

UNIVERSITÉ DE LIÈGE

F.U.L.R.E.A.C.

FONDATION DE L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE POUR LES RECHERCHES SCIENTIFIQUES
AU CONGO ET AU RUANDA-URUNDI

NOUVELLE CONTRIBUTION
A L'ÉTUDE HYDROBIOLOGIQUE
DES LACS DE MWADINGUSHA,
KONI ET N'ZILO

PAR

Noël MAGIS

Licencié en Sciences Zoologiques
Chargé de mission FULREAC

ÉDITIONS F. U. L. R. E. A. C.
UNIVERSITÉ DE LIÈGE

1961

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
Chapitre I. — GÉNÉRALITÉS SUR LES LACS DE RETENUE ÉTUDIÉS, COMPARAISON AVEC LE LAC UPEMBA	7
1. Caractéristiques des lacs artificiels du Haut Katanga	7
2. Rapports entre le niveau des lacs de retenue, le débit de leur affluent principal et la pluviosité	9
3. Conclusions	12
Chapitre II. — LES VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU	14
1. Le cycle thermique des eaux de surface	14
2. Les variations saisonnières de la température dans la masse des eaux	19
3. Influence des pluies sur l'état thermique des eaux	22
4. Conclusions	23
Chapitre III. — LE PLANCTON DES LACS ARTIFICIELS	26
1. Composition qualitative	26
2. Composition quantitative	28
3. Conclusions	35
Chapitre IV. — LES VARIATIONS DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DU LAC DE MWADINGUSHA	37
A. — COMPOSITION IONIQUE DES EAUX DE LA RETENUE	37
1. Caractéristiques fondamentales des eaux de la retenue	37
2. Les variations saisonnières du calcium, du magnésium et des bicarbonates	39
B. — LES GAZ DISSOUS — LE P_H	42
1. L'anhydride carbonique libre	42
2. Le p_H des eaux de la retenue	44
3. L'oxygène dissous	47
C. — LA STRATIFICATION CHIMIQUE DES EAUX DE LA RETENUE	50
D. — CONCLUSIONS	51
Chapitre V. — LES VARIATIONS DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DU LAC DE KONI	53
A. — LA COMPOSITION IONIQUE	53
B. — LES GAZ DISSOUS — LE P_H	54
1. L'anhydride carbonique libre	54
2. Le p_H	54
3. L'oxygène dissous	54
C. LA STRATIFICATION CHIMIQUE	55
D. CONCLUSIONS	57

Chapitre VI. — LES VARIATIONS DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DU LAC DE N'ZILO I	58
A. LA COMPOSITION IONIQUE	58
B. LES GAZ DISSOUS — LE P _H	60
1. L'anhydride carbonique libre	60
2. Le P _H	60
3. L'oxygène dissous	60
C. — LA STRATIFICATION CHIMIQUE	61
D. — CONCLUSIONS	62
CONCLUSIONS GÉNÉRALES	64
BIBLIOGRAPHIE	70

INTRODUCTION

Ce travail s'inscrit dans le programme des activités développées par FULREAC et CEPSE en vue de favoriser l'exploitation du poisson dans les lacs artificiels du Haut Katanga. Il fait directement suite à l'article publié par DAMAS, MAGIS et NASSOGNE (1959) où les auteurs apportaient une première contribution à l'étude hydrobiologique des lacs de Mwadingusha, Koni et N'Zilo I.

Dans le présent travail, le lecteur trouvera l'exposé des documents que deux années ininterrompues de travail ont permis de recueillir sur les variations saisonnières de la température, de la composition chimique et sur le plancton des lacs étudiés.

Ces thèmes sont associés étroitement par une série de relations réciproques que l'exposé brise arbitrairement. Le plan suivant nous paraît être le plus aisément accessible au lecteur peu familiarisé avec les problèmes hydrobiologiques.

Nous envisagerons d'abord les variations de la température des eaux parce que leurs mécanismes sont les plus simples. Nous examinerons ensuite la composition qualitative et quantitative du plancton. L'analyse des algues vivant dans l'eau fournit une idée approximative de l'intensité de la photosynthèse dont le rôle est important pour comprendre, au moins partiellement, la composition chimique des eaux. Les variations de cette composition ont une origine beaucoup plus complexe cependant et justifie que nous les examinions en dernier lieu. Les variations de la température des eaux des retenues et la composition de leur plancton sont fort voisines, aussi pouvons nous étudier ces points de vue simultanément dans tous les lacs. La chimie de leurs eaux maintient certains points communs mais aussi de profondes différences qui nous force à considérer chaque lac en particulier.

Les conclusions de notre travail nous permettront de comparer utilement ces lacs artificiels aux lacs naturels du Katanga étudiés par d'autres chercheurs. Nous pourrions également mieux définir les multiples influences que le développement de la végétation exerce sur la biologie de ces retenues, particulièrement à Mwadingusha où cet envahissement pose les problèmes les plus urgents. Nous présenterons enfin quelques arguments susceptibles de fournir des renseignements sur les possibilités de production des lacs placés sous notre contrôle.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES LACS DE RETENUE ÉTUDIÉS, COMPARAISON AVEC LE LAC UPEMBA

1. — CARACTÉRISTIQUES DES LACS ARTIFICIELS DU HAUT KATANGA

Les travaux de la mission hydrologique FULREAC ont porté sur trois retenues créées artificiellement par le barrage de la Lufira aux chutes Cornet d'abord (lac de retenue de la Lufira), à hauteur des rapides de Koni ensuite (lac de Koni) et du Lualaba en amont des gorges de N'Zilo (lac Delcommune). Le Tableau I fournit à leur propos quelques données historiques et morphométriques ainsi que leurs principales caractéristiques hydrauliques.

TABLEAU I

Caractéristiques diverses des lacs artificiels

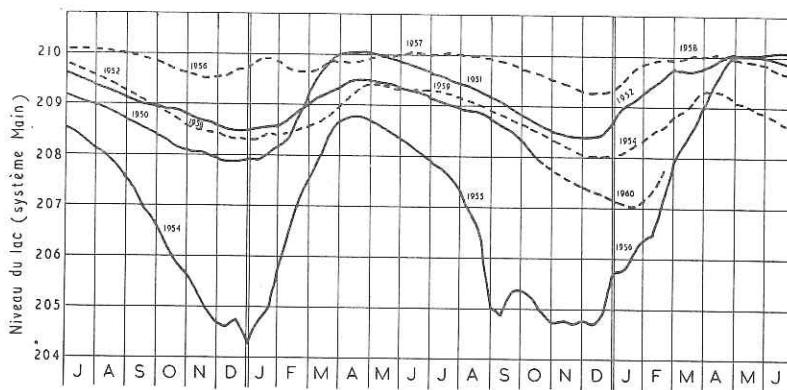
	Retenue de la Lufira (l. de Mwadingusha)	Réservoir de Koni (l. de Koni)	Retenue du Lualaba (l. Delcommune ou de N'Zilo I)
<i>Position géographique</i>	27° long. E., 11° lat. S. — 1.100 m.	27,15° long. E., 10,45 lat. S. — 985 m.	25,30° long. E., 10,30° lat. S. — 1.200 m.
<i>Mise sous eau</i>	1930 le barrage actuel résulte de plusieurs rehaussements successifs.	1949	1952 achevée pour la première fois en 1956
<i>Forme du lac</i>	parallélogramme dont la diagonale est longue de 25 km.	forme d'un T dont la branche verticale correspond à	étirée et sinueuse, s'ouvrant dans son second tiers dans

	Retenue de la Lufira (l. de Mwadingusha)	Réservoir de Koni (l. de Koni)	Retenue du Lualaba (l. Delcommune ou de N'Zilo I)
	prolongé par un chenal étroit et méandreux	l'ancien lit encaissé de la Lufira	la baie de Kazembe, prolongée par la baie de Kando dans sa partie amont
	rives basses, densé- ment et largement colonisées par une végétation semi- aquatique	très encaissé, berges accotes, végétaux, surtout issus de l'amont, dans le lit de la Lufira.	rives basses dans ces baies, colonisées par une végétation semi-aquatique, peu dense
<i>Mode d'alimentation</i>	Lufira	eaux de la Lufira turbinées à la cen- trale de Mwadin- gusha. déversement éven- tuel des eaux du lac de Mwadingusha	Lualaba
	apports faibles et temporaires de pe- tits affluents dont la plupart filtrent au travers de maré- cages	apports faibles et temporaires de pe- tits affluents	apports réguliers mais faibles de la Kando, faibles et temporaires de pe- tits affluents
<i>Superficie</i> (au niveau maximum)	410 km ²	4,5 km ²	217 km ²
<i>Volume</i> (au niveau maximum)	1.063.10 ⁶ m ³	16.10 ⁶ m ³	1.773.10 ⁶ m ³
<i>Profondeur maximum</i>	14 m	16,5 m	55 m
<i>Profondeur moyenne</i>	2,6 m	env. 4 m	8,3 m
<i>Position de la prise d'eau</i>	colonne d'eau com- prise entre la sur- face et la cote 203, 7 m. en dessous du niveau maximum	colonne d'eau dont le seuil est situé 3,5 m. en dessous du niveau maxi- mum	pertuis de 6 m. de diamètre, situés en profondeur entre les cotes 1.226 et 1.220 m., 20 m en dessous du niveau maximum
<i>Variations du niveau du plan d'eau</i>	très étendues d'une année à l'autre	pratiquement nul- les	très étendues d'une année à l'autre

Ces renseignements démontrent que les trois lacs étudiés sont assez dissemblables. Le lac de Koni, d'abord, est le seul dont le plan d'eau reste pratiquement constant. Le lac de Mwadingusha a déjà été décrit soigneusement dans le rapport déjà cité. Nous ne nous y attarderons que pour insister, une nouvelle fois, sur les caractères que lui confère la forme particulière de son bassin. La région aujourd'hui inondée s'étend sur une ancienne plaine alluviale morcelée par de multiples méandres séparés les uns des autres par de nombreux marécages (BETTE, 1931). Cette situation a pour conséquence : 1° un morcellement du fond de la cuvette en petits bassins *plus ou moins autonomes* ; 2° une extension considérable de la zone littorale aux dépens des régions typiquement pélagiques ; 3° la suppression de toute solution de continuité entre le plan d'eau et les nombreux marais qui bordent actuellement la majeure partie de la retenue. C'est à partir de ces larges bandes littorales, rapidement exondées, que se multiplie la végétation palustre. D'abord fixées à un substrat terrestre, ces plantes peuvent se dégager du sol et, en flottant, envahir ensuite une partie importante de la superficie du lac. L'amplitude et l'irrégularité des variations du plan d'eau apparente le lac Delcommune à la retenue de la Lufira. Les problèmes posés par la végétation y sont cependant moins importants. En effet, sauf à Kando et à Kazembe, les berges y sont abruptes et plus rocheuses, en un mot, peu favorables à la colonisation végétale. Il faut toutefois attirer l'attention sur le caractère juvénile de ce lac. Mis sous eau en 1952, ce n'est qu'en 1956 qu'il a été comblé pour la première fois.

2. — RAPPORTS ENTRE LE NIVEAU DES LACS DE RETENUE, LE DÉBIT DE LEUR AFFLUENT PRINCIPAL ET LA PLUVIOSITÉ

Les différences principales entre les lacs naturels et les retenues hydro-électriques résident dans leur régime hydraulique. Dans certains cas, les centrales fournissent uniquement de l'électricité de pointe et fonctionnent donc assez irrégulièrement. Cette irrégularité se marque par des variations très brutales du niveau du plan d'eau dont la fréquence est absolument arbitraire. Dans le Haut Katanga, au contraire, la production de « houille blanche » est continue et assez semblable d'année en année. Comme le montre la fig. 1 qui réunit les observations journalières du niveau du lac de Mwadingusha des dix dernières années, les variations du plan d'eau ont un caractère très continu.



Caractéristiques des saisons des pluies : (écart par rapport à une saison normale de 1180 mm)

1951-52 : 1333.57 mm (+153.57 mm)	1955-56 : 1429.85 mm (+249.8 mm)
1952-53 : 992.30 mm (-187.7 mm)	1956-57 : 1296.85 mm (+116.85 mm)
1953-54 : 1005.60 mm (-174.4 mm)	1957-58 : 969.30 mm (-210.70 mm)
1954-55 : 1070.47 mm (-109.53 mm)	1958-59 : 1130.2 mm (-49.80 mm)

Fig. 1. — Variations du niveau du lac de Mwadingusha

L'examen de la fig. 1 permet de dégager en outre les conclusions suivantes :

1. — Le niveau de la retenue varie considérablement d'une année à l'autre : ainsi en 1954-55 et 1955-56 les différences entre le plein et l'étiage ont été respectivement de 4,51 et 5,35 m., en 1956-57, de 0,53 m. seulement soit près de dix fois moins. De telles variations s'expliquent avant tout par l'abondance ou la pauvreté de la saison des pluies correspondante (voir les cotes udométriques figurant au bas de la fig. 1).

2. — L'allure des différentes courbes démontre l'existence d'une périodicité assez régulière. Le début de la crue survient généralement fin décembre. Il peut être précoce comme en novembre 1956 ou tardif comme en janvier 1960. La crue se prolonge généralement jusqu'à la fin avril, parfois en mars (1954), parfois en mai (1957). La décrue est généralement précédée d'une période d'étales dont la durée est toutefois très variable d'une année à l'autre. Cette période transitoire s'étend sur un mois (avril 1951, mars-avril 1958), deux mois (mai à juin 1953), trois mois (juin à août 1957), parfois même quatre mois (mai à août 1956).

Comme le montre également la fig. 1, il est certaines années où il disparaît de sorte que la décrue succède sans transition à la crue (1954, 1955, 1959). Par ailleurs, lorsque les apports d'eau sont supérieurs à la capacité du lac, le surplus d'eau est éliminé par les vannes de crue. Les

périodes où ces vannes sont ouvertes sont également fort irrégulières. Ainsi, en 1956, 348,921 millions de m³ furent éliminés entre avril et août ; en 1957, 1.395,275 millions de m³ de janvier à juin ; en 1958, 157 millions de janvier à mars.

On retrouve ces mêmes caractéristiques au lac de N'Zilo comme le montre la fig. 2. Sur cette même figure ont été représentées également les valeurs moyennes de la pluviosité sur le lac (en mm.) ainsi que les débits moyens mensuels du Lualaba mesurés à la station de jaugeage de la Kasipa (¹). Nous avons choisi le lac Delcommune à titre d'exemple mais

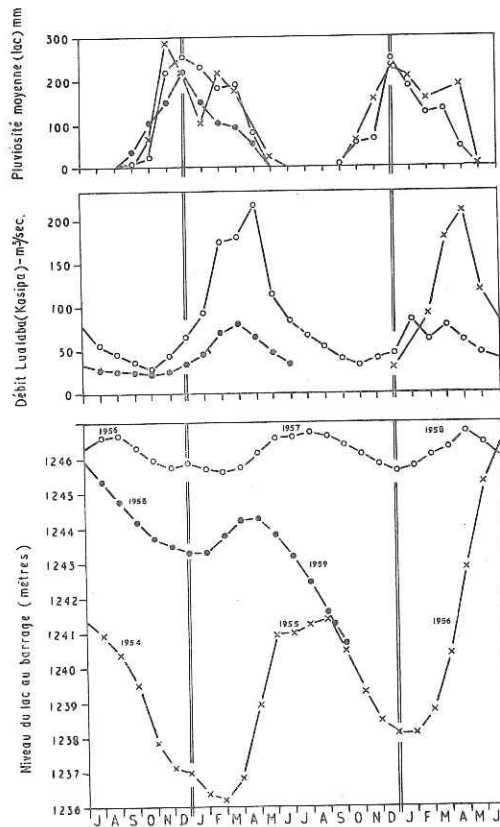


Fig. 2. — Rapports existant entre la pluviosité, le débit du Lualaba et le niveau du lac de N'Zilo I.

(¹) Ces documents nous ont été aimablement communiqués par M. P. VAN CAUWENBERGHE, Directeur des Services d'Afrique de la Société générale des Forces hydro-électriques du Katanga (SOGEFOR). Nous l'en remercions très sincèrement.

il est certain que les conclusions suivantes s'appliquent également au lac de retenue de la Lufira.

Les rapports entre pluviosité, débit et niveau sont les suivants :

a. — Les pluies qui surviennent en septembre (vers la mi-octobre au lac de Mwadingusha) ont un caractère local. La capacité d'imbibition des terres est la plus forte à cette époque et l'évaporation atmosphérique reste voisine de son maximum. L'action conjuguée de ces deux facteurs empêche le ruissellement de ces eaux de pluie. La rivière et le lac poursuivent donc leur décrue.

b. — Décembre, janvier et février sont les mois les plus pluvieux. Le ruissellement, maintenant rendu possible, accroît le débit de la rivière. Le maximum de la crue se localise en mars alors que l'intensité des pluies devient moins forte. Malgré l'apport des pluies directes, malgré l'augmentation du débit de la rivière, le lac poursuit sa décrue jusqu'en décembre, son niveau ne commencera à s'élever qu'en janvier.

c. — Le débit de la rivière diminue rapidement dès que, vers la mi-avril, apparaît la saison sèche. Le lac, nous l'avons vu, peut suivre directement ce mouvement, surtout lorsque la cote udométrique de la saison accuse un net déficit. Généralement le niveau des retenues reste stationnaire. Mais la durée de cet étale est très variable. Les lacs peuvent ainsi présenter une phase de hautes eaux qui empiète largement sur la saison sèche.

D'après VAN MEEL (1953), le régime du lac Upemba est le suivant : le niveau est minimum en décembre et maximum en mai. Par contre, l'étiage du Lualaba (mesuré à Bukama) se situe fin août et le maximum de la crue apparaît en mars. Le niveau du lac Upemba montre donc un décalage qui affecte aussi bien le moment de la crue que celui de la décrue. L'écart à la crue est du même ordre de grandeur que celui observé dans les lacs artificiels. Celui de la décrue est, par contre, moins comparable. La durée de l'étale des lacs artificiels est, nous l'avons vu, comprise entre deux cas extrêmes : ou elle est nulle ou artificiellement longue. Néanmoins, les cas intermédiaires se rapprochent des écarts mesurés dans le lac Upemba.

3. — CONCLUSIONS

La succession des périodes de crue et d'étiage des lacs artificiels de Mwadingusha et de N'Zilo ne diffère pas fondamentalement de celle

mise en évidence dans le lac Upemba, lac naturel du Bas-Katanga. Cette situation est favorisée par la régularité du fonctionnement des centrales hydrauliques qui assurent une production d'électricité très comparable d'une année à l'autre. D'une façon très générale, la reconstitution de la réserve ne dépend que de la cote udométrique de la saison des pluies. Il en résulte que les variations successives du niveau ont une amplitude beaucoup plus variable que dans les lacs naturels. D'autre part, selon l'abondance des pluies, la durée de l'étale séparant la crue de la décrue est aussi fort variable ; elle peut être artificiellement allongée et s'étendre anormalement en saison sèche lorsque la saison des pluies est abondante, elle peut aussi disparaître lorsque la saison est nettement déficitaire.

CHAPITRE II

LES VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU

1. — LE CYCLE THERMIQUE DES EAUX DE SURFACE

Les relevés hebdomadaires de la température, entrepris au lac de Mwadingusha dès janvier 1958, nous permettent de donner, dans la fig. 3, les variations mensuelles de la température moyenne de l'eau. On les comparera utilement à celles de l'air atmosphérique, enregistrées à la station météorologique de Mwadingusha.

On voit que :

a. — Les variations de la température des eaux de surface sont identiques à celle de l'air ambiant. La température moyenne de l'eau tend à se rapprocher de la température moyenne de l'atmosphère.

b. — Cette corrélation permet de scinder le cycle thermique annuel des eaux en trois phases bien distinctes :

1. — Une période de réchauffement : elle débute en août, dans la seconde moitié de la saison sèche, couvre les mois de septembre et d'octobre, mois faisant la transition entre les deux types de saisons, et s'achève dans le courant de novembre, au moment où les pluies deviennent plus abondantes. Cette période correspond au réchauffement de l'atmosphère. Le réchauffement de l'eau est cependant plus lent que celui de l'air. Les maximums sont atteints à deux mois de distance comme le montrent bien les graphiques.

Ce décalage est l'expression d'un phénomène classique résultant des différences de chaleur spécifique de l'air et de l'eau. Jusqu'en octobre l'eau, à cette époque, est toujours plus froide que l'air.

2. — Une période de constance relative fait directement suite à la précédente. Elle couvre toute la saison des pluies et se termine en avril. L'eau est en moyenne à 25-26° C et de 1 à 3° C plus chaude que l'air.

Le refroidissement temporaire des eaux de surface, effet des pluies (voir plus loin) est absorbé par la masse des eaux. Par ailleurs, la température nocturne de l'air, relativement constante et élevée, limite l'amplitude des écarts journaliers (voir fig. 3). L'évaporation est également beaucoup plus faible et les vents moins violents qu'en saison sèche. Ces conditions atmosphériques compensent les effets de la pluie et s'opposent ainsi à de fortes variations de la température de l'eau.

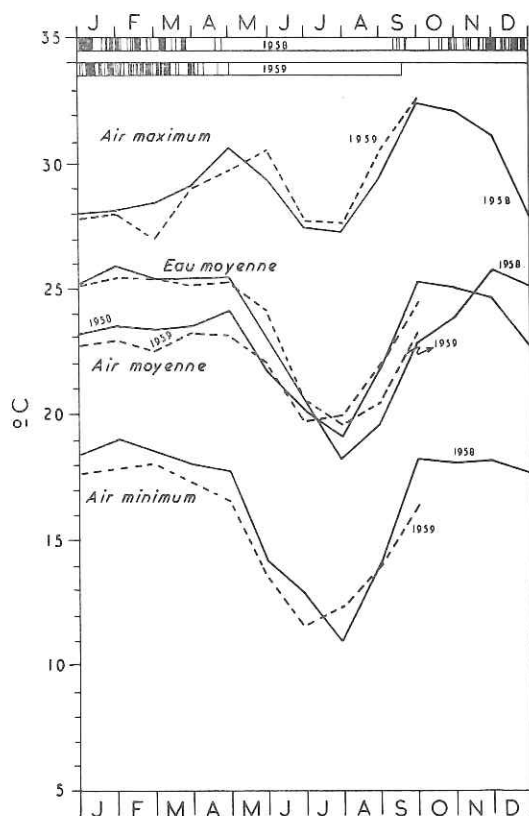


Fig. 3. — Relations entre la température moyenne des eaux de surface et les différentes moyennes de la température atmosphérique (observations faites généralement à 08 heures).

3. — une période de refroidissement, comprise entre avril et juillet, couvre la première partie de la saison sèche et coïncide avec le refroidissement de l'atmosphère. L'eau reste plus chaude que l'air jusqu'au mois de juin. En juillet la température moyenne de l'air rattrape en quelque sorte celle de l'eau avant de la dépasser en octobre.

Les maxima absolus de la température des eaux de surface mesurés à huit heures au dessus de la région la plus profonde du lac ont été de 26,8° C le 18 janvier 1958 ; de 26,0° C le 23 janvier 1959. Les minima absolus enregistrés à la même heure ont été de 17,8° C le 26 juillet 1958, de 19,3° C le 25 juillet 1959. L'écart entre ces extrêmes a été de 9° C en 1958, de 6,7° C en 1959.

Sur la foi de multiples observations, nous pouvons affirmer que les minima mesurés pendant la période du refroidissement des eaux ne provoquent pas l'arrêt total de la ponte des poissons Cichlidae (GOORTS, MAGIS et WILMET, 1961).

Les résultats des mesures thermiques faites dans les différentes régions du lac de la Lufira sont présentés dans le Tableau II. Il faut faire à leur sujet les commentaires suivants.

a. — La Lufira apporte au lac des eaux systématiquement plus froides dépassant rarement 25° C aux périodes les plus chaudes de l'année (novembre 1957 p. ex) s'abaissant à 16° C aux époques de refroidissement (juin 1959 p. ex.). Les phases de réchauffement et de refroidissement des eaux s'y manifestent aux mêmes dates que dans l'extrémité aval de la retenue. Toutefois, en saison des pluies, la température des eaux de la Lufira est plus variable que celle du lac. Cette différence peut s'expliquer par la variabilité du débit de la rivière. Il suffit, en effet, de quelques jours sans précipitations pour que le débit diminue et que les eaux se réchauffent temporairement.

b. — Sur la rive orientale du lac, dans la région de Mulandi largement colonisée par la végétation et sur la rive opposée, dans l'ancien Shangalele, petit espace d'eau libre ceinturé de typhaies, les relevés mensuels de la température de l'eau montrent un cycle très comparable à celui décrit plus haut dans la région du lac la plus profonde. La Tableau II fait cependant apparaître les différences suivantes :

1. — devant Mulandi, les eaux sont systématiquement plus froides que partout ailleurs ;
2. — dans le Shangalele, elles sont au contraire plus chaudes que dans les deux autres secteurs étudiés.

Les causes de cette hétérogénéité thermique sont difficiles à trouver. Il faut évidemment tenir compte des heures auxquelles les mesures ont été faites mais l'importance des différences dépassent cette cause d'erreur. Ainsi que nous l'avons dit précédemment, Mulandi et Shangalele appartiennent à ces bassins plus ou moins autonomes qui morcellent l'ensemble

TABLEAU II

Variations annuelles de la température des eaux des différentes régions de la retenue de la Lufira (eaux de surface)

Heures	Lufira (au pont-route) 09-10 h.	Mulandi (rive Est) 09,30-10 h.	Shangalele (rive Ouest) 09-10 h.	Mwadingusha (exutoire) 08 h.
1957				
juil.			20,5	20,2
août			20,5	23,0
sept.			23,1	23,5
oct.	23,6		26,2	24,2
nov.	25,1		26,9	25,5
déc.	23,0		26,6	25,2
1958				
janv.	22,7	24,7	26,6	25,9
févr.	22,7		25,5	25,4
mars		24,2	26,1	25,4
avr.		23,4	25,8	25,45
mai		21,6	24,7	23,0
juin		17,2	19,3	20,5
juil.		16,0	19,1	18,15
août		17,0	19,2	19,5
sept.		22,1	23,9	22,8
oct.		22,9	24,8	23,8
nov.		24,1	26,3	25,75
déc.	22,3	22,5	25,2	25,1
1959				
janv.	24,2	23,0	26,4	25,35
févr.	21,6	22,4	25,2	25,4
mars	22,2	23,9	26,9	25,2
avril	21,0	23,9	24,5	25,25
mai	19,5	21,9	23,9	24,5
juin	16,0	19,0	20,0	20,5
juil.	17,5	19,2	22,0	19,55
août	18,6	19,8	19,7	20,45
sept.	20,5	20,8	21,3	23,2

de la retenue. Il est possible que cette indépendance se traduise dans la thermique des eaux de ces cuvettes isolées du courant de la Lufira.

La fig. 4 illustre les variations de la température des eaux à Koni et à N'Zilo I. En limitant momentanément notre analyse aux eaux de surface, on peut conclure que le cycle thermique décrit à Mwadingusha (p. 14) doit être étendu aux deux autres lacs.

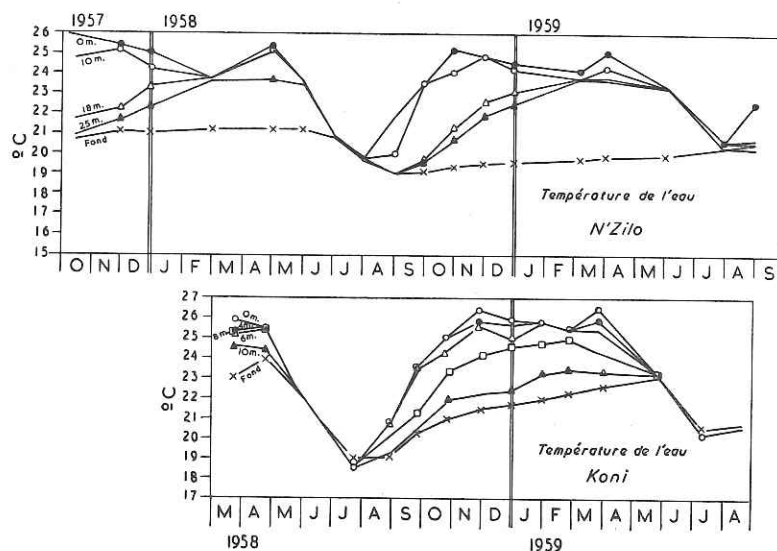


Fig. 4. — Variations saisonnières de la température de différentes couches d'eau à Koni et à N'Zilo I.

A Koni, les eaux de surface sont légèrement mais significativement plus chaudes qu'à Mwadingusha, tout au moins si l'on compare les observations faites aux dessus des régions les plus profondes de ces deux lacs. L'explication de ce fait doit être recherchée parmi les facteurs locaux tels l'altitude plus basse du plan d'eau, la situation encaissée de la cuvette entourée de collines formant écran à l'action des vents, la forme de la cuvette en moyenne plus profonde et la faible surface du lac qui limite les pertes de calories par évaporation.

A N'Zilo, la température des eaux de surface est, en saison des pluies, plus variable qu'à Mwadingusha. On constate un refroidissement significatif des eaux au début de cette saison jusqu'en février-mars ($1,7^{\circ}\text{C}$ en 1958 ; $0,9^{\circ}\text{C}$ en 1959) suivi d'un réchauffement sensible en avril, à la fin

de la période pluvieuse. Le refroidissement n'est pas en rapport avec une diminution parallèle de la température atmosphérique ⁽¹⁾.

En se référant au graphique des pluies (fig. 2), on remarque que cette diminution de la température apparaît à l'époque où les pluies sont les plus abondantes. L'influence des précipitations sur la thermique des lacs sera précisée plus loin.

Les études récentes de VERBEKE (1957) aux lacs Kivu, Édouard et Albert, les travaux de VAN MEEL au lac Upemba (1953) et ceux de DUBOIS dans la baie Nord du lac Tanganika (1957) montrent que le cycle des variations thermiques des eaux se divise également en trois périodes, très semblables à celles qui viennent d'être décrites. Artificiels, les lacs du Haut Katanga n'en sont donc pas moins comparables à des lacs naturels.

2. — LES VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA TEMPÉRATURE DANS LA MASSE DES EAUX

Tant à Koni qu'à N'Zilo I, la période de refroidissement comme le montre la fig. 4, tend à uniformiser la température de tout le volume d'eau. Cet état est acquis d'autant plus vite que la profondeur du lac est plus faible. Ainsi, à Koni, le thermomètre n'enregistre plus de différences importantes dès la fin mars. Le refroidissement n'y est cependant pas achevé ; toutefois, à partir de cette date, tout le volume d'eau y participe d'égale façon. En d'autres termes, le lac entre dans une phase que les limnologues appellent de circulation totale. (voir fig. 5).

Elle durera jusqu'en fin juillet-début août. En novembre, à la fin du réchauffement (voir p. 14), les couches ont une température fort différente. A Koni, les eaux de surface sont séparées de celles du fond par une différence de 4,9° C. A N'Zilo, nous avons mesuré une différence de 4,3° C en 1958, de 5,3° C en 1959.

⁽¹⁾ Pendant la saison des pluies, les valeurs de la température moyenne de l'air $\left(\frac{M + m}{2}\right)$ °C sont les suivantes à Kolwezi (alt. 1.500 m.).

	oct.	nov.	déc.	janv.	févr.	mars	avr.
1957-58	21,7	23,45	20,4	20,35	20,45	20,8	20,9
1958-59	21,2	21,0	20,5	20,6	20,45	20,55	20,4

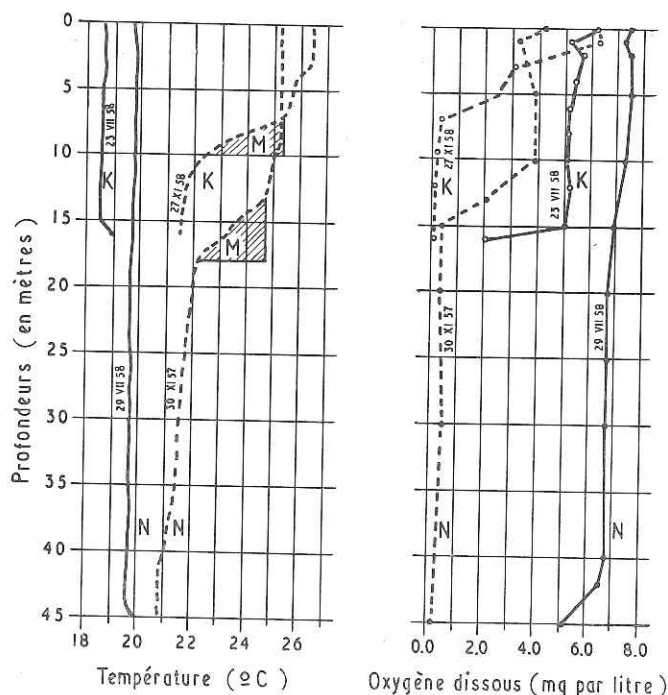


Fig. 5. — Répartition verticale des températures et de l'oxygène dissous en période de circulation totale (traits pleins) et au moment de la stratification (traits interrompus). K (Koni) N (N'Zilo).

La fig. 5 illustre la répartition verticale des températures enregistrées en novembre à Koni et à N'Zilo I. Ces deux courbes montrent l'existence de deux zones ou strates : l'une superficielle et l'autre profonde. La température y varie relativement peu comparativement à celle de la zone marquée « M » qui les sépare. Cette division des eaux basée sur leurs caractères thermiques est très générale, elle a conduit les limnologues à distinguer ainsi l'*épilimnion* réunissant les couches les plus superficielles, l'*hypolimnion* groupant les couches profondes tandis que la zone intermédiaire qui les sépare, celle où la température décroît le plus rapidement a été appelée *thermocline* ou *métalimion*.

L'importance de la stratification des eaux apparaît plus nettement encore si l'on compare, parallèlement à leur température, la teneur en oxygène dissous (mg par litre, fig. 5). Au moment de la circulation totale de juillet, tout le volume d'eau (à l'exception de la boue qui tapisse le fond) est bien aéré et les quantités d'oxygène dosées aux différentes profondeurs sont voisines les unes des autres. Il n'en n'est plus de même

en novembre : les concentrations en oxygène sont, cette fois, très différentes selon le niveau auquel elles sont mesurées. L'examen des courbes montre également une division tripartite du volume d'eau. L'épilimion est relativement riche en oxygène, l'hypolimnion est pratiquement désoxygéné. Entre les deux, on met en évidence une région où le taux d'oxygène dissous varie brutalement. Cette zone, comparable au thermocline, est le *chémocline* des limnologues. Remarquons, dès à présent, que la zone dépourvue d'oxygène coïncide avec l'hypolimnion.

A Koni comme à N'Zilo, la stratification décelable à la fin de la période du réchauffement des eaux, se maintient pendant toute la période où les eaux de surface ont une température relativement constante, c'est-à-dire pratiquement de novembre à avril (Koni) ou juin (N'Zilo).

En considérant l'évolution thermique dans toute la colonne d'eau, on voit que la période de refroidissement des eaux (début saison sèche) tend donc à rompre d'abord la stratification, elle entraîne ensuite une homogénéisation thermique des eaux. La période de réchauffement (fin saison sèche — début des pluies généralisées) stratifie les eaux en trois régions qui deviennent thermiquement et chimiquement distinctes. Cette stratification persiste durant toute la saison des pluies, époque où la température des eaux de surface reste relativement constante.

Ces conclusions, mises en évidence par l'étude de la thermique des lacs de Koni et de N'Zilo I, sont-elles également applicables à Mwadingusha, retenue dont la profondeur moyenne est beaucoup plus faible?

Les résultats fournis par les multiples observations hebdomadaires nous amènent à la conclusion qu'une légère stratification peut y être mise en évidence durant la phase du réchauffement des eaux.

Mais la différence de température entre surface et fond demeure assez faible. Un simple refroidissement de la température ambiante, un coup de vent suffit à la réduire.

Si comme à Koni et N'Zilo I, la circulation est totale en début de saison sèche, elle se produit aussi très fréquemment en période pluvieuse. Il n'y a donc, dans le lac de Mwadingusha, aucune période de stratification durable.

L'évolution de la température journalière des eaux couvrant la partie la plus profonde du lac a été suivie aux différentes saisons. Ces observations prouvent que, pendant la période de refroidissement, tout le volume d'eau subit l'influence immédiate des conditions extérieures. Aux autres périodes, les quatre à six premiers mètres d'eau sont directement influencés par les facteurs thermiques de l'atmosphère (refroidissement nocturne, vent, pluie, évaporation). Toute l'année, la

hauteur de la colonne d'eau remuée quotidiennement dépasse donc largement la profondeur moyenne de la retenue. Ainsi s'explique aisément la fréquence des périodes où les eaux du lac sont brassées entièrement, conclusion parfaitement confirmée par les observations faites à Mulandi et dans le Shangalele où la profondeur est encore plus faible.

3. — INFLUENCE DES PLUIES SUR L'ÉTAT THERMIQUE DES EAUX

Reportons-nous à la fig. 4. Nous constatons, dans le courant de février, que les eaux du lac de N'Zilo ont une température pratiquement uniforme sur 25 mètres d'épaisseur. Comme le montrent les courbes, cette uniformisation résulte d'une double modification de la température : un refroidissement des couches de 0 et 10 mètres d'abord, un réchauffement des eaux des niveaux 18 et 25 mètres ensuite. Il se produit, à cette époque, un transport de calories de la surface vers les profondeurs donc *un brassage*. La stratification subsiste dans les gorges et les régions immédiatement voisines où la profondeur est supérieure à 25 mètres. Partout ailleurs, comme le prouvent les relevés de température que nous y avons faits, le brassage n'est plus partiel mais total et toute stratification disparaît. En d'autres termes, lorsque nous parlons d'une stratification durable au lac de N'Zilo cette conclusion vaut pour la partie terminale du lac, partout ailleurs les eaux sont brassées entièrement pendant la saison des pluies. Cette dernière conclusion démontre que *le comportement thermique saisonnier de la retenue de N'Zilo n'est, somme toute, pas très différent de celui décrit à Mwadingusha*.

Quelles sont, à présent, les causes responsables de ces brassages? Ce ne peut être uniquement la température de l'air qui, nous l'avons vu p. 19, ne se modifie guère pendant la saison des pluies. Ce ne peut être le vent dont l'action est surtout marquée en saison sèche. Ce ne peut être le mode d'exploitation qui, comme nous avons pu nous en assurer, ne joue pas un rôle important, en tout cas inférieur à la limite de précision de nos instruments ($1/20^{\text{e}} \text{ C} !$). Ces différents facteurs ne fournissent donc pas l'explication valable des phénomènes. Reste alors à se pencher sur l'élément le plus caractéristique de la saison : les pluies.

Le Tableau III (p. 24) expose les résultats de diverses mesures de température relevées après la chute d'une pluie à N'Zilo et à Mwadingusha.

A N'Zilo, dans la nuit du 02 au 03 septembre 1958, un orage violent s'est abattu sur le lac, 6 mm d'eau ont été recueillis par le pluviomètre de la SOGEFOR, installé aux abords des gorges. La comparaison des

températures mesurées à ces dates montre un refroidissement significatif des douze premiers mètres d'eau, un léger réchauffement des couches comprises entre 13 et 20 mètres. Sous cette profondeur la température des eaux ne s'est pas modifiée.

A Mwadingusha, la journée du 09 décembre 1957 a été marquée par la chute d'une pluie violente entre 14 et 16,30 heures. La comparaison des températures mesurées à 12 et 16,30 heures nous montre également un refroidissement brutal des couches les plus superficielles (ici le premier mètre d'eau) sans modification de l'état thermique des eaux profondes.

Les précipitations atmosphériques, en se mélangeant aux eaux du lac, provoquent le refroidissement des couches superficielles. Ces eaux plus froides ont une plus forte densité, elles coulent donc vers la profondeur jusqu'au moment où elles rencontrent une couche de même densité. Ces courants verticaux (courants de convection) assurent un transport de calories de la surface vers la profondeur (voir plus haut), ils augmentent progressivement le volume de l'épilimnion et repoussent la zone du saut thermique vers la profondeur. On comprend dès lors que le thermocline puisse disparaître lorsque la profondeur du lac n'est plus suffisante.

La régularité et le nombre de nos observations nous amènent à nuancer l'opinion habituellement émise selon laquelle la stabilité thermique des eaux est favorisée par la saison des pluies tandis que les mois les plus froids de la saison sèche entraînent la circulation totale des eaux. En effet des trois lacs étudiés, seul le lac de Koni montre une stratification permanente pendant toute la période pluvieuse. Cette situation est sans doute favorisée par le profil de la cuvette du lac ; nos observations ne permettent pas d'en donner une explication plus complète. Partout ailleurs, la plus grande partie des retenues est brassées non seulement en saison sèche mais également en saison des pluies.

4. — CONCLUSIONS

a. — Les variations saisonnières de la température des eaux ne correspondent pas à l'alternance des périodes sèches et pluvieuses mais sont superposables aux modifications de la température moyenne de l'atmosphère.

Le cycle annuel de la température peut être scindé en trois phases successives :

1. — une phase de refroidissement et de circulation totale correspondant au début de la saison sèche (avril-mai à juin-juillet).

TABLEAU III

Influence des précipitations sur les températures (°C).

Profondeurs	LAC DE N'ZILO		LAC DE MWADINGUSHA		
	02.IX.58	03.IX.58	09.XII.57		
	08 heures	08 heures	06 heures	12 heures	16,30 heures
0	21,9	21,4	25,0	25,8	25,2
1	21,9	21,4	25,0	26,65	25,2
2	21,9	21,2	25,0	25,2	25,2
3	21,9	21,05	25,0	25,0	25,1
4	21,4	21,0	24,95	25,0	25,0
5	21,2	21,0	24,95	25,0	24,95
6	21,0	20,95	24,90	24,95	24,95
7	20,75	20,7	24,85	24,95	24,95
8	20,65	20,55	24,90	24,90	24,95
9	20,3	20,2	24,90	24,95	24,95
10	20,0	19,65	24,80	24,85	24,80
11	19,7	19,35			
12	19,45	19,25			
13	19,15	19,20			
14	19,10	19,15			
15	19,05	19,05			
16	19,0	19,05			
20	19,0	19,05			
25	19,0	19,0			
30	19,0	19,0			
35	19,0	19,0			
40	19,0	19,0			
41 (fond)	19,0	19,0			

Selon les années la diminution de la température est comprise entre 5 et 10° C.

2. — une phase de réchauffement correspondant à la fin de la saison sèche (août-octobre) et au début de la saison des pluies (novembre). Les eaux atteignent à cette époque leur température la plus élevée, comprise entre 25 et 26° C. Ce réchauffement s'accompagne d'une stratification thermique et chimique plus ou moins nette.

3. — une phase de constance thermique relative marque la fin de saison des pluies. A cette époque le lac de Koni reste stratifié de façon permanente. A Mwadingusha et à N'Zilo les pluies engendrent au contraire des brassages plus ou moins étendus.

b. — Ce cycle thermique est tout à fait comparable à celui qui a été mis en évidence dans différents lacs africains. Les lacs du Haut Katanga, bien qu'artificiels, peuvent donc être rapprochés de ces lacs naturels.

c. — La stratification thermique existe mais a toujours un caractère très précaire. L'existence permanente d'une zone de saut thermique à Koni n'empêche cependant pas un réchauffement considérable des eaux du fond. Ceci prouve que le thermocline qui se développe dans ces lacs subtropicaux n'est pas une barrière absolument infranchissable comme c'est généralement le cas dans les lacs des régions tempérées.

CHAPITRE III

LE PLANCTON DES LACS ARTIFICIELS

1. — COMPOSITION QUALITATIVE

A. — Le plancton animal

L'analyse qualitative des nombreuses récoltes effectuées dans les lacs étudiés et principalement dans la retenue de Mwadingusha a été grandement facilitée par l'aide que divers spécialistes nous ont apportée (1). Nous ne publierons pas ici la liste des espèces mais nous commenterons plutôt quelques faits qui, montreront l'influence que le développement exagéré des plantes palustres exercent sur les organismes qui constituent la nourriture la plus riche pour les poissons qui la consomment.

Parmi les représentants du plancton animal, le groupe des Rotifères est le plus diversifié. Il comprend quarante six espèces différentes. Les Crustacés réunissent neuf espèces de Cladocères et huit Copépodes. Sur la seule base de la composition qualitative des pêche planctoniques, il n'y a pas lieu de faire de grandes différences entre les lacs artificiels de la Lufira et celui du Lualaba.

Les animaux du plancton ne se rencontrent pas indistinctement dans toutes les régions du lac. Nous sommes amenés à distinguer très nettement les espèces qui vivent dans les régions littorales peu profondes (70 % de la superficie totale du lac de Mwadingusha), abondamment colonisées par la végétation et celles vivant dans les zones pélagiques plus profondes et généralement découvertes. Les Rotifères peuplant le lac de Mwadingusha montrent très clairement cette distinction. Ainsi, parmi les quarante six espèces reconnues, vingt deux ont été trouvées exclusivement dans les régions littorales et cinq autres s'y rencontrent le plus

(1) Nous remercions très vivement MM. P. DE BEAUCHAMP (Paris), V. BREM (Lunz) et H. HERBST (Krefeld) qui se sont respectivement chargés de la détermination des Rotifères, Cladocères et Copépodes de nos récoltes.

fréquemment. Il en est de même pour une espèce de Cladocère qui se cantonne dans cette seule région.

EVENS (1949) a étudié les Rotifères du plancton récolté au lac Moëro par la mission STAPPERS. La liste qu'il présente mentionne cinquante espèces. La majorité d'entre elles se retrouvent dans nos captures. Ceci nous permet d'affirmer que les lacs artificiels étudiés s'apparentent étroitement aux lacs naturels de la région, non seulement par leurs caractéristiques thermiques mais aussi par la composition de leur plancton.

B. — Le plancton végétal

La composition qualitative de la flore des algues planctoniques montre une plus grande diversité selon l'habitat. Ainsi, les eaux de la Lufira abritent une flore généralement peu abondante et quelques spécimens d'animaux planctoniques. Tandis que tous les animaux sont ceux rencontrés dans les eaux pélagiques de la retenue, les algues, au contraire, réunissent une série de Diatomées particulières qui ne sont pas réellement planctoniques (*Cymbella*, *Epithemia* p. ex.).

Les régions littorales possèdent une flore riche et variée de Cyanophycées et de Desmidiées qu'accompagnent également quelques Diatomées particulières. De plus, l'abondance des débris végétaux donne asile à une flore spéciale sur laquelle l'attention a déjà été attirée (DAMAS, MAGIS et NASSOGNE, 1959). Elle réunit principalement de nombreuses Cyanophycées du groupe des Oscillatoriées, des Bactéries et divers Protozoaires.

Quant au milieu pélagique, il est habité par des Cyanophycées (principalement du genre *Microcystis*) et des Diatomées (surtout des genres *Synedra* et *Melosira*). Les échantillons contiennent en outre d'autres types d'algues (Dinoflagellates, Euglènes (*Phacus*), Desmidiées (*Cosmarium*, *Strauastrum*), Protococcales (*Crucigenia*, *Kirchneriella*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*). Ceux-ci ne développent jamais de populations très riches en individus, ils constituent une sorte de flore d'accompagnement dispersée au milieu des Diatomées ou des Cyanophycées.

Les Diatomées et les Cyanophycées pélagiques montrent, dans la région du Shangalele, des variations cycliques qui peuvent être mises en rapport avec les saisons. Les récoltes de la saison sèche renferment une proportion toujours plus élevée de Diatomées tandis que les Cyanophycées sont plus nombreuses en saison des pluies. Ces relations saisonnières

ne se montrent pourtant pas dans les autres parties de la retenue de la Lufira pas plus que dans les lacs de Koni et de N'Zilo.

C. — Matières en suspension dans l'eau

Outre du plancton vivant, les filets drainent des détritits organiques et des particules minérales (quartz) entraînées passivement par le courant. Dans tous les lacs, il n'est pas rare, principalement en saison des pluies, que les échantillons contiennent des proportions très importantes de ces particules absolument étrangères au plancton. Ce sont surtout des débris de feuilles, de tiges ou de racines. Selon qu'ils sont plus ou moins décomposés, ils entraînent les algues et certains Rotifères qui y vivent fixés. Ces matières, étrangères au plancton véritable, sont néanmoins absorbées par les poissons planctonophages.

D. — Rapports entre espèces planctoniques et milieu

Certaines espèces d'algues ou d'animaux peuvent être considérées comme de bons indicateurs des possibilités de production des lacs. Bon nombre de celles observées régulièrement dans le plancton des lacs artificiels sont typiques des eaux à forte production biologique (eaux eutrophes). A titre d'exemple, citons parmi les algues : les *Microcystis*, les Euglènes, *Melosira granulata*, *Synedra*, *Scenedesmus quadricauda*, *Spirogyra* ; parmi les Rotifères, *Brachionus falcatus* et *Br. calyciflorus* ; les Cladocères *Daphnia longispina* et *Bosmina longirostris* et enfin le Copépode *Mesocyclops leuckarti*.

Les lacs artificiels du Haut Katanga, tout comme le lac Moëro (EVENS, 1949), doivent être considérés comme lacs eutrophes. L'optimisme que nous avons manifesté lorsque nous avons abordé l'étude des pêcheries du lac de Mwadingusha (GOORTS, MAGIS et WILMET, 1961) et celle des retenues de Koni et N'Zilo (MAGIS, 1961) n'était donc pas surfait.

2. — COMPOSITION QUANTITATIVE DU PLANCTON

A. — Lac de Mwadingusha

Partant de la fig. 6, on aboutit aux constatations suivantes :

a. — La surface des cercles successifs — proportionnelle au nombre total des animaux existant sous un dm^2 de surface et sur toute la hauteur

de la colonne d'eau au point de récolte — augmente, pratiquement sans interruption, d'octobre 1957 (7.967 organismes) à février 1960 (60.000 individus). Il faut souligner, dès à présent, que les quelques variations qui se manifestent au cours de cette progression n'ont aucun caractère saisonnier.

b. — L'aire des différents secteurs qui divisent cette surface — représentant, comptés dans le sens des aiguilles d'une montre, les pourcentages respectifs des Rotifères, des Cladocères et des Copépodes — montre très clairement qu'en tout temps le plancton animal du lac de Mwadingusha est dominé par les Rotifères et les Copépodes. Ces animaux représentent de 99,7 à 75,7 de l'ensemble du plancton animal. A titre comparatif, nous signalerons que VAN MEEL (1953) a décrit du lac Upemba un plancton de composition relative fort voisine. Ceci est un nouvel argument en faveur de la parenté existant entre le lac de Mwadingusha — retenue artificielle — et un lac naturel.

c. — Ce sont les Cladocères qui modifient le plus la composition relative du plancton animal. Entre octobre 1957 et mai 1958 ces animaux ne représentent qu'une proportion infime de la population totale. Ils se sont ensuite largement multipliés, pouvant parfois représenter 24 à 25 % de l'ensemble des individus dénombrés (cf. 26.VII et 27.XII.1958). Ces fortes variations ne sont pas fortuites, nous chercherons plus loin à en préciser les motifs.

d. — L'étude quantitative des algues n'a pu être faite. Un examen minutieux des échantillons recueillis permet pourtant de déterminer la ou les espèces dominantes. Nous les avons mentionnées en regard de chaque schéma de la fig. 6 en les affectant d'un indice de fréquence compris entre 1 et 5 ⁽¹⁾.

La physionomie du plancton végétal est, en tout temps, déterminée par des Diatomées (*Synedra* sp. *Melosira granulata*) ou des Cyanophycées (*Lyngbia limnetica*, *Microcystis* sp.). Sous l'angle quantitatif, la période

⁽¹⁾ Nous adoptons l'échelle d'abondance proposée par SRAMEK-USEK (1956). La signification des indices et les nombres d'algues qui y correspondent approximativement dans la combinaison optique employée sont les suivants :

1. — RARE (moins de un organisme par champ microscopique),
2. — ISOLE (de un à quatre organismes par champ microscopique).
3. — DISPERSE (de cinq à neuf organismes par champ microscopique).
4. — NOMBREUX (de dix à quatorze organismes par champ microscopique).
5. — MASSIF (quinze et plus organismes par champ microscopique)

des observations se scinde en deux époques distinctes : la première s'étend d'octobre 1957 à juin 1958, elle est caractérisée par la dominance systématique des *Synedra sp.* ; la seconde, de juillet 1958 à février 1959, se reconnaît à la présence régulière de la Cyanophycée *Microcystis sp.* Si nous comparons les indices d'abondance, on remarque aussitôt que, dans la partie Nord de la retenue de la Lufira, la première période, celle des Diatomées, correspond à un plancton végétal nettement moins abondant que dans la seconde, caractérisée par les Cyanophycées. Cette

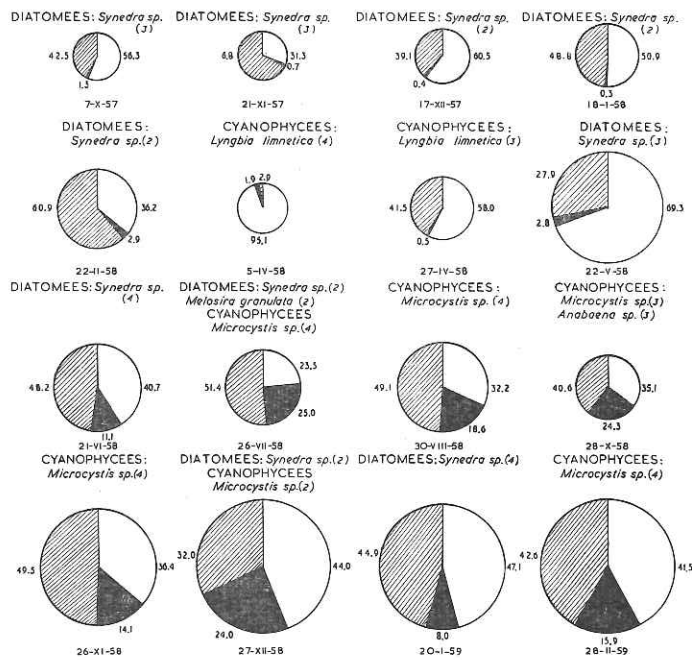


Fig. 6. — Variations de la composition quantitative du plancton animal récolté devant le barrage de Mwadingusha, à l'exutoire du lac. Dans le sens des aiguilles d'une montre :

Rotifères — Cladocères — Copépodes.

augmentation de la densité du phytoplancton se reflète sur la composition chimique des eaux qui, après juillet 1958, a été bien différente de celle mise en évidence par les dosages antérieurs (voir plus loin, chapitre de la chimie). **Modification des caractères chimiques des eaux, multiplication du plancton végétal et développement des Cladocères constituent donc les éléments dominants des variations du plancton de l'exutoire du lac.**

En plus des documents recueillis dans la région Nord du lac, nous disposons également de récoltes faites dans le Shangalele, petit espace d'eau libre entouré de typhaies et devant Mulandi, région littorale densément colonisée par les plantes palustres. Le plancton de ces deux régions a une physionomie assez différente de celle qui vient d'être décrite dans la région Nord.

Pendant la période comprise entre octobre 1957 et juillet 1958, les eaux du Shangalele tiennent en suspension un plancton végétal beaucoup plus dense que dans la région extrême-aval de la retenue. Il est dominé par les Diatomées (*Synedra* et *Melosira granulata*) dont l'indice d'abondance varie entre 4 et 5. Les Cyanophycées sont également présentes, dans des proportions légèrement plus faibles que les Diatomées, en saison sèche, légèrement plus fortes en saison des pluies. Enfin, les autres algues qui forment la flore d'accompagnement sont toujours plus nombreuses dans le Shangalele que devant le barrage. Cette composition non seulement *plus riche* mais aussi *plus harmonieuse* est un contraste frappant avec la pauvreté et la monotonie du plancton végétal vivant, à la même époque, dans l'exutoire du lac. Comme nous le verrons ensuite, le plancton végétal du Shangalele confère à ses eaux une composition chimique très différente de celle mise en évidence dans la partie Nord du lac.

Dans le même Shangalele, le plancton animal est, comme en aval, dominé régulièrement par les Rotifères et les Copépodes. La proportion des Cladocères y est cependant toujours plus grande qu'à Mwadingusha. Ces différences portent non seulement sur le nombre des individus mais en outre sur le nombre des espèces. Celles-ci apparaîtront dans le plancton de Mwadingusha lorsque les Cladocères y deviendront plus fréquents.

Les algues et les animaux capturés par les filets traînés devant Mulandi sont très différents de ceux recueillis dans l'eau libre. Ce sont principalement toutes les espèces qui vivent dans les régions littorales, parmi lesquelles on retrouve sporadiquement quelques spécimens des espèces pélagiques. Ainsi que nous l'avons dit, la flore et la faune littorales sont très diversifiées en espèces mais relativement pauvres en individus. Cette conclusion a son importance pour l'économie du lac puisque les régions littorales occupent une énorme proportion de la surface de la retenue de Mwadingusha (70 % ont moins de trois mètres d'eau !).

Les particularités du plancton de la région de Mulandi ne nous permettent pas de le comparer quantitativement et qualitativement à celui récolté dans le Shangalele et dans la portion aval de la retenue. L'examen comparé des échantillons recueillis dans ces deux dernières zones démontrent que les conditions de vie du milieu pélagique se sont fortement

modifiées pendant notre séjour. Le seul phénomène avec lequel les modifications peuvent être mises en relation a été la diminution progressive de la végétation parasite couvrant le lac. DAMAS (1957) estimait à 90 % la surface du lac envahie au début de 1957. Les vols aériens successifs effectués pendant la durée de notre mission ont prouvé la régression de la végétation. C'est ainsi qu'en septembre 1959, nous n'estimions plus qu'à 40 % la surface du lac encore colonisée. La décomposition d'abondantes matières organiques entraînent une pollution naturelle des eaux. Celle-ci est particulièrement sensible dans le secteur Nord du lac où se réunissent des eaux ayant dû filtrer au travers de nombreux bouchons de végétation accumulés sur le cours de la Lufira. La pollution est moindre dans le Shangalele car il s'agit d'une cuvette située plus en amont et assez isolée du courant principal. Ainsi s'expliquent les profondes différences observées dans le plancton de ces deux régions, particulièrement entre octobre 1957 et juin-juillet 1958. La pollution des eaux influence certainement les Cladocères et les algues. La raréfaction de ces dernières est un fait particulièrement grave pour l'économie du lac puisqu'elle se traduit par une diminution de la photosynthèse. Celle-ci, à son tour, influence le chimisme du lac en privant l'eau des apports d'oxygène dissous d'une part, en restreignant l'élimination naturelle de l'anhydride carbonique dissous d'autre part. L'étude de la chimie des eaux de la retenue de Mwadingusha qui sera entreprise plus loin confirme parfaitement cette argumentation théorique.

Nous venons de préciser comment la pollution engendrée par le développement exagéré des plantes palustres influence la composition qualitative et quantitative du plancton et par conséquent la chimie de l'eau. L'influence des plantes peut également être envisagée au point de vue suivant. Il est certain que les nombreux îlots flottants — et les bouchons qu'ils créent lorsqu'ils se réunissent sous l'effet des vents — réduisent la surface de la région pélagique, la seule qui conviennent à de nombreuses espèces planctoniques (particulièrement les Cladocères).

B. — Lac de Koni

La fig. 7 illustre les faits suivants :

a. — La composition globale du plancton animal du lac de Koni est plus constante que celle de la retenue de la Lufira. Elle oscille entre un minimum de 11.633 individus (octobre 1958) et un maximum de 29.148

organismes (septembre 1958). Il n'est pas possible de mettre ces variations en rapport avec les saisons.

b. — La proportion des différentes catégories d'animaux montre une parenté étroite avec le lac situé en amont. En effet, le plancton animal du lac de Koni est également dominé par les Copépodes et les Rotifères, les Cladocères viennent en troisième lieu dans des proportions toujours plus faibles (de 2,0 à 22,75 %).

c. — Comme à Mwadingusha, les Cladocères ont été systématiquement plus nombreux après le mois de juin 1958. Le parallélisme doit être souligné. Il tend à confirmer l'influence de la pollution des eaux sur ces organismes.

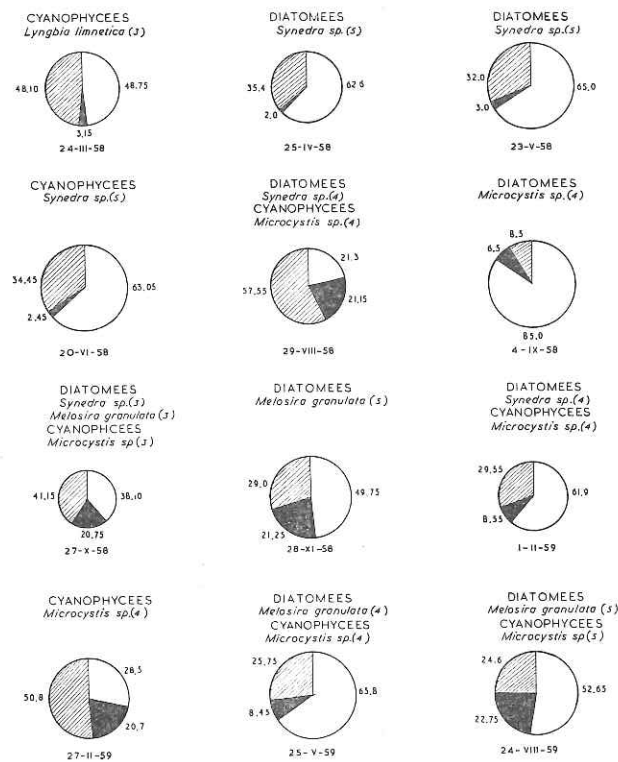


Fig. 7. — Variations quantitatives du plancton du lac de Koni (La construction des graphiques est la même que celle utilisée dans la fig. 6).

d. — Les eaux du lac de Koni abritent toutefois des populations d'algues plus denses que dans le secteur Nord du lac d'amont. Il n'est

pas rare d'assister au développement massif d'une espèce, telle p. ex. la Diatomée *Synedra* sp. abondamment présente de fin-avril à fin-juin 1958. Cette plus grande richesse en plancton végétal explique aussi pourquoi les eaux de surface du lac sont régulièrement mieux oxygénées que dans le lac de Mwadingusha.

C. — Lac de N'Zilo

La fig. 8 illustre les faits suivants :

a. — Les eaux du lac de N'Zilo abritent, dans l'ensemble, une population d'animaux planctoniques moins dense que les deux autres retenues. Le nombre total d'animaux — au point du lac le plus profond — varie entre 8.165 (avril 1958) et 32.846 organismes (juillet 1959). Pas plus qu'ailleurs, ces variations ne peuvent être mises en rapport avec les saisons.

b. — Le plancton animal du lac de N'Zilo se caractérise par la pauvreté relative des Rotifères (10,35 à 28,45 %). Le chiffre de 64,8 %, observé le 7 mars 1959 paraît tout à fait exceptionnel. Il s'agit en fait d'un plancton à Crustacés où dominant systématiquement les Copépodes (26,75 à 81,45 %). Les Cladocères sont toujours nombreux, représentant de 6,85 à 48,55 % de l'ensemble de la population dénombrée. Le plancton animal du lac de N'Zilo est donc assez différent de celui des deux autres lacs. Il ne s'agit plus d'un plancton à base de Rotifères mais bien de Crustacés, rappelant en cela celui qui prévaut dans les grands lacs de l'Est Africain (Tanganika, LÉLOUP, 1952 ; Kivu, Edouard et Albert, VERBEKE, 1957).

c. — Le plancton végétal est généralement très dense. Il est dominé par la Diatomée *Melosira granulata* (*Synedra* est très rare) et par la Cyanophycée *Microcystis* sp. Ces deux algues se développent au point de former localement et temporairement de véritables « fleurs d'eau ». La densité du plancton végétal se reflète sur la chimie des eaux abondamment oxygénées et parfois dépourvues d'anhydride carbonique. Le fait le plus caractéristique de nos observations est le remplacement de la *Melosira* par les colonies du *Microcystis* qui, dès juillet 1958 — comme dans l'exutoire du lac de Mwadingusha — domineront systématiquement tout le plancton. Ces phénomènes de remplacement ne sont pas rares dans les lacs mais ils n'ont pas encore reçu actuellement une explication générale. *Melosira granulata* et les *Microcystis* sont des algues tout à fait caractéris-

tiques des eaux riches. Bien que la densité du plancton animal soit, nous l'avons vu, moins forte que dans la Lufira, les eaux du lac de N'Zilo doivent être aussi considérées comme assez riches, capables d'assez bons rendements piscicoles.

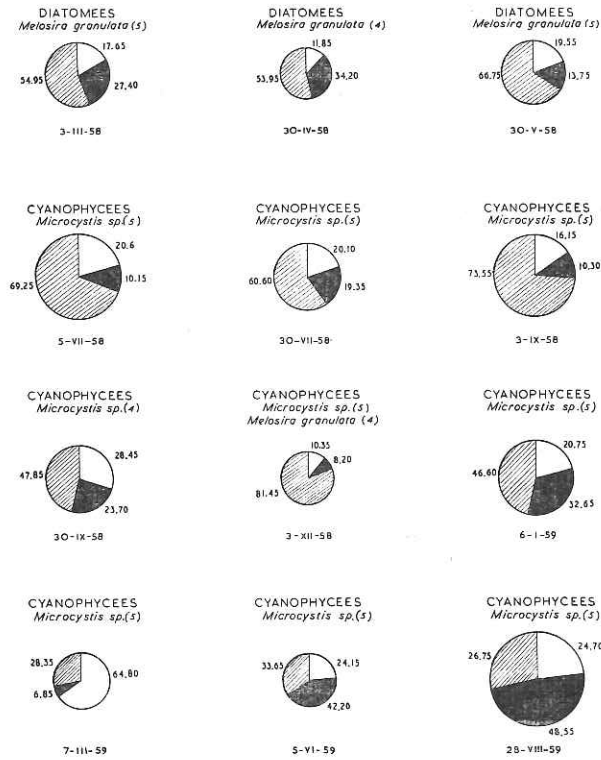


Fig. 8. — Variations de la quantité de plancton animal dans la régions des gorges de N'Zilo.

3. — CONCLUSIONS

a. — La flore et la faune du plancton pélagique des lacs artificiels comprend une proportion importante d'espèces caractéristiques des lacs à production biologique élevée (lacs eutrophes). Sous cet angle, les trois lacs étudiés peuvent se classer dans l'ordre décroissant suivant : 1° la retenue de la Lufira (lac de Mwadingusha), 2° le réservoir de Koni, 3° le lac de retenue du Lualaba (lac de N'Zilo).

b. — Il n'y a pas lieu de faire une distinction entre les lacs étudiés en

se basant sur le seul relevé des espèces animales et végétales qui les peuplent. Cependant, les proportions relatives des différents types d'animaux permettent de séparer les lacs de la Lufira et celui du Lualaba. Les deux premiers, les plus riches, sont des lacs à Rotifères et Copépodes. Ils présentent ainsi de nombreuses affinités avec les lacs Moëro et Upemba, considérés également comme eutrophes par les chercheurs qui s'en sont occupés. Les algues les plus fréquentes dans ces lacs sont les Diatomées *Synedra sp.* et les Cyanophycées *Microcystis*. Le second, le moins riche, est un lac à Crustacés (Copépodes et Cladocères); la Diatomée *Melosira granulata* et les Cyanophycées du groupe des *Microcystis* sont les algues les plus fréquentes et les plus abondantes du plancton végétal de ce lac. La composition du plancton de la retenue du Lualaba se rapproche de celle mise en évidence dans les grands lacs de l'Est Africain. On peut, dans une certaine mesure, tenir la faible profondeur moyenne et le caractère peu oxygéné des eaux comme facteurs limitant le développement des Cladocères au lac de Mwadingusha.

c. — La quantité de plancton animal présent varie peu dans les lacs de Koni et de N'Zilo. Le fait mérite d'être souligné. Il signifie la permanence et l'abondance d'une source de nourriture exploitée par les poissons planctonophages.

d. — La densité du plancton du lac de Mwadingusha n'a cessé d'augmenter entre octobre 1957 et février 1959. Cette augmentation ne peut s'expliquer que par la diminution de la surface du lac occupée par la végétation semi-aquatique et la propreté relative de l'eau qui en a résulté. La raréfaction des algues au moment de l'extension des prairies est un fait particulièrement grave pour l'économie lacustre car elle diminue le rôle de la photosynthèse et limite « ipso facto » la production d'oxygène et la consommation naturelle de l'anhydride carbonique.

CHAPITRE IV

LES VARIATIONS DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DU LAC DE MWADINGUSHA

A. — COMPOSITION IONIQUE DES EAUX DE LA RETENUE

1. — Caractéristiques fondamentales des eaux de la retenue

TABLEAU IV

Composition ionique des eaux de surface du lac de Mwadingusha

(calculée en % de la somme des anions et des cations selon la méthode proposée
par KUFFERATH, 1951).

	CATIONS				ANIONS			
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	Total	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁼	Total
août 1958 (s. sèche)	38,3	33,8	27,7	99,80	2,8	4,9	92,3	100,0
janvier 1959 (s. pluies)	40,1	40,7	19,2	100,0	5,2	4,8	90,0	100,0
avril 1959 (s. pluies)	43,5	38,3	18,2	100,0	5,1	4,3	90,6	100,0
mai 1959 (s. sèche)	49,2	36,4	14,4	100,0	6,3	5,8	87,9	100,0
août 1959 (s. sèche)	41,5	37,2	21,4	100,1	4,7	6,3	89,0	100,0

Il ressort du Tableau IV que les eaux du lac de Mwadingusha contiennent en permanence tous les ions rencontrés le plus fréquemment dans les eaux douces. Il faut signaler la prédominance du calcium et du magnésium sur le sodium et le potassium et la richesse en carbonates et bicarbonates (CO₃⁼). Les proportions de chlorures (Cl⁻) et de sulfates (SO₄⁼)

sont toujours assez faibles mais sujettes à d'assez fortes variations. Une telle composition est celle du type des eaux complètes (KUFFERATH, 1951).

Ce type d'eau est traduit graphiquement sur la fig. 9 (1). Celle-ci permet de conclure à l'identité fondamentale des eaux des trois lacs étudiés. Les analyses faites sur des échantillons d'eau de la Lufira, du Lualaba et de leurs principaux affluents fournissent des graphiques semblables. On peut affirmer que le type d'eau « complète » caractérise toutes les eaux des bassins versants des différents lacs artificiels.

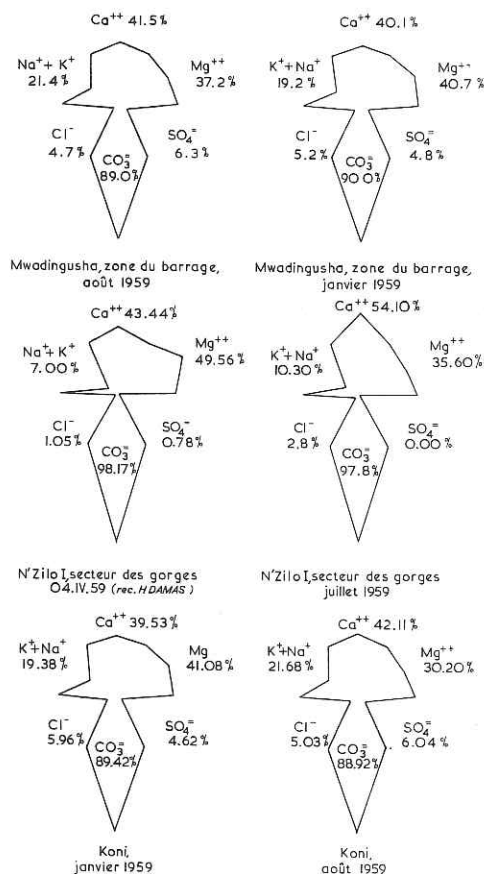


Fig. 9. — Composition ionique des eaux de surface des lacs de Mwadingusha, Koni et N'Zilo I en saison sèche et en saison des pluies.

(1) La construction des graphiques a été faite à l'aide de l'abaque publié dans le travail de KUFFERATH. Les analyses d'eau sur lesquelles nous nous sommes basés ont été réalisées au laboratoire de la Direction de l'Union Minière (Panda-Jadotville). Nous remercions M. G. VAN DE POEL, Directeur, de sa parfaite obligeance.

2. — Les variations saisonnières du calcium, du magnésium et des bicarbonates

A. — DURETÉ TOTALE DES EAUX DE LA RETENUE (1)

La comparaison des graphiques qui traduisent les variations de la dureté totale des eaux des différents secteurs de la retenue (fig. 10) démontre l'existence d'une corrélation étroite entre la dureté totale de l'eau et

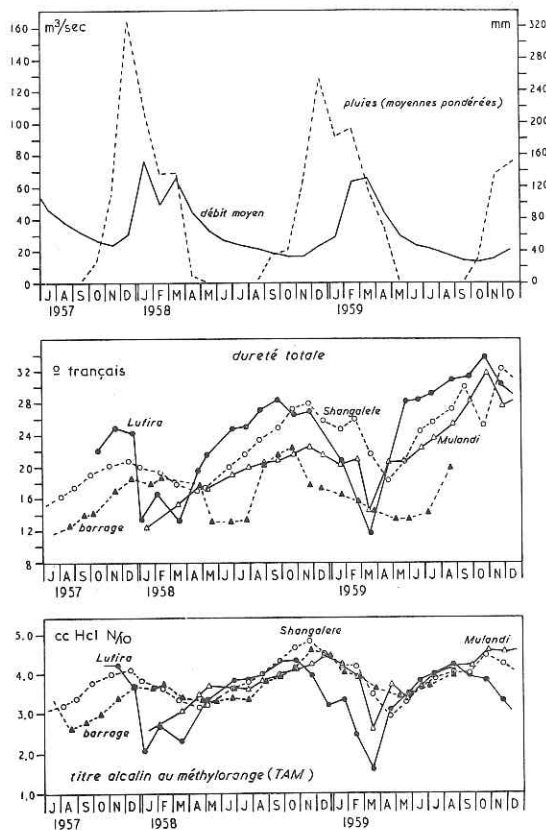


Fig. 10. — Relation entre la pluviosité, le débit de la Lufira, les teneurs en calcium et en magnésium (dureté totale) et les bicarbonates (titre alcalin) dans divers secteurs du lac de Mwadingusha.

(1) La dureté totale mesure la concentration totale des ions calcium et magnésium. L'unité de dureté est le ° français qui équivaut à 10 mg. par litre de carbonate de calcium (CaCO₃).

le débit de la rivière. Plus le débit de la Lufira est élevé, plus la concentration de l'eau en calcium et en magnésium — et aussi en autres sels — est faible. Cette relation définit un phénomène normal de dilution.

C'est évidemment dans la rivière que le phénomène est le plus net et qu'il se manifeste par les variations les plus importantes. Dans la Lufira, les valeurs de la dureté totale sont, à l'étiage, doublées ou triplées par rapport à celles mesurées au maximum de la crue. Ces modifications se répercutent dans le lac avec un certain retard, de l'ordre d'un mois. Ce décalage s'explique 1° par le fait que le niveau du lac n'est pas sous la dépendance directe de la crue et de la décrue de l'affluent (voir p. 12). 2° Les eaux du lac, par leur masse stagnante, créent une force d'inertie qui s'oppose momentanément aux effets de la dilution ou de la concentration des eaux de l'affluent.

Dans la région de l'exutoire, la dureté totale des eaux montre également des variations périodiques. Cependant, la courbe qui les traduit est moins parallèle à celle des valeurs mesurées dans la Lufira. On constate, en outre, une nette diminution de la dureté de l'amont vers l'aval. Cette diminution résulte de l'absorption du calcium et du magnésium par les organismes animaux et végétaux beaucoup plus nombreux dans le lac que dans la rivière. Elle est sans doute provoquée également par la fixation de ces ions par les matières organiques dissoutes.

Selon les endroits et selon les saisons, les eaux de la retenue de la Lufira sont moyennement ou franchement dures (LIVRE DE L'EAU, 1954).

B. — TITRE ALCALIN AU MÉTHYLO-RANGE (TAM)

La concentration de l'eau en substances à réactions alcalines (principalement les bicarbonates) varie parallèlement à la dureté totale des eaux: elle est la plus élevée durant la période de basses eaux et la plus faible au moment de la crue. Contrairement à la dureté totale, l'alcalinité suit, dans la région extrême-aval du lac, un cycle parfaitement comparable à celui de l'amont.

C. — TITRE ALCALIN A LA PHÉNOLPHTALÉINE (TAP)

Sauf de janvier à avril, pendant la crue, les eaux de la Lufira sont très légèrement colorées par la phénophtaléine et doivent être, de ce fait, neutralisées par un acide. Cette réaction démontre l'existence non seulement de l'ion bicarbonate (HCO_3^-) déjà mis en évidence par le méthylorange, mais aussi de l'ion carbonate (CO_3^{2-}).

Dans le lac proprement dit, le TAP est généralement nul. Exception doit être faite pour les eaux du Shangalele où des carbonates ont été mis en évidence entre novembre 1958 et janvier 1959, entre août et octobre 1959. Ces dates suffisent à montrer l'absence de périodicité. En fait, dans le lac, la présence de carbonates est liée essentiellement à l'importance de la photosynthèse comme le prouve l'examen des échantillons de plancton, comme le démontrent également d'autres dosages (oxygène et anhydride carbonique).

D'une façon très générale, les eaux de la Lufira perdent donc leurs carbonates dans leur traversée de la retenue. Ceux-ci sont très rapidement transformés en bicarbonates. Cette transformation est en rapport avec l'existence de quantités importantes d'anhydride carbonique libérées par la respiration des racines et la putréfaction des plantes semi-aquatiques qui couvrent la superficie du lac.

D. — LA « DURETÉ CARBONATÉE »

On exprime très souvent l'alcalinité en terme de dureté. Il ne s'agit plus de la dureté totale qui mesure la somme des anions calcium et magnésium indépendamment des cations auxquels ils sont associés (carbonates, bicarbonates, chlorures ou sulfates) mais d'une estimation assez précise des divers anions liés au cation bicarbonate.

Dans la Lufira et dans le Shangalele, le rapport entre ces deux duretés est toujours plus grand ou égal à l'unité. Ceci signifie, en d'autres termes, que toute l'alcalinité de l'eau est assurée par les bicarbonates de calcium et de magnésium. Devant Mulandi, le rapport peut à l'occasion être plus petit que l'unité. En d'autres termes, les bicarbonates alcalino-terreux de calcium et de magnésium ne suffisent plus à expliquer l'alcalinité ; il s'en ajoute d'autres tels ceux de sodium et de potassium.

Devant le barrage de Mwadingusha, le rapport entre les deux duretés est généralement inférieur à l'unité. L'alcalinité est donc déterminé partiellement par des bicarbonates autres que les alcalino-terreux. Y interviennent certainement ceux des ions alcalins (sodium et potassium) et sans doute des bicarbonates d'ammonium (NH_4^+ libéré par l'activité bactérienne qui dégrade les matières organiques déposées sur le fond).

Peu en amont du barrage de Mwadingusha, la Luembe — rare rivière permanente — pénètre dans le lac. Ses eaux ont été analysées aussi bien en saison des pluies qu'en saison sèche. Les résultats démontrent que l'alcalinité est assurée par les seuls bicarbonates de calcium et de

magnésium. Les modifications observées dans l'exutoire du lac se produisent dans le lac lui-même. Elles peuvent être causées par la diminution sensible de la dureté.

B. — LES GAZ DISSOUS — LE P_H

1. — Les variations de l'anhydride carbonique libre

La fig. 11 illustre les variations de la teneur des eaux en CO₂ libre observées dans les différents secteurs du lac. Ces dosages ont été faits sur des échantillons d'eau prélevés aux différentes profondeurs, c'est pourquoi nous avons dessiné la seule courbe moyenne. Toutefois les valeurs brutes dosées en surface et au fond y ont été indiquées par un indice dont on trouvera la signification dans la légende de la fig. Les dosages de l'anhydride carbonique dissous dans les eaux de la Lufira ont été faits plus irrégulièrement et ne se prêtent pas à la représentation graphique. Nous nous limiterons donc à les commenter succinctement.

Dans la Lufira, le CO₂ libre n'a pu être décelé qu'entre janvier et avril (maximum de 5,0 à 7,6 mg. par litre selon les années) soit à l'époque des hautes eaux. Aux autres périodes les eaux de la Lufira ne contiennent pas de CO₂ libre. Ces observations concordent parfaitement avec les valeurs du titre alcalin (voir p. 40) et expliquent les variations du p_H décrites p. 44.

Dans le lac proprement dit, on constate d'importantes différences selon les endroits où sont faits les prélèvements. D'après les teneurs en CO₂ libre figurant dans les graphiques, les différentes régions du lac de Mwadingusha se classent comme suit :

- a. — le secteur du Shangalele dont la surface est généralement libre de végétation, se caractérise par les concentrations les plus faibles ;
- b. — le secteur du barrage, zone où la surface est aussi libre de végétation mais où s'accumulent les eaux salies en amont. L'anhydride carbonique y est assez concentré, sa teneur moyenne est généralement comprise entre 10 et 20 mg par litre.
- c. — le secteur de Mulandi, région littorale, fort peu profonde, largement colonisée par la végétation. Les eaux sont fort riches en CO₂, elles contiennent des quantités comprises entre 10 et 30 mg par litre.

Cette classification permet de déceler une nouvelle fois le rôle que joue la végétation sur le chimisme des eaux du lac.

Considérons à présent les quantités d'anhydride carbonique dosées dans les eaux de fond. Elles peuvent atteindre des valeurs considérables. Ainsi, à Mulandi, a-t-on dosé 51,6 et 72,6 mg. par litre, respectivement en février et en mars 1958 ; à Mwadingusha 36,5 et 46,2 mg. par litre respectivement en octobre 1957 et février 1959. Ce sont là des valeurs « records » mesurées occasionnellement. Toutefois l'examen des graphiques prouve que les eaux de fond sont régulièrement beaucoup plus riches en CO_2 que ne le laisserait supposer le seul examen des valeurs moyennes. Ce fait est très apparent aux époques où les eaux présentent une strati-

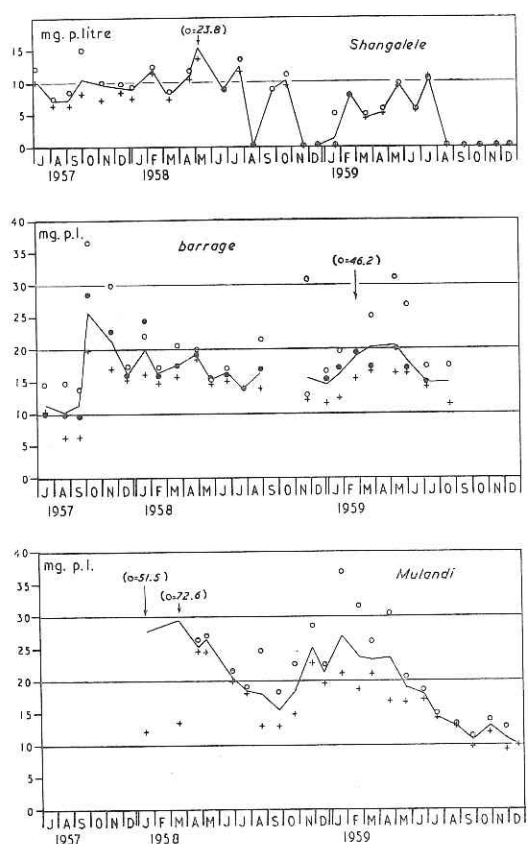


Fig 11. — Variations de l'anhydride carbonique dissous (mg. par litre) dans les différents secteurs de la retenue de la Lufira. Trait plein, valeur moyenne ; + quantité mesurée en surface ; o au fond ; • à 6 mètres (devant le barrage).

fication thermique (août à novembre p. ex.). Cette abondance du CO_2 dans les eaux de fond exprime l'intensité des processus de dégradation qui s'y déroulent ⁽¹⁾.

Les brassages thermiques qui se succèdent fréquemment, tant en saison sèche qu'en saison des pluies, assurent le mélange continu des eaux. Il n'est dès lors pas étonnant que les valeurs moyennes des dosages de l'anhydride carbonique dissous soient aussi importantes.

Ainsi que nous l'avons démontré (DAMAS, MAGIS et NASSOGNE, 1959), les eaux superficielles filtrant au travers des matelas de plantes flottantes s'enrichissent en CO_2 à leur contact. L'influence des végétaux sur les teneurs en anhydride carbonique dissous dans l'eau se manifeste donc dans plusieurs directions :

- a. — en surface, par l'intermédiaire des tapis végétaux flottants (respiration des racines, putréfaction) ;
- b. — en profondeur, par l'intermédiaire des processus de dégradation des matières organiques déposées sur le fond ;
- c. — la photosynthèse, localement très réduite (voir chapitre III), ne parvient plus à absorber ces importantes quantités de CO_2 dissous. Ce déséquilibre entre production et consommation de ce gaz influence le titre alcalin (pouvoir tampon des eaux) et, ainsi que nous allons le voir, explique le déplacement du p_{H} vers des valeurs voisines du point de neutralité.

2. — Le P_{H} des eaux de la retenue

Dans le rapport de la Mission Interdisciplinaire FULREAC, DAMAS (1957) attirait sérieusement l'attention sur fait que le p_{H} de l'eau de Mwadingusha s'était abaissé régulièrement depuis 1955, au point de s'approcher dangereusement du point de neutralité. On pouvait, dès lors, se demander si cette évolution n'aboutirait pas à modifier complètement le chimisme du lac.

La fig. 12 reprend les données du graphique déjà publié par DAMAS et les complète par nos propres observations. Les courbes annuelles montrent chaque fois un point minimum qui se place à la fin de la saison des pluies. D'autre part, depuis la fin de 1957, toutes les mesures mensuelles

⁽¹⁾ Voir à ce propos les photos des carottes de sondages publiées dans le premier rapport de la mission des lacs (DAMAS, MAGIS et NASSOGNE, 1959).

se répartissent à un niveau plus élevé de l'échelle des p_H . On doit conclure que la diminution du p_H est un phénomène qui couvre certes de longues périodes (décembre 1955-mai 1958) mais, tout au moins dans l'état actuel des connaissances, cette évolution ne paraît pas irréversible puisque le p_H n'a cessé d'augmenter ultérieurement pour se situer autour de valeurs fort voisines de celles mesurées avant décembre 1955.

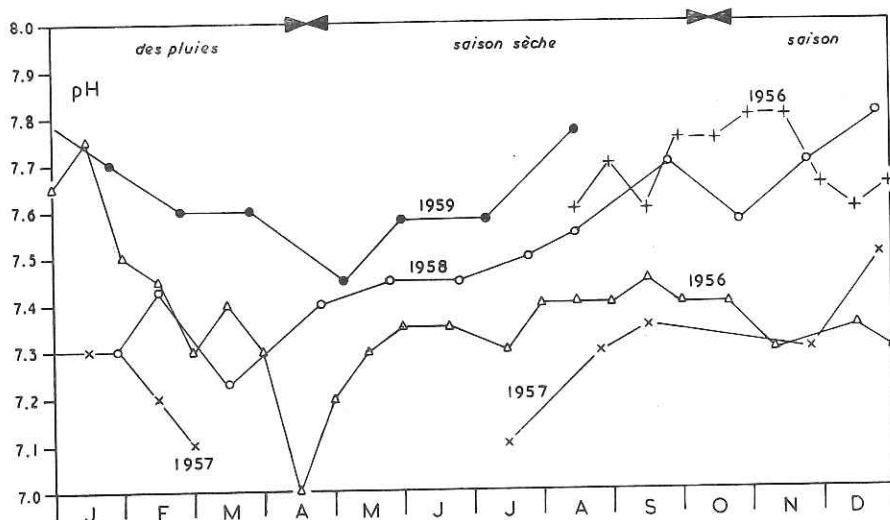


Fig. 12. — Variations du p_H de l'eau mesuré devant le barrage de Mwadingusha.

Les variations à longue période ne sont certainement pas causées par une modification temporaire de l'eau de l'affluent. Les données du Tableau V montrent, en effet, que le p_H de la Lufira est toujours plus élevé que celui du lac, compris entre un minimum de 7,5 (saison des pluies) et un maximum de 8,4 (saison sèche). La période des observations est courte, sans doute, mais permet de constater que les variations du p_H y sont saisonnières et reproductibles.

La cause de cette longue diminution du p_H doit donc être recherchée dans le lac lui-même. Les valeurs du p_H réunies dans le Tableau V se groupent aisément en deux séries qui sont manifestement sans rapport avec les variations saisonnières observées dans la Lufira. Ainsi dans le Shangalele, où les eaux ont les p_H les plus élevés, on reconnaît une première série de valeurs qui s'étend entre juillet 1957 et octobre 1958. A cette époque, le p_H de l'eau est relativement constant et se situe aux environs de 7,5. Plus tard, entre novembre 1958 et décembre 1959, le p_H est sans doute plus variable mais est généralement plus élevé que celui mesuré à l'époque

précédente. Dès novembre 1958, il atteint des valeurs qui deviennent très comparables à celles observées dans la Lufira.

TABLEAU V

Variations du p_H de l'eau dans la retenue de la Lufira

Dates	Lufira	Mulandi	Shanga- lele	Mwadin- gusha	Dates	Lufira	Mulandi	Shanga- lele	Mwadin- gusha
1957					1958				
VII	—	—	7,45	7,10	X	8,25	7,45	7,60	7,50
VIII	—	—	7,50	7,30	XI	8,35	7,45	8,35	7,70
IX	—	—	7,50	7,35	XII	8,35	7,35	8,35	7,62
X	8,10	—	7,45	—					
XI	8,05	—	7,50	7,30	1959				
XII	8,05	—	7,70	7,50	I	8,15	7,30	8,35	7,50
					II	7,50	7,20	8,05	7,50
1958					III	7,50	7,05	7,90	7,45
I	7,65	7,30	7,65	7,30	IV	7,75	7,20	8,10	—
II	—	—	7,50	7,43	V	8,10	7,15	7,55	7,58
III	7,50	7,25	7,50	7,32	VI	8,20	7,25	8,05	—
IV	8,00	7,00	7,50	7,40	VII	8,20	7,45	7,55	7,58
V	7,50	7,50	7,50	7,45	VIII	8,25	7,50	7,90	7,70
VI	8,10	7,10	7,50	7,45	IX	8,40	7,55	8,15	—
VII	8,10	7,10	7,55	7,50	X	8,40	7,75	8,30	—
VIII	8,05	7,30	7,55	7,55	XI	8,15	7,50	8,45	—
IX	8,15	7,45	7,55	7,48	XII	8,20	7,80	8,45	—

A Mulandi, zone perpétuellement couverte de végétaux, le p_H est systématiquement plus faible que dans le Shangalele et dans l'exutoire du lac. Les mesures mensuelles se répartissent aussi en deux séries distinctes : la première comprise entre janvier 1958 (début des observations dans cette région) et mars 1959 se reconnaît par des p_H proportionnellement plus faibles que ceux mesurée dans la seconde (avril-décembre 1959).

Ces fluctuations du p_H sont intimement liées aux teneurs des eaux en anhydride carbonique dissous et nous permettent, une nouvelle fois, de mettre en évidence l'influence nocive d'un développement exagéré de la végétation palustre. Ainsi, l'extension de la végétation, favorisée par des baisses importantes du niveau du plan d'eau, détermine des « cycles » de p_H à durée fort longue (une trentaine de mois). Ces modifications déterminent un abaissement du p_H vers le point de neutralité (7,0) caractéri-

sant une phase « moins alcaline ». Au fur et à mesure que cette végétation régresse, le p_H se déplace ensuite vers des valeurs plus élevées, caractéristiques d'une phase « plus alcaline ». Rien n'autorise jusqu'à présent à affirmer l'irréversibilité du phénomène : tout dépend du rythme des vidanges et de la longueur des périodes durant lesquelles le niveau du lac reste élevé.

3. — L'Oxygène dissous ⁽¹⁾

Les variations du taux de saturation de l'oxygène dissous sont représentées graphiquement sur la fig. 13.

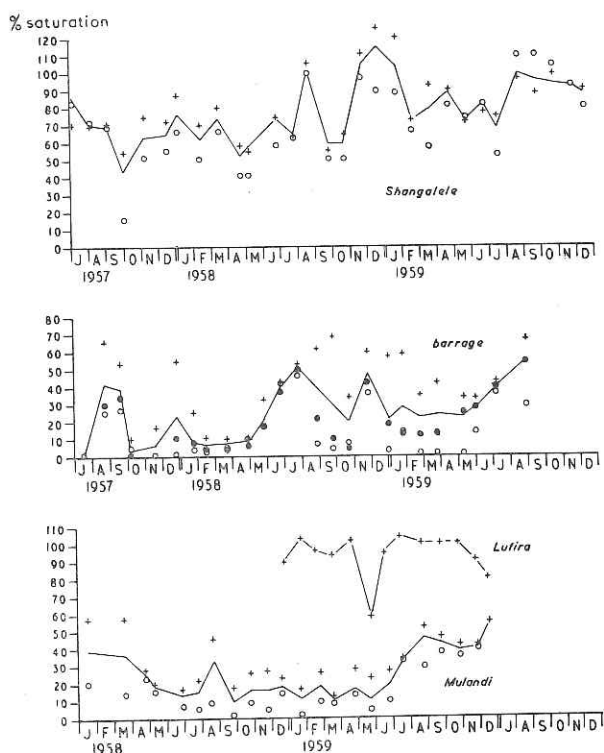


Fig. 13. — Variations du taux de saturation de l'oxygène dissous dans les différents secteurs de la retenue de la Lufira. Trait plein, valeur moyenne ; + quantité en surface ; o au fond ; • à 6 mètres (devant le barrage).

⁽¹⁾ Dosé par la méthode de OHLE (1953), modification de la méthode classique de WINKLER, dont l'emploi est particulièrement recommandé dans les cas où, comme à Mwadingusha, les eaux sont riches en substances réductrices.

Quoique peu nombreux, les dosages faits dans la Lufira démontrent avec assez de certitude que les eaux de la rivière sont généralement saturées d'oxygène. Dans le lac proprement dit, on est directement frappé par les différences importantes existant entre les divers secteurs étudiés. Dans l'ordre des valeurs moyennes décroissantes, on obtient la classification suivante :

- a. — Le secteur du Shangalele, caractérisé par un taux moyen d'oxygénation exceptionnellement inférieur à 50 % pouvant montrer à l'occasion une très nette sursaturation.
- b. — le secteur du barrage, caractérisé par une oxygénation faible, dépassant rarement 50 % parfois même inférieure à 10 % de la saturation.
- c. — Le secteur de Mulandi, très mal oxygéné, caractérisé par de longues périodes de très faible oxygénation, ne dépassant pas en moyenne 20 % de la saturation.

Cette classification est identique à celle qui a été établie à propos du p_H et du CO_2 dissous, elle se superpose également au degré, plus ou moins grand, d'invasion ou de pollution par les végétaux.

Lorsqu'on examine la série des observations successives, on constate que les maxima d'oxygène les plus accentués se situent généralement au début de la saison sèche, au moment de la circulation et du refroidissement des eaux. Ils correspondent à des poussées plus ou moins fortes des Diatomées. En dehors de cette périodicité, on en observe une autre qui dépasse largement le cadre des saisons. Elle est générale mais ne se manifeste pas simultanément dans tout le lac. Ainsi, dans le Shangalele, l'oxygénation moyenne de l'eau a été plus faible de juillet 1957 à juillet 1958 (fig. 13) ; à Mwadingusha, les eaux ont été plus faiblement oxygénées entre juillet 1957 et avril 1958 ; à Mulandi, enfin, les valeurs du taux de saturation sont nettement plus élevées à la fin de la période des observations. L'étude des variations journalières des quantités d'oxygène dissous permet de préciser ces différences.

Les deux premières stations figurant dans le Tableau VI ont été faites à un moment où le taux d'oxygénation de l'eau était généralement très faible, souvent inférieur à 10 % de la saturation. L'examen des chiffres qui s'y rapportent montre combien la production journalière d'oxygène est faible, ne dépassant pas 17 (avril) ou 21 % (janvier) de la saturation. Cette faible production est en outre rapidement consommée après quelques heures d'obscurité. Ainsi que nous le montrait la fig. 6, le plan-

TABLEAU VI

Variations journalières du taux de la saturation en oxygène
(prélèvements réalisés devant le barrage)

Heures	06	09	12	15	18	21-22	03-06
20 janvier 1958							
0 mètre	15,0	12,0	17,5	21,0	21,0	17,0	—
1 mètre	14,5	13,0	10,0	14,0	14,5	18,0	—
6 mètres	8,0	5,0	2,8	4,0	5,0	2,0	—
fond (boue)	—	2,0	2,0	2,0	4,0	2,0	—
23 avril 1958							
0 mètre	2,0	5,0	17,0	17,0	11,0	11,0	5,0
1 mètre	3,0	4,5	10,5	11,0	12,0	10,0(?)	4,8
6 mètres	2,8	10,0(?)	9,5	7,0	11,0	8,0	8,0
fond (boue)	1,0	4,0	8,0	5,5	7,0	0,0	7,0
17 juillet 1958							
0 mètre	21,0	24,0	56,0	64,0	66,0	61,0	43,5
1 mètre	21,0	23,0	50,5	59,0	50,0	60,0	47,0
6 mètres	19,0	20,0	40,0	45,5	54,0	39,0	44,5
fond (boue)	17,0	19,0	48,0	44,5	43,0	40,0	43,0

ton végétal était, à cette époque, excessivement clairsemé ; la faible activité de photosynthèse explique aisément les taux d'oxygénation très bas mesuré en janvier et en avril 1958. La consommation rapide de l'oxygène est non seulement causée par la respiration des organismes animaux et végétaux mais est de plus, accentuée par la présence de substances « réductrices » dissoutes dont l'affinité pour l'oxygène est grande (1).

En juillet, les algues sont beaucoup plus nombreuses (fig. 6) ; l'activité photosynthétique est donc plus élevée et influence nettement le taux d'oxygénation de l'eau : tandis que nous mesurons 21 % de la saturation à 6 heures du matin, nous obtenions un maximum de 66 % à 18 heures, à la fin de la période d'insolation. Les stations nocturnes montrent que la consommation d'oxygène est sensiblement moins rapide que précédemment ; le lendemain matin, la bilan de ces 24 heures se solde par un net

(1) L'estimation de degré d'oxydabilité de l'eau du lac de Mwadingusha au moyen du permanganate de potassium fournit des valeurs généralement comprises entre 6 et 7 mg. d'oxygène par litre. Les mêmes dosages à N'Zilo, lac nettement plus propre, donnent 2 à 3 mg. par litre seulement.

bénéfice puisque, dans toute leur masse, les eaux renfermaient encore des quantités d'oxygène équivalents à 43-47 % de la saturation.

Ces observations montrent un nouvel aspect de l'influence néfaste du développement exagéré des plantes palustres.

Malgré la fréquence des brassages qui assurent la circulation des eaux (chapitre II), on voit, sur la fig. 13 que les eaux profondes sont très fréquemment beaucoup moins oxygénées que celles de la surface. Ce fait démontre l'influence des sédiments déjà mise en évidence à propos de l'anhydride carbonique dissous. Les brassages thermiques remettent donc en circulation des eaux fortement désoxygénées ; il n'est dès lors pas étonnant que les valeurs moyennes du taux de saturation en oxygène soient aussi faibles.

C. — LA STRATIFICATION CHIMIQUE DES EAUX DE LA RETENUE

Dans le chapitre consacré à l'étude de la température, nous aboutissons à la conclusion que la stratification thermique est toujours très labile dans le lac de la Lufira. Ceci laisserait supposer que les brassages très fréquents assurent l'homogénéisation chimique des eaux. Des caractères chimiques comme la dureté totale, la charge en sels dissous, le titre alcalin ne varient pas — ou guère — sur toute la hauteur d'eau. Ils tendent donc à confirmer l'opinion précédente. Tel n'est pourtant pas le cas de l'oxygène, de l'anhydride carbonique, de l'hydrogène sulfuré et du p_H , c'est-à-dire des facteurs les plus intimement associés aux processus biologiques de « production » (photosynthèse) ou de « consommation » (dégradation des matières organiques, respiration). En effet, après la période de circulation totale du début de la saison sèche qui rend homogène non seulement la température mais aussi la composition chimique de l'eau, il suffit de légères différences thermiques entre les couches pour que les éléments considérés se stratifient nettement. Dans les cas où se développe temporairement un thermocline, on constate qu'il n'y a aucune correspondance entre la zone du saut thermique et celle du saut chimique. Ce dernier est généralement plus superficiel que le précédent de sorte que la désoxygénation des eaux profondes, leur enrichissement en anhydride carbonique et leur p_H moins alcalin se manifestent dans un volume d'eau toujours plus grand que celui correspondant à l'hypolimnion thermique.

La stratification chimique du lac de retenue de la Lufira est donc très

indépendante de sa stratification thermique. Les caractères spéciaux des eaux profondes ne sont pas dus au fait qu'elles sont séparées de la surface par une couche de saut thermique mais ils expriment l'influence des sédiments. Dans les régions tempérées ces phénomènes se marquent généralement sur les quelques centimètres d'eau qui surmontent les sédiments, dans les lacs subtropicaux, au contraire, ils modifient la composition de l'eau sur plusieurs mètres d'épaisseur. Ces différences s'expliquent par la température élevée des eaux du fond qui, dans les lacs des régions chaudes, favorise et multiplie considérablement l'activité bactérienne. Ces faits ne sont pas particuliers au lac de retenue, DAMAS (1954) les a également mis en évidence dans plusieurs lacs naturels peu profonds de la plaine de la Nyawarongo, au Ruanda.

D. — CONCLUSIONS

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

Les périodes sèches et pluvieuses entraînent une concentration ou une dilution des eaux et modifient parallèlement leur composition ionique. Les eaux de la Lufira, affluent principal du lac, subissent directement ces modifications. Celles-ci sont pourtant amorties dans le lac et s'y manifestent par un décalage d'autant plus accentué qu'on s'avance vers l'aval.

Les phases successives du cycle annuel de la température ne se reflètent guère sur la composition chimique des eaux. Ceci s'explique par la fréquence des brassages thermiques qui s'opposent à la stagnation prolongée des eaux profondes.

Toutefois, les facteurs chimiques les plus en rapport avec l'activité des organismes montrent des variations à longue période, tout à fait indépendantes de l'affluent. Celles-ci correspondent à l'extension de la végétation semi-aquatique, exagérée à la suite de baisses importantes du niveau du plan d'eau (cf. 1954-55 et 1955-56) et à leur dégradation ultérieure favorisée par le maintien d'un niveau élevé du plan d'eau. Notre séjour s'est situé dans une phase de dégradation des plantes palustres.

L'action nocive des plantes flottantes se manifeste aussi bien en surface, comme le démontraient les résultats déjà publiés (DAMAS, MAGIS et

NASSOGNE, 1959), qu'en profondeur comme nous venons de le prouver au paragraphe de la stratification chimique. L'extension exagérée de la végétation provoque :

- a. — une forte augmentation de l'anhydride carbonique dissous existant à l'état libre ;
- b. — une diminution parallèle du p_H qui se rapproche du point de neutralité ;
- c. — ces deux facteurs entraînent la dissolution complète de tous les carbonates et, de ce fait, modifie le pouvoir tampon naturel de l'eau. Celui-ci n'est plus assuré que par les seuls bicarbonates.
- d. — une désoxygénation poussée de l'eau résultant 1° de la diminution de la photosynthèse — la seule qui approvisionne l'eau en oxygène — consécutive à la raréfaction des algues ; 2° de la libération de substances réductrices dissoutes avides d'oxygène ; 3° de l'accroissement de la sédimentation organique.

Les observations faites durant notre séjour s'accordent à démontrer que ces phénomènes sont encore réversibles et qu'à une période de pollution accentuée succède une période de plus grande « propreté ». Il faut cependant faire remarquer que nous nous sommes servis des techniques les plus usuelles employées par les limnologues. Il n'est pas dit que des méthodes plus fines prouveraient entièrement nos conclusions. A bien des égards, la cuvette de l'ancien lac Shangalele nous est apparue comme une oasis, isolée au sein d'une masse d'eau fort pollulée. Cette région est pourtant sous la menace des végétaux envahisseurs. Que serait-il advenu si elle avait été aussi envahie ? La question reste posée ; elle doit cependant retenir l'attention de tous ceux qui veulent maintenir le stock des poissons exploité par les pêcheurs autochtones.

En un mot, la qualité de l'eau dépend donc du rythme des vidanges et de la longueur des périodes durant lesquelles le niveau du lac reste élevé.

CHAPITRE V

LES VARIATIONS DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DU LAC DE KONI

A. — LA COMPOSITION IONIQUE

Après avoir traversé le lac de Mwadingusha, la Lufira se déverse sans transition dans le réservoir de Koni ⁽¹⁾. Cette situation sous-entend le partage de caractères communs entre les eaux de Koni et celles de la retenue de la Lufira, plus spécialement celles de sa partie Nord.

La fig. 6 qui représente la composition ionique fondamentale des eaux de Koni confirme cette opinion. L'analyse des valeurs et des variations de la dureté totale, du titre alcalin et de la dureté carbonatée apporte d'autres preuves de cette parenté. En effet, comme dans l'extrémité aval de la retenue de la Lufira :

- a. — les eaux de Koni sont des eaux complètes où dominent toutefois les anions Ca^{++} et Mg^{++} et le cation CO_3^- ;
- b. — ce sont également des eaux dures dont le titre est compris entre 13 et 22° français. La dureté totale suit les mêmes variations que celles mises en évidence devant le barrage de Mwadingusha ;
- c. — le titre alcalin à la phénolphtaléine est toujours nul et démontre l'absence complète du cation carbonate. En fait il n'y a donc pas d'ion CO_3^- mais uniquement des ions HCO_3^- ;
- d. — les rapports entre dureté totale et dureté carbonatée sont généralement inférieurs à l'unité. Cette valeur prouve que les bicarbonates alcalino-terreux ne suffisent pas à expliquer l'alcalinité de l'eau. Celle-ci tient en outre en dissolution des bicarbonates alcalins et peut-être d'ammonium (NH_4^+).

⁽¹⁾ Généralement le lac de Koni récupère les eaux de la Lufira après leur passage dans les turbines de la centrale Francqui. Toutefois, lorsque la retenue est remplie en amont, l'eau en surplus est éliminée par les vannes de crue, traverse le lac de Koni puis est rejetée dans l'ancien lit de la rivière, en aval des rapides de Koni.

B. — LES GAZ DISSOUS — LE P_H

1. — L'anhydride carbonique libre

Les eaux de Koni contiennent en permanence du CO_2 libre. En surface les concentrations de ce gaz varient entre 10 et 15 mg par litre d'eau, soit environ 5 mg par litre en moins que dans l'exutoire du lac de Mwadingusha. Cette diminution du CO_2 s'accompagne d'une augmentation du p_H , elle doit être mise en relation avec la plus grande abondance des algues planctoniques qui accroissent les processus de la photosynthèse.

Il y a d'assez fortes différences dans les teneurs en anhydride carbonique des eaux de surface et de fond ; elles manifestent la permanence de la stratification chimique sur laquelle nous reviendrons bientôt.

2. — Le P_H

A Koni, le p_H de l'eau de surface est compris entre 7,4 et 7,94, il est donc constamment plus élevé que celui mesuré, à la même époque, dans la partie terminale de la retenue de la Lufira. L'examen des valeurs successives du p_H ne permet pas de déceler un rythme de variations superposable à celui des saisons. Ainsi la valeur du p_H est-elle constamment fixée par les activités des organismes. Comme nous venons de le signaler à propos de l'anhydride carbonique, la photosynthèse plus active qu'en amont suffit à expliquer le p_H plus élevé des eaux de Koni.

3. — L'oxygène dissous

L'oxygène dissous a varié en surface de 1,25 (25 avril 1958) à 7,25 mg par litre (29 août 1958), concentrations qui représentent respectivement 16,7 et 91 % du taux de saturation. D'une façon tout à fait générale, le taux d'oxygénation est toujours supérieur à celui que les analyses mettent en évidence devant le barrage de Mwadingusha, il se rapproche plus de celui mesuré dans le Shangalele. Ceci confirme, une fois encore, la part plus active que prend la photosynthèse. Malgré cela, les eaux du lac ne sont jamais saturées en oxygène — au moins au début de la matinée — ; ce déficit de saturation s'explique par l'existence permanente de substances réductrices dissoutes ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ A Koni, comme à Mwadingusha, la quantité de substances oxydées par le permanganate de potassium est équivalente, en moyenne, à 5 ou 6 mg. d'oxygène par litre d'eau.

En dehors de l'époque où la circulation des eaux est totale, le taux d'oxygénation de l'eau montre une forte stratification. Comme à Mwadingusha, elle n'est pas superposable à la stratification thermique.

C. — LA STRATIFICATION CHIMIQUE

En saison des pluies, nous l'avons vu, le lac de Koni reste stratifié en permanence. Nous avons toutefois été obligés de reconnaître que la région du thermocline est perméable puisque la température des eaux de fond augmente progressivement pendant toute la période pluvieuse (voir fig. 4).

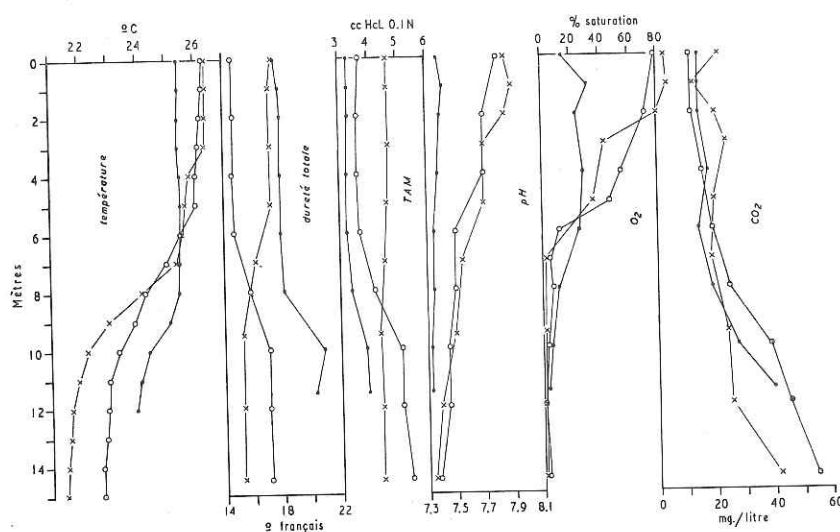


Fig. 14. — Exemples de la stratification thermique et chimique des eaux dans la partie la plus profonde du lac de Koni. •—• 2I.IV.58 ; x—x 27.XI.1958 ; o—o 26.III.59.

La fig. 14 fournit quelques exemples des rapports existant entre la stratification thermique et la composition chimique des eaux :

- a. — en avril 1958, immédiatement avant la période de circulation totale ;
- b. — en novembre 1958, début de la saison des pluies 1958-59 et fin de la période de réchauffement ;
- c. — mars 1959, fin de la saison des pluies, dernière moitié de la période de stagnation.

L'examen des différentes courbes de cette figure nous amène aux constatations suivantes :

a. — malgré la relative perméabilité du thermocline, les eaux sont chimiquement stratifiées. La nature de cette stratification est complexe et oblige à distinguer la stratification des éléments les plus intimement liés aux activités biologiques de synthèse ou de combustion (O_2 , CO_2 , p_H) et celle des éléments qui leur sont plus secondaires (dureté totale, titre alcalin).

b. — Comme à Mwadingusha, l'oxygène dissous, le CO_2 et le p_H sont fort indépendants de l'état thermique des eaux. Les courbes traduisant leur distribution verticale montrent également des points d'inflexion qui situent la zone du saut chimique plus superficiellement que celle du saut thermique. En d'autres termes, la zone profonde désoxygénée, à p_H moins alcalin et plus riche en CO_2 occupe, dans le lac, un volume plus grand que celui représenté par l'hypolimnion étendu sous le thermocline.

Cette situation régulièrement observée pendant la saison des pluies est très semblable à celle mise en évidence dans la région la plus profonde du lac de Mwadingusha. On doit donc conclure que la stratification chimique des eaux résulte plus de l'intensité des processus biologiques que de la température des différentes couches. On peut expliquer cet hiatus en tenant compte de la présence de substances réductrices dissoutes qui s'ajoutent aux eaux de la Lufira lors de leur traversée de la retenue de Mwadingusha. Il faut aussi retenir que les sédiments organiques — également abondants dans le réservoir de Koni — influencent aussi la composition chimique des eaux profondes sur plusieurs mètres d'épaisseur.

c. — Comme les courbes de la dureté totale et du titre alcalin au méthylorange le laissent apparaître, la stratification des sels dissous est mieux en rapport avec la stratification thermique. Contrairement à ce que nous avons dit de la stratification de la dureté et de l'alcalinité au lac de Mwadingusha, soumise nettement à l'influence des fréquents brassages, la fig. 14 nous permet de confirmer la permanence de la stagnation au lac de Koni. En effet, au fur et à mesure que l'on s'avance dans la période de stabilité des couches, les valeurs absolues de la dureté et du TAM augmentent dans l'hypolimnion. C'est là le reflet classique de l'activité de photosynthèse dans un lac où la période de stagnation est longue et durable. Cette stratification chimique n'apparaît pourtant pas dès la mise en place de la stratification thermique. Ainsi en août, septembre et octobre, les différences entre la dureté des eaux de surface et de fond ne dépassent pas 1° français, celles du TAM ne sont jamais supérieures à 0,2 cc HCl 0,1 N.

D. — CONCLUSIONS

La composition ionique des eaux du secteur Nord de la retenue de la Lufira ne se modifie pas lors du passage des eaux dans les turbines de la centrale Francqui. Par contre, les quantités de gaz dissous sont fortement influencées. Nous avons montré précédemment (DAMAS, MAGIS et NAS-SOGNE, 1959) que le taux d'oxygène d'une eau prélevée dans les remous des turbines était sensiblement élevé par rapport à celui mesuré en amont des installations. La série des dosages réalisée sur les échantillons recueillis en différents points de l'ancien lit de la Lufira apporte en plus la preuve que les eaux turbinées conservent leur oxygène jusqu'au moment où elles aboutissent dans le réservoir proprement dit.

L'aération permanente du volume d'eau qui traverse les turbines compense donc la consommation d'oxygène par les substances réductrices dissoutes ou les sédiments organiques. La simple action mécanique des machines hydrauliques (brassage, courant) ⁽¹⁾ est un facteur d'épuration non négligeable.

Par ailleurs, la forme encaissée de la cuvette et les variations pratiquement nulles du niveau du plan d'eau s'opposent au développement exagéré des plantes palustres et, par extension, limitent les effets nocifs qu'elles entraînent sur le plancton et la composition chimique des eaux.

Ces faits permettent de comprendre pourquoi le lac de Koni est plus « propre » que celui de Mwadingusha. Ils apportent, en outre, de nouveaux arguments qui, par opposition, confirment le rôle de pollution exercé par les plantes palustres.

En période de stagnation, la persistance de la stratification thermique se reflète assez bien sur la dureté totale, la charge en sels dissous et le titre alcalin de l'eau. Sous ces angles, l'hypolimnion acquiert, à la longue, les caractéristiques d'une eau longtemps séparée de la surface. Cependant la stratification de l'oxygène dissous, de l'anhydride carbonique libre et du p_H montre une plus grande indépendance vis à vis de la température de l'eau. Ces divergences prouvent que l'action des substances réductrices et l'influence des sédiments, déjà précisées lors de l'étude du lac de Mwadingusha, restent malgré tout fort importantes dans le réservoir de Koni.

⁽¹⁾ A laquelle peut s'ajouter temporairement celle du passage des Chutes Cornet (115 m. de hauteur) lorsque les vannes du barrage de Mwadingusha sont ouvertes.

CHAPITRE VI

LES VARIATIONS DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DU LAC DE N'ZILO

A. — COMPOSITION IONIQUE

Comme le montre les représentations graphiques de la fig. 6, les eaux de la retenue du Lualaba sont également des eaux complètes, caractérisées, comme celles de la Lufira, par la nette prédominance des ions Ca^{++} , Mg^{++} et CO_3^- .

Les dosages successifs de la dureté totale montrent que celle-ci est comprise entre un minimum de 8,4 et un maximum de 13,2° français ; elle est donc beaucoup plus faible que dans la Lufira, elle caractérise des eaux douces (LIVRE DE L'EAU, 1954). La dureté varie périodiquement : entre septembre et octobre, à la fin de la saison sèche, se situe une période de dureté relativement élevée ; elle est suivie d'une diminution brutale puis, de décembre à juillet, la dureté demeure relativement constante. Cette périodicité n'est absolument pas corrélative des fluctuations du débit du Lualaba. Cette différence s'explique par le fait que toutes nos mesures ont été faites à l'extrémité aval du lac mais signifie également que les eaux du Lualaba acquièrent des caractères lacustres manifestes.

Dans la retenue de la Lufira, nous avons vu que le titre de dureté des eaux s'appauvriissait systématiquement de l'amont vers l'aval. Des mesures occasionnelles faites dans différentes régions du lac de N'Zilo (Tableau VII) font apparaître un phénomène analogue.

Le titre alcalin au méthylorange est compris entre 1,9 et 2,6 cc HCl 0,1 N, il est donc deux fois plus faible que dans la Lufira. Les mesures successives du TAM ne font apparaître aucune périodicité saisonnière malgré les modifications régulières de la dureté totale. Le titre alcalin des eaux n'a cessé d'augmenter entre octobre 1957 et juillet 1958 puis, à partir de cette date, est resté pratiquement constant jusqu'en septembre 1959, fin de la période d'observation.

Le titre alcalin à la phénolphtaléine a été positif pendant la plus grande partie de la période d'observation. Il a même pris des valeurs

nettement plus élevées que celles mesurées dans la rivière Lufira. Les eaux tiennent donc en dissolution une proportion de carbonates toujours plus élevée que celle mesurée dans la Lufira.

Le rapport entre la dureté totale et la dureté « carbonatée » est compris entre 0,69 et 1,04. Ces variations ne paraissent pas liées directement aux facteurs saisonniers. Ainsi, de novembre 1957 à avril 1958 le rapport des duretés était égal à 0,97 — 0,90, il est ensuite tombé à 0,70 de mai à juillet puis est redevenu voisin de l'unité à l'époque où la dureté totale est plus élevée. Entre décembre 1958 et juillet 1959 il tombait à nouveau aux environs de 0,7 puis remontait à l'unité en septembre, début de la période de forte dureté. Ces modifications démontrent que dans la partie terminale du lac de N'Zilo, l'alcalinité de l'eau n'est pas toujours entièrement déterminée par les bicarbonates alcalino-terreux mais parfois par des bicarbonates alcalins. C'est un fait que nous avons mis également en évidence dans la partie terminale du lac de Mwadingusha. Les eaux des affluents subissent donc des remaniements ioniques analogues dans les deux retenues.

TABLEAU VII

Variations de la teneur en électrolytes dissous dans diverses régions du lac de N'Zilo I.

	Confluent Kando-Lualaba	Baie de Kazembe	Gorges de N'Zilo
Dates :	03.XII.1957	02.XII.1957	28.XI.1957
Conductibilité électrique ($\kappa_{18^{\circ}\text{C}} \cdot 10^6$) (charge totale en sels)	non déterm.	248	173
Dureté totale (° français)	18,25	13,95	9,73
Titre alcalin au méthylorange (cc HCl 0,1 N)	3,35	2,71	2,00
Titre alcalin à la phénolphthaléine (cc HCl 0,1 N)	0,05	0,02	0,06
pH	7,65	7,70	7,70
dureté totale / dureté « carbonatée »	1,01	1,00	0,97

B. — LES GAZ DISSOUS — LE p_H

1. — L'anhydride carbonique libre

A N'Zilo, l'anhydride carbonique libre est toujours très faiblement concentré dans les eaux de surface, nous y avons mesuré un maximum de 6,6 mg. par litre seulement. Bien plus, il peut parfois faire entièrement défaut en surface, les dosages mettent alors en évidence un « déficit » en CO_2 atteignant parfois — 5 et même — 7 mg par litre. Ce déficit exprime une activité photosynthétique particulièrement active et se reflète non seulement sur le p_H mais sur la dureté et le titre alcalin de l'eau ⁽¹⁾.

L'anhydride carbonique libre montre une forte stratification en période de stagnation, elle sera discutée dans un paragraphe spécial.

2. — Le p_H

Conséquence immédiate de la faible teneur en CO_2 , le p_H des eaux de surface du lac de N'Zilo qui varie entre 7,7 et 8,5 est nettement plus élevé que celui mesuré régulièrement dans la retenue de la Lufira. Comme celles du CO_2 ses variations ne sont pas saisonnières et dépendent donc directement de l'activité des organismes, plus spécialement de la photosynthèse. Parallèlement à l'anhydride carbonique, le p_H montre une stratification très nette qui sera analysée ultérieurement.

3. — L'oxygène dissous

Entre octobre 1957 et septembre 1959, durée de notre séjour, le taux d'oxygénation des eaux de surface a varié entre 4,26 (novembre 1957) et 9,31 mg par litre (septembre 1959), ce qui équivaut respectivement à 60 et 129 % de la saturation (mesures faites à 08 heures). L'ensemble de nos résultats permet de conclure que les eaux du lac de N'Zilo contiennent des quantités d'oxygène assurant pratiquement leur saturation. Comme l'anhydride carbonique et le p_H , l'oxygène dissous se stratifie en période de stagnation.

⁽¹⁾ Le CO_2 indispensable à la photosynthèse est pris aux bicarbonates qui sont ainsi transformés en carbonates qui précipitent et échappent aux mesures de la dureté et de l'alcalinité.

C. — LA STRATIFICATION CHIMIQUE

La fig. 5 p. 12 nous a montré que la période du refroidissement des eaux aboutissait, dans le courant de juillet-août, à la circulation totale et entraînait une égalisation de la température et de la composition chimique de tout le volume d'eau. La stratification qui apparaît dans le courant d'août-septembre, modifie la composition chimique des eaux profondes ; toutefois les brassages causés par les pluies font que seules les couches inférieures à trente mètres restent séparées de la surface par le thermocline.

La stratification chimique du lac de N'zilo est plus classique en ce sens qu'elle montre plus de rapports avec l'état thermique des eaux. Nos observations régulières démontrent qu'elle suit les remaniements thermiques dont il vient d'être question. Elles prouvent, en outre, que sous trente mètres, les eaux ont tous les caractères d'un hypolimnion résultant de l'absence prolongée de tout échange avec la surface : l'anhydride carbonique s'y concentre (50 à 60 mg. p. l.), le p_H y atteint le point de neutralité et parfois le dépasse de sorte que l'hypolimnion a une réaction acide (minimum mesuré : 6,8). En conséquence, le titre alcalin augmente puisque les carbonates, précipités en surface par les processus biologiques, sont ensuite redissous dans le fond par l'anhydride carbonique libre. L'isolement de l'hypolimnion entraîne également sa désoxygénation totale.

Toutefois, ainsi que nous l'avons déjà constaté dans la retenue de la Lufira et dans le réservoir de Koni, les courbes de l'oxygène, du p_H et du CO_2 montrent une plus grande indépendance vis à vis de la température. La désoxygénation de l'eau, l'abaissement de son p_H et son enrichissement en anhydride carbonique se manifestent entre des niveaux habituellement plus superficiels que ceux qui fixent la position du thermocline.

A Mwadingusha et à Koni, nous avons fait appel à l'influence des sédiments pour expliquer les différences entre la position du saut thermique et celle qui correspond à la variation brutale de l' O_2 , du CO_2 et du p_H . Nos observations de terrain et nos analyses s'accordent pour minimiser, dans la région des gorges tout au moins, l'action que les sédiments exercent sur la chimie des eaux. L'hiatus observé entre les deux types de stratification dépend, au moins partiellement, d'autres causes.

Nous devons rappeler que la stagnation thermique n'existe pratiquement que dans la seule région des gorges de N'Zilo, elle est donc limitée à

une portion très restreinte de la surface du lac. Partout ailleurs des brassages totaux, comme ceux observés dans la retenue de la Lufira, assurent une meilleure homogénéisation de la qualité de l'eau. Cette situation est favorable à la création de courants internes qui circulent plus ou moins horizontalement. Ils proviennent de régions relativement moins profondes où l'influence des sédiments est plus marquée⁽¹⁾. Ces courants débouchent dans les gorges, à un niveau situé dans l'épilimnion ils peuvent donc modifier sa composition chimique.

D. — CONCLUSIONS

La retenue de N'Zilo I renferme des eaux « complètes » dont la composition ionique relative est très voisine de celle de la Lufira. Les eaux du Lualaba sont toutefois plus douces, renfermant moins de calcium et de magnésium que celles de la Lufira.

Dans l'une et l'autre retenues, la charge en sels dissous diminue de l'amont vers l'aval ; cette diminution est particulièrement nette en ce qui concerne le calcium et le magnésium, ces ions sont absorbés par les multiples organismes qui vivent dans la retenue. Ces faits prouvent que les eaux de ces retenues perdent leur caractère fluvial et acquièrent les caractéristiques lacustres.

L'influence des plantes palustres est locale et relativement peu importante aussi les eaux du lac de N'Zilo sont-elles particulièrement propres.

L'activité des organismes planctoniques y est intense et se reflète sur la composition chimique de l'eau, principalement à l'époque de la stratification.

Bien que plus « salubres », les eaux du lac de N'Zilo ont des caractères réducteurs qui influencent la stratification de l'oxygène, de l'anhydride carbonique et du p_H . Dans la région du lac la plus profonde, ces phénomènes se traduisent par une augmentation du volume des couches désoxygénées, riches en anhydride carbonique et à p_H moins alcalin.

Comme la stratification thermique, la stratification chimique doit être considérée comme labile sur la plus grande superficie de la retenue,

(¹) Bien que le lac de N'Zilo ne soit colonisé par les végétaux que dans la baie de Kando et dans le fond du marais de Kazembe, les sédiments organiques peuvent provenir de la décomposition des arbres et des plantes des galeries forestières aujourd'hui noyées.

où la profondeur est beaucoup plus faible que dans l'extrême-aval. La fréquence de ces brassages ramène en surface des eaux subissant plus nettement l'influence des sédiments. Ces mélanges répétés peuvent diminuer la qualité de l'eau si l'action des sédiments prenait le pas sur l'activité de photosynthèse limitée en surface. Actuellement, tout au moins, ils assurent la remise en circulation des éléments nécessaires à la croissance du plancton. Ils favorisent donc la productivité de la retenue.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

1. — LES RETENUS ÉTUDIÉES PRÉSENTENT TOUTES LES PARTICULARITÉS D'UN MILIEU LACUSTRE NATUREL.

Cette conclusion fondamentale s'appuie sur une série de faits d'observation parmi lesquels nous retiendrons surtout :

- a. — **le cycle thermique annuel**, dont les variations saisonnières sont en rapport avec la température moyenne de l'atmosphère, est tout à fait comparable à celui mis en évidence dans le lac Upemba (Bas Katanga) et dans les grands lacs de l'Est Africain ;
- b. — **la composition qualitative du plancton** montre une grande parenté faunistique et floristique avec les lacs naturels tels l'Upemba ou le Moëro. Y dominent en toute saison des espèces franchement lacustres dont l'équilibre n'est pratiquement pas modifié par les espèces vivant dans les affluents de ces lacs ;
- c. — tout en conservant une **composition ionique relative** analogue à celle de leurs affluents, les lacs artificiels ont des eaux moins concentrées que ceux-ci. Cette diminution porte, entre autre, sur le calcium et le magnésium, éléments les plus en apport avec la vie organique d'un lac.
- d. — **les rapports entre la pluviosité, le débit de l'affluent et le niveau des retenues montrent de bonnes similitudes avec ceux qui s'observent dans un lac naturel.** Ces corrélations sont favorisées par le fonctionnement très régulier des centrales hydroélectriques. Lorsque la saison des pluies est déficitaire, le niveau des retenues baisse considérablement puisque la consommation d'eau reste assez constante. Par conséquent les variations successives du plan d'eau ont une amplitude de loin plus variable que dans un lac naturel. D'autre part, lorsque les apports des pluies dépassent la capacité maximum des retenues, le surplus d'eau est évacué par les vannes de crue. Il s'en suit que la période d'étalement entre la crue

et la décrue peut être anormalement et artificiellement étendue durant la saison sèche.

Le lac de Koni sert de bassin d'accumulation temporaire aux eaux du lac de Mwadingusha. Il est donc conçu pour fonctionner à niveau pratiquement constant. **Malgré ces conditions plus artificielles encore, il présente toutes les caractéristiques d'un lac véritable.**

2. — LE CYCLE THERMIQUE DES TROIS LACS ÉTUDIÉS EST TYPIQUE DES LACS SUBTROPICAUX.

Les variations de la température des eaux sont subordonnées aux modifications de la température atmosphérique moyenne et non à l'alternance des périodes sèches et pluvieuses. Le cycle thermique annuel se scinde ainsi en trois périodes distinctes :

- a. **une phase de refroidissement** et de circulation totale, comprise entre avril-mai et juin-juillet, au début de la saison sèche. Selon les années, ce refroidissement abaisse la température de l'eau de 5 à 10° C.
- b. — **une phase de réchauffement** y fait immédiatement suite. Elle correspond à la fin de la saison sèche (août-octobre) et au début de la saison des pluies (novembre). La température de l'eau de surface est alors comprise entre 25 et 26° C. Cette période de réchauffement s'accompagne d'une stratification thermique et chimique des eaux.
- c. — **une phase de constance thermique relative** s'étale sur la fin de la saison des pluies. Suivant les lacs, elle caractérise une véritable période de stagnation des eaux.

Les variations de la température qui découlent de ces cycles restent dans les limites tolérées par les Cichlidae pour leur frai.

3. — LES PLUIES FAVORISENT LES BRASSAGES, ELLES LIMITENT DONC LA DURÉE DES PÉRIODES DE STAGNATION DES EAUX.

L'opinion habituellement admise était que, dans les régions inter-tropicales, la saison sèche favorise les brassages tandis que la saison des pluies est une période de stratification et de stagnation des eaux. Nos

observations — et c'est là un fait assez nouveau sur le plan de la limnologie théorique — obligent à nuancer cette affirmation.

Dans les régions les plus profondes où les observations purent être conduites, le brassage partiel engendré par les pluies se manifeste sur une trentaine de mètres d'épaisseur. La hauteur de cette colonne d'eau est très nettement supérieure à celle qui correspond à la profondeur moyenne des retenues. En considérant donc l'ensemble de la surface inondée par les barrages, on doit conclure que **la stratification thermique qui s'établit pendant le réchauffement des eaux est excessivement précaire.**

L'influence des pluies ne se marque pas autant à Koni qu'ailleurs, vraisemblablement sous l'influence des conditions locales d'exposition, de forme et d'encaissement de la cuvette lacustre. Toutefois, le thermocline qui subsiste en permanence dans le lac ne peut, comme dans les régions tempérées, être considéré comme une barrière s'opposant à tout mouvement vertical des eaux.

4. — LE DÉVELOPPEMENT DE LA VÉGÉTATION ENTRAÎNE UNE SÉRIE DE RÉACTIONS EN CHAÎNE QUI BOULEVERSENT L'ÉCONOMIE LACUSTRE DE LA RETENUE DE LA LUFIRA.

A. — Influence des plantes sur le plancton

Les îlots et les prairies envahissent le milieu pélagique et en réduisent donc à la fois la surface et le volume. Ceci signifie, au moins localement, une **restriction de l'habitat des espèces réellement planctoniques**, celles dont la valeur alimentaire est la meilleure pour les poissons planctonophages. Cette végétation, il est vrai, apporte avec elle, des algues et des animaux qui vivent sur le substrat qu'elle leur offre. Mais ces organismes ne se multiplient pas en l'absence de ce substrat et ne remplace donc jamais, quantitativement parlant, le plancton pélagique.

En outre, le développement de la végétation provoque, au moins localement, la **raréfaction de certaines espèces animales** (Cladocères) et végétales. La **diminution de la densité des algues est un fait très grave car elle prive l'eau des apports de la photosynthèse.**

B. — Influence des plantes sur la composition chimique de l'eau

En plus de la diminution de la photosynthèse, influence indirecte de la végétation parasite, nos observations démontrent leur influence directe sur le chimisme des eaux ; elle se manifeste dans deux directions principales :

- a. — **une action superficielle**, localisée au niveau du feutrage des racines des prairies flottantes, caractérisée par une diminution de l'oxygène, une augmentation de l'anhydride carbonique et de l'hydrogène sulfuré et un abaissement parallèle du p_H .
- b. — **une action en profondeur** : la végétation des prairies flottantes pourrit et tombe sur le fond où elle est, à la longue, transformée en une vase noire très liquide (sapropèle) fort avide d'oxygène. Favorisée par les fréquentes brassages qui élèvent la température des eaux de fond, l'activité biologique qui dégrade ces matières organiques est tellement intense qu'elle influence la chimie des eaux sur une épaisseur considérable. Nous avons pu montrer que ce sont, en fait, **les sédiments qui, plus que la température, conditionnent la stratification chimique du lac** en dehors des époques de refroidissement des eaux.

Les actions superficielles et profondes de la végétation, auxquelles s'ajoute la diminution de l'activité photosynthétique, contribuent ainsi à une désoxygénation chronique de l'eau, à l'accumulation de quantités anormalement élevées d'anhydride carbonique et, parallèlement, au déplacement du p_H vers le point de neutralité (localement le p_H du fond peut même devenir acide). De tels p_H modifient à leur tour l'équilibre des bicarbonates et des carbonates dissous, en fait le système tampon naturel d'une eau lacustre.

Cette chaîne de réactions, — dont nous sommes conscients de n'avoir saisi que quelques maillons — fait que le lac de Mwadingusha traverse de longues périodes de « crise » tout à fait indépendantes des saisons. Nous avons assisté au retour progressif de conditions plus normales, coïncidant avec la régression de la végétation parasite. Ce changement prouve que la pollution de l'eau est encore, jusqu'à présent, un phénomène réversible. Mais le développement massif de la végétation riveraine, rendu possible par des baisses importantes du niveau du plan d'eau, reste un danger grave risquant de compromettre l'avenir de la retenue.

La menace d'envahissement par les plantes est moins grande au lac

de N'Zilo et le profil naturel de la retenue en réduirait certainement les effets. Il est néanmoins certain que le développement exagéré de la végétation palustre y exercera localement des actions très semblables à celles qui viennent d'être décrites à Mwadingusha.

5. — LES EAUX DES LACS ARTIFICIELS DU HAUT-KATANGA SONT FAVORABLES A LA PROLIFÉRATION DES ORGANISMES.

En dehors des périodes de crise, le lac de Mwadingusha abrite un plancton animal abondant, parfois même très abondant. Il semble moins riche dans les deux autres lacs, ceux-ci nourrissent cependant un plancton végétal proportionnellement plus dense que celui de Mwadingusha. Les récoltes quantitatives répétées tout au long des mois prouvent l'abondance du plancton en toute saison, **les poissons planctonophages disposent donc d'une nourriture abondante pendant toute l'année.**

L'examen qualitatif des récoltes révèle la présence constante de nombreux représentant (algues et animaux) caractéristiques des eaux à forte production biologique (lacs eutrophes).

Sous l'angle de leur productivité, les trois retenues se classent comme suit :

- a. — **la retenue de la Lufira** (en dehors des périodes de crise) **FORT PRODUCTIVE.** Base d'appréciation : chiffres du plancton, nature des eaux dure ; brassage très fréquents ; rives basses, ceinturées de végétaux ; présence de prairies lacustres à *Chara*, *Myriophyllum* et *Potamots*.
- b. — **le réservoir de Koni**, **PRODUCTIF.** Base d'appréciation : densité du plancton, récupération d'eaux riches ; stratification plus nette, moindre développement des prairies lacustres ; cuvette encaissée et profondeur moyenne plus grande.
- c. — **la retenue du Lualaba**, **ASSEZ PRODUCTIVE.** Base d'appréciation : densité du plancton, nature des eaux douce ; brassages assez fréquents ; rives plus accores, généralement nues et pierreuses ; pas de prairies lacustres ; profondeur moyenne plus grande que partout ailleurs. Tout porte à croire cependant que le lac de N'Zilo, actuellement très jeune, atteindra une production plus élevée qu'à présent.

6. — LA PLANIFICATION DES VARIATIONS DU NIVEAU DES RETENUES EST SOUHAITABLE SI L'ON VEUT MAINTENIR LA PRODUCTIVITÉ DES RETENUES.

Les études consacrées à la limnologie et aux capacités de production des retenues hydroélectriques aboutissent à la conclusion qu'il est **nécessaire de contrôler les variations du niveau** de ces lacs (cf. e. a. COMMISSION D'ÉTUDE DU LAC D'EGUZON, 1956). Cette conclusion est absolument générale mais il ressort que les modalités de ses applications sont particulières à chaque retenue. Elles dépendent des caractères géographiques et morphométriques de la cuvette du lac, de son mode d'exploitation et aussi des caractéristiques de son peuplement en poissons.

Les travaux que nous avons poursuivis dans les retenues du Haut Katanga — et particulièrement dans le lac de la Lufira — apportent suffisamment d'arguments pour affirmer que **le maintien d'un niveau assez élevé s'oppose à la pollution des eaux**, principalement dans le lac de Mwadingusha, le plus ancien, le moins profond et le plus sujet à l'envahissement des plantes palustres. Cette conclusion rejoint celle que nous formulions précédemment dans les rapports consacrés aux pêcheries où nous disions que le maintien d'un niveau élevé du plan d'eau s'avérait très favorable au frai des Cichlidae donc aux possibilités de renouvellement du stock des poissons exploités par les pêcheurs (GOORTS, MAGIS et WILMET, 1961 ; MAGIS, 1961). Elle s'accorde également à la suggestion émise par NASSOGNE (DAMAS, MAGIS et NASSOGNE, 1959) qui considérait qu'un niveau maintenu élevé constituait un moyen de lutter efficacement contre le développement exagéré des plantes palustres.

Disposant de quatre retenues, il devrait être possible de limiter les variations du niveau en établissant un plan d'utilisation préférentielle des retenues. Nous sommes parfaitement conscients de la difficulté du problème. Celui-ci dépend essentiellement des caractéristiques des saisons des pluies pour lesquelles, à l'heure présente, il est impossible de faire des prévisions à long terme.

Malgré ces difficultés, nous espérons que les multiples arguments qui viennent d'être présentés retiendront l'attention des spécialistes chargés de l'exploitation des retenues.

BIBLIOGRAPHIE

- BETTE, R., 1931, Captation de l'énergie de la Lufira à Chutes Cornet (Mwadingusha). *Bull. séances Inst. r. colon. belge*, p. 526.
- COMMISSION D'ÉTUDES DU LAC D'ÉGUZON, 1956, Contribution à l'étude physique, chimique et biologique d'un lac de barrage artificiel. *Ann. St. centr. Hydrobiol. appl.*, VI, p. 5.
- DAMAS, H., 1954, Étude limologique de quelques lacs ruandais. II. Étude thermique et chimique. *Inst. r. colon. belge ; Sect. Sc. nat. et médic., Mém. in-8°, XXIV*, fasc. 4, 116 pp.
- DAMAS, H., 1957, In Mission interdisciplinaire d'étude du Haut Katanga. *Public. Fond. Univ. Liège pour les Recherches scient. Congo belge et Ruanda Urundi (FULREAC)*, 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. Centre Études Probl. soc. indig. (CEPSI), Élisabethville, XLVI*, 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. *Hydrobiologia*, X, p. 215.
- EVENS, E., 1949, Le plancton du lac Moëro et de la région d'Élisabethville. *Rev. zool. bot. afr.*, XLI, fasc. 4, p. 233 et XLII, fasc. I, p. 1.
- GOORTS, P., MAGIS, N. et WILMET, J. (1961), Les aspects biologiques, humains et économiques de la pêche dans le lac de barrage de la Lufira. *Public. Fond. Univ. Liège pour les Rech. sc. au Congo et au Ruanda-Urundi (FULREAC)*, 126 p.
- KUFFERATH, J., 1951, Représentation graphique et classification chimique rationnelle en types des eaux naturelles. *Bull. Inst. r. Sc. Nat. Belgique*, XXVII, fasc. 43, 44 et 45.
- LELOUP, E., 1952, Exploration hydrobiologique du lac Tanganika (1946-47). Les Invertébrés. Vol. I, p. 70. *Inst. r. Sc. Nat. Belgique*. Bruxelles.
- LIVRE DE L'EAU, 1954, Vol. I. *Édit. C. B. E. D. E.*, Liège.
- OHLE, W., 1953, Die chemische und die elektrochemische Bestimmung des molekular Gelösten Sauerstoffs der Binnengewässer. *Assoc. internat. Limnol. théor. et appl.*, Communic. n° 3, 44 pp.
- MAGIS, N. (1961). La pêche dans les lacs de retenues de Koni et de N'Zilo I. *Public. Fond. Univ. Liège pour les Rech. sc. au Congo et au Ruanda-Urundi (FULREAC)*, 53 p.
- SRAMEK-HUSEK, R., 1956, Zur biologischen Charakteristik der höheren Saprobitätstufen. *Archiv. Hydrobiol.*, LI, p. 376.

VAN MEEL, L., 1953, Contribution à l'étude du lac Upemba. A. — Le milieu physico-chimique. *Explor. Parc. nat. Upemba*, fasc. IX. *Inst. Parcs nat. Congo belge*, Bruxelles.

VERBEKE, J., 1957, Exploration hydrobiologique des lacs Kivu, Édouard et Albert. Recherches écologiques sur la faune des grands lacs de l'Est du Congo belge. III, fasc. I, 177 pp. *Inst. r. Sc. Nat. Belgique*, Bruxelles.

UNIVERSITÉ DE LIÈGE
Institut Ed. VAN BENEDEN
Laboratoire Écologie Animale
Prof. H. DAMAS