufira (Haut Katanga) a été étudiée chaque mois durant deux années consécutives en se servant des méthodes habituelles d'analyse.

Les résultats démontrent comment la composition chimique des eaux est modifiée sous l'action des végétaux semi-aquatiques qui envahissent le lac lorsque son niveau doit être fortement abaissé par suite du déficit de la cote udométrique. L'influence de cette végétation « parasite » se traduit par une augmentation des propriétés réductrices des eaux à la suite d'un déséquilibre entre les processus de production et de dégradation.

La composition chimique des eaux retenues est ainsi soumise à deux cycles de variations : l'un, à court terme, reflète les deux poussées annuelles du phytoplancton, l'autre, à long terme, lié à l'importance du couvert végétal. Ces deux cycles peuvent être momentanément compétitifs.

La stratification chimique est très indépendante de la stratification thermique. Les gaz dissous et le  $p_H$  se stratifient très rapidement tandis que la concentration en sels et l'alcalinité ne varient pratiquement pas en fonction de la profondeur. La stratification chimique est donc essentiellement d'origine biologique, elle est particulièrement influencée par les sédiments dont l'action se fait sentir sur plusieurs mètres d'épaisseur.

(\*) Travail subsidié par la Fondation de l'Université de Liège pour les Recherches scientifique au Congo et au Ruanda Urundi (FULREAC).

Lake Lufira  
lowerings of  
semi-aquatic  
The chemi-  
studied syst-  
of plants on  
It clearly  
vod CO<sub>2</sub> and  
The varia-  
results from  
a year. The  
and appears  
level. The ty-  
The chemi-  
O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and  
ture differen-  
depth. Chem-  
It is particu-  
along a dept-

Dans le  
des résultats  
lacs artificiel-  
régime hydro-  
nières de la

L'examen  
le débit de  
bassins ven-  
de basses e-  
qui a été  
l'Upemba,

Une cor-  
thermique  
phère. Le s-  
pendant de  
sous cette  
(VERBEKE,  
MEEL, loc.  
trois périodes

1. — un

## SUMMARY

Lake Lufira (Katanga), an artificial lake, is characterized by periodical lowerings of the water level and subsequently by a considerable spread of semi-aquatic plants.

The chemical composition of the water in the lake and in Lufira has been studied systematically during two years in order to determine the influence of plants on the chemical composition of the water.

It clearly appears that plants decrease the  $O_2$ -tension, increase the dissolved  $CO_2$  and lower the  $p_H$ .

The variations of the water's quality depend on two cycles. The first one results from the abundance of the phytoplankton which fluctuates two times a year. The second, a longer one, is correlated with the vegetal covering and appears to be independent of the season or the variations of the water level. The two above cycles can be temporarily competitive.

The chemical stratification does not depend directly from the thermic.  $O_2$ ,  $CO_2$  and  $p_H$  stratify immediately under the influence of small temperature differences but conductivity, hardness and alkalinity do not vary with depth. Chemical stratification essentially results from biological activities. It is particularly influenced by sediments whose actions can be traced along a depth of several meters.

Dans le premier mémoire (MAGIS, 1962) consacré à la publication des résultats d'une mission hydrobiologique poursuivie dans les lacs artificiels de la Lufira et du Lualaba, nous avons précisé le régime hydraulique de ces retenues et analysé les variations saisonnières de la température des eaux.

L'examen des relations existant entre le niveau des plans d'eau, le débit des affluents Lufira ou Lualaba et la pluviosité sur les bassins versants respectifs a montré que la succession des périodes de basses et hautes eaux ne diffère pas fondamentalement de celle qui a été mise en évidence dans un lac naturel voisin, celui de l'Upemba, bien étudié par VAN MEEL (1953).

Une corrélation étroite unit les variations saisonnières de la thermique des eaux et celles de la température moyenne de l'atmosphère. Le système thermique des lacs est donc partiellement indépendant des périodes sèches et pluvieuses cependant bien tranchées sous cette latitude. Comme dans les grands lacs de l'Est africain (VERBEKE, 1957; DUBOIS, 1958) comme dans l'Upemba (VAN MEEL, *loc. cit.*) et dans le lac artificiel de Kariba (HARDING, 1961), trois périodes s'y succèdent régulièrement :

1. — une période de refroidissement s'étend de la fin-avril à

la fin-juillet, pendant la première moitié de la saison sèche ; la température de l'eau reste, jusqu'en juin, supérieure à celle de l'atmosphère ;

- b. — une période de réchauffement commence en août et s'achève en novembre ; elle couvre donc la seconde partie de la saison sèche et les premiers mois de la saison des pluies ; la température de l'eau est alors inférieure à celle de l'atmosphère ;
- c. — une période de constance thermique relative s'étend entre décembre et mars, durant les autres mois de la saison des pluies ; la température de l'eau est alors supérieure à celle de l'atmosphère.

Ce cycle tripartite rappelle très étroitement celui des lacs « subtropicaux » étudiés par YOSHIMURA (1936). Il a, en outre, été constaté que la séparation des couches épilimniques en période de réchauffement est remarquablement précoce. Ce mécanisme, qui s'explique par l'importance des écarts thermiques journaliers de la température de l'air, par la forte évaporation et par l'action des vents, est très différent de celui qui aboutit à la séparation tardive d'un épilimnion dans les lacs européens du type « chaud ».

Nos observations régulières nous forcent à nuancer l'opinion habituelle selon laquelle, dans la zone intertropicale, la saison sèche est la période de circulation et la saison des pluies la période de stagnation. Dans les lacs du Haut-Katanga, la circulation peut être causée par deux facteurs. En saison sèche froide, les vents violents, la forte évaporation et l'abaissement sensible de la température nocturne engendrent des courants de convection qui brassent tout le volume d'eau et rendent homogènes sa température et sa composition chimique. En saison des pluies, les précipitations apportent des eaux froides et lourdes qui déterminent des courants verticaux de plus faible intensité. En plus de ces mouvements s'en ajoutent d'autres, créés par les phénomènes de diffusion, qui augmentent progressivement le volume d'eau en circulation. Par conséquent la stratification thermique revêt un caractère fort précaire.

Le but de ce second article est de faire connaître les variations de la composition chimique des eaux de la retenue de la Lufira (lac de Mwadingusha). Ce lac, le plus ancien du système des lacs artificiels actuellement existant au Katanga pose, en effet, une série

de problè  
flore semi  
de 90 % d

Nous re  
MAGIS et  
lièrement  
analysées  
sont le fru  
1957 à sep  
1960. Pen  
relativem  
entraîné l  
envahi le l  
du niveau

Dans ce  
par la vég  
à la préc  
Jadotville

a. — la

«  
a

b. — l

M  
t

p  
c  
g

d  
d  
k

0

0

c. — le

q

n  
d

c  
o

de problèmes écologiques, conséquence de la prolifération d'une flore semi-aquatique spécialisée qui, certaines années, envahit plus de 90 % de la superficie du plan d'eau.

Nous renvoyons le lecteur à une publication antérieure (DAMAS, MAGIS et NASSOGNE, 1959) où les conditions qui favorisent irrégulièrement la multiplication massive de cette végétation ont été analysées de façon détaillée. Les données qui vont être exposées sont le fruit de multiples analyses effectuées chaque mois de juillet 1957 à septembre 1959 et même, dans certains cas, jusqu'en janvier 1960. Pendant cette période, les fluctuations du plan d'eau ont été relativement faibles, le maintien d'un niveau élevé a, de ce fait, entraîné la dégradation progressive du couvert végétal qui avait envahi le lac à la suite de deux baisses consécutives très importantes du niveau, en 1954 et en 1955.

Dans ce milieu étendu et dont l'hétérogénéité est encore accrue par la végétation, quatre points de référence ont été choisis. Grâce à la précieuse collaboration de J. LIÉTAR, Auxiliaire médical à Jadotville, ces quatre stations ont pu être visitées chaque mois :

- a. — la *Lufira* : l'étude des eaux affluentes a été faite au lieu-dit « Pont de Kapolowe », soit à une dizaine de kilomètres en amont de la rive méridionale du lac de retenue ;
- b. — *Mulandi* : ce village est situé sur la rive sud-ouest, entre la Mwera, au nord, et la Kalonga, au sud. La rive est en pente très faible et toute la région est abondamment colonisée par les végétaux. Ce fouillis est traversé par d'étroits chenaux ouverts par les pêcheurs. Ces voies s'élargissent çà et là et s'ouvrent dans des plages d'eau libre variant de quelques mètres carrés à quelques ares. Autant que le permettaient les circonstances, les eaux ont été récoltées dans ces « *kiziba* », à une distance de la rive d'environ un kilomètre. On y a mesuré des profondeurs comprises entre 0,6 et 3 mètres suivant le niveau du lac.
- c. — le *Shangalele* : on dénomme ainsi un ancien étang d'une quinzaine d'hectares, aujourd'hui compris dans la zone normale d'inondation du lac. Situé à six kilomètres environ de la rive gauche de la Lufira, il est parfaitement circonscrit par la cote 206 et sa profondeur maximum est d'environ cinq mètres. Il apparaît comme un plan d'eau libre assez



vaste, isolé au milieu d'importantes roselières. Sous l'action des vents violents de la saison sèche il arrive que des îlots se détachent des massifs périphériques et envahissent très temporairement la surface du lac.

- d. — *Mwadingusha* : cette station se situe à l'exutoire du lac, de 4 à 500 mètres de l'aplomb du barrage. C'est la région de la retenue la plus profonde, tout au moins dans le lit étroit de la Lufira où la sonde enregistre des profondeurs de 10 à 14 mètres. Une grille flottante, tendue d'une rive à l'autre à deux kilomètres du barrage, empêche la colonisation du plan d'eau par les prairies flottantes.

### 1. — RAPPEL DES CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU LAC DE RETENUE

Position géographique : 27° long. E., 11° lat. Sud, alt. 1.100m.  
Mise sous eau : 1930. Superficie au niveau maximum : 410 km<sup>2</sup>.  
Profondeur maximum : 14 m., profondeur moyenne : 2,6 m. Prise d'eau : colonne d'eau comprise entre la surface et la cote 203,7 en-dessous du niveau maximum de 210,05. Alimenté par la Lufira et par les faibles apports de petits affluents dont la plupart filtrent au travers de marécages. Rives basses, densément et largement colonisées par des prairies de *Leersia*, *Vossia*, *Oryza* et des roselières à *Typha*. Amplitude des variations annuelles de la température de l'eau : 5 à 10°C selon les années et selon les endroits.

### 2. — MÉTHODES UTILISÉES

#### a. — Récolte des échantillons d'eau

Les prises d'échantillons d'eau aux profondeurs voulues ont été faites au moyen d'une bouteille à eau du type utilisé par RUTTNER et d'une capacité d'un litre. Dans les endroits de faibles profondeurs on a employé une pompe à main analogue à celle utilisée et décrite par DAMAS (1954). La bouteille de RUTTNER était fixée à un cabestan muni d'un compte-tours donnant directement la profondeur désirée. La bouteille a été descendue en prenant systématiquement comme point de départ son ouverture supérieure placée au ras de l'eau. Par ailleurs, le tube en caoutchouc fixé au téton d'aspiration de la pompe à main était gradué de 0,5 en 0,5 mètre.

1. — Co  
de condu  
« Pontavi  
18°C et  
contrôlés  
0,1N de ré

2. — D  
été déterm  
(1950). E  
sodique 0,  
ment la d  
correspon  
permet le  
rence, la  
employant  
pour 100 c

3. — T  
dissoutes  
au moyen  
teur de fin  
lisation on  
le virage c  
alcalin est

4. — A  
Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> O  
correction  
d'anhydri  
tue alors  
déterminé

5. — p  
rateur de  
virage se

6. — O  
avons pré

b. — Méthodes d'analyse chimique des eaux :

1. — *Concentration totale en sels dissous* : estimée par la méthode de conductibilité électrique au pont de KOHLRAUSCH (appareil « Pontavi » à vibreur). Toutes les mesures ont été ramenées à 18°C et multipliées par  $10^6$ . L'appareil et les électrodes ont été contrôlés avant chaque emploi au moyen d'une solution de KCl 0,1N de résistivité et de température connues.

2. — *Dureté totale* : les teneurs en calcium et en magnésium ont été déterminées par la méthode des complexons décrite par STASSART (1950). En titrant 100 ml. d'eau par une solution de versénate sodique 0,01N, le nombre de ml. de réactif utilisé indique immédiatement la dureté totale en degrés français (un degré français de dureté correspond à 10 mg.  $\text{CaCO}_3$  p. l.). La méthode complexométrique permet le dosage séparé des ions calcium et donne donc, par différence, la quantité d'ions magnésium. Le dosage se fait alors en employant le murexide comme indicateur de fin de réaction et, pour 100 cc d'eau, 5 cc de NaOH N. comme tampon.

3. — *Titre alcalin* : la quantité de substances à réaction alcaline dissoutes dans l'eau a été déterminée par titration de 100 cc d'eau au moyen d'HCl 0,1N en présence de méthylorange comme indicateur de fin de réaction. Du volume d'acide nécessaire à la neutralisation ont été retranchés 0,09 cc, quantité nécessaire pour obtenir le virage de l'indicateur dans l'eau distillée (DAMAS, 1954). Ce titre alcalin est le T.A.M. du « Livre de l'eau » (1954).

4. — *Anhydride carbonique libre* : est dosé dans 100 ml. d'eau par  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,1N en présence de phénolphtaléine, avec emploi de la correction de WINKLER (MAUCHA, 1932). Dans les eaux dépourvues d'anhydride carbonique libre, l'indicateur rosit et le dosage s'effectue alors au moyen d'HCl 0,1N. Cette dernière opération revient à déterminer le T. A. P. du « Livre de l'eau ».

5. —  $p_{\text{H}}$  : déterminé par colorimétrie à l'aide de l'appareil comparateur de HELLIGE. En utilisant deux indicateurs dont les zones de virage se recouvrent, on obtient une précision de 0,05 unité  $p_{\text{H}}$ .

6. — *Oxygène dissous* : à la classique méthode de WINKLER, nous avons préféré celle par différence d'iode (OHLE, 1953), particulière-



ment indiquée dans les cas d'eaux riches en substances réductrices. Les résultats des dosages expriment la quantité d'oxygène dissous en mg.p.l. Pour permettre une comparaison plus aisée, toutes les valeurs ont été transformées en % de la saturation. Dans ce but nous avons appliqué les coefficients de correction d'altitude pour la pression barométrique et déterminé les différents pourcentages à l'aide de l'abaque publié par WELCH (1948).

7. — *Substances réductrices* : nous avons utilisé la réduction à chaud par le permanganate de potassium en présence d'acide sulfurique. Les résultats expriment la quantité d'oxygène absorbé en mg. p.l. La solution d'hyposulfite de sodium 0,01N, utilisée dans les deux dernières analyses, a été titrée à l'aide d'une solution de biodate de potassium renfermant 325 mg de substance par litre (MAUCHA, 1932).

c. — *Transparence et couleur propre de l'eau* :

La transparence de l'eau a été déterminée à l'aide d'un disque de SECCHI métallique de 20 cms de diamètre, marqué de quatre secteurs égaux peints alternativement en noir et en blanc. L'appareil était fixé à une canne à sonder munie d'un compte-tours donnant la profondeur en décimètres. Les valeurs retenues sont la moyenne entre les mesures relevées à la descente et à la remontée de l'instrument.

Nous avons estimé la couleur propre de l'eau à l'aide de l'échelle de comparaison de FOREL-ULE. Les solutions comparatrices étaient conservées en tubes scellés.

3. — ANALYSE DES EAUX DE LA LUFIRA AVANT LEUR ENTRÉE  
DANS LA RETENUE

a. — *Les électrolytes dissous*

La composition ionique des eaux de la Lufira est représentée graphiquement sur la fig. 1. Cette dernière a été construite en suivant la technique développée par KUFFERATH (1951) et se base sur les résultats d'une analyse effectuée par les soins du Laboratoire de Recherches de l'Union Minière.

On voit que les six ions les plus communément rencontrés dans

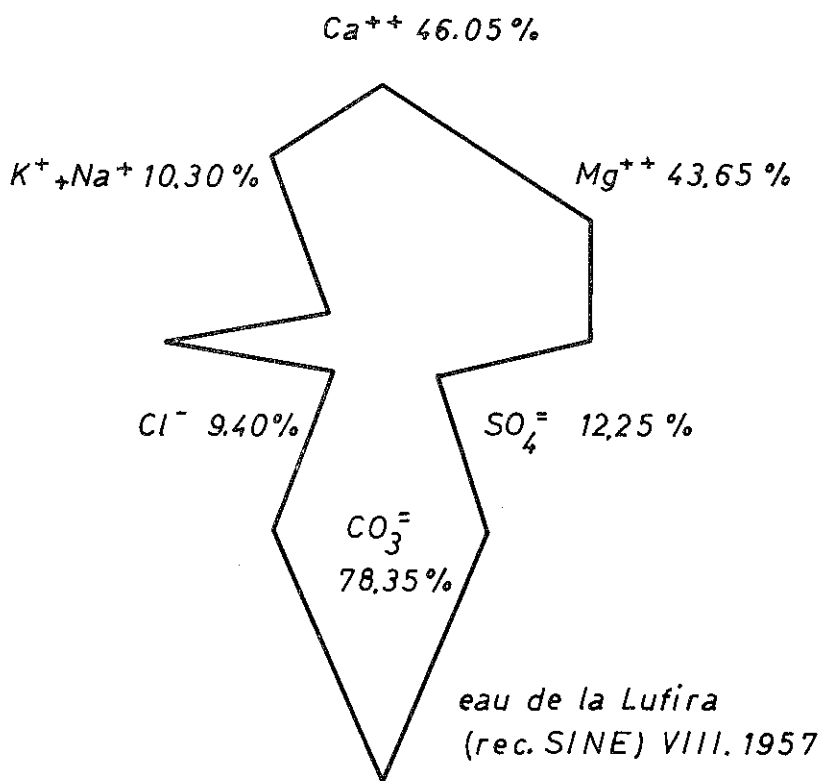
les eaux  
Ces eau  
hexaion  
La fi  
Mg<sup>++</sup> e  
régulier  
cette c  
l'année

K<sup>+</sup> +

Fig. 1.  
exprim

les eaux douces figurent dans la balance ionique de cet échantillon. Ces eaux peuvent donc être classées dans la catégorie des eaux hexaioniques ou « complètes » définie par KUFFERATH (*loc. cit.*).

La fig. 1 indique clairement la forte proportion des ions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{CO}_3^{=}$ . D'autres analyses du même type effectuées plus régulièrement dans la retenue elle-même permettent d'affirmer que cette composition reste qualitativement semblable tout au long de l'année (MAGIS, 1961).



*représentation graphique polaire de la  
composition ionique*

Fig. 1. — Composition ionique des eaux de la Lufira. La balance ionique est exprimée en % de la somme des cations et de la somme des anions suivant la méthode de KUFFERATH (1951).

Déterminé par la méthode des complexes le titre de dureté totale des eaux de la Lufira est compris entre 11,6 et 33,8° français. Lorsqu'on met en rapport les concentrations en calcium et magnésium dissous et le débit mensuel moyen de la rivière, la disposition des points traduit une corrélation négative : plus le débit est élevé plus la concentration de ces deux électrolytes est faible (voir fig. 2). Les variations annuelles de la dureté sont donc tribu-

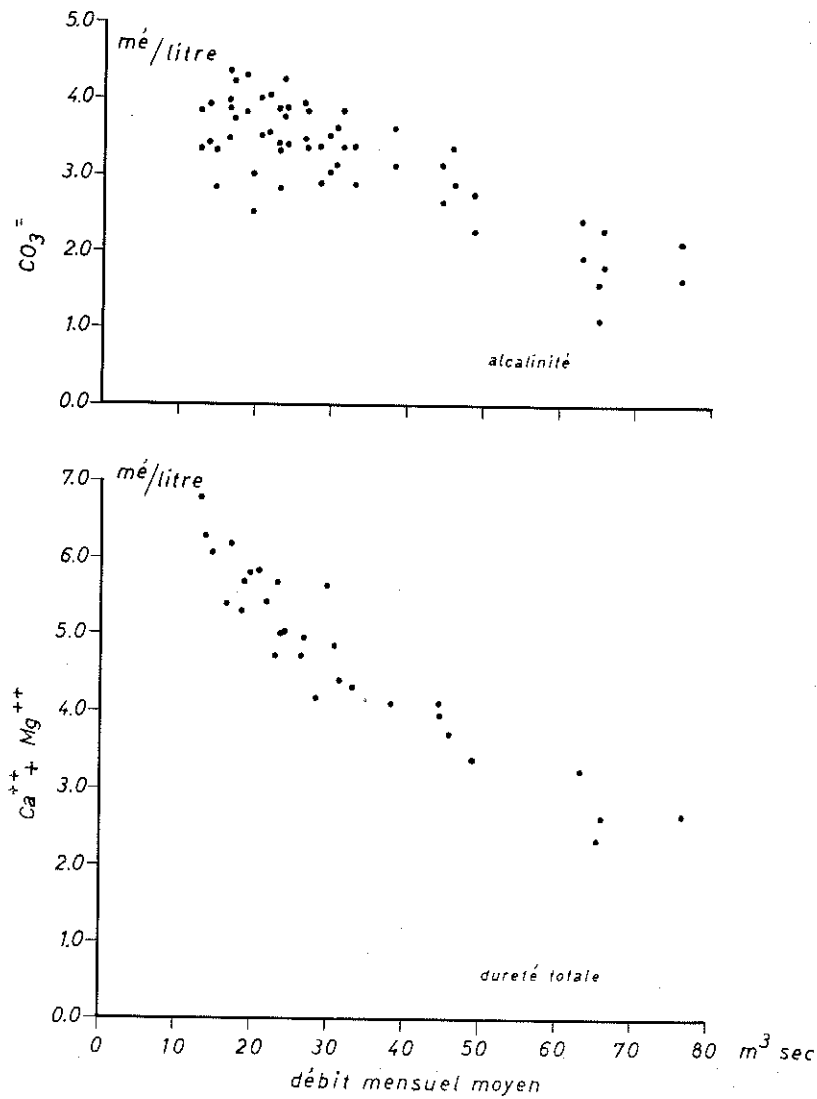


Fig. 2. — Rapports existant entre le titre alcalin au méthylorange (TAM) ou la dureté totale et le débit mensuel moyen de la Lufira.

taires de  
elles se  
débit de  
variation  
selon les

Les v  
sont pas  
démont  
grandes  
pales de  
1959, c  
augmen  
décru  
dépass  
époques

Dans  
de la Pa  
relative  
et même  
tions o  
quent n

L'exa  
augmen  
de la p  
totale  
(fig. 3)  
du calc  
échapp  
à défin  
être so  
des app  
en am  
de la l

La q  
fort (t  
débit r  
à ceux  
l'eau d  
la péri  
entre l

taires du régime de l'affluent : lors des crues les eaux se diluent, elles se concentrent progressivement au fur et à mesure que le débit de l'affluent tend vers sa valeur d'étiage. L'amplitude des variations du titre de dureté totale se chiffre de 12 à 20° français selon les années.

Les variations quantitatives du calcium et du magnésium ne sont pas rigoureusement parallèles. Les deux courbes de la fig. 3 démontrent que le calcium subit des variations non seulement plus grandes mais également plus brutales lors des modifications principales du régime de la Lufira (cf. janvier-mars 1958, janvier-avril 1959, octobre-novembre 1959). Le magnésium, quant à lui, augmente plus lentement que le calcium durant les périodes de décrue de sorte que sa concentration peut, en octobre-novembre, dépasser celle du calcium qui lui est toujours supérieure aux autres époques.

Dans différentes rivières appartenant au bassin hydrographique de la Panda, la teneur en Mg, plus faible pendant les pluies, devient relativement plus importante pendant la saison sèche. Elle approche et même dépasse parfois la teneur en Ca (LIÉTAR, 1956). Les variations observées dans la Lufira sont du même type et par conséquent ne sont pas caractéristiques du tronçon de rivière étudié.

L'examen de la courbe du magnésium montre, par ailleurs, une augmentation lente et régulière de sa concentration tout au long de la période des observations. L'élévation du degré de dureté totale des eaux, particulièrement sensible dès le mois de mai 1959 (fig. 3), résulte donc plus d'une augmentation du magnésium que du calcium. Les causes de ces modifications dont la périodicité échappe au rythme régulier des crues et des décrues sont malaisées à définir dans l'état actuel du problème mais devaient quand même être soulignées. On ne peut cependant négliger à priori l'influence des apports de la Panda dont les eaux confluent justement un peu en amont du point fixe choisi pour l'étude systématique des eaux de la Lufira.

La quantité de substances à réaction alcaline titrable par l'acide fort (titre alcalin au méthylorange ou TAM) manifeste avec le débit mensuel moyen de la Lufira des rapports assez semblables à ceux décrits plus haut à propos de la dureté (fig. 3). Le TAM de l'eau de la Lufira a varié entre 1,6 et 4,36 cc HCL N 0/100 durant la période des observations tandis que les différences annuelles entre la valeur la plus basse (crue) et la plus élevée (étiage) se

chiffraient respectivement à 2,12 (1957-58) et 2,76 (1958-59) cc HCL N °/°°. Il apparaît que les valeurs successives du TAM se reproduisent mieux d'une année à l'autre que celles de la dureté totale (fig. 3).

On exprime fréquemment l'alcalinité en degrés de dureté en supposant implicitement que tous les ions  $\text{CO}_3^-$  existent sous la forme bicarbonate (dureté apparente). Cette estimation de la dureté carbonatée peut alors être comparée à la dureté totale déterminée aux complexons. Dans la Lufira, le rapport entre la dureté totale et la dureté apparente est compris entre 1,10 et 1,93. Puisque les variations saisonnières de l'alcalinité et de la dureté totale s'effectuent dans le même sens, les oscillations de leur rapport sont donc indépendantes des modifications du débit. Comme on le remarque immédiatement sur la fig. 3, les valeurs du rapport des duretés dessinent une courbe d'allure ascendante. Entre avril et mai 1959 il passe de 1,3 à 1,6, il se stabilise ensuite jusqu'en août (1,47) et augmente progressivement jusqu'à 1,93 en décembre 1959. Cette augmentation est explicable, compte tenu de l'augmentation de la dureté totale et de la stabilité relative de l'alcalinité dans le même laps de temps. Le rapport étant systématiquement supérieur à l'unité on peut légitimement penser que les sels de calcium et de magnésium dissous dans les eaux de la Lufira ne sont pas uniquement des carbonates ou des bicarbonates mais aussi des chlorures ou des sulfates.

La balance ionique ayant servi à la construction de la fig. 1 tendrait à le prouver. Le pourcentage de millivalences-grammes par litre de  $\text{CO}_3^-$  y est effectivement inférieur de 11,35 % à celui exigé pour équilibrer complètement le pourcentage total des cations  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ . Comme les proportions de  $\text{Na}^+$  et de  $\text{K}^+$  correspondent bien à celles du  $\text{Cl}^-$ , le pourcentage de  $\text{SO}_4^-$  pourrait donc combler ceux du calcium et du magnésium non saturés par  $\text{CO}_3^-$ .

b. —  $p_{\text{H}}$ , acide carbonique libre

Les eaux de la Lufira sont franchement alcalines. Pendant l'année leur  $p_{\text{H}}$  oscille entre un minimum de 7,5 et un maximum compris, selon les cas, entre 8,1 et 8,4. La fig. 3 montre la périodicité de ces variations qui dépend aussi du rythme et de l'importance des crues et des décrues. La légère acidification des eaux que l'on

Fig. 3. V

958-59)  
 TAM se  
 dureté  
 reté en  
 sous la  
 de la  
 totale  
 entre la  
 et 1,93.  
 dureté  
 de leur  
 Comme  
 rapport  
 re avril  
 usqu'en  
 éembre  
 ugmen-  
 calinité  
 uement  
 de cal-  
 ne sont  
 ussi des  
 a fig. 1  
 rammés  
 à celui  
 tal des  
 de K<sup>+</sup>  
 pourrait  
 saturés

Pendant  
 aximum  
 périodi-  
 ortance  
 que l'on

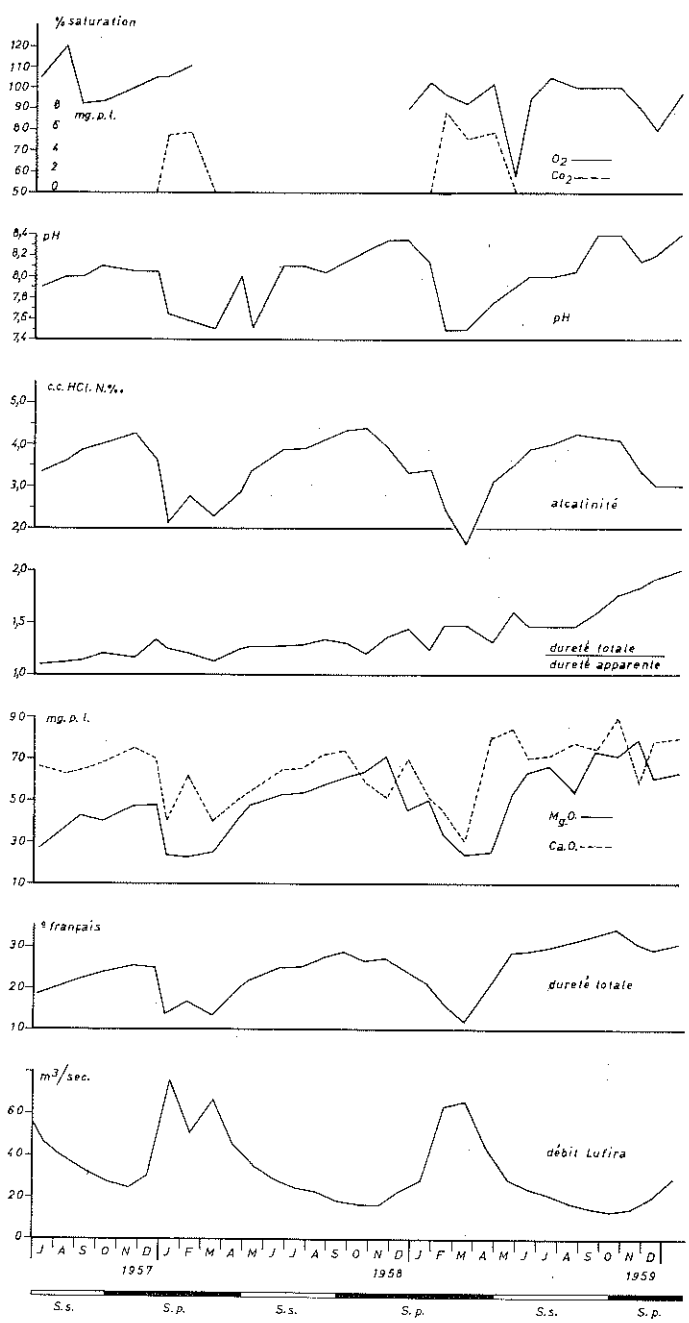
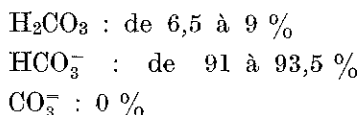


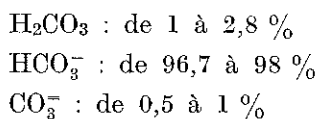
Fig. 3. Variations de la composition chimique des eaux de la Lufira pendant la période d'observation.



constate chaque année à l'époque des hautes eaux s'explique immédiatement par la présence simultanée de l'anhydride carbonique libre, en quantités comprises entre 5 et 8 mg.p.l. Les rapports entre le  $\text{CO}_2$ , les bicarbonates et les carbonates (en % molaires) qui correspondent aux  $p_{\text{H}}$  mesurés aux hautes eaux sont alors les suivants (BAAS-BECKING, 1934) :



En d'autres termes, les ions calcium et magnésium liés à l'acide carbonique sont exclusivement des bicarbonates. Aux autres périodes, les eaux de la Lufira colorent spontanément la phénolphtaléine et ne contiennent donc aucune trace d'acide libre ; les proportions sont alors



Autrement dit, en dehors des périodes de crue, les sels de calcium et de magnésium liés à l'acide carbonique se présentent à la fois sous la forme de bicarbonates et de carbonates.

Il convient de souligner l'amplitude remarquablement faible — inférieure ou tout au plus égale à une unité — des variations annuelles de  $p_{\text{H}}$ . LIÉTAR (1956) a fait des constatations semblables dans diverses rivières environnant Jadotville, tributaires de la Panda. Les écarts annuels peu importants du  $p_{\text{H}}$  s'expliquent certainement par l'apport des eaux « dures » de son affluent (\*) et par le fait que le cours de la Lufira traverse lui-même des terrains de nature calcaire, feldspathique et dolomitique (BOURGUIGNON, STREEL et CALEMBERT, 1960).

### c. — *Oxygène dissous*

La recherche de l'oxygène dissous n'a pas été faite de façon aussi systématique. Les documents obtenus (fig. 3) suffisent cependant à prouver le caractère bien oxygéné des eaux puisque les quantités

(\*) Dureté des eaux de la Panda : 25,5° français en saison des pluies, 40° français en saison sèche (LIÉTAR, 1956).

d'oxygène qui ont été dosées correspondent rarement à moins de 90 % de la saturation. De faibles sursaturations peuvent être mise en évidence aussi bien en saison des pluies qu'en saison sèche ; les quantités d'oxygène dissous semblent, par conséquent, fort peu influencées par les facteurs saisonniers.

Les faits qui viennent d'être exposés mettent particulièrement en évidence les notions suivantes :

1. — La composition chimique des eaux de la Lufira est largement, sinon exclusivement, tributaire du régime de la rivière. Les eaux se diluent en période de crue tandis que l'équilibre entre carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium se modifie sous l'action de l'anhydride carbonique existant à l'état libre. Il en résulte une diminution de la proportion des carbonates au profit des bicarbonates et un déplacement corrélatif du  $p_H$  vers des valeurs légèrement moins alcalines. Lorsque la décrue apparaît et que la Lufira tend vers son débit d'étiage, les eaux se concentrent progressivement tandis que l'équilibre entre carbonates et bicarbonates se déplace, cette fois, dans le sens d'une augmentation de la proportion de l'ion  $CO_3^-$ .

2. — L'examen de l'évolution du rapport entre les quantités de calcium et de magnésium — cations les plus abondants dans l'eau de la Lufira — démontre non seulement que celui-ci se modifie au cours d'un cycle annuel mais aussi qu'il ne varie pas nécessairement de façon identique au cours des cycles successifs. Les causes de ces fluctuations posent un problème qui n'est pas encore résolu mais qui devait néanmoins être souligné comme étant susceptible d'influencer l'économie biologique de la retenue proprement dite.

3. — Les concentrations en gaz dissous comme les valeurs du  $p_H$  indiquent, sans aucun doute possible, l'absence de toute pollution organique dans les eaux de l'affluent de la retenue. Le lac est donc alimenté en permanence par des eaux très propres, caractérisée en outre par leur dureté totale. Les quantités de carbonates et de bicarbonates de calcium et de magnésium assurent ainsi une réserve alcaline élevée, capable de neutraliser d'importantes quantités d'anhydride carbonique sans de trop grandes variations du  $p_H$ .

4. — COMPOSITION CHIMIQUE  
DES EAUX DE LA RETENUE PROPREMENT DITE

On envisagera d'abord l'évolution de la qualité de l'eau dans le Shangalele car cet ancien étang, en communication avec la Lufira par la Luambo, s'est présenté comme un plan d'eau pratiquement libre de toute végétation. Nous examinerons ensuite les variations de la composition chimique des eaux baignant la région littorale de Mulandi car c'est à partir de ces zones peu profondes que la végétation prolifère. Mulandi est en outre plus éloigné du lit primaire de la Lufira que ne l'est le Sgangaalele. L'étude des eaux qui s'étendent immédiatement en amont du barrage de Mwadingusha sera abordée en dernier lieu en raison de leur position géographique et parce qu'elles couvrent la partie la plus profonde de la retenue.

a. — Les eaux du Shangalele

I. — La concentration saline des eaux (fig. 4).

Les courbes illustrant les variations de la dureté totale (somme du Ca et du Mg) et de l'alcalinité présentent une succession très régulière de maxima et de minima qui démontre clairement le caractère cyclique des fluctuations de la concentration en électrolytes dissous. La comparaison de ces courbes à celles correspondantes de la fig. 3 indique immédiatement leur forte parenté. Dans le Shangalele cependant, les différents points d'inflexion apparaissent environ un mois plus tard que dans la Lufira. Ce décalage dans le temps est causé principalement par la force d'inertie que développe le volume d'eau entreposé dans la retenue. Cette force est d'autant plus capable de s'opposer momentanément aux effets de la dilution et de la concentration des eaux affluentes que le niveau du lac ne suit pas immédiatement les fluctuations du régime de la Lufira. (MAGIS, 1962).

La comparaison des autres courbes intéressant les électrolytes dissous (CaO, MgO, rapport dureté totale — dureté apparente) suffit à montrer que les faits commentés à propos de l'affluent peuvent aussi être mis en évidence dans le secteur du Shangalele.

Dans l'un comme dans l'autre site, on constate que la dureté, habituellement calcique, peut devenir magnésienne par suite de l'augmentation plus lente et plus longue des teneurs en magnésium

durant les  
octobre 19

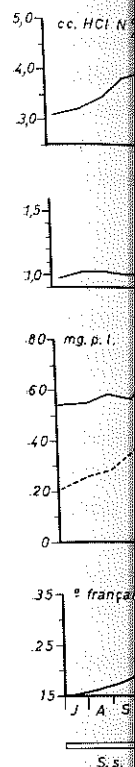


Fig. 4.

Outre  
d'augme  
élévatio  
tation  
montre

Enfin  
et la d  
plus ba  
ordre e  
rapport

durant les décrues de l'affluent (cf. novembre-décembre 1958, octobre 1959-janvier 1960).

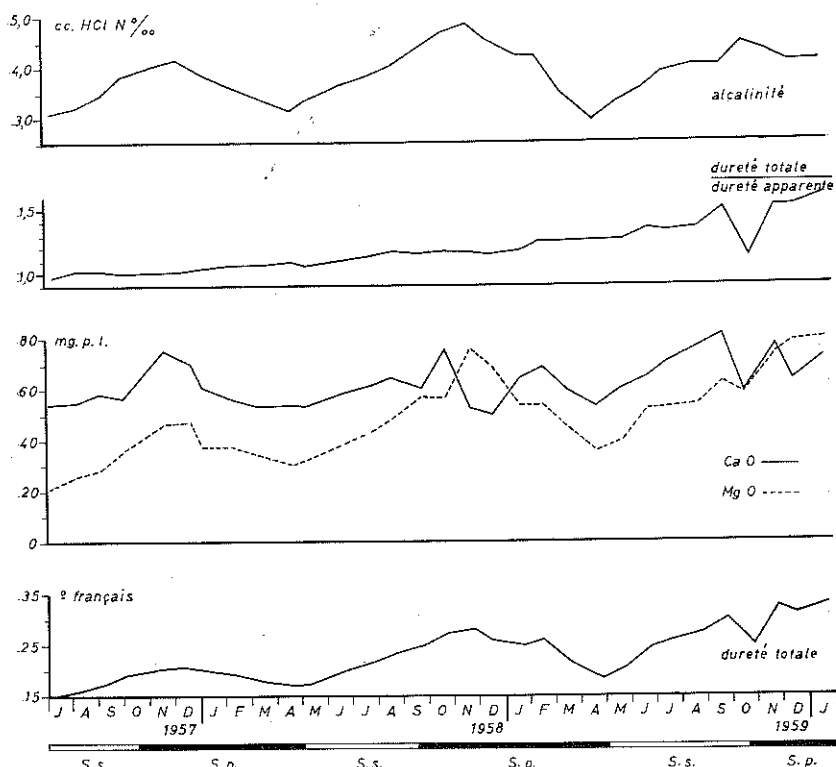


Fig. 4. — Variations de la composition saline des eaux de surface dans le secteur du Shangalele.

Outre ces variations à caractère cyclique, la dureté n'a cessé d'augmenter dans le Shangalele comme dans la Lufira. Cette élévation du degré hydrotimétrique des eaux est liée à une augmentation proportionnellement plus forte du magnésium comme le montre la fig. relative à cet élément.

Enfin, les valeurs successives du rapport entre la dureté totale et la dureté carbonatée ou apparente, quoique systématiquement plus basses dans le Shangalele, se distribuent cependant selon un ordre croissant, spécialement à partir du mois de juin 1958. Le rapport des duretés, alors compris entre 1,10 et 1,61, indique

qu'une proportion de plus en plus grande de calcium et de magnésium se présente dans l'eau sous une forme non carbonatée.

Les différentes données qui viennent d'être exposées constituent autant d'indices qui permettent d'affirmer que la zone libre du Shangalele reste, en permanence, sous l'influence de l'affluent du lac. Le décalage d'un mois environ qui, dans ce site, reflète les variations de la composition saline de la Lufira prouve de manière incontestable que les eaux courantes de l'affluent se sont, à ce niveau, définitivement mélangées aux eaux stagnantes de la réserve.

## II. — L'oxygène dissous.

Les pourcentages de la saturation en oxygène calculés chaque mois à partir des résultats bruts obtenus en surface et au fond (mg. p. l.) sont repris dans la fig. 5. L'analyse de ces documents montre les faits suivants :

a. Les eaux de surface comme celles du fond accusent plus souvent un déficit qu'une saturation ou une sursaturation en oxygène. De très légères sursaturations peuvent cependant être décelées occasionnellement. Ces dernières sont normalement plus fréquentes en surface qu'au fond. Les eaux du Shangalele sont donc en général moins bien oxygénées que celles de la Lufira.

b. Pendant toute la durée des observations, le pourcentage de saturation de l'eau s'est avéré très variable, tant en surface qu'au fond. En dépit de cette variabilité, les taux les plus élevés semblent bien se grouper entre les mois de novembre et mars ; pendant la période de constance thermique relative des eaux. On doit également signaler une poussée d'oxygène entre juillet et août. De durée comparativement plus courte que la précédente, elle coïncide avec la fin de la phase du refroidissement. Les brassages thermiques quotidiens assurent une homogénéisation de l'eau ce qui explique la concentration pratiquement identique en surface et au fond. L'oxygène augmenterait donc deux fois au cours d'un cycle annuel. L'examen de la fig. montre que la périodicité de ces variations est cependant moins bien tranchée que celle caractérisant les fluctuations saisonnières des sels dissous.

c. Lorsqu'on examine les pourcentages caractéristiques des différents maxima on remarque aussitôt que ces derniers ont atteint un plafond nettement plus élevé en 1958-59 qu'en 1957-58. Il en

est de m  
superficie  
aux épo  
1959 équ  
brutale d  
fait suite  
observat

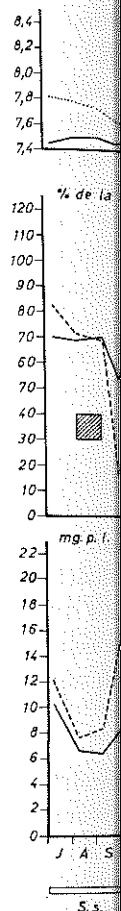


Fig. 5. —  
les eaux  
deux péri  
annuelles

est de même des minima : entre février et juin 1959, la pellicule superficielle est saturée à raison de 75 % environ au lieu de 55 % aux époques correspondantes antérieures. En fait, les minima de 1959 équivalent les maxima atteints en 1957 et 1958. La poussée brutale d'oxygène d'août 1958 et la sursaturation prolongée qui lui fait suite entre novembre et janvier séparent donc la série des observations en deux périodes nettement distinctes :

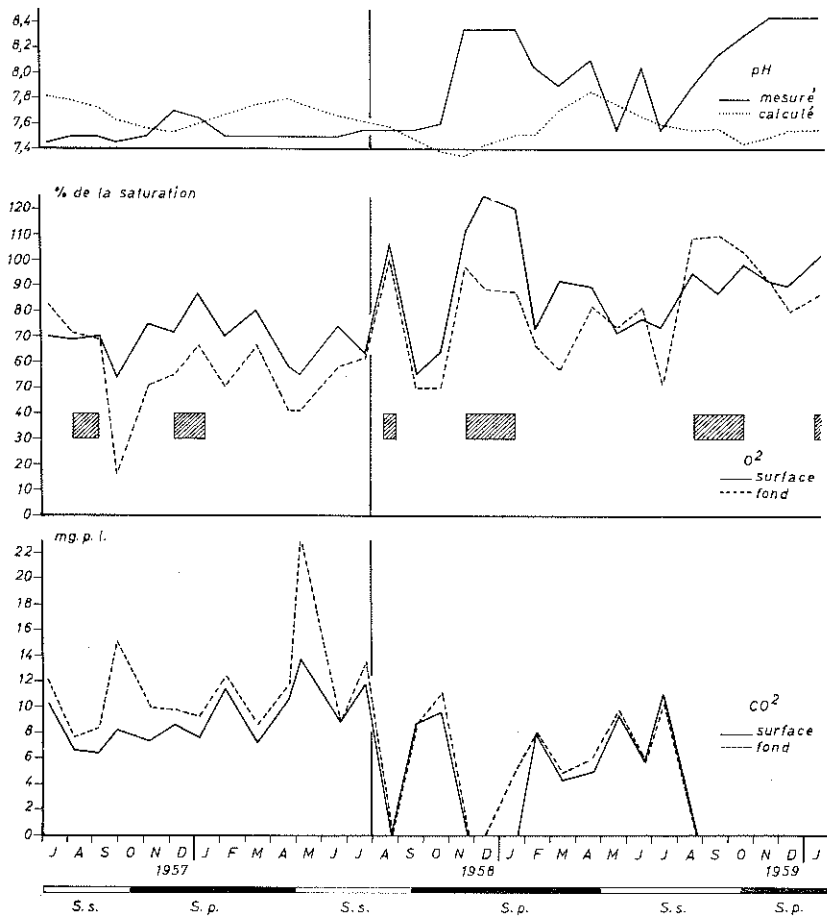


Fig. 5. — Variations du  $p_H$ , de l'oxygène et de l'anhydride carbonique dans les eaux du secteur du Shangalele. Le trait vertical marque les limites des deux périodes tandis que les rectangles hachurés précisent les deux poussées annuelles de l'activité de photosynthèse des algues planctoniques (voir texte).



1. — Entre juillet 1957 et juillet 1958 l'oxygénation de l'eau est systématiquement déficitaire et médiocre ; la « moyenne » des 13 stations est de 69 % de la saturation en surface et de 56 % seulement au fond.

Les valeurs très faibles obtenues par DAMAS en mars 1957 (\*) indiquent que nous n'avons connu qu'une partie seulement de cette période pauvrement oxygénée.

2. — Entre février 1949 et janvier 1960 l'oxygénation de l'eau est meilleure ; le déficit se maintient sans doute durant la phase du minimum mais la concentration du gaz tend incontestablement vers sa valeur de saturation durant les mois suivants ; la « moyenne » pour cette seconde période est de 89 % en surface et de 83 % au fond. Cette dernière valeur est particulièrement significative de l'amélioration de l'eau du Shangalele.

### III. — $p_H$ , *anhydride carbonique*.

La courbe des variations du  $p_H$  du Shangalele (fig. 5) peut être immédiatement dissociée en deux périodes très distinctes.

1. — A l'exception d'une très faible augmentation comprise entre novembre 1957 et février 1958 (de 7,5 à 7,7), le  $p_H$  demeure remarquablement stable de juillet 1957 à octobre 1958, oscillant faiblement autour de 7,5. L'uniformité de ces valeurs pendant plus d'un an constitue un contraste frappant avec les modifications cycliques auxquelles ce facteur est soumis dans la Lufira. Les différences ne sont pas uniquement d'ordre qualitatif mais aussi de nature quantitative : les eaux du Shangalele ont une réaction nettement moins alcaline que celles de la Lufira.

2. — Entre octobre et novembre 1958, le  $p_H$  passe brutalement de 7,6 à 8,35. Cette augmentation subite marque le début de la seconde période. A partir de cette date, le  $p_H$  se maintiendra à un niveau nettement plus alcalin que précédemment ; ses valeurs comme ses fluctuations rappelleront mieux, par ailleurs, celles observées dans l'affluent. Nous savons que des variations acycliques peuvent s'y manifester (cf. rapport entre Ca et Mg) mais nous savons aussi

(\*) 25 % de la saturation en surface, 24 % au fond (DAMAS, 1957).

qu'elles se répercutent peu de temps après dans le Shangalele. Tel n'est pas le cas du  $p_H$  durant la première période définie plus haut. Son comportement entre juillet 1957 et octobre 1958 est donc déterminé par une — ou plusieurs — causes intralacustres.

TILLMANS et SCHAPERCLAUS ont établi expérimentalement les relations d'équilibre entre le  $CO_2$  et le  $p_H$  d'eaux renfermant des quantités croissantes de bicarbonates alcalino-terreux. En utilisant ces données, transformées graphiquement par RUTNER (1953), nous pouvons comparer le  $p_H$  des échantillons successifs à celui correspondant normalement à la valeur de leur alcalinité au méthylorange.

La comparaison des  $p_H$  mesurés et calculés (fig. 5) montre qu'entre juillet 1957 et août 1958 les eaux du Shangalele sont manifestement plus acides que ne l'implique leur alcalinité. Leur  $p_H$  réel ne peut donc s'expliquer que par la présence dans l'eau soit de quantités anormalement élevées d'anhydride carbonique soit de corps acides de nature humique. Cette période d'acidification généralisée est brièvement interrompue entre décembre 1957 et janvier 1958, moment durant lequel le  $p_H$  mesuré est plus élevé que celui calculé. L'ensemble des observations figurant sur la fig. 5 permet de voir que cette modification se reproduit ultérieurement à la même époque et, par conséquent, de la considérer comme illustrant un phénomène cyclique.

A partir d'août 1958, les eaux ont, au contraire, une réaction plus alcaline que ne l'implique leur alcalinité. Cette situation est momentanément inversée en mai d'abord puis en juillet 1959. Les différences entre les deux valeurs du  $p_H$  peuvent atteindre une unité et sont toujours supérieures à celles enregistrées en décembre 1957 et janvier 1958. La nature alcaline des eaux mise en évidence après le mois d'août 1958 reflète parfaitement la situation que cette même comparaison mettrait en évidence dans les eaux affluentes ; elle doit donc dépendre, au moins partiellement, de l'augmentation des substances à réaction alcaline, dissoutes à cette époque dans les eaux de la Lufira (fig. 3).

La comparaison qui vient d'être entreprise appuie incontestablement la distinction faite au début de ce paragraphe tout en y apportant des nuances. La période comprise entre juillet 1957 et août 1958 doit être considérée comme une période d'acidification et, dans cette optique, doit être directement opposée à celle qui,

débutant en septembre, s'achève avec la fin des observations dans ce secteur de la retenue.

Les variations du  $\text{CO}_2$  dissous dans la pellicule superficielle et au contact du fond sont entièrement différentes de celles observées dans la Lufira. La courbe de la fig. 5 montre, au contraire, une réelle parenté lorsqu'elle est comparée à celle illustrant les variations du  $p_{\text{H}}$ . Les deux périodes précédemment décrites s'y reconnaissent facilement : à  $p_{\text{H}}$  plus faible correspond une plus grande quantité de  $\text{CO}_2$  (période 1) et inversement, à  $p_{\text{H}}$  plus alcalin correspond une concentration plus faible de l'anhydride. On peut donc tenir l'anhydride carbonique comme principal responsable de l'acidification de l'eau durant la première partie de la série des observations. Les effets du  $\text{CO}_2$  libre se marquent mieux encore lorsque sont établies les proportions respectives des différents états sous lesquels l'anhydride peut se présenter (Tableau I).

TABLEAU I  
Variations du potentiel acide carbonique en % molaires  
(eaux de surface).

	période 1	période 2
$p_{\text{H}}$ minimum	7,45	7,55
$\text{H}_2\text{CO}_3$	9,70	8,50
$\text{HCO}_3^-$	90,30	91,50
$\text{CO}_3^{--}$	0,00	0,00
$p_{\text{H}}$ maximum	7,70	8,45
$\text{H}_2\text{CO}_3$	6,00	1,00
$\text{HCO}_3^-$	94,00	98,00
$\text{CO}_3^{--}$	0,00	1,00
fréquence du $\text{CO}_3^{--}$	0/14	11/17

L'absence de  $\text{CO}_3^{--}$  durant toute la première période indique clairement le déplacement de l'équilibre entre carbonates et bicarbonates sous l'influence de quantités d'acide carbonique supérieures à celles que contiennent les eaux de la Lufira en période de crue.

I. — La  
L'inter  
des eaux

a) les  
aut

b) par  
fall  
litt  
pro  
till  
dor  
ant

c) la  
tion  
Luf

Les ce  
titre alc  
importa  
prélevée  
graphiqu  
(novemb  
en sels  
en bicar  
carbonat  
de 22,6  
Entre m  
tout aus  
mars : l  
sont alo

Des m  
ment da  
d'alcalin  
Shangale  
une mar  
de la Lu

I. — *La concentration saline des eaux.*

L'interprétation des documents relatifs à la composition ionique des eaux littorales est rendue délicate pour les raisons suivantes :

- a) les observations couvrent une période plus courte que dans les autres régions étudiées ;
- b) par suite de la baisse accentuée du plan d'eau en 1959, il a fallu, dès octobre, s'éloigner de plus en plus du rivage et du littoral proprement dit pour trouver des plages d'eau libre propices à l'application des méthodes de prélèvement d'échantillons ; à partir d'octobre 1959 les points de station ne sont donc plus strictement comparables à ceux de la période antérieure ;
- c) la difficulté d'interprétation s'accroît encore du fait des variations apériodiques de la composition chimique des eaux de la Lufira (voir p. 693).

Les courbes illustrant les variations de la dureté totale et du titre alcalin (fig. 6) montrent que des modifications relativement importantes se manifestent dans la composition ionique des eaux prélevées entre novembre 1958 et avril 1959. La lecture de ces graphiques indique une diminution d'abord lente et progressive (novembre-février), ensuite rapide et accentuée (mars), de la teneur en sels de calcium et de magnésium comme de la concentration en bicarbonates (le  $p_H$  est incompatible à la présence de l'ion carbonate) ; la dureté totale mesurée aux complexons passe ainsi de 22,6 à 14,4° français, l'alcalinité de 4,46 à 2,62 cc HCl N ‰. Entre mars et avril 1959, alcalinité et dureté totale augmentent tout aussi rapidement qu'elles avaient diminué entre février et mars : la dureté s'élève à 20,6° français tandis que 3,75 cc d'HCl sont alors nécessaires pour assurer le virage du méthylorange.

Des modifications tout à fait comparables se présentent simultanément dans la Lufira (fig. 3) tandis que les minima de dureté et d'alcalinité apparaissent un mois plus tard dans le secteur du Shangalele (fig. 4). De l'ensemble de ces faits, on peut conclure avec une marge de sécurité suffisante, qu'un flux d'eau dérivé directement de la Lufira en crue atteint la région de Mulandi et se mêle à la

masse des eaux stagnantes du secteur. Contrairement à ce qui se passe dans le Shangalele, leur volume, réduit par suite du peu de profondeur, n'oppose guère de résistance à cet effet de crue. Malgré l'absence de données en février 1958, les valeurs de la dureté et de l'alcalinité obtenues en janvier et mars sont très voisines de celles mesurées dans la Lufira et sensiblement plus faibles que celles titrées dans le Shangalele. Ce parallélisme tendrait donc à confirmer la régularité du phénomène dans l'échelle du temps.

Durant toute la saison sèche de 1958, de même qu'entre mai et septembre 1959, la pente des courbes de dureté et d'alcalinité

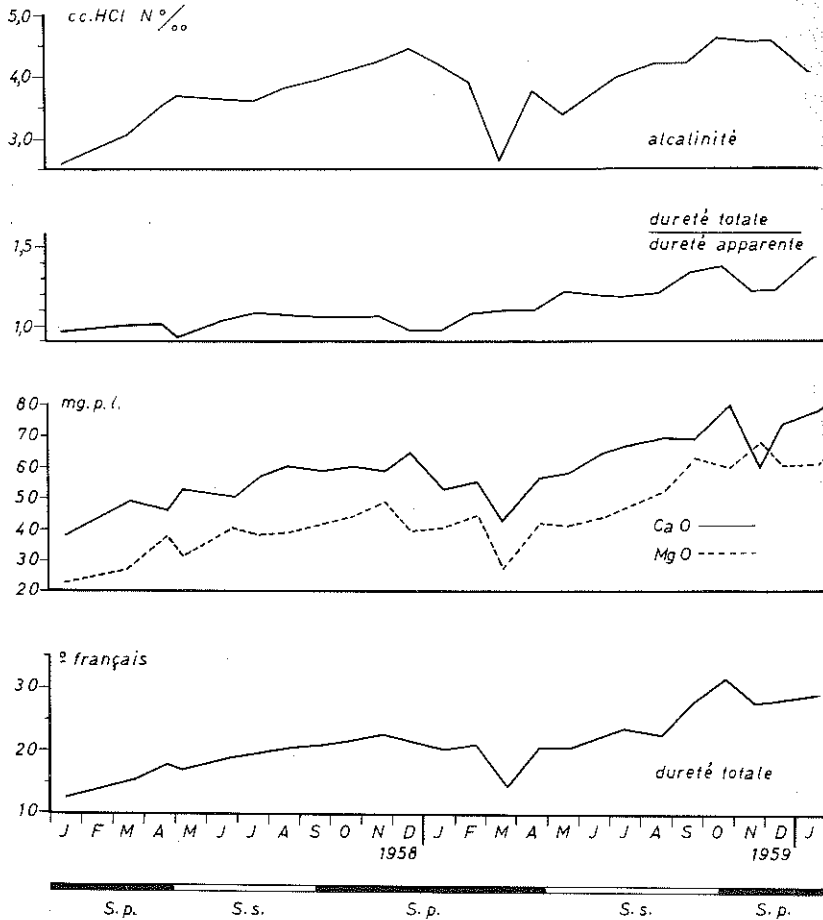


Fig. 6. — Variations de la composition saline des eaux de surface dans les eaux littorales de Mulandi.

indique  
magnésium  
celui de  
Shangalele  
nières, qu  
et les eau  
présente

La pre  
et dans l  
dépasser  
littorales  
D'autre p  
cette par  
stations d  
concentr  
fortes qu  
bien à l  
elle semb  
à la suite  
des eaux

La sec  
entre leu  
tout tem  
stations.  
ment pe  
de 1,08,  
ment for  
août 195  
1,20. Lég  
de la dur  
Mg. Cett  
mais on c  
se font l  
duretés r  
parer les

L'anal  
galele pe  
subissait  
se réfère  
similitud

indique une augmentation lente des quantités de calcium, de magnésium et de bicarbonates. Ce mouvement est semblable à celui déjà décrit à propos de l'affluent et du secteur lacustre du Shangalele. En dépit des similitudes de ces variations saisonnières, qui dénotent d'indéniables rapports entre les eaux littorales et les eaux affluentes, la composition ionique des eaux de Mulandi présente alors deux particularités qui doivent être soulignées.

La première relève du rapport Ca/Mg. Tandis que dans la Lufira et dans le Shangalele le magnésium peut, en novembre-décembre, dépasser quantitativement le calcium, la dureté totale des eaux littorales reste dominée en permanence par les sels calciques. D'autre part, lorsque les quantités de Ca et de Mg mesurées dans cette partie du lac (fig. 6) sont comparées à celles des deux autres stations de référence (fig. 3 et 4), on constate que les différences de concentrations du Mg sont, en valeur absolue, nettement plus fortes que celles relatives du Ca. Cette remarque s'applique aussi bien à la comparaison Mulandi Lufira que Mulandi Shangalele, elle semble aussi plus nette en 1958 qu'en 1959, vraisemblablement à la suite des modifications aperiodiques de la composition ionique des eaux affluentes.

La seconde particularité des eaux littorales découle du rapport entre leur dureté totale et leur dureté apparente. Ses valeurs sont en tout temps plus petites devant Mulandi que dans les deux autres stations. Entre janvier 1958 et février 1959 (fig. 6) il varie relativement peu ; compris entre un minimum de 0,93 et un maximum de 1,08, il permet d'interpréter la dureté totale comme exclusivement formée de bicarbonates calciques et magnésiens. Entre avril et août 1959 le rapport augmente légèrement et oscille entre 1,10 et 1,20. Légèrement supérieur à l'unité, il indique qu'une faible partie de la dureté est liée à la présence de sels non carbonatés de Ca et de Mg. Cette modification, nous l'avons vu, est générale dans le lac mais on doit souligner que, lorsque les prélèvements des échantillons se font loin du rivage (octobre 1959-janvier 1960), le rapport des duretés reste cependant beaucoup plus faible ici qu'ailleurs (comparer les fig. 3, 4 et 6).

L'analyse de la composition saline des eaux du secteur du Shangalele permettait de conclure que cette région du lac de retenue subissait l'influence de la Lufira de façon permanente. Lorsqu'on se réfère aux variations saisonnières des principaux ions et aux similitudes qu'elles présentent avec leur cycle dans la Lufira, on doit



également admettre d'indéniables rapports entre l'affluent et la zone littorale ouest de la retenue. Les particularités de la balance ionique des eaux de cette zone, particulièrement nettes en dehors des phases de crue de l'affluent, empêchent cependant de considérer ces rapports comme aussi directs et aussi permanents que dans le cas précédemment étudié.

A l'exception des mois où le flux de crue de la Lufira atteint directement le littoral, la dureté totale est environ de 5° français plus faible que dans l'affluent et de l'ordre de 3° inférieure à la dureté totale titrée dans le Shangalele. Cette diminution se traduit par une chute des sels de calcium et de magnésium mais les pertes des seconds sont cependant plus fortes que celles des premiers. La comparaison des rapports de duretés calculés dans ces différentes parties du lac prouve par ailleurs que la dureté est entièrement déterminée par des bicarbonates tandis que, aux mêmes époques, les eaux de la Lufira et, dans une mesure moindre, celles du Shangalele renferment en plus des bicarbonates une fraction plus ou moins importante de sulfates. Il paraît donc logique d'interpréter la diminution de la dureté des eaux de Mulandi comme résultant principalement d'une perte de sulfate de magnésium. Comme le phénomène se produit également dans le Shangalele mais de façon moins sensible, on peut penser que la diminution de la concentration du  $MgSO_4$  dans les eaux lacustres résulte de l'activité des organismes qui s'y développent.  $Mg^{++}$  intervient dans la molécule de chlorophylle du nannoplancton y est proportionnelle à celle du magnésium dissous. Quant à l'ion  $SO_4^-$  il est activement utilisé pour les synthèses protéiques ou directement réduit en sulfures par certaines activités bactérienne ayant leur siège dans les vases.

## II. — L'oxygène dissous.

La courbe traduisant les pourcentages successifs de la saturation en oxygène (fig. 7) montre que les eaux de la région de Mulandi sont particulièrement mal aérées puisque les quantités d' $O_2$  dosées en surface correspondent toujours à moins de 60 % de la saturation, même dans les conditions les plus favorables. Sur l'échelle des mois, ces dernières se situent systématiquement en juillet août, lors du refroidissement et des brassages totaux des eaux et correspondent parfaitement à la poussée d'oxygène qui se manifeste simultanément dans le secteur du Shangalele. Les quantités mesurées en janvier et mars 1958, en décembre 1959 et janvier 1960 laisseraient

même songer à une seconde poussée d'oxygène en saison des pluies, les valeurs mesurées en fin 1958 — début 1959 montrent que celle-ci n'est toutefois pas aussi régulière que dans le Shangalele.

Si les eaux de surface sont particulièrement mal aérées, celles du fond le sont moins bien encore. Pendant de longs mois (juin 1958-juin 1959) la quantité d'oxygène dosée à cette profondeur correspond très rarement à plus de 10 % de la saturation et ceci en dépit des augmentations momentanées qui se produisent en surface et malgré la fréquence des brassages. Des déficits de saturation aussi prononcés n'ont jamais été mesurés au contact du fond de la cuvette du Shangalele où la profondeur est cependant un peu plus grande.

### III. — *Le $p_H$ et l'anhydride carbonique dissous.*

Sur les 25 mois qu'ont duré les observations, le  $p_H$  (fig. 7) a varié en surface entre un minimum de 7,0 (avril et mai 1958) ou de 7,05 (mars 1959) et un maximum de 7,45 (septembre-novembre 1958) ou de 7,55 (septembre 1959). Les dosages effectués en dehors de la région littorale proprement dite porteraient ce maximum à 7,9, en janvier 1960.

Les quelques mesures faites dans les eaux de fond montrent que le  $p_H$  y est normalement plus faible mais la courbe montre surtout qu'au moment où les eaux superficielles atteignent pratiquement la neutralité, celles du fond dépassent ce point critique et manifestent alors une réaction faiblement acide.

La présence, pendant de très longues périodes, de corps chimiques à réaction acide est clairement démontrée par l'hiatus existant entre la courbe des  $p_H$  mesurés in situ et celle des  $p_H$  théoriques, calculés en prenant comme base l'alcalinité au méthylorange de ces mêmes échantillons de surface. La figure 7 montre que les  $p_H$  calculés fluctuent entre des limites déplacées systématiquement vers la zone alcaline. Ce n'est qu'en août et septembre 1959, à la fin de la série des observations dans le littoral proprement dit, que la concentration en ions  $H^+$  mesurée se confond avec celle calculée et, par conséquent, que l'eau se présente en état d'équilibre.

Entre janvier et septembre 1958, le  $CO_2$  dissous varie en raison inverse du  $p_H$ . Le bilan de l'acide carbonique (en % molaires) s'établit ainsi pour cette période :

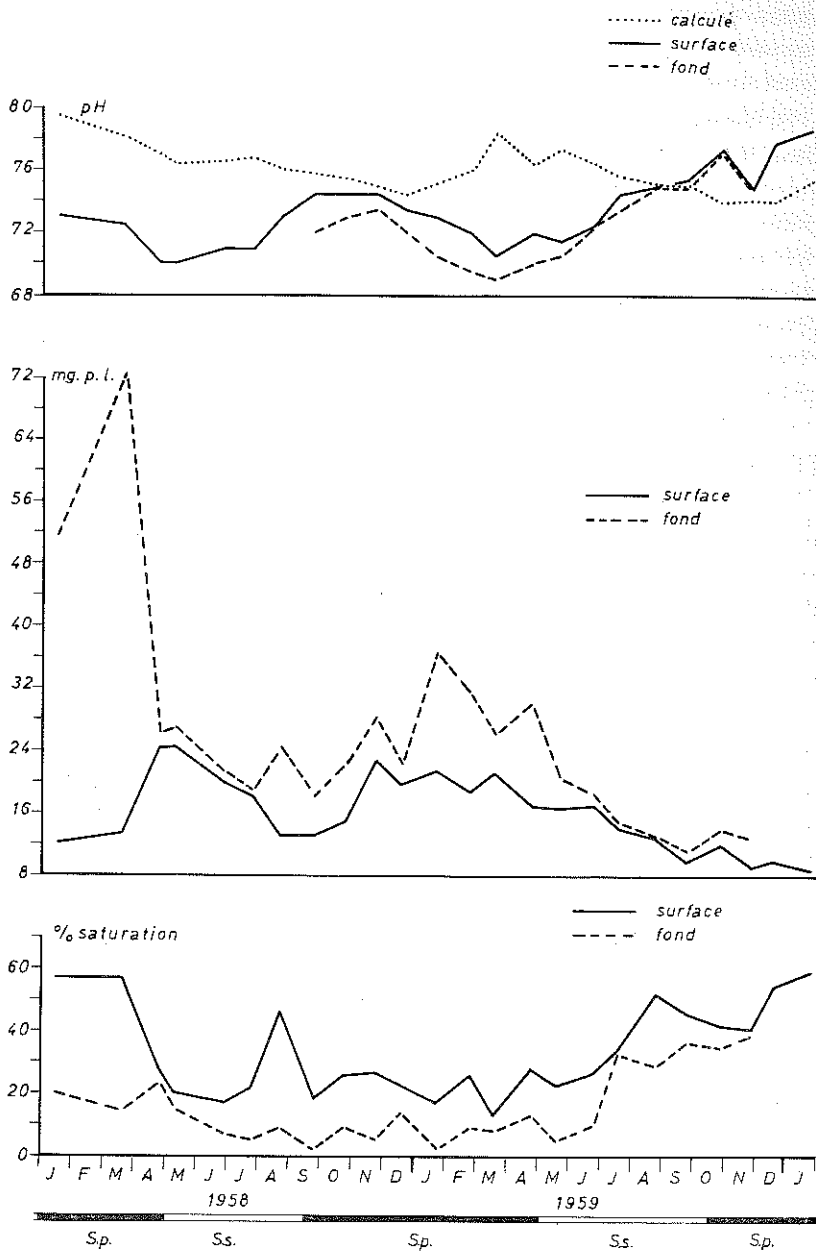


Fig. 7. — Variations du  $p_H$ , de l'oxygène et de l'anhydride carbonique dissous dans les eaux du secteur de Mulandi.

les mêm  
pourcent

la comp  
à l'influ  
Entre  
du  $CO_2$  e  
nets, aus  
fond. Le  
face (\*) e  
explique  
dès lors,  
acide do  
un milie  
peut pen

Les di  
parfois t  
et des e  
« stratifi  
brève pé  
lac (MAG  
la tempé  
cependan  
entre 2 e  
dride car  
niveaux.

(\*) Le T

$p_H$ réel	$H_2CO_3$	$HCO_3^-$	$CO_3^{--}$
minimum :			
7,0	22,2	77,8	0,0
maximum :			
7,45	9,7	90,3	0,0

les mêmes calculs effectués à partir du  $p_H$  théorique donnent les pourcentages suivants :

$p_H$ théorique	$H_2CO_3$	$HCO_3^-$	$CO_3^{--}$
minimum :			
7,58	7,5	92,5	0,0
maximum :			
7,95	3,7	96,3	0,0

la comparaison de ces différents pourcentages permet de conclure à l'influence réelle de l'acide carbonique sur le  $p_H$ .

Entre octobre 1958 et mars 1959, la comparaison des graphiques du  $CO_2$  et du  $p_H$  indique que leurs rapports réciproques sont moins nets, aussi bien en ce qui concerne les eaux de surface que celles de fond. Les bilans réels et théoriques calculés pour les eaux de surface (\*) démontrent que les quantités de  $H_2CO_3$  ne suffisent plus à expliquer l'abaissement du  $p_H$  vers son point de neutralité. Il est, dès lors, nécessaire de faire appel à d'autres substances à réaction acide dont les effets s'additionnent à ceux de l'anhydride. Dans un milieu aussi marécageux que celui du littoral de Mulandi, on peut penser qu'il s'agit de corps humiques.

Les différentes courbes de la fig. 7 font apparaître des différences parfois très prononcées dans la composition des eaux de surface et des eaux de fond. La fig. 8 montre trois exemples de cette « stratification ». En janvier 1958, lors de la petite saison sèche, une brève période de stratification thermique s'est établie dans tout le lac (MAGIS, 1962) c'est la raison pour laquelle 2°C environ séparent la température des eaux de surface et de fond. La courbe montre cependant que la température reste pratiquement semblable entre 2 et 2,75 m. Malgré cela, les quantités d'oxygène et d'anhydride carbonique se modifient considérablement entre ces mêmes niveaux. En mars comme en mai les différences thermiques sont

(\*) Le T. A. M. des eaux de fond n'a pas été déterminé par J. LIÉTAR.

beaucoup moins accusées, le réchauffement de la pellicule superficielle doit être simplement attribué à l'heure déjà avancée (10 h.) à laquelle sont effectués les prélèvements. Malgré ces faibles écarts l'oxygène, le  $\text{CO}_2$  et surtout le  $p_{\text{H}}$  se modifient de façon très significative. Puisqu'aucune stratification thermique durable ne se maintient dans le lac, les caractères spéciaux des eaux de fond ne sont pas dus au fait qu'elles sont séparées de la surface par une couche de saut thermique, comme c'est constamment le cas dans un lac en période de stagnation thermique. Ils résultent au contraire de l'influence des sédiments organiques et expriment l'intensité des processus de dégradation qui se déroulent dans leur masse. Le simple jeu des variations thermiques journalières suffit à ramener en surface tous les produits du catabolisme de la vase maintenus à son contact durant les heures d'insolation.

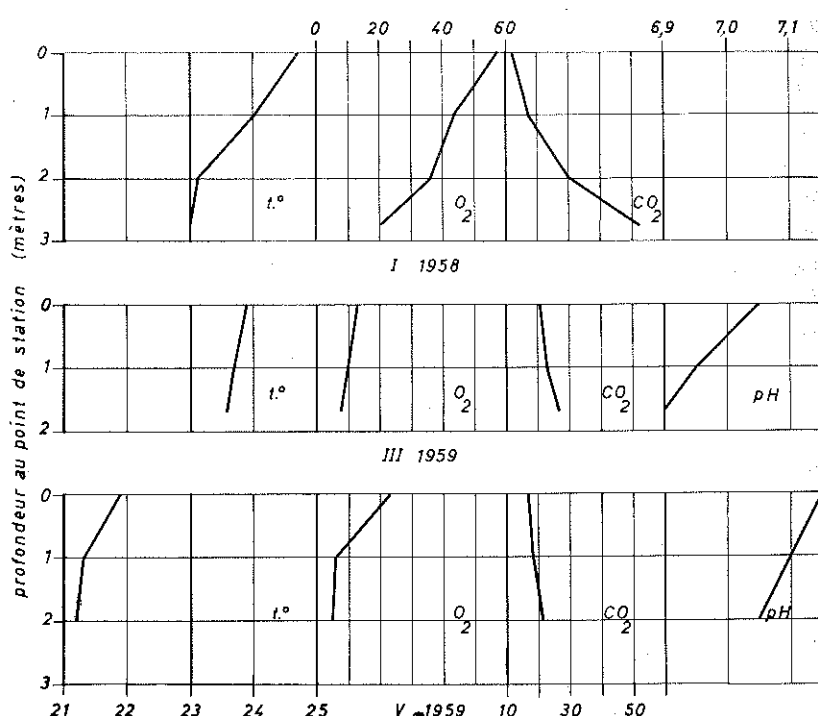


Fig. 8. — Trois exemples de la distribution de la température, de l'oxygène, du  $\text{CO}_2$  et du  $p_{\text{H}}$  en fonction de la profondeur du point de station hydrographique. — Température en  $^\circ\text{C}$ ,  $\text{O}_2$  en % de la saturation,  $\text{CO}_2$  en mg. p. l.

L'influence  
durant la  
de décem  
organique  
d'oxygène  
de la fig  
janvier 6  
d'eau lors

I. — La

Les va  
encore se  
courbe d  
Shangale  
décalages  
grands. L  
relevées  
vation, n  
ment plu

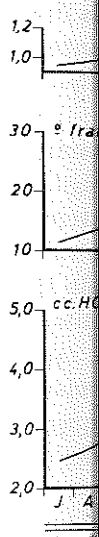


Fig 9. —  
de retenu  
rappelent

L'influence des sédiments paraît avoir été particulièrement forte durant la saison des pluies 1958-59, plus précisément entre les mois de décembre 1958 et mai 1959. L'intensité du catabolisme de la boue organique suffirait à expliquer d'abord l'absence de toute poussée d'oxygène analogue à celles que montrent les différentes courbes de la fig. 7 entre janvier et mars 1958 et entre décembre 1959 et janvier 60, ensuite l'amélioration incontestable de toute la masse d'eau lors de la poussée d'oxygène du début de la saison sèche 1959.

c. — Les eaux devant le barrage de Mwadingusha

I. — La concentration saline des eaux.

Les variations du titre de dureté des eaux de l'affluent sont encore sensibles dans l'exutoire de la retenue comme le prouve la courbe de la fig. 9. Cependant l'amplitude, déjà réduite dans le Shangalele, l'est beaucoup plus encore dans l'extrême aval et les décalages observés entre les minima et maxima y sont encore plus grands. Le Tableau II, qui donne quelques valeurs de la dureté relevées aux dates les plus caractéristiques de la période d'observation, montre enfin que leur degré hydrotimétrique total est nettement plus faible.

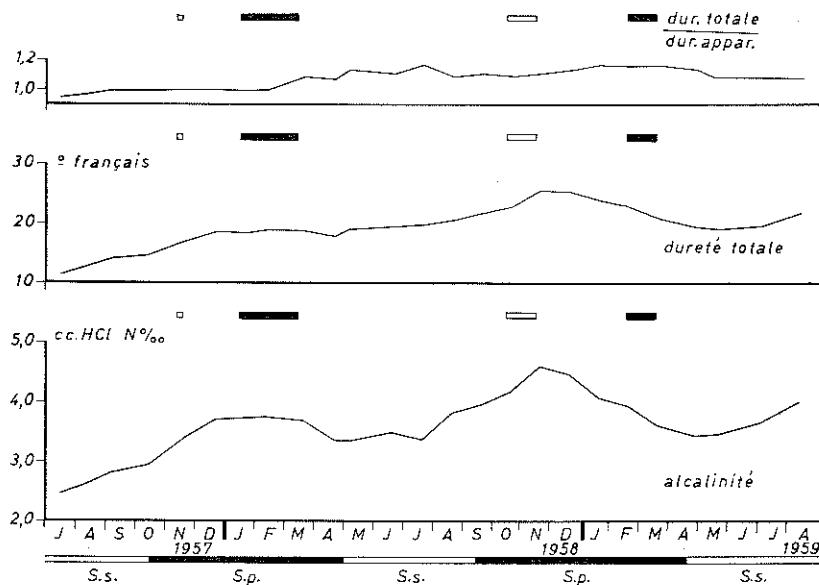


Fig 9. — Variations de la composition saline des eaux de l'exutoire du lac de retenue. — Les barres blanches et noires, au-dessus de chaque courbe, rappellent les débits moyens d'étiage et de crue de la Lufira (cf. fig. 3).



TABLEAU II

*Dureté totale des eaux affluentes et des eaux lacustres*  
(° français)

	Lufira	Shangalele	Barrage
juillet '57	18,50	15,00	11,50
décembre '57	24,30	20,90	18,60
avril '58	19,70	17,00	17,75
novembre '58	27,00	28,00	25,45
avril '59	20,50	18,30	19,30
août '59	30,90	27,20	21,75

Les variations de la quantité de  $\text{HCO}_3^-$  données par l'alcalinité (fig. 9) répondent parfaitement à celles des ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  mais le titre alcalin des eaux de l'exutoire est, en moyenne, plus élevé que celui de l'affluent. Compris entre 3 et 4 cc HCl N ‰, il fluctue entre des limites pratiquement identiques à celles déterminées dans le Shangalele (revoir fig. 4).

Indépendamment de ces variations périodiques d'amplitude relativement faible, les résultats des titrages successifs de la dureté et de l'alcalinité dessinent une courbe d'allure ascendante qui traduit les variations aperiodiques de la composition ionique des eaux affluentes.

Le rapport des duretés (fig. 9) après s'être maintenu constamment égal à l'unité entre juillet 1957 et février 1958, augmente irrégulièrement mais significativement vers un maximum de 1,17 atteint en juillet 1958, il se stabilise ensuite en se maintenant autour de valeurs très voisines de 1,10 jusqu'à la fin des observations en août 1959.

Ces modifications qui diffèrent qualitativement et quantitativement de celles observées en amont du lac et dans la Lufira, rappellent au contraire celles qui viennent d'être exposées à propos de l'étude des eaux littorales. Elles peuvent également s'expliquer par l'entrée du sulfate de magnésium dans le cycle biologique des eaux lacustres.

## II. — *L'oxygène dissous.*

Les faits suivants ressortent à l'examen de la courbe illustrant les variations de la concentration en oxygène (fig. 10) :

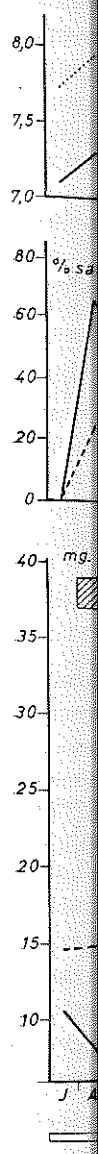


Fig. 10

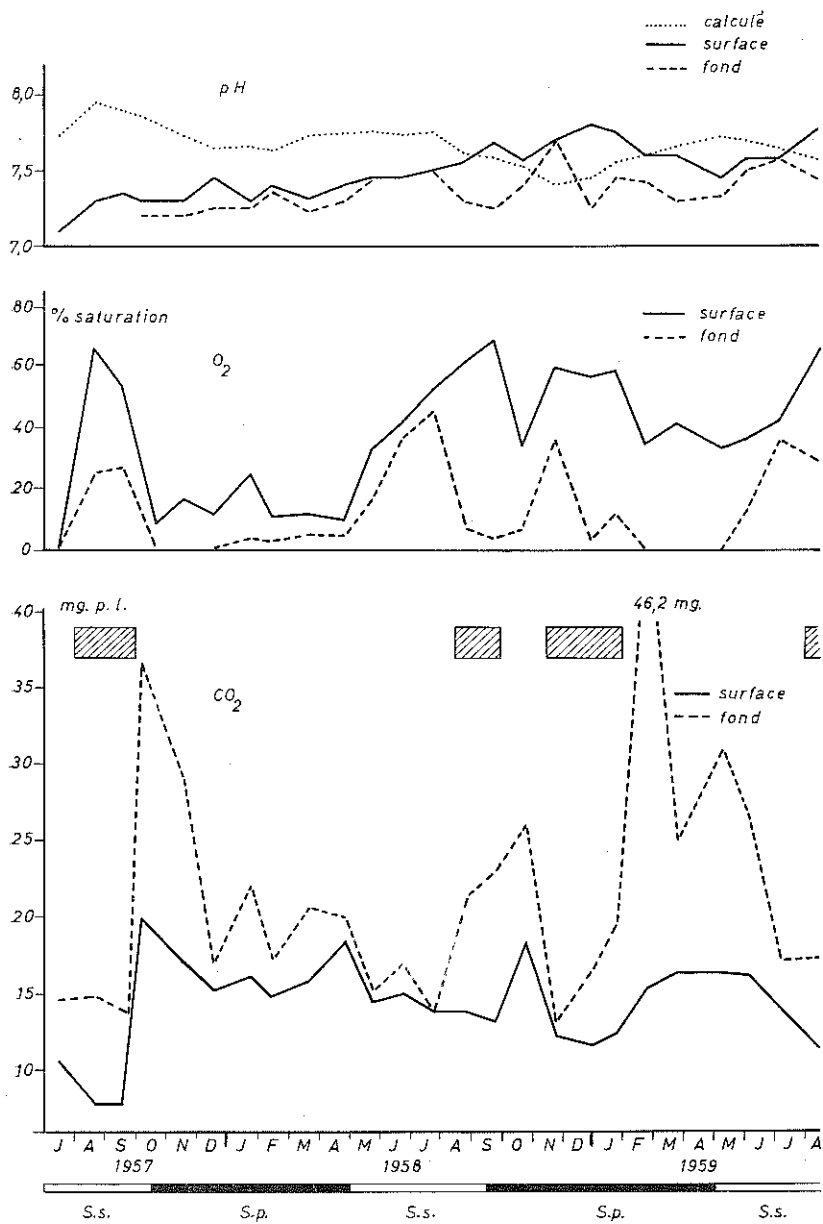


Fig. 10. — Variations du  $pH$ , de l'oxygène et de l'anhydride carbonique dissous dans les eaux de surface et dans celles du fond.

a. — Les eaux de surface comme celles du fond accusent systématiquement un déficit de saturation en oxygène ; dans les conditions les plus favorables, la quantité d'O<sub>2</sub> dissous en surface correspond seulement à 65-70 % de la saturation, tandis que dans les situations les moins bonnes on mesure une dizaine de pourcents. Les eaux de fond sont encore plus mal aérées et présentent souvent un déficit complet.

b. — Si l'on excepte les résultats aberrants obtenus en juillet 1957 (\*), il est possible de dégager sur la courbe un rythme assez régulier de variations dont la périodicité correspond à celle décelée dans le Shangalele :

1. — L'oxygénation croît dans tout le volume d'eau durant toute la phase du refroidissement (saison sèche froide) pour atteindre son maximum en août-septembre, tout au moins en surface. A ce moment, début de la saison sèche chaude, les eaux sont thermiquement stratifiées ce qui explique la diminution brutale de l'oxygénation des eaux profondes.
2. — Ce maximum est immédiatement suivi d'une courte période de faible oxygénation en octobre.
3. — La courbe de surface dessine ensuite un second maximum, compris entre novembre et janvier, durant la première moitié de la saison des pluies.

c. — Durant la saison des pluies 1957-58, il n'a pas été possible de mettre clairement en évidence une poussée d'oxygène semblable à celle qui se manifeste alors dans le Shangalele et qui serait l'homologue de celle qui sera observée en 1958-59. Les concentrations d'O<sub>2</sub> remarquablement faibles qui caractérisent toute cette période (de 10 à 25 % de la saturation contre 35 à 60 % l'année suivante) suggèrent déjà l'existence de variations indépendantes des facteurs saisonniers. Des mesures ont été faites dans le but de suivre l'évolution journalière de l'oxygène dissous. Le Tableau III donne les résultats de ces différentes observations.

(\*) Résultats peut-être entachés d'une erreur systématique de manipulation? J. LIÉTAR qui surveillait alors ce secteur du lac avant notre arrivée en septembre, était dans l'impossibilité matérielle de refaire immédiatement d'autres prélèvements qui auraient permis de contrôler ces valeurs absolument inhabituelles.

Van  
heur  
19. XII. 1  
0-1 m  
6 m.  
20. I. 58  
0-1 m  
6 m.  
23-24. IV  
0-1 m  
6 m.  
17-18. VI  
0-1 m  
6 m.  
ПНУТОР  
23. IV  
gram  
(2), «  
Lors  
période  
pendan  
le prem  
après q  
est fort  
peut at  
oxygène  
nocturn  
Le bilan  
période  
bénéfici  
plus un  
observé  
peuple  
compar  
réfléter

TABLEAU III

Variations journalières de la concentration en oxygène (mg. %/oo).

heures	06	09	12	15	18	21-22	03-06
19.XII.57							
0-1 m.	1,51	0,86	1,44		1,25	1,10	
6 m.	0,11	0,33	0,80		0,35	0,28	
20.I.58							
0-1 m.	1,15	0,94	0,97	1,40	1,42	1,25	
6 m.	0,62	0,38	0,22	0,32	0,41	0,10	
23-24.IV.58							
0-1 m.	0,22	0,38	1,00	0,84	0,84	0,78	0,31
6 m.	0,22	0,31	0,68	0,53	0,83	0,58	0,56
17-18.VII.58							
0-1 m.	1,79	1,97	4,32	4,95	4,64	4,93	3,75
6 m.	1,59	1,71	3,32	3,74	4,48	3,28	3,71

PHYTOPLANKTON : 19.XII.57, *Synedra* sp. (2) — 20.I.58, *Synedra* sp.; (2) — 23.IV.58, *Lyngbia limnetica* (3) — 17.VII.58, *Synedra* sp. (2) — *Melosira granulata* (2), *Microcystis* sp. (4)  
(2), « isolé » — (3), « dispersé » — (4), « nombreux ».

Lors des trois premiers essais — situés précisément dans la période incriminée — l'augmentation de la quantité d'oxygène pendant les heures d'insolation n'atteint même pas 1 mg. p. l. dans le premier mètre d'eau. De plus, la diminution est déjà sensible après quelques heures d'obscurité. En juillet, par contre, la situation est fort différente mais manifestement plus conforme à ce qu'on peut attendre des effets de la photosynthèse. La concentration en oxygène augmente de 3 mg. p. l. environ tandis que les pertes nocturnes se chiffrent à 1,2 mg seulement par litre d'eau de surface. Le bilan de cet essai — qui correspond au début de la seconde période dont il est fait mention plus haut — se solde donc par un bénéfice alors que la balance des trois premiers indiquait tout au plus un statu-quo. La carence dans la production d'oxygène, observée lors des trois premiers essais, s'explique par la faiblesse du peuplement végétal des eaux de l'exutoire comme le montre bien la comparaison des indices d'abondance du phytoplancton. Loin de refléter des situations accidentelles et momentanées, les taux de

saturation anormalement bas enregistrés entre octobre 1957 et avril 1958 expriment donc un réel état de déséquilibre entre les facteurs biologiques de production et de consommation.

### III. — $p_H$ , anhydride carbonique dissous.

La courbe exprimant les variations du  $p_H$  mesuré dans les eaux superficielles (fig. 10) montre que celui-ci a été en augmentant tout au long de la période d'observation. Cette modification n'est pas absolument continue car le graphique montre deux paliers principaux. Le premier, qui s'étend depuis août 1957 jusqu'en mars 1958, voit le  $p_H$  stabilisé autour de 7,30 ; le second, compris entre février et juillet 1959, montre un  $p_H$  oscillant légèrement autour de 7,60 ; les 0,3 unités  $p_H$  qui distinguent ces deux paliers confirment cependant le sens général de la modification survenue dans l'exutoire. Celle-ci, également corroborée par les relevés successifs pris au contact du fond, ressort mieux encore lorsque le  $p_H$  effectivement mesuré est confronté avec la valeur théorique tirée de l'alcalinité.

Entre juillet 1957 et août 1958, soit pendant plus d'un an, les  $p_H$  expérimentaux se localisent systématiquement sous les valeurs théoriques. Indépendamment des poussées de photosynthèse prouvées par les augmentations significatives du taux d'oxygénation et les diminutions corrélatives de la concentration en anhydride carbonique (cf. août-septembre 1957), les eaux de la région nord du lac tiennent en dissolution une ou des substances qui accentuent leur caractère acide. En août 1958, les deux  $p_H$  ont pratiquement la même valeur et les eaux atteignent, pour la première fois, leur équilibre de  $p_H$ . Le rapport entre  $p_H$  théorique et expérimental s'inverse à partir de septembre jusqu'en janvier 1959, indiquant alors l'existence d'une phase d'alcalinisation. Celle-ci est suivie, de février à juillet, d'une nouvelle période d'acidification beaucoup moins importante que la précédente à en juger par les écarts modestes qui séparent alors les deux graphiques. En août 1959 nouveau croisement des courbes marquant le début d'une nouvelle phase d'alcalinisation. La longue période d'acidification est tout à fait comparable à celle qui a été mise en évidence dans la région du Shangalele, elle occupe d'ailleurs exactement les mêmes limites dans l'échelle des mois.

Les différents états de l'eau diagnostiqués à partir du  $p_H$  se distinguent aisément sur la courbe figurant les quantités de  $CO_2$  dissoutes en surface (fig. 10). Sous l'angle quantitatif, l'anhydride carbonique

est toujours  
celles du  
carbonic  
d'acidifi  
différenc  
tient con  
entièrement  
présenté

Si les  
entre  $p_H$   
blable s  
Ceci est  
graphique  
renferme  
de toute  
lièrement  
pendant

### IV. —

Les fi  
de surf  
netteme  
accusée  
une des  
où l'atta  
stratifié

Ont e  
de l'eau

a. —

b. —

c. —

on voit

1. —  
tion de  
gaz diss

est toujours plus concentré dans les eaux de l'exutoire que dans celles du Shangølele. Alors que dans ce dernier les quantités de gaz carbonique fluctuent entre 6 et 14 mg. p. l. durant la période d'acidification, elles sont comprises entre 8 et 20 dans l'exutoire ; la différence apparaît encore plus nettement dans la suite lorsqu'on tient compte des cas assez fréquents où les eaux du Shangølele sont entièrement dépourvues d'anhydride, situation qui ne s'est jamais présentée devant le barrage.

Si les quantités accrues de  $\text{CO}_2$  peuvent expliquer les écarts entre  $p_{\text{H}}$  théoriques et réels, d'autres corps ayant une action semblable sur le  $p_{\text{H}}$  doivent intervenir au moins momentanément. Ceci est clairement démontré par les résultats des stations hydrographiques de juillet, août et septembre 1957. Les eaux de surface renferment de 8 à 10 mg de  $\text{CO}_2$  par litre, quantités les plus faibles de toute la série, mais ont cependant un  $p_{\text{H}}$  de 7,10-7,35, particulièrement peu alcalin. Cet état de l'eau est semblable à celui qui, pendant de longs mois, a été mis en évidence dans les eaux littorales.

#### IV. — *La stratification chimique.*

Les figures précédentes ont montré que les eaux de fond et celles de surface pouvaient avoir momentanément des compositions nettement différentes, suggérant une stratification chimique bien accusée. Cette hypothèse paraît cependant en contradiction avec une des principales conclusions du chapitre de la thermique lacustre où l'attention était justement attirée sur les caractères labiles de la stratification thermique (MAGIS, 1962).

Ont été réunies sur la fig. 11 trois courbes illustrant la qualité de l'eau à divers niveaux :

- a. — En juillet 1958 pendant la période de circulation ;
- b. — En août 1958 au début de la période du réchauffement des eaux ;
- c. — En septembre 1958, en saison sèche chaude, après un mois de stratification thermique continue

on voit que :

1. — Durant les brassages de la saison sèche froide, la composition de l'eau est parfaitement homogène tant en ce qui concerne les gaz dissous et le  $p_{\text{H}}$  que la concentration en sels minéraux ;

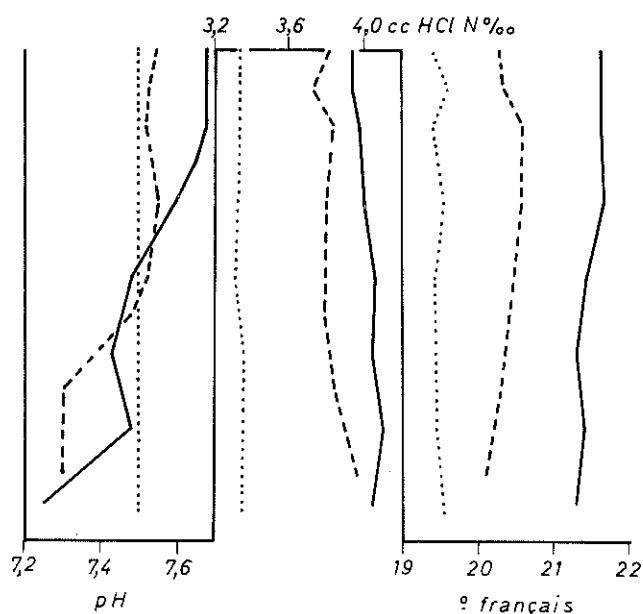
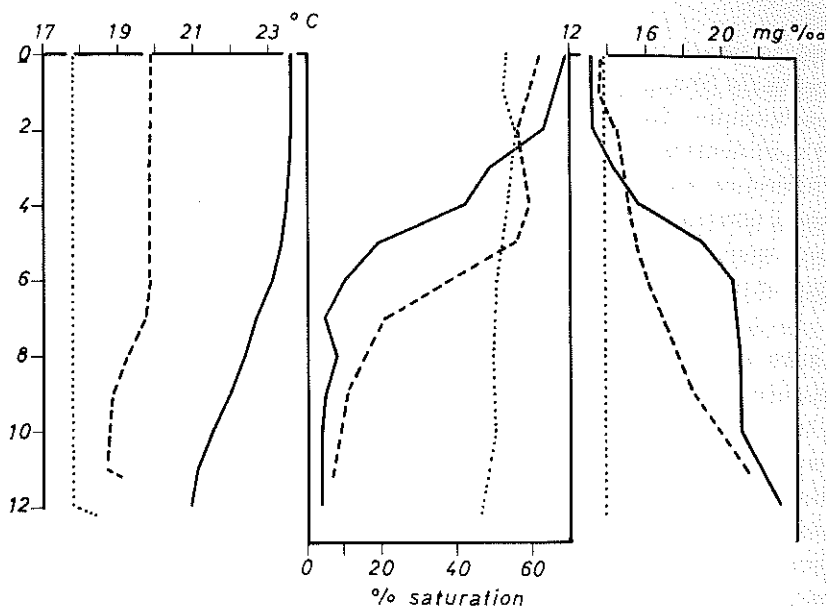


Fig. 11  
Stratification chimique  
..... VII.1958  
----- VIII.1958  
—— IX.1958

2. —  
pérature  
— 9 ; cet  
composit  
en-dessou  
l'oxygène  
dantes de  
tives se r  
plus proc  
du therm

3. —  
de 23,6°C  
fond par  
moline n  
d'eau em  
présente  
une seco  
de couch  
tion ion  
distingue  
tives en  
dération  
ne corre  
concentr

Ces tre  
que dans  
est très  
à ce poin  
facteurs  
pas ou g  
giques. I  
suffisent  
n'y a pas  
que et c  
entre de  
génération  
carboniq  
quent da  
dant à l

2. — Le 27 août, les six premiers mètres sont à la même température tandis qu'une différence de 1°C sépare les niveaux — 7 à — 9 ; cette barrière thermique suffit à modifier très légèrement la composition saline et plus nettement le  $p_H$  des eaux comprises en-dessous de 7 mètres de profondeur. Les variations verticales de l'oxygène et de l'anhydride carbonique se montrent plus indépendantes de la barrière thermique puisque leurs concentrations respectives se modifient dès le cinquième mètre, c'est-à-dire à un niveau plus proche de la surface que celui délimité par la couche supérieure du thermocline ;

3. — Le 24 septembre, les eaux de surface ont une température de 23,6°C qui est de 2,65°C plus élevée que celle mesurée dans le fond par le « Thermistor ». Il n'y a pas à proprement parler de thermocline mais les variations thermiques divisent cependant la masse d'eau en deux zones distinctes : une première, entre 0 et — 5 m présente une température uniforme qui l'assimile à un épilimnion ; une seconde occupe le volume restant et est formée d'une série de couches progressivement de plus en plus froides. Si la composition ionique de ces deux masses d'eau est peu différente, elles se distinguent de façon fort nette lorsque leurs concentrations respectives en gaz dissous et les valeurs de leur  $p_H$  sont prises en considération. Comme en août, les variations verticales de ces éléments ne correspondent pas à celles de la température puisque leurs concentrations se modifient dès le second mètre.

Ces trois exemples, choisis parmi de nombreux autres, prouvent que dans la partie la plus profonde du lac, la stratification chimique est très indépendante de la stratification thermique. Il importe, à ce point de vue, de faire immédiatement une distinction entre les facteurs intéressant la composition ionique qui ne se stratifient pas ou guère et ceux qui sont directement liés aux activités biologiques. Pour ces derniers, de légères différences de température suffisent à provoquer leur stratification. Mais on constate qu'il n'y a pas de corrélation entre la position de la zone du saut thermique et celle du saut chimique ; cette dernière se situe toujours entre des niveaux plus superficiels que la précédente. La désoxygénation des eaux profondes, leur enrichissement en anhydride carbonique et la diminution de leur  $p_H$  se manifestent par conséquent dans un volume d'eau toujours supérieur à celui correspondant à l'hypolimnion thermique.



Ces particularités doivent être mises en rapport avec les faits observés dans le littoral de Mulandi où, par suite de la profondeur réduite, l'influence des sédiments se fait sentir jusque dans la pellicule superficielle. Ce type de stratification chimique, déterminé plus par les activités biologiques que par la division du volume d'eau par une zone de thermocline, a été mis également en évidence dans plusieurs lacs naturels de la plaine rwandaise de la Nyawarongo (DAMAS, 1954), il est donc possible qu'il caractérise les lacs africains peu profonds.

5. — INTERACTIONS DU CYCLE DE LA VÉGÉTATION PALUSTRE  
SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX LACUSTRES

Nous avons dit précédemment que l'ensemble des problèmes biologiques du lac de la Lufira devaient être envisagés en fonction du degré variable d'extension de sa végétation semi-aquatique. On doit aussi se souvenir que toutes les observations qui viennent d'être commentées se situent pendant une phase régressive de la couverture végétale, succédant à la transgression des années 1954 et 55. Pour interpréter définitivement les faits exposés plus haut et pour tenter d'en dégager la synthèse, il était nécessaire de chercher préalablement des preuves plus directes de l'action des végétaux sur la composition de l'eau. Dans ce but, des échantillons ont été prélevés à des profondeurs de 0,6-0,7 m qui correspondent à la limite inférieure habituelle de l'horizon des racines. En vue d'obtenir des termes de comparaison, nous avons recueilli simultanément et aux mêmes profondeurs d'autres échantillons dans les zones libres les plus voisines des îlots étudiés. Les résultats sont réunis dans le Tableau IV.

Par rapport aux témoins, on voit que les eaux baignant directement les racines et les rhizomes des plantes flottantes offrent les particularités suivantes :

- a. — Diminution très accusée de la quantité d'oxygène dissous.
- b. — Augmentation de la concentration en  $H_2S$  et en produits oxydables par le permanganate.
- c. — Augmentation de la teneur en anhydride carbonique.
- d. — Abaissement léger mais très régulier du  $pH$ .

TABLEAU IV

Concentrations en gaz dissous et  $p_H$  des eaux baignant l'horizon des racines des plantes palustres

	O <sub>2</sub> mg.p.l.	CO <sub>2</sub> mg.p.l.	H <sub>2</sub> S mg.p.l.	$p_H$
1. — Témoin « amont » eau libre	1,69	15,6	5,8 (*)	7,45
2. — prairie d' <i>Oryza</i>	0,00	22,8	7,2	7,30
3. — idem	0,40	24,8	7,2	7,25
4. — Témoin « aval », lisière des prairies	1,03	22,7	6,2	7,30
5. — Témoin « amont » eau libre	2,04	14,5	0,00	7,50
6. — prairies de <i>Vossia</i>	0,00	20,6	0,75	7,30
7. — idem	0,90	19,8	0,40	7,45
8. — lisière des prairies	1,32	17,0	0,55	7,45
9. — Témoin « aval », eau libre	1,90	14,1	0,50	7,45
10. — Témoin « amont » eau libre	1,10	17,0	0,00	7,40
11. — îlots d' <i>Oryza</i>	0,25	18,4	0,60	7,30
12. — idem	0,46	22,6	0,50	7,35
13. — plage d'eau libre au milieu des îlots	0,49	17,8	traces	7,40
14. — coussins de <i>Leersia</i> en décom- position	0,00	25,0	1,15	7,25
15. — Témoin « aval », eau libre	0,94	17,8	0,50	7,45
16. — Témoin, plage d'eau libre entre les îlots	1,70	16,8	0,10	7,30
17. — îlots de <i>Leersia</i>	0,00	22,2	0,35	7,20
18. — prairie d' <i>Oryza</i>	0,70	18,0	0,55	7,30
19. — Témoin, plan d'eau libre entre les îlots	3,38	11,0	—	7,55
20. — prairie de <i>Vossia</i>	0,69	16,6	—	7,35

Les différences qu'indique le Tableau paraîtront peu significatives aux yeux de certains. Ils doivent cependant se souvenir d'un facteur excessivement important, mais peu mesurable, qui est la

(\*) Les valeurs indiquées pour cette série d'essais intéressent la quantité de matière oxydables par  $KMnO_4$  (mg. O<sub>2</sub> p. l.).

mobilité pratiquement continue des îlots. Tantôt ils s'agrègent les uns aux autres et forment une véritable éponge au travers de laquelle le courant lacustre doit filtrer, tantôt ils se disloquent, spécialement sous l'action du vent. Dans les méats isolés, les eaux superficielles bénéficient alors d'un contact avec l'atmosphère (\*). Par ailleurs, la retenue est traversée par un courant lent mais continu et est alimentée par des eaux qui, nous l'avons vu, ne manifestent aucune trace de pollution organique. En d'autres termes, le jeu combiné mais incontrôlable de ces divers facteurs fait très heureusement obstacle au confinement prolongé du siège des réactions constatées ci-dessus, tout comme il en étale les effets aussi bien dans l'espace que dans le temps.

Le sens du déplacement des concentrations en gaz dissous, les modifications du  $p_H$  et surtout les corrélations que ces éléments présentent entre eux prouvent incontestablement que les vastes prairies de végétaux palustres déterminent une pollution de l'eau.

Compte tenu des facteurs analysés, l'action des plantes palustres sur la composition de l'eau se traduit surtout par une consommation rapide et pratiquement totale de l'oxygène dissous et par une libération de substances à caractère réducteur. En ce qui concerne l'oxygène, les résultats obtenus à Mwadingusha corroborent parfaitement ceux obtenus par HARDING (1961) dans les zones du lac Kariba couvertes par *Salvinia auricularia*, plante semi-aquatique qui s'est abondamment multipliée dès la mise sous eau de la retenue du Zambèze.

Les dosages réguliers des gaz dissous et les mesures simultanées du  $p_H$  dans les trois régions « pilotes » de la retenue ont mis en évidence d'importantes différences au sein même du lac :

- a. — Le secteur du *Shangalele* où le plan d'eau est resté pratiquement toujours libre de toute végétation semi-aquatique:
  - saturation en  $O_2$  exceptionnellement inférieure à 50 %, parfois eaux légèrement sursaturées ;
  - concentrations en  $CO_2$  comprises entre 5 et 15 mg.p.l. assez souvent aucune trace d'anhydride libre dans les eaux superficielles ;
  - $p_H$  alcalin, compris entre 7,45 et 8,45, assez souvent compatible avec l'existence de l'ion  $CO_3$ .

(\*) Cas 8, 13, 16 et 19 du Tableau IV.

- b. — La zone de l'exutoire où se récoltent les eaux de l'amont :
- saturation en O<sub>2</sub> faible, dépassant assez rarement 50 %, parfois inférieure à 10 % ; jamais de sursaturations aux heures matinales des stations hydrographiques ;
  - concentrations en CO<sub>2</sub> comprises entre 10 et 20 mg.p.l., pouvant atteindre 30 à 50 mg au contact du fond ; CO<sub>2</sub> toujours dosable à l'état libre ;
  - $p_H$  moins alcalin, compris entre 7,1 et 7,7, jamais inférieur à 7,0 même dans les eaux de fond ;
  - stratification très marquée de ces éléments mais fort indépendante de la stratification thermique ; la différence de niveau entre le thermocline et ce chémocline réduit le volume des couches épilimniques et augmente corrélativement celui de l'hypolimnion.
- c. — Le secteur de *Mulandi*, zone littorale abondamment envahie par les plantes palustres :
- oxygénation très médiocre, habituellement comprise entre 20 et 30 % de la saturation, de 2 à 10 % seulement au contact du fond en dépit de la faible profondeur ;
  - eaux riches en CO<sub>2</sub>, concentrations moyennes voisines de 20 mg.p.l. en surface, de 25 mg au fond mais avec des maxima occasionnels de 50 et même de plus de 70 mg.p.l. ; CO<sub>2</sub> également toujours dosable à l'état libre ;
  - $p_H$  compris, en surface, entre 7,0 et 7,7, eaux de fond présentant parfois une réaction faiblement acide avec un  $p_H$  minimum de 6,9 ;
  - stratification parfois très marquée malgré la très faible profondeur et la fréquence des brassages, entièrement déterminée par les sédiments organiques couvrant le fond.

Cette diagnose, volontairement établie en fonction du degré croissant d'enherbement des secteurs pilotes, montre un gradient de pollution parallèle à celui mis en évidence dans les eaux baignant directement ces mêmes formations végétales. Ces dernières peuvent, par conséquent, être tenues comme les principales responsables des différences observées d'une région à l'autre du lac de retenue.

La longue durée de nos observations permet également de con-

clure que ce parallélisme se traduit non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps. C'est, en effet, en fonction de la végétation que doivent s'expliquer les variations à long terme de la qualité de l'eau, telles que la succession régulière des dosages des gaz dissous et les relevés du  $p_H$  les ont mises en évidence dans l'ensemble du lac.

Ainsi, le développement massif de la végétation palustre à la faveur des baisses importantes du lac en 1954 et 1955 a entraîné dans le lac une très longue période d'acidification relative qui s'est prolongée jusqu'en juillet 1958. Mais la disparition progressive des plantes, favorisée par le maintien d'un plan d'eau peu variable et constamment élevé jusqu'en 1959, s'est soldée par une amélioration sensible de la qualité des eaux. Ce retour vers des conditions plus favorables a pris son départ au mois d'août 1958. Dans la zone littorale de Mulandi, où la colonisation végétale fut la plus dense, la période de pollution s'est toutefois prolongée jusqu'en août 1959.

Nos recherches ont en outre montré que ce sont les sédiments qui, plus que la température, conditionnent en fait la stratification chimique des eaux. Les carottes de sondage prélevées dans ces dépôts (DAMAS, MAGIS et NASSOGNE, 1959) montrent immédiatement l'importance que prend la végétation dans la sédimentation. Les photos publiées mettent en évidence deux strates très distinctes : l'horizon superficiel, épais de 20 à 30 cms, est constitué de débris végétaux plus ou moins bien conservés, il surmonte une strate de boue fluide, épaisse selon les endroits de 30 à 70 cms, dont la coloration noire indique clairement la nature organique.

Les interactions du cycle de la végétation palustre sur la composition chimique des eaux lacustres se traduisent, donc non seulement par des actions superficielles, localisées dans le feutrage des racines et des rhizomes des prairies flottantes, mais également par des actions profondes au niveau des sédiments.

## 6. — CONCLUSIONS

1. — Les variations de la composition chimique des eaux du lac artificiel de la Lufira sont très différentes selon que l'on considère leur composition ionique fondamentale ou les éléments liés plus étroitement à l'activité des organismes.

2. — Les rapports entre la concentration des sels dissous et

le régime  
une corr  
mènes p  
des varia  
blée ou t  
nue. La  
décalée  
l'aval. L  
à un gra  
affluente  
nution d  
ions par  
abondan  
électroly

3. —  
ment ric  
sium (ea  
relatives  
cycle an  
cations  
grande  
moyen  
retenue

4. —  
catabolis  
 $p_H$ ) déc  
cependa  
peut être  
algues p  
teneurs  
cours d'  
respond  
le second  
de la sa  
VAN ME  
thèse. Ce  
et en ac  
et devar

le régime de la Lufira, affluent principal du lac, s'expriment par une corrélation négative ; celle-ci traduit le jeu normal des phénomènes physiques de la dilution et de la concentration. L'amplitude des variations, très forte dans l'affluent — la dureté totale est doublée ou triplée à l'étiage — est normalement amortie dans la retenue. La périodicité des maxima et des minima y est en outre décalée et cet écart est d'autant plus sensible qu'on s'avance vers l'aval. La quantité des sels de calcium et de magnésium est soumise à un gradient similaire puisque la dureté totale moyenne des eaux affluentes est plus élevée que celle mesurée dans l'exutoire. La diminution du degré hydrotimétrique résulte d'une absorption de ces ions par les organismes animaux et végétaux, beaucoup plus abondants dans le lac que dans l'affluent. Une fraction de ces électrolytes pourrait aussi être fixée par les sédiments.

3. — Les eaux de la Lufira sont des eaux hexaioniques, spécialement riches en carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium (eaux moyennement à franchement dures). Les proportions relatives de ces cations ne se modifient pas seulement au cours du cycle annuel mais aussi au cours des cycles successifs. Ces modifications à long terme pourraient s'expliquer par la solubilité plus grande des sels de magnésium et dépendre ainsi du régime annuel moyen de la Lufira. Elles se reflètent indubitablement dans la retenue proprement dite.

4. — L'analyse des facteurs qui dépendent immédiatement du catabolisme et de l'anabolisme de la biomasse lacustre ( $O_2$ ,  $CO_2$  et  $p_H$ ) décèle l'existence de variations périodiques. Celles-ci relèvent cependant de deux causes bien distinctes. Un premier cycle, qui peut être qualifié de cycle à court terme, est lié à la poussée des algues planctoniques dont l'activité photosynthétique affecte les teneurs en gaz dissous et le  $p_H$ . Deux pics se dessinent ainsi au cours d'une année : le premier se situe en août-septembre et correspond au passage de la saison sèche froide à la saison sèche chaude ; le second s'étend de novembre à janvier, durant la première moitié de la saison des pluies. Dans le lac Upemba, les observations de VAN MEEL (1953) montrent également deux maxima de photosynthèse. Ceux-ci se situent respectivement en mars (saison des pluies) et en août (saison sèche). Les concordances sont assez frappantes et devaient être soulignées. En même temps que leurs variations

annuelles, les gaz dissous et le  $p_H$  se sont aussi modifiés suivant un rythme de plus grande amplitude. Deux périodes ont pu ainsi être mises en évidence dans l'ensemble du lac. Leur durée respective (juillet 57-juillet-août 58, d'abord; septembre 58- fin de la période des observations ensuite) chevauche les saisons sèches et pluvieuses comme les crues et les décrues du lac et de son affluent. La qualité différente des eaux qui est apparue est donc indépendante de la nature des eaux affluentes et des facteurs saisonniers et doit, par conséquent, être expliquée par une cause intra-lacustre. L'ensemble des facteurs étudiés démontre que la modification de la composition de l'eau est une diminution importante de son pouvoir réducteur. Le sens de cette transformation est semblable à celui qui apparaît lorsque sont comparé des échantillons d'eau pris dans et en dehors des prairies flottantes. Ce sont donc bien les plantes palustres qui sont la cause des variations à long terme définies plus haut.

5. — Même dans la zone la plus profonde du lac artificiel, la conductibilité électrique, la dureté totale et l'alcalinité ne changent pas — ou guère — sur toute la hauteur d'eau (12-14 m). Les gaz dissous et le  $p_H$ , au contraire, se stratifient rapidement dès qu'une légère différence thermique se manifeste entre les différentes couches d'eau. Lorsque les eaux sont thermiquement et chimiquement stratifiées, on remarque cependant que la zone du saut thermique se situe entre des niveaux plus profonds que la zone du saut chimique. Cet hiatus a pour résultat de limiter le volume des couches épilimniques au profit de l'hypolimnion où règnent des conditions peu favorables aux organismes planctoniques. Un des résultats des plus notables des recherches entreprises est de montrer que les caractères spéciaux de l'eau de fond ne sont pas dus au fait qu'elles sont séparées de la surface par une couche de saut thermique mais qu'ils expriment l'influence des sédiments. Tandis que dans la région tempérée l'influence des sédiments se marque sur quelques centimètres couvrant le fond (zone de « *microstratification* »), elle s'étend au contraire sur plusieurs mètres d'épaisseur dans les lacs équatoriaux et subtropicaux. Le fait doit être mis en relation avec la haute température où sont maintenus ces sédiments.

BAAS-BR  
Den I  
BOURGUE  
botan  
FULI  
DAMAS, I  
Étude  
Mém.  
— 19  
Éd. F  
DAMAS, H  
biolog  
Élisab  
DUBOIS, J  
la tran  
HARDING  
p. 119  
KUFFERA  
rationn  
(43, 44  
LIÉTAR, J  
à Jado  
LIVRE DE  
MAGIS N  
de Mus  
— 196  
Lualab  
saisonn  
MAUCHA, E  
nengev  
OHLE, W.,  
molecul  
théor. e  
RUTTNER,  
F. E. J  
STASSART, J  
l'aide d  
J. mens  
VAN MEELE

## BIBLIOGRAPHIE

- BAAS-BECKING, L. G. M., 1934 — *Geobiologie of inleiding tot de milieukunde*. Den Haag, 263 pp.
- BOURGUIGNON, P., STREEL, M. et CALEMBERT, J., 1960. — *Prospection pédobotanique des plaines supérieures de la Lufira (Haut-Katanga)*. Éd. FULREAC, Univ. Liège, 111 pp.
- DAMAS, H., 1954. — *Étude limnologique de quelques lacs ruandais. II. — Étude thermique et chimique*. Inst. r. colon. belge, sect. Sc. nat. et méd.; Mém. in-8°, 24 (4); 116 pp.
- 1957. — In *Mission interdisciplinaire d'étude du Haut Katanga*. Éd. FULREAC, Univ. Liège, p. 26.
- DAMAS, H., MAGIS, N. et NASSOGNE, A., 1959. — *Contribution à l'étude hydrobiologique des lacs de Mwadingusha, Koni et N'Zilo*. Bull. trim. C.E.P.S.I., Elisabethville, 46, 49 pp.
- DUBOIS, J. Th., 1958. — *Évolution de la température, de l'oxygène dissous et de la transparence dans la baie Nord du lac Tanganika*. Hydrobiol., 10, p. 215.
- HARDING, D., 1961. — *Limnological trends in lake Kariba*. Nature, 191, p. 119.
- KUFFERATH, J., 1951. — *Représentation graphique et classification chimique rationnelle en types des eaux naturelles*. Bull. Inst. r. Sc. nat. Belgique, 27 (43, 44 et 45).
- LIÉTAR, J., 1956. — *Biologie et écologie des Mollusques vecteurs de bilharziose à Jadotville*. Ann. Soc. belge Méd. trop., 36, p. 919.
- LIVRE DE L'EAU, 1954. — *Vol. I*, C.B.E.D.E., Liège.
- MAGIS N. 1961. — *Nouvelle contribution à l'étude hydrobiologique des lacs de Mwadingusha, Koni et N'Zilo*. Éd. FULREAC, Univ. Liège, 71 pp.
- 1962. — *Étude limnologique des lacs artificiels de la Lufira et du Lualaba (Haut-Katanga)*. I. — *Le régime hydraulique, les variations saisonnières de la température*. Int. Rev. ges. Hydrobiol., 47 (1), p. 33.
- MAUCHA, R., 1932. — *Hydrochemische Methoden in der Limnologie* (Die Binnengewässer, Bd. XII). Stuttgart.
- OHLE, W., 1953. — *Die chemische und die elektrochemische Bestimmung des molecular gelösten Sauerstoffs der Binengewässer*. Assoc. internat. Limn. théor. et appl., Communic., n° 3, 44 pp.
- RUTTNER, F., 1953. — *Fundamentals of limnology* (trad. D. G. FREY et F. E. J. FRY). Un. of Toronto Press. 242 pp.
- STASSART, M., 1950. — *Note sur la détermination de la dureté totale de l'eau à l'aide du sel disodique dihydraté de l'acide éthylènediamine tétraacétique*. J. mens. C. B. E. D. E., Liège, n° 10, p. 99.
- VAN MEEL, L., 1953. — *Contribution à l'étude du lac Upemba. Le milieu*



*physico-chimique*. Expl. Parc nat. Upemba, fasc. IX. Inst. Parcs nat. Congo belge, Bruxelles. 190 pp.

VERBEKE, J., 1957. — *Exploration hydrobiologique des lacs Kivu, Edouard et Albert. Recherches écologiques sur la faune des grands lacs de l'Est du Congo belge*, 3 (1), 177 pp. Inst. r. Sc. nat. Belgique.

WELCH, P. S., 1948. — *Limnological methods*. Philadelphia, Blakiston, édit. 381 pp.

YOSHIMURA, S., 1936. — *A contribution to the knowledge of deep temperatures of Japanese lakes*. Jap. J. Astrom. Geophys., 30, p. 61.

UNIVERSITÉ DE LIÈGE  
Institut zoologique Ed. VAN BENEDEN,  
Laboratoire d'écologie animale.

Overdr  
VOGEL  
In het g  
berg, da  
en aan  
begrense  
zien drie  
gronden  
H e t b  
Het bos  
blz. 46  
de Maa  
Luik. H  
westen  
De vog  
Reeds g  
gevallen  
Houtdu  
Fazant  
Steenui  
otus),  
(Oriolu  
glandar  
leus), C  
tanus),  
europae  
(Troglo  
Merel  
Roodbo  
Zwartk  
tjaf (P  
Spreeuw  
thraust  
pyrrhul  
In 1963  
kunnen  
Het bo  
Haagbe  
onderg  
(I) Ce  
par