

LES EAUX DES LACS D'ALTITUDE
DU
RUWENZORI ET DU VISOKE
ÉTUDE CHIMIQUE (1)

PAR

CÉCILE POTVLIÈGE (Bruxelles)

INTRODUCTION

Ce travail concerne l'étude chimique des lacs du Ruwenzori et du lac occupant le cratère de l'ancien volcan Visoke.

Ce sont des lacs de haute altitude situés entre 3.200 et 4.350 m, d'âges légèrement différents (fin Pléistocène supérieur à moderne). Les lacs du Ruwenzori sont en majeure partie alimentés par les eaux de fonte des glaciers. Les moins élevés le sont aussi par des eaux de ruissellement. Le Visoke par contre est uniquement alimenté par l'eau de pluie et de drainage du cône intérieur.

Ces lacs se différencient des lacs européens et américains de haute altitude par le fait d'être situés à l'Équateur, c'est-à-dire de ne pas subir de variations saisonnières.

Tous ces lacs sont en général peu profonds et de faible étendue; cette profondeur varie de 1 m pour le lac le plus récent et le plus élevé : le lac Blanc, jusqu'à 37 m pour le lac Vert. Mais en général, ils ont une profondeur d'une dizaine de mètres. La surface varie de 9,18 ha à 0,10 ha. Le volume de $1.850,10^3$ m³ à moins de 1.000 m³.

Avant d'aborder l'étude proprement dite des divers lacs, je tiens à résumer brièvement les méthodes suivies au cours des investigations. Une partie des analyses fut effectuée au laboratoire du Parc National Albert, au

(1) Cette étude a été réalisée avec l'aide d'une subvention de la Fondation pour favoriser l'Étude scientifique des Parcs Nationaux du Congo et du Ruanda-Urundi.

pied du Ruwenzori. Les autres furent faites au laboratoire de protistologie à l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique. J'y ai bénéficié de la compétence et de l'aide attentive de M. L. VAN MEEL que je remercie ici bien vivement.

Ce fut la première fois que l'on utilisa le laboratoire de Mutsora, laboratoire spacieux, muni de tables et d'étagères, mais où il fallut amener tout le matériel d'analyse et organiser une distribution d'eau pour les besoins du laboratoire ainsi que la production d'eau distillée.

L'eau fut amenée par dérivation de la rivière Talya, d'abord sur un filtre de sable, cailloux, charbon de bois, de là dans des réservoirs vers le laboratoire où elle fut bidistillée en Pyrex. Les échantillons d'eau furent prélevés par les autres membres de l'expédition, descendus par les porteurs au laboratoire où ils furent analysés quant aux éléments labiles. Les éléments minéraux stables dont l'analyse demandait un appareillage spécial furent dosés à Bruxelles.

1° pH. — Le pH-mètre de Beckman modèle N muni d'électrodes de verre et de calomel fut utilisé. Il fut réglé systématiquement à l'aide de solutions tampon Beckman de pH = 4,0-7,0 et 10,0 (latitude d'erreur $\pm 0,05$ pH).

2° Alcalinité. — Celle-ci a été déterminée par potentiométrie au moyen de solutions Titrisol HCl N/10. La précision de la burette était au 50° (latitude d'erreur $\pm 0,01$ cc HCl N/1).

3° Acide carbonique libre. — Par potentiométrie au moyen du pH-mètre de Beckman, solution Titrisol Na_2CO_3 N/10. Burette au 100° (latitude d'erreur $\pm 0,06$ mg/l).

4° Oxygène. — On a fait usage de la méthode classique de Winkler. Solution Titrisol d'hyposulfite N/10. En ce qui concerne les calculs, le % de saturation fut corrigé non seulement pour la température mais encore pour la pression atmosphérique, en appliquant la méthode de C. H. MORTIMER (1956). Afin de faciliter les calculs j'ai fait usage de la règle à calcul circulaire pour dosage de l'oxygène récemment introduite par R. BURKARD (1956).

5° Cl. — Dosage ordinaire par la méthode de Mohr.

6° SO_4 . — Par volumétrie iodométrique.

7° NO_3 . — Par colorimétrie à la brucine sulfurique.

8° NO_2 . — Par colorimétrie à la méthode de Griess en appliquant la réaction colorée au moyen d'acide sulfanilique et de naphtylamine.

9° PO_4 . — Par colorimétrie de l'acide phosphomolybdique réduit par le chlorure stanneux.

10° Si O₂. — Par colorimétrie de l'acide silicomolybdique et comparaison avec une solution d'acide picrique de teinte équivalente (latitude d'erreur $\pm 0,1$ mg/l).

11° Ca et Mg. — Dosage volumétrique à l'aide de Complexon, selon une méthode mise au point au laboratoire par M. L. VAN MEEL (latitude d'erreur $\pm 0,08$ mg/l).

12° Na et K. — Au moyen d'un photomètre à flamme en adoptant la méthode du standard interne (latitude d'erreur $\pm 0,1$ mg/l pour Na et $\pm 0,05$ mg/l pour K).

13° NH₃. — Par nesslerisation et colorimétrie.

14° Fer. — Par colorimétrie à l'ortho-phénanthroline (latitude d'erreur $\pm 0,02$ mg/l).

15° Urée. — Selon la méthode décrite par KORTZ et COHEN, 1954. On développe une coloration rose en faisant réagir l'urée avec de la diacétylmonoxime en présence d'une amine aromatique (diphénylamine-para-sulfonate de sodium) et de persulfate de potassium. La réaction est fort sensible à la lumière solaire et à la température. Afin d'opérer dans les meilleures conditions, tous les dosages d'urée furent faits après le coucher du soleil. Toutefois, des causes indéterminées ont considérablement réduit la sensibilité de la méthode telle qu'elle fut mise au point à Bruxelles (j'ai obtenu à Bruxelles une sensibilité de 1 micromole à ± 3 % et à Mutsora une sensibilité de 0,5 mg/l). L'un des facteurs en cause était sans doute la température trop élevée du laboratoire (supérieure à 24°, température optimum pour la réaction colorée).

16° Résistivité. — Mesurée en ohms/cm² à 18° à l'aide du conductomètre Metrohm 182.

17° Température. — Fut mesurée aux diverses profondeurs à l'aide d'un thermomètre à renversement (latitude d'erreur estimée à $\pm 0,2^\circ$).

CARTOGRAPHIE ET MESURES D'ALTITUDE.

On trouvera dans la publication de J. DE HEINZELIN et H. MOLLARET (1956) les cartes et courbes bathymétriques de cinq des lacs étudiés : Blanc, Gris, Vert, Noir, Catherine.

M. J. DE HEINZELIN a complété ces cartes en 1958 par celles des lacs de Kitandara et du Visoke, qu'on trouvera ici (fig. 1, 2, 3 et 4).

Les altitudes lues à l'altimètre Thommen furent corrigées selon une méthode approchée décrite en 1956.

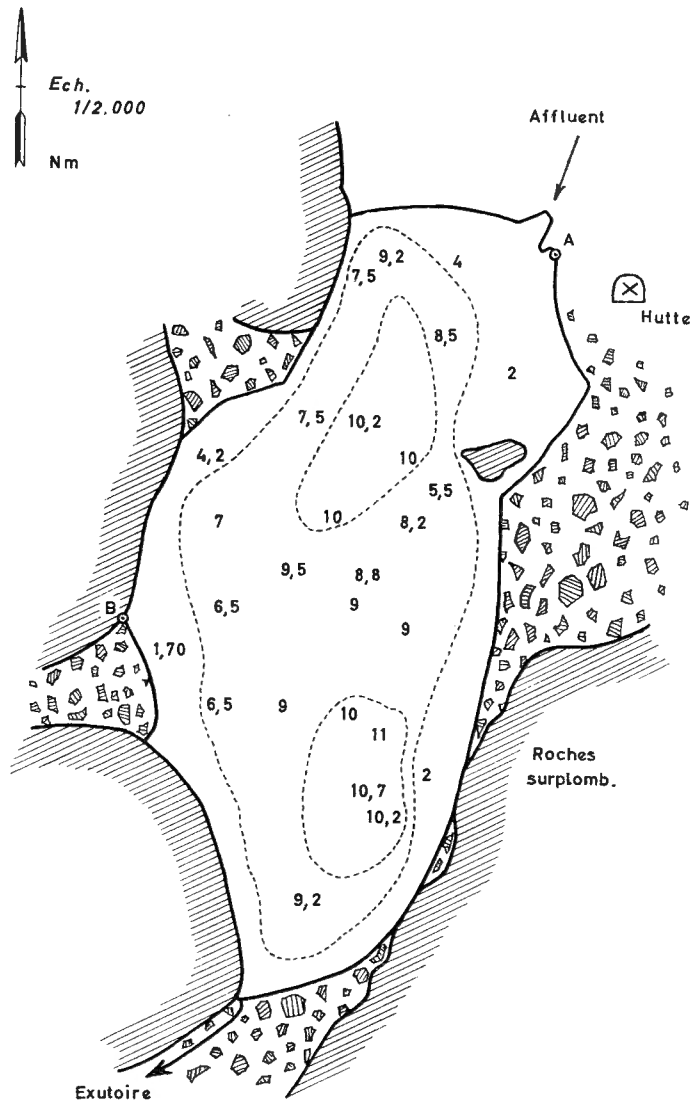


FIG. 1. — Lac inférieur de Kitandara.
(Cartographie JEAN DE HEINZELIN.)

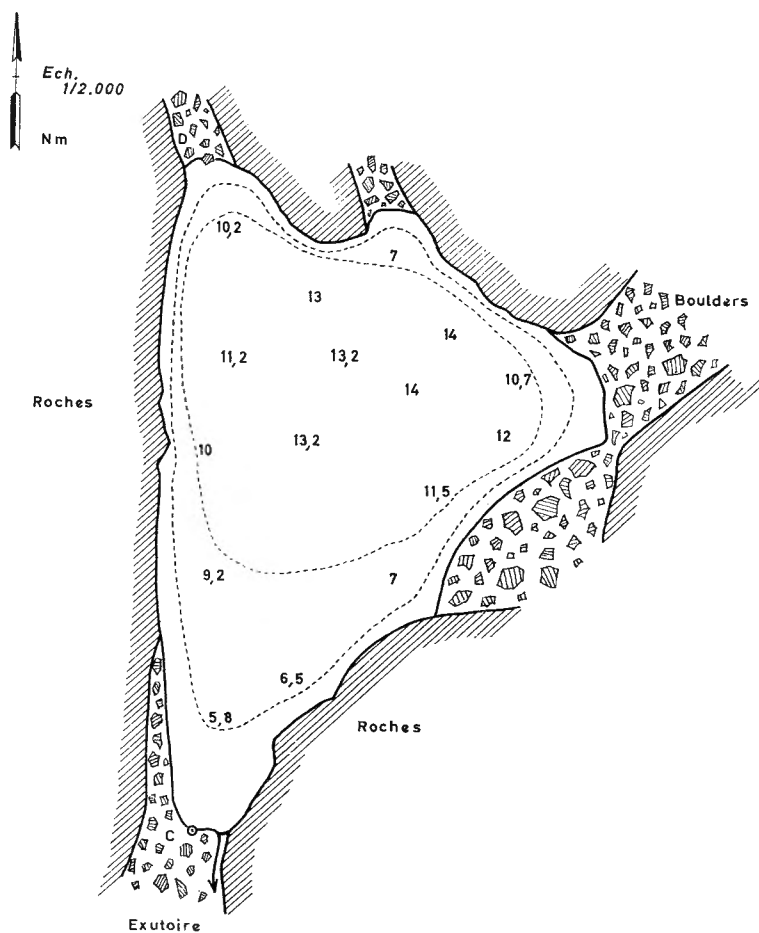


FIG. 2. — Lac supérieur de Kitandara.
(Cartographie JEAN DE HEINZELIN.)

Pour le calcul de la saturation en oxygène, la pression atmosphérique fut déduite des mesures d'altitude à l'aide d'un graphique spécialement établi par M. L. JONES, de l'Institut Géographique Militaire. Que M. JONES veuille bien trouver ici l'expression de mes remerciements.

Les courbes de niveau ont été interpolées entre les stations de sondage et les surfaces ont été planimétrées. Les volumes ont été calculés d'après la formule approchée de PENCK :

$$V = \frac{h(A + a + \sqrt{Aa})}{3}$$

pour chaque tranche de hauteur h , de surface supérieure et inférieure A et a . Le volume total est ΣV .

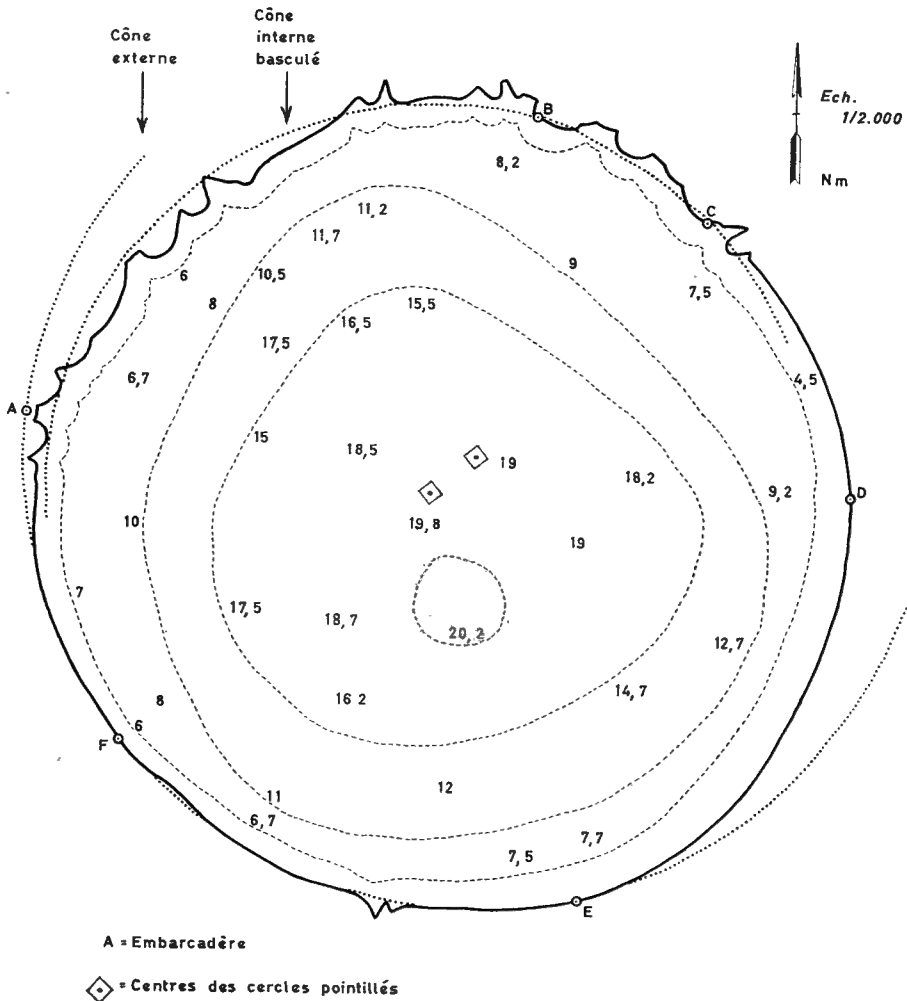


FIG. 3. — Cratère-lac du Visoke (ou Bishoke).
(Cartographie JEAN DE HEINZELIN.)

Profondeur moyenne = (volume total/surface supérieure).

Il faut admettre une large marge d'erreur pour les chiffres trouvés. En effet, les positions de toutes les stations de sondage ne sont qu'approchées, les lectures d'angles précises étant pratiquement impossibles en bateau, par suite de la dérive due au vent.

TABLEAU I.

	Lac Noir	Lac Vert				Lac Gris		Lac Blanc	Lac Catherine		Kitandara Inférieur		Kitandara Supérieur		Visoke					
		Eau				Eau			Eau		Eau		Eau		Eau					
		de surface	de 15 m	de 25 m	de 34 m	de surface	de 3 m (fond)		de surface	de 9,5 m (fond)	de surface	de 7,5 m (fond)	de surface	de 10,5 m (fond)	de surface	de 5 m	de 10 m	de 15 m	de 19 m	de 20 m
Altitude en m :																				
lue	3.650	4.036	—	—	—	4.150	—	4.200	3.900	—	3.670	—	3.693	—	3.420	—	—	—	—	—
corrégée	3.785	4.185	—	—	—	4.300	—	4.350	4.050	—	3.805	—	3.828	—	3.587	—	—	—	—	—
Surface en hectares	7,18	9,18	—	—	—	—	—	0,10	2,75	—	2,48	—	2,63	—	6,95	—	—	—	—	—
Volume en m ³	420.10 ³	1.850.10 ³	—	—	—	11.10 ³	—	<1.000 ³	100.10 ³	—	145.10 ³	—	210.10 ³	—	770.10 ³	—	—	—	—	—
Profondeur moyenne en m	5,80	20,10	—	—	—	1,83	—	env. 1	3,70	—	5,75	—	8,00	—	11,10	—	—	—	—	—
Température °C	(1956) 7°5	6°8/6°25	5°2/5°75	5°5	4°9	(1956) 2°6	—	1°	6°5	5°5	—	5°3	5°2	4°6	9°7	8°7	8°	7°5	7°7	7°7
Oxygène :																				
mg/l	6,38	7,00	6,74	6,30	—	8,16	8,00	7,75	7,34	6,83	—	—	—	—	6,17	6,77	3,97	1,24	0,91	0,66
cc/l	4,46	4,89	4,71	4,40	—	5,80	5,60	5,42	5,13	4,78	—	—	—	—	4,31	4,73	2,77	0,86	0,63	0,46
% de saturation	87	97	92	85	—	103	101	95	100	91	—	—	—	—	86	93	53	15	12	9
H ₂ CO ₃ mg/l	2,55	2,80	2,55	2,43	3,24	2,49	2,18	2,58	2,24	2,24	2,18	2,33	2,74	2,21	3,44	3,51	6,45	8,41	9,96	—
CO ₂ mg/l	1,80	1,98	1,80	1,72	2,29	1,76	1,54	1,82	1,58	1,58	1,54	1,65	1,93	1,56	2,44	2,48	4,57	5,96	7,06	—
Alcalinité :																				
cc HCl N/l	0,18	0,037	0,035	—	0,030	0,03	0,03	0,00	0,20	0,20	0,07	0,11	0,08	0,09	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	—
HCO ₃ mg/l	11,00	2,20	2,10	—	1,80	1,80	1,80	id.	12,20	12,20	4,20	6,70	4,90	5,50	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	—
% des anions	54,87	22,15	22,01	—	18,75	32,25	32,60	id.	72,20	62,30	34,82	45,08	37,74	39,82	27,77	28,41	27,17	28,90	27,77	—
pH	6,85	6,50	6,40	6,30	6,25	6,2	6,2	5,65 à 6,1	7	7	6,6	6,6	6,6	6,6	6,0	6,0	5,7	5,6	5,5	—
Si mg/l	2,07	1,82	1,74	1,78	1,82	0,00	0,00	0,00	1,08	1,70	1,84	1,88	1,85	1,92	1,82	1,78	1,88	1,73	1,82	—
SiO ₂ :																				
mg/l	4,42	3,90	3,72	3,80	3,90	id.	id.	id.	2,31	3,63	3,04	4,02	3,96	4,10	3,90	3,80	4,02	3,70	3,90	—
m équival/l	0,148	0,130	0,124	0,126	0,130	id.	id.	id.	0,077	0,121	0,431	0,134	0,132	0,136	0,130	0,126	0,134	0,123	0,130	—
% des anions	45,12	77,84	77,98	—	81,25	id.	id.	id.	27,80	37,69	65,17	54,92	62,26	60,17	72,22	71,59	72,82	71,09	72,22	—
CaCO ₃ mg/l	9,0	1,6	2,1	1,9	1,9	1,8	2,0	1,5	8,0	11,4	7,7	7,6	5,6	6,1	1,7	1,9	1,8	1,5	1,4	—
Ca :																				
mg/l	3,60	0,64	0,84	0,76	0,76	0,72	0,80	0,60	3,20	4,56	3,08	3,04	2,24	2,44	0,68	0,76	0,72	0,60	0,56	—
m équival/l	0,179	0,032	0,042	0,038	0,038	0,036	0,040	0,029	0,159	0,227	0,153	0,151	0,111	0,122	0,035	0,038	0,036	0,030	0,028	—
% des cations	53,75	21,47	29,16	—	22,89	38,70	43,47	35,80	56,78	65,04	72,51	62,14	48,26	55,45	22,43	24,05	23,22	19,73	16,18	—
MgCO ₃ mg/l	2,90	1,70	1,50	1,50	1,30	0,00	0,00	0,00	tr.	2,20	0,80	1,00	1,40	1,20	1,70	1,20	1,30	1,60	1,80	—
Mg :																				
mg/l	0,70	0,41	0,35	0,35	0,30	id.	id.	id.	id.	0,53	0,20	0,24	0,34	0,29	0,41	0,29	0,31	0,38	0,44	—
m équival/l	0,057	0,033	0,028	0,028	0,024	id.	id.	id.	id.	0,043	0,016	0,010	0,027	0,023	0,033	0,024	0,025	0,031	0,036	—
% des cations	17,11	22,14	19,44	—	14,45	id.	id.	id.	id.	12,28	7,58	7,81	11,74	10,45	21,15	15,19	16,13	20,39	20,81	—
Na :																				
mg/l	2,00	1,70	1,60	—	2,10	1,20	1,10	1,10	2,40	1,40	0,80	1,50	2,00	1,50	1,70	1,90	1,90	1,70	2,20	—
m équival/l	0,087	0,074	0,069	—	0,091	0,052	0,047	0,047	0,104	0,060	0,034	0,065	0,087	0,065	0,074	0,082	0,082	0,074	0,095	—
% des cations	26,12	49,66	47,92	—	54,82	55,91	51,10	58,00	37,14	17,19	16,11	26,74	37,82	29,55	47,43	51,89	52,90	48,68	54,91	—
K :																				
mg/l	0,40	0,40	0,22	—	0,52	0,20	0,20	0,20	0,68	0,74	0,32	0,33	0,20	0,40	0,54	0,55	0,47	0,67	0,55	—
m équival/l	0,010	0,010	0,005	—	0,013	0,005	0,005	0,005	0,017	0,019	0,008	0,008	0,005	0,010	0,014	0,014	0,012	0,017	0,014	—
% des cations	3,00	6,73	3,47	—	7,83	5,37	5,43	6,20	6,07	5,44	3,79	3,30	2,20	4,54	9,00	8,86	7,74	11,18	8,10	—
Fe mg/l	0,10	0,08	0,08	0,10	0,11	0,00	0,13	0,00	tr.	tr.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,07	0,18	0,20	—
Urée mg/l (*)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—
Somme des anions m équival/l	0,328	0,167	0,159	—	0,160	0,03	0,03	0,00	0,277	0,321	0,201	0,244	0,212	0,226	0,180	0,176	0,184	0,173	0,180	—
Somme des cations m équival/l	0,333	0,149	0,144	—	0,166	0,093	0,092	0,081	0,280	0,349	0,211	0,243	0,230	0,220	0,156	0,158	0,155	0,152	0,173	—
Salinité mg/l	22	9	9	—	9	4	4	2	21	23	13	16	14	14	10	10	10	10	11	—
Résidu sec mg/l	24	11	25	22	—	11	—	—	—	—	19	29	22	22	30	—	30	31	40	—
Résistivité à 18° en ohms/cm ²	43.000	108.000	109.000	—	112.000	166.000	157.000	174.000	37.000	38.000	54.000	55.000	69.000	64.000	95.000	96.000	96.000	86.000	92.000	—

(*) Lac Catherine : ± 1,5 mg/l dans H₂O de macération d'algues; traces dans H₂O de macération de plancton du déversoir.

Lac gris : Traces dans l'eau prélevée le long du bord.

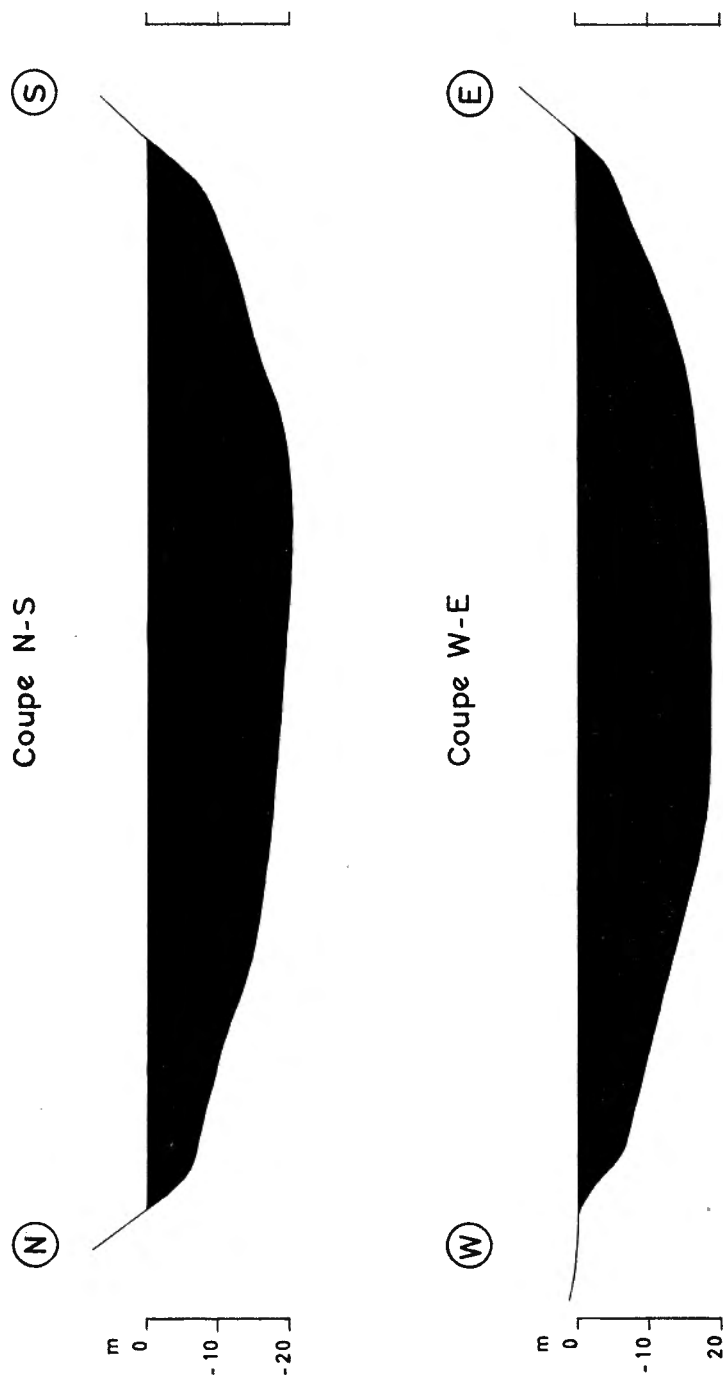


Fig. 4. — Coupe au travers du cratère-lac du Visoke.

TABLEAU II. — **Température.**

	Lac Noir	Lac Vert	Lac Gris	Lac Blanc	Lac Catherine	Kitandara Inférieur	Kitandara Supérieur	Visoke
Altitude corrigée en m	3.785	4.485	4.300	4.350	4.050	3.805	3.828	3.587
Température :								
de surface en 1956	7°8 (16.II)	—	2°6 (13.II)	2°6 (13.II)	6°1 (12.II)	—	—	—
profondeur en 1956	7°3 (16.II) 9 m	6° (10.II) 5 m 6°1 (10.II) 30 m	—	—	—	—	—	—
Température de l'air en 1956 .	6°4	7°6	5°	4°9	7°	—	—	—
Température :								
de surface en 1958	—	6°8 (5.I) 6°2 (16.I)	—	1° (8.I)	6°5 (15.I)	—	5°2 (13.I)	9°7
profondeur en 1958	—	5°2 (5.I) 15 m 5°7 (16.I) 15 m 5°5 (16.I) 25 m 4°9 (5.I) 34 m	—	—	5°5 (15.I) 9,5 m	5°3 (13.I) 7,5 m	4°6 (13.I) 10,5 m	8°7 5 m 8° 10 m 7°5 15 m 7°7 19 m 7°7 20 m

TABLEAU III. — Oxygène.

	Température °C	Oxygène mg/l	Oxygène cc/l	Oxygène % de saturation
Lac Noir : surface	7°8 (1956)	6,38	4,46	87
Lac Vert :				
surface	6°2	7,00	4,89	97
15 m	5°7	6,74	4,71	92
25 m	5°5	6,30	4,40	85
Lac Gris :				
surface	2°6	8,16	5,80	103
3 m	—	8,00	5,60	101
Lac Blanc : surface	1°	7,75	5,42	95
Lac Catherine :				
surface	6°5	7,34	5,13	100
9,5 m	5°5	6,83	4,78	91
Visoke :				
surface	9°7	6,17	4,31	86
5 m	8°7	6,77	4,73	93
10 m	8°	3,97	2,77	53
15 m	7°5	1,24	0,86	15
19 m	7°7	0,91	0,63	12
20 m	7°7	0,66	0,46	9

TABLEAU IV. — Système de l'acide carbonique.

	H ₂ CO ₃ mg/l	CO ₂ libre mg/l	Alcalinité cc HCl/N ‰	pH
Lac Noir : surface	2,55	1,80	0,18	6,85
Lac Vert :				
surface	2,80	1,98	0,037	6,5
15 m	2,55	1,80	0,035	6,4
25 m	2,43	1,72	—	6,3
34 m	3,24	2,29	0,03	6,25
Lac Gris :				
surface	2,49	1,76	0,03	6,2
fond 3 m	2,18	1,54	0,03	6,2
Lac Blanc : surface	2,58	1,82	0,00	5,65 à 6,1 d'après les endroits
Lac Catherine :				
surface	2,24	1,58	0,20	7,0
9,5 m (fond)	2,23	1,58	0,20	7,0
Kitandara inférieur :				
surface	2,18	1,54	0,07	6,6
7,5 m (fond)	2,33	1,65	0,11	6,6
Kitandara supérieur :				
surface	2,74	1,93	0,08	6,6
10,5 m (fond)	2,21	1,56	0,09	6,6
Visoke :				
surface	3,44	2,44	0,05	6,0
5 m	3,51	2,48	0,05	6,0
10 m	6,45	4,57	0,05	5,7
15 m	8,41	5,96	0,05	5,6
19 m	9,96	7,06	0,05	5,5

TABLEAU V. — Silice.

Lac Noir : surface	4,40 mg/l de SiO ₂
Lac Vert :	
surface	3,90
15 m.	3,72
25 m.	3,80
34 m.	3,90
Lac Gris :	
surface	0,00
fond	0,00
Lac Blanc	0,00
Lac Catherine :	
surface	2,31
fond	3,63
Kitandara inférieur :	
surface	3,96
7,5 m	4,10
Kitandara supérieur :	
surface	3,96
10,5 m	4,10
Visoke :	
surface	3,90
5 m	3,80
10 m.	4,02
15 m.	3,70
19 m.	3,90

TABLEAU VI. —

	Lac Noir	Lac Vert	Lac Gris
Ca mg/l	3,60 (S)	0,64 (S) 0,84 (15 m) 0,76 (25 m) 0,76 (34 m)	0,72 (S) 0,80 (F 3 m)
Mg mg/l	0,70 (S)	0,41 (S) 0,35 (15 m) 0,35 (25 m) 0,30 (34 m)	0,00
Na mg/l	2,0 (S)	1,7 (S) 1,6 (15 m) 2,1 (34 m)	1,2 (S) 1,1 (F 3 m)
K mg/l	0,40 (S)	0,40 (S) 0,22 (15 m) 0,52 (34 m)	0,20 (S) 0,20 (F 3 m)
Fe mg/l	0,10 (S)	0,08 (S) 0,08 (15 m) 0,10 (25 m) 0,11 (34 m)	0,00 (S) 0,13 (F 3 m)
Résistivité à 18° en ohms/cm ²	43.000	108.000 (S) 112.000 (F)	166.000 (S) 157.000 (F)
Salinité mg/l	22	9 (S) 9 (F)	4 (S) 4 (F)
Sous-sol géologique	Gabbro à hornblende et dérivés dynamométamor = Série du Stanley		

S = surface.

F = fond.

Système des cations.

Lac Blanc	Lac Catherine	Kitandara Inférieur	Kitandara Supérieur	Visoke
0,60 (S)	3,20 (S) 4,56 (F 9,5 m)	3,08 (S) 3,04 (F 7,5 m)	2,24 (S) 2,44 (F 10,5 m)	0,68 (S) 0,76 (5 m) 0,72 (10 m) 0,60 (15 m) 0,56 (19 m)
0,00	tr. (S) 0,53 (F 9,5 m)	0,20 (S) 0,24 (F 7,5 m)	0,34 (S) 0,29 (F 10,5 m)	0,41 (S) 0,29 (5 m) 0,31 (10 m) 0,38 (15 m) 0,44 (19 m)
1,1 (S)	2,4 (S) 1,4 (F 9,5 m)	0,8 (S) 1,5 (F 7,5 m)	2,0 (S) 1,5 (F 10,5 m)	1,7 (S) 1,9 (5 m) 1,9 (10 m) 1,7 (15 m) 2,2 (19 m)
0,20 (S)	0,68 (S) 0,74 (F 9,5 m)	0,32 (S) 0,33 (F 7,5 m)	0,20 (S) 0,40 (F 10,5 m)	0,54 (S) 0,55 (5 m) 0,47 (10 m) 0,67 (15 m) 0,55 (19 m)
0,00	tr.	0,00	0,00	0,07 (S) 0,07 (5 m) 0,07 (10 m) 0,18 (15 m) 0,20 (19 m)
174.000 (S)	37.000 (S) 38.000 (F)	54.000 (S) 55.000 (F)	69.000 (S) 64.000 (F)	95.000 (S) 92.000 (F)
2	21 (S) 23 (F)	13 (S) 16 (F)	14 (S) 14 (F)	10 (S) 11 (F)
phiques, amphibolites, dolérites		Schistes et micaschistes à cordiérite, sillimanite, grenats; drainage provenant des roches basiques de la Série du Stanley		Cône volcanique

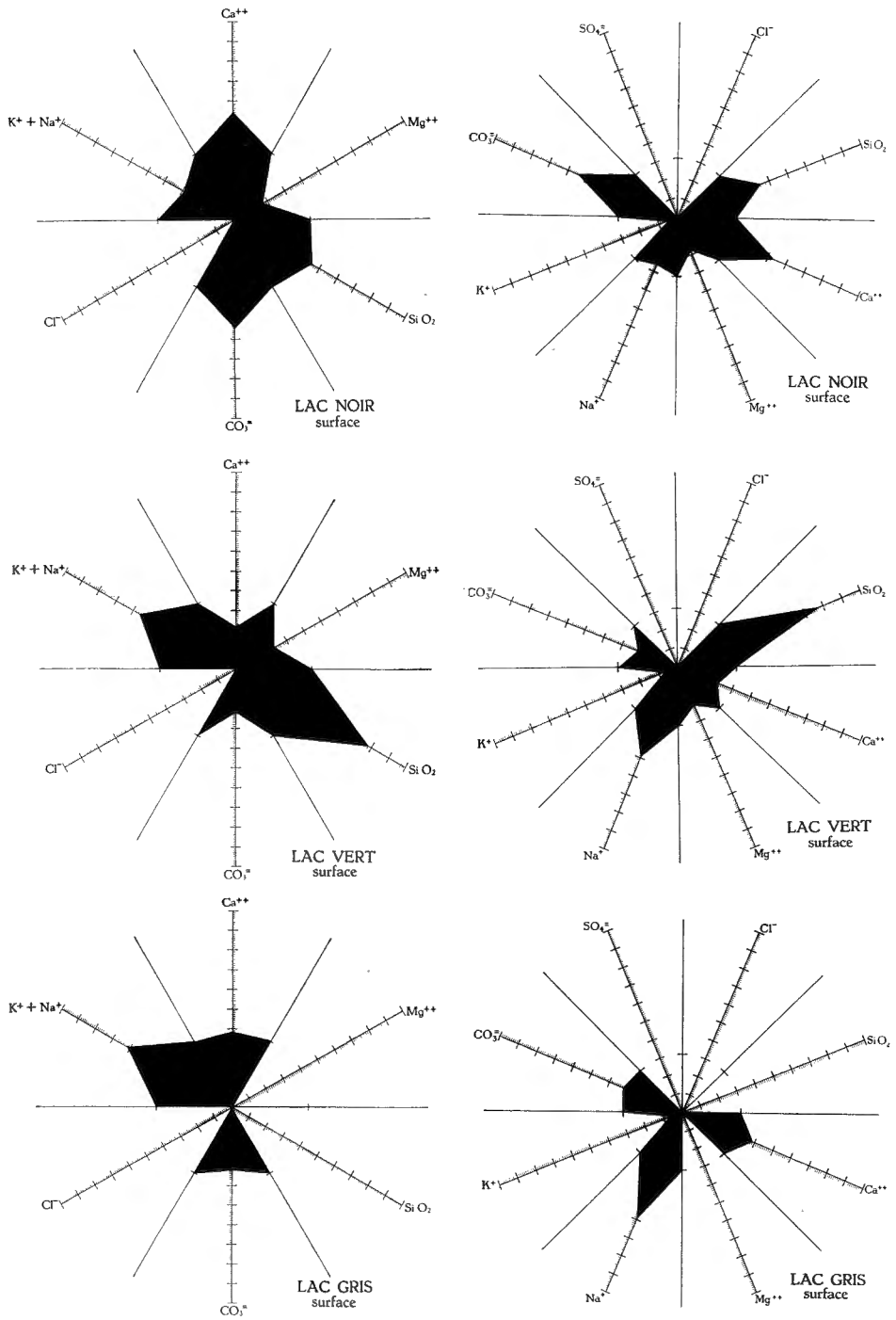


FIG. 5. — Diagrammes ioniques.

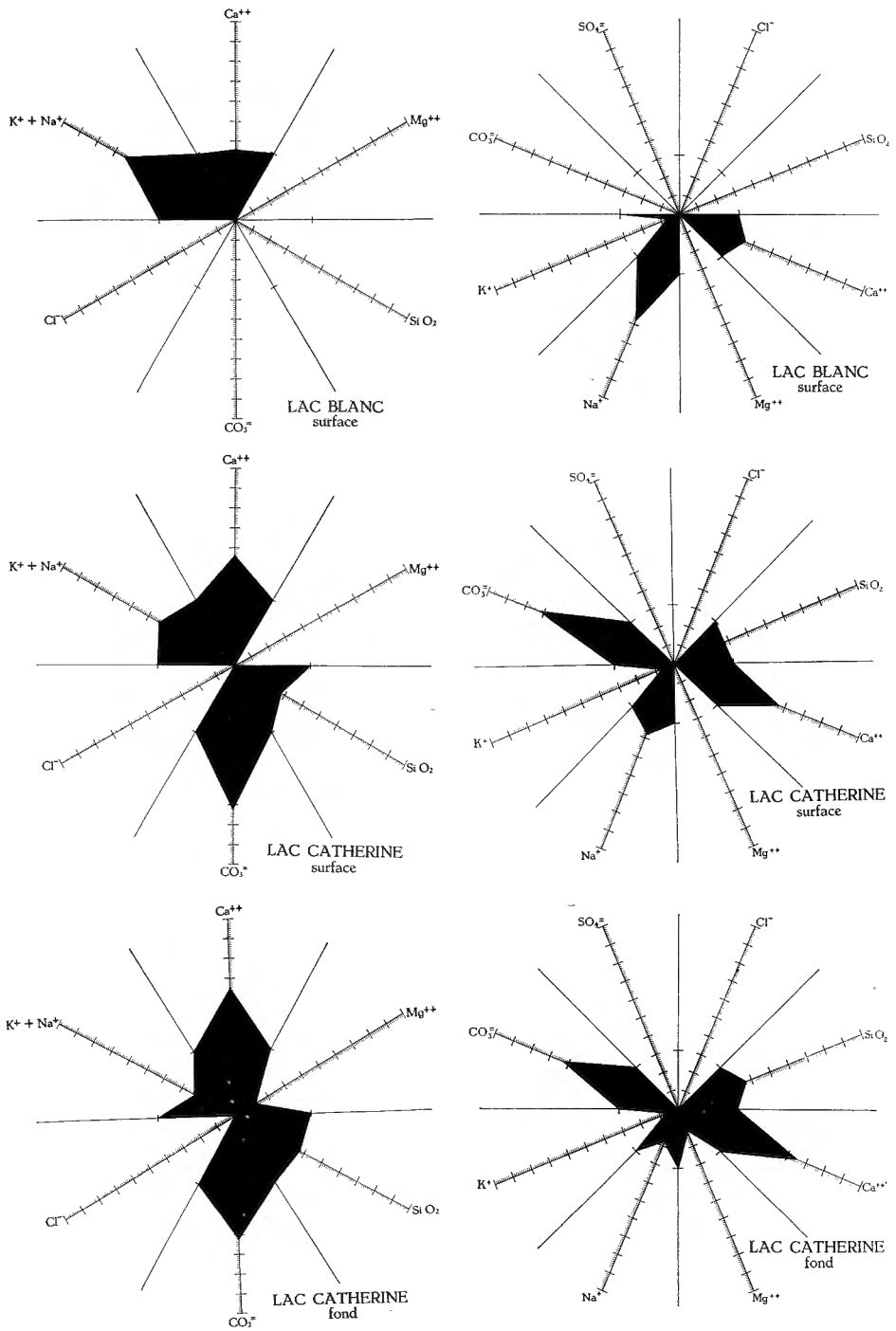


FIG. 6. — Diagrammes ioniques.

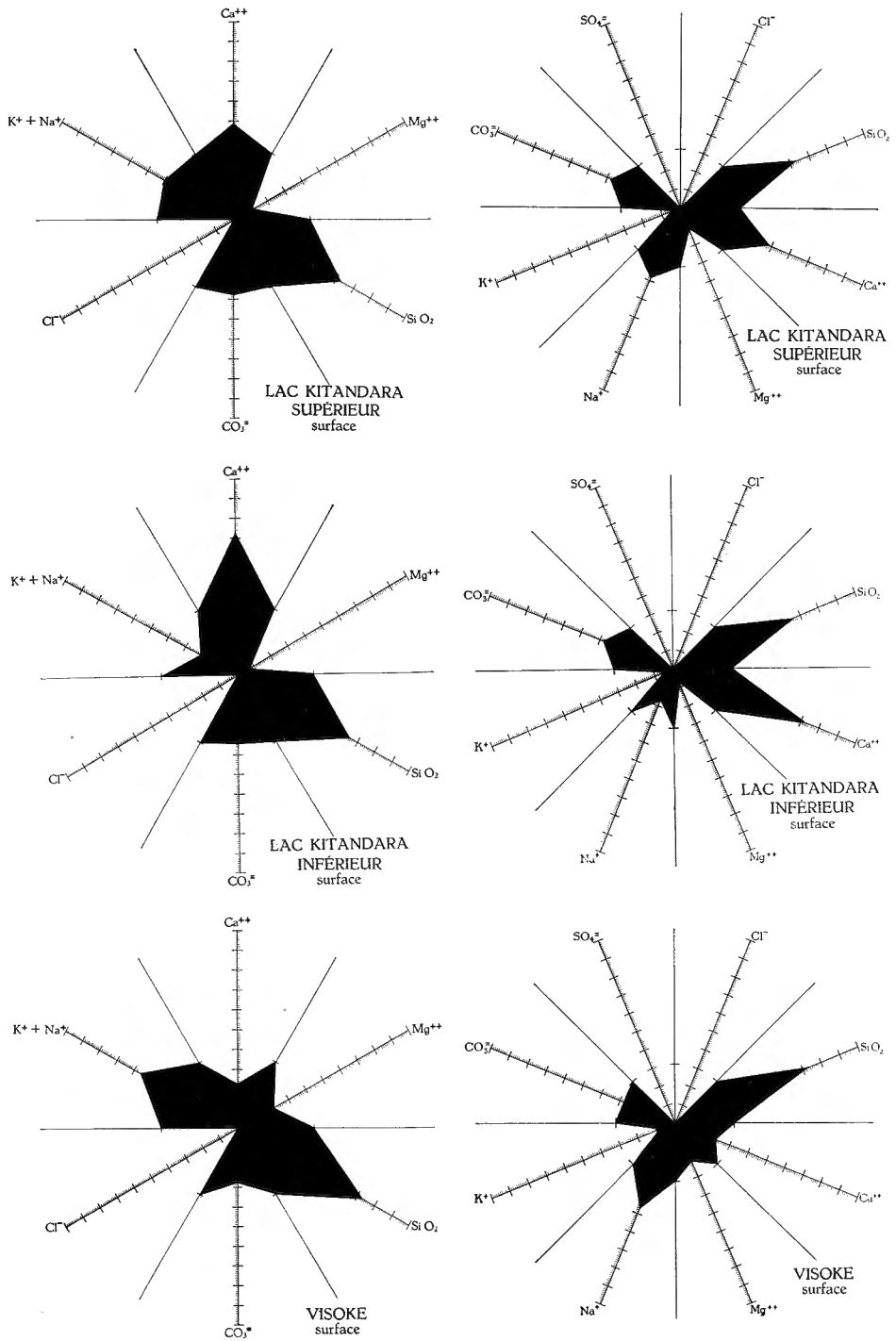


FIG. 7. — Diagrammes ioniques.

LAC VERT

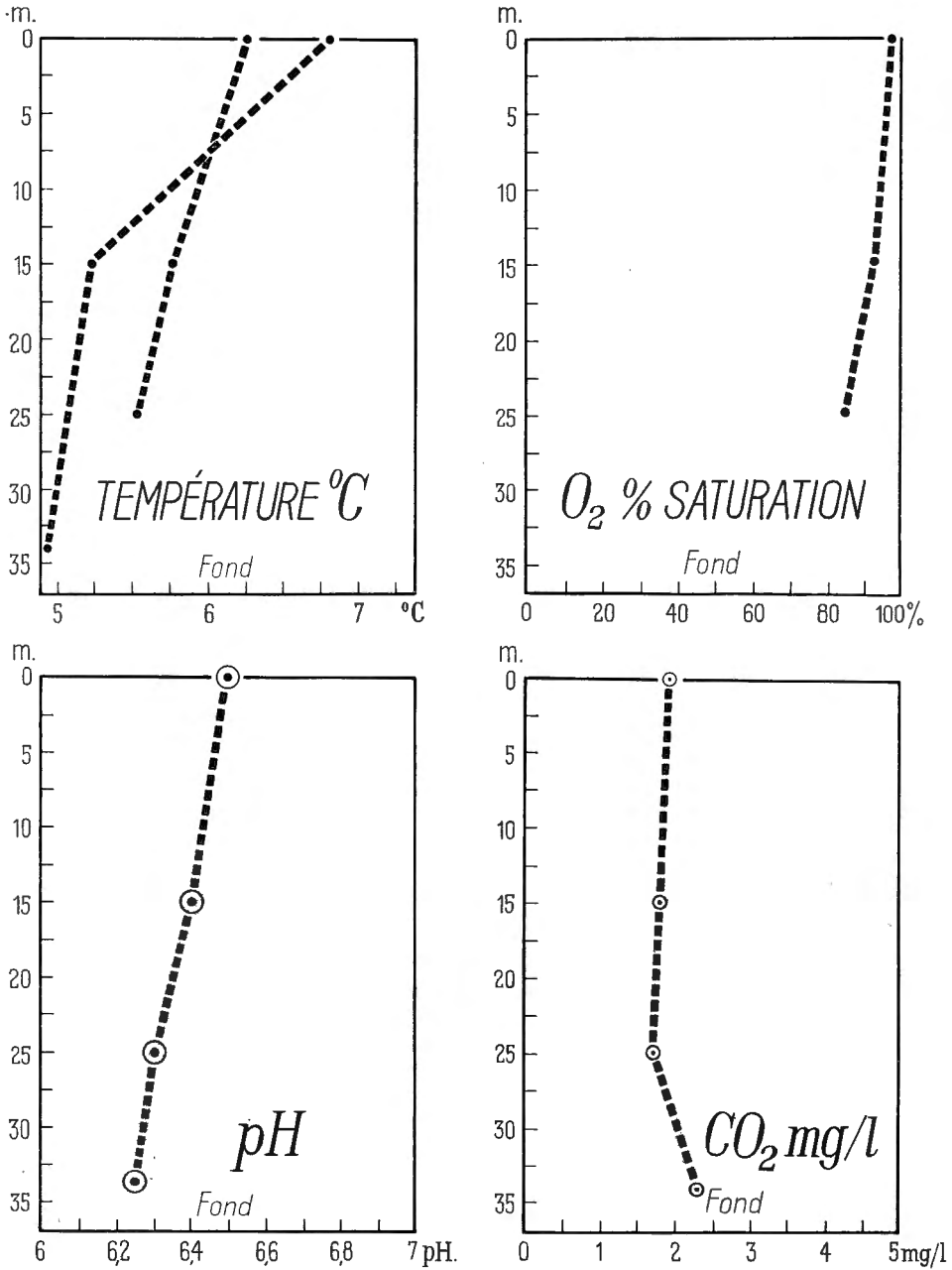


FIG. 8. — Lac Vert. Stations en profondeur.

VISOKE

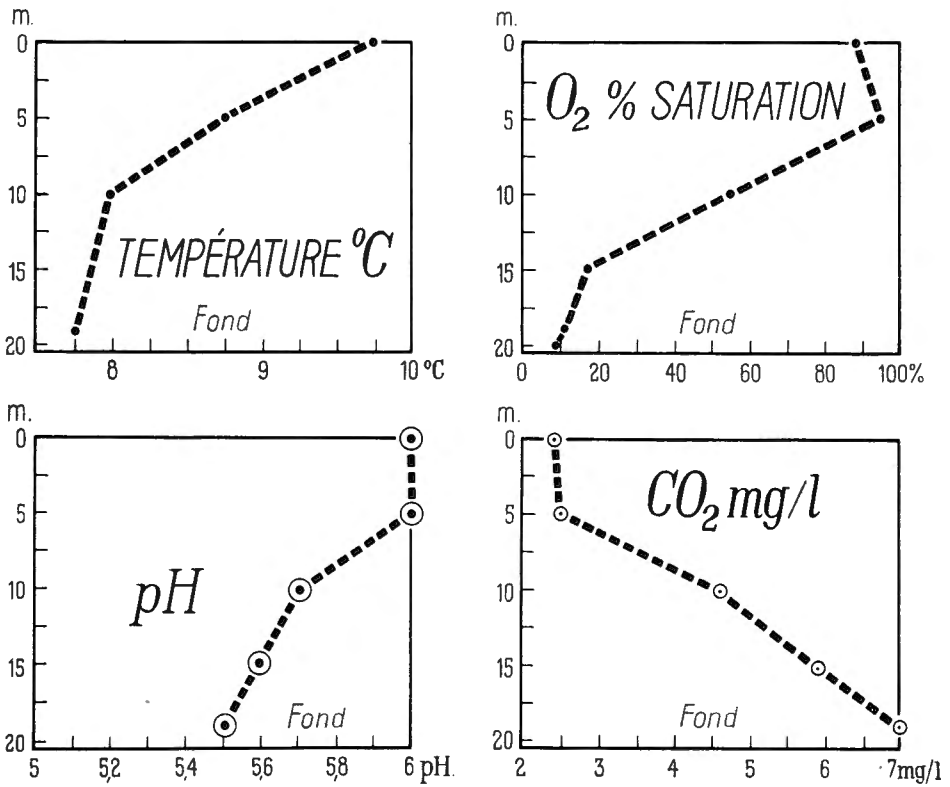


FIG. 9. — Cratère-lac du Visoke. Station de profondeur.

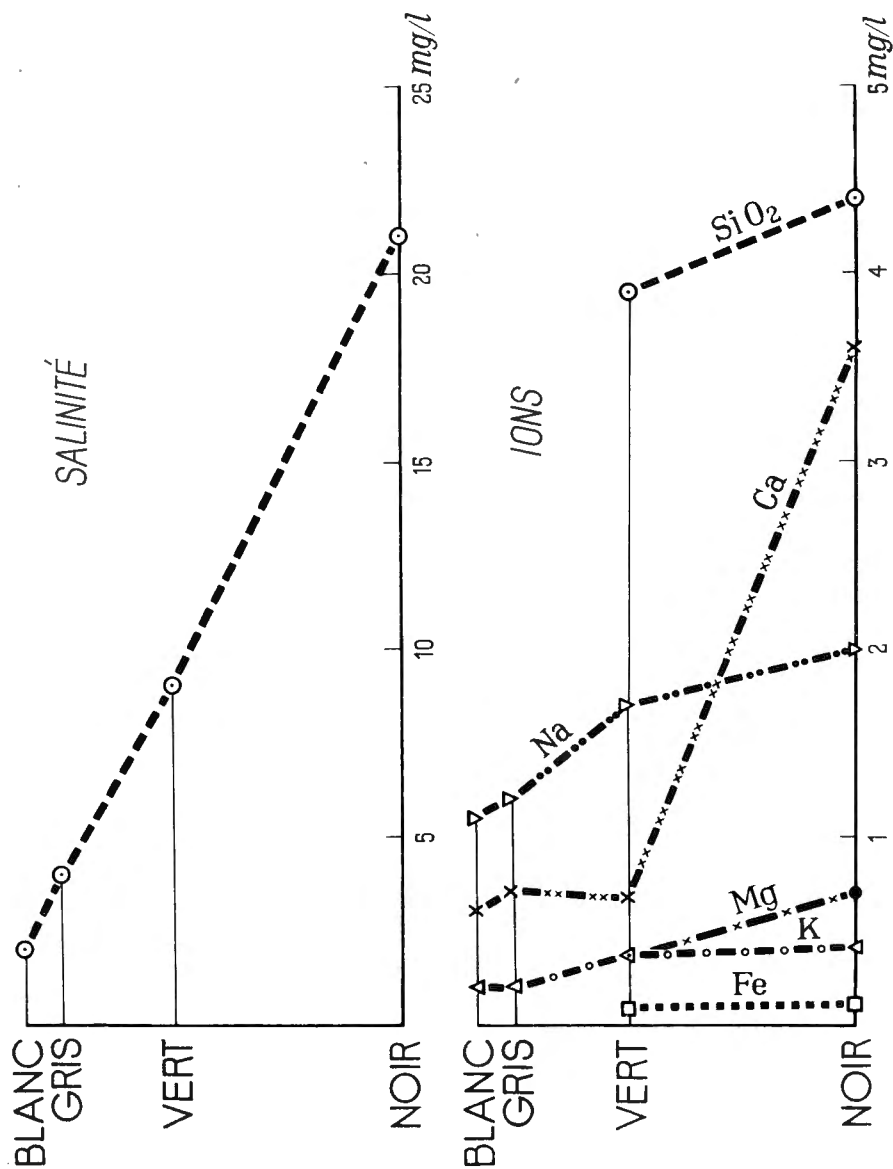


Fig. 10. — Evolution de la salinité et des concentrations ioniques en fonction de la longueur du drainage.

DISCUSSION ET COMPARAISON DES RÉSULTATS.

LA TEMPÉRATURE.

La température de la plupart des lacs du Ruwenzori avait déjà été mesurée une première fois en 1956, vers la même période de l'année; il n'y a guère d'écart entre les deux séries de mesures. Sans qu'on ait pu le vérifier, on ne peut s'attendre à des variations saisonnières importantes puisque ni l'ambiance ni l'alimentation ne subissent de fluctuations notables.

Par contre, il existe certainement des variations journalières et diurnes-nocturnes de la surface, sous l'influence de l'insolation, de la nébulosité et du brassage par le vent. Ces facteurs paraissent se manifester lorsqu'on compare les courbes de température en profondeur du lac Vert à dix jours d'intervalle. Dans un cas, la courbe est rectiligne et, dans l'autre, fort infléchie. A l'altitude du lac Vert, une nébulosité presque constante est entrecoupée de rares éclaircies très ensoleillées avec très forte irradiation. D'autre part, pendant les périodes de mauvais temps, il n'est pas rare que des vents de l'ordre de 80 km/h balayent la surface des lacs.

La température de surface paraît dépendre surtout de l'alimentation. Les lacs Blanc et Gris, alimentés directement par le glacier Stanley occidental, ont une température inférieure à 4°. Le lac Vert, situé plus bas dans la même vallée, a une température de surface plus élevée. L'eau parvenue au lac Noir, le plus bas, a déjà semble-t-il eu le temps de se mettre à peu près en équilibre avec le milieu, car sa température est voisine de la température de l'air.

La température du lac Catherine est semblable à celle du lac Vert, mais les lacs de Kitandara, cependant à une altitude inférieure, ont des températures de 1°5 plus basses. Sans doute parce qu'ils sont situés dans une vallée encaissée et plus proches d'une alimentation directe par les glaciers du Stanley sud et du Baker.

La température de surface du Visoke, situé à une altitude comparable mais dans une tout autre ambiance que les lacs de Kitandara et le lac Noir, a une température de surface plus élevée, proche de 10°.

L'évolution de la température en fonction de la profondeur n'est, parmi nos mesures, significative que pour le lac Vert et le Visoke. Pour le lac Vert, les eaux du fond s'approchent de la densité maximum de 4°5. Pour le Visoke, la température ne s'abaisse que très peu avec la profondeur et paraît même s'élever d'un quart de degré au contact du fond, ce qui pourrait être l'indice d'une activité volcanique latente.

On n'a pu mettre en évidence l'existence d'un thermocline, les mesures étant trop espacées. Au lac Vert, il s'en ébauche peut-être un le 5 janvier mais il disparaît certainement le 16 janvier.

Les plus caractéristiques des lacs du Ruwenzori : lac Vert, lac Noir, lacs de Kitandara pourraient être classés parmi les lacs oligomictiques de HUTCHINSON et LOFFER : lacs de faible surface dans une région de grande humidité à température moyenne supérieure à 4°; ils ne possèdent guère de circulation, une faible différence de température entre la surface et le fond suffisent à maintenir une stratification stable; ils subissent peu ou pas de circulation, hormis celle de surface entre l'affluent et l'effluent.

Par contre, s'il s'avère que la température du Visoke augmente réellement au contact du fond, ce pourrait être l'amorce d'une circulation très lente.

L'OXYGÈNE.

Outre la latitude d'erreur inhérente au dosage proprement dit, il faut se remémorer les sources de difficultés et les causes d'erreur suivantes :

a) difficultés de prélèvement, une partie des manipulations devant se faire dans le bateau, c'est-à-dire dans des conditions pénibles et instables;

b) le transport fait subir aux flacons scellés des variations rapides de température et de pression (difficulté d'éviter que les flacons ne se descellent);

c) correction par rapport à l'altitude et à la pression atmosphérique (recalculée indirectement) pour le calcul de la saturation;

d) dans certains cas, imprécision de la mesure de température, notamment à propos des lacs Noir et Gris, pour lesquels les températures de 1956 ont été reprises.

On peut conclure que tous les lacs du Ruwenzori examinés sont saturés en surface, donc en équilibre avec l'atmosphère. En profondeur, leur saturation ne descend pas au-dessous de 85 %, même à 25 m. Aucun d'eux n'a donc de flore planctonique, alguaire ou bactérienne suffisante pour causer soit une sursaturation, soit un déficit d'oxygène.

La situation est tout autre au lac du Visoke. La surface n'est pas saturée, ce qui est malaisément explicable (effet d'une chute momentanée de pression atmosphérique ?). A 5 m de profondeur, on mesure 92,5 % de saturation, ce qui peut être dû à une photosynthèse. Plus bas, la courbe devient très fortement clinograde : 51 % et 15,3 % respectivement à 10 et 15 m de profondeur. Près du fond, la saturation n'atteint même plus 10 %. L'augmentation en CO₂ dissout avec la profondeur est concomitante de l'abaissement du taux d'oxygène, ce qui montre bien l'intervention d'une activité bactérienne. La légère élévation des taux de Na et Fe au voisinage du fond pourrait indiquer une action de la vase qui, en s'oxydant, libérerait des ions métalliques (MORTIMER, C., 1941).

LE SYSTÈME DE L'ACIDE CARBONIQUE.

A. — Acide carbonique libre.

Dans les lacs du Ruwenzori, la concentration en acide carbonique dissout est faible et est probablement due principalement, sinon exclusivement, à la dissolution de CO_2 atmosphérique. Cette concentration est du même ordre de grandeur pour tous les lacs (1,5 à 2,0 mg CO_2 libre par litre) et elle varie très peu avec la profondeur. Seules les eaux du lac Vert et de Kitandara inférieur montrent une très légère augmentation de la concentration vers le fond, qui doit être attribuée à une activité bactérienne.

Il en va autrement au Visoke, où la concentration en acide carbonique libre est quasi constante dans les cinq premiers mètres mais augmente considérablement au voisinage du fond, en même temps que la saturation en oxygène se réduit presque à rien; l'activité bactérienne aérobie (et probablement aussi anaérobie) y est donc bien plus considérable qu'au Ruwenzori.

Au Ruwenzori, le lac Noir est sans doute le siège d'une activité biologique supérieure aux autres mais il n'a malheureusement pas été étudié en détail.

B. — Alcalinité.

Celle-ci est partout très basse, au voisinage des limites de dosage. Les lacs Noir et Catherine ont les alcalinités les plus fortes, ce sont aussi ceux dont le pH est le plus grand, respectivement 6,8 et 7.

C. — pH.

Tous les lacs sont proches de la neutralité mais légèrement acides, sauf le lac Catherine qui est parfaitement neutre sur toute la profondeur.

D'une façon générale, le pH ne varie guère avec la profondeur. Le lac Vert passe de 6,5 en surface à 6,25 en profondeur et le lac du Visoke de 6,0 à 5,5.

On se rappellera que les mesures de 1956 donnèrent régulièrement des pH beaucoup plus acides. Or, on ne peut admettre que les acidités aient réellement toutes varié en l'espace de deux ans. La raison des divergences est donc à trouver dans les méthodes de mesure.

En 1956, les mesures furent faites sur place, l'eau étant prélevée directement; on a fait usage d'un colorimètre à disque qui était en dépôt à Mutsora et qui avait été utilisé avec des résultats satisfaisants par d'autres missions scientifiques.

En 1958, les mesures furent faites au pH-mètre Beckman sur échantillons acheminés à la base de Mutsora. Les mesures elles-mêmes ne peuvent être mises en doute, mais il se peut que le pH des échantillons ait varié par suite du transport (agitation, changement de température et de pression, fermentations).

Il convient donc de réserver une opinion définitive sur les valeurs réelles des pH, tant qu'on n'aura pas transporté de pH-mètre sur les rives mêmes des lacs.

LA SILICE.

La concentration en silice est du même ordre de grandeur dans tous les lacs et à toutes les profondeurs, à l'exception des lacs les plus jeunes.

Seuls les lacs Blanc et Gris n'en contiennent pas du tout. La silice entre donc en solution dans l'eau dans le parcours ultérieur des eaux, c'est-à-dire lorsque celles-ci passent au sein des moraines déjà couvertes de végétation.

La concentration, au lac Catherine, diminue de moitié en surface et on peut se demander si cela n'est pas dû à l'activité de diatomées.

LE FER.

Cet élément ne se trouve qu'à l'état de traces et sa concentration est à peu près la même partout : environ 0,1 mg par litre. Les lacs Blanc, Catherine et de Kitandara paraissent ne pas en contenir du tout.

Au Visoke, la concentration augmente nettement au voisinage du fond, sans doute par l'activité de la vase.

CONDUCTIVITÉ.

Elle est exprimée comme une résistivité en ohm/cm² à 18° C. Cette résistivité est la plus grande pour les lacs les plus élevés de la Kamusoso (Blanc à Vert) : à des salinités inférieures à 10 mg/l correspondent des résistivités de 110.000 et 175.000 ohms/cm². Les lacs de Kitandara, dont la salinité est comprise entre 13 et 16 mg/l, ont une résistivité de 55.000 et 70.000 ohms/cm². Le lac Noir, dont la salinité est de 22 mg/l, a une résistivité moindre : 43.000 ohms/cm².

D'après C. MORTIMER, 1941, la conductivité exprimée en megohms à 18° est égale à 1,6 fois la concentration totale de la salinité, dans des eaux où le bicarbonate est l'anion principal. C'est le cas du lac Catherine, où l'alcalinité représente 72 % à 62 % des anions. La salinité de surface est égale à 21 mg/l, ce qui correspondrait théoriquement à une résistivité de 33,6 megohms (mesuré 37). La salinité au fond est égale à 23 mg/l, ce qui correspondrait théoriquement à une résistivité de 36,8 megohms (mesuré 38).

SALINITÉ.

Le graphique de la figure 10 exprime l'évolution de la salinité en fonction du parcours des eaux et donc du drainage. Les positions des lacs sur l'axe des ordonnées correspondent à peu près aux distances qui les séparent dans la vallée glaciaire.

La salinité est une fonction linéaire de la longueur de drainage.

Fe, Mg et SiO₂ n'apparaissent pratiquement qu'à partir du lac Vert, c'est-à-dire à partir du moment où les dépôts morainiques anciens et couverts de végétation sont drainés. L'évolution des alcalins, K et Na est beaucoup plus graduelle et presque linéaire : ce sont les éléments solubles des réseaux cristallins minéraux. L'augmentation considérable du taux de Ca entre les lacs Vert et Noir peut être attribuée à la présence d'une barre de cipolin à hauteur de Kiondo.

ÉLÉMENTS ABSENTS OU À L'ÉTAT DE TRACES.

Dans aucune des eaux analysées, on n'a pu déceler de :

chlorures (limite de sensibilité du dosage 1 mg Cl/l);

sulfates (id. 0,3 mg SO₄⁻/l);

nitrites (id. 0,015 mg NO₂⁻/l);

phosphates (id. 0,01 mg P/l).

Les phosphates furent dosés le lendemain du prélèvement dans les eaux du lac Vert, après quelques jours dans les eaux des autres lacs du Ruwenzori et après une quinzaine de jours dans les eaux du Visoke.

La limite extrême de la sensibilité du dosage de NH₄⁺ semble être de 0,04 mg/l (en ajoutant au réactif quelques gouttes d'une solution de sublimé). Les traces de NH₄⁺ étaient partout inférieures à 1 mg/l.

La limite de sensibilité du dosage de NO₃⁻ est de 0,2 mg/l. Les traces de NO₃⁻ étaient partout inférieures à 1 mg/l (lac Noir, en surface 0,7; lac Vert, en surface 0,4; lac Gris, en surface 0,2; lac Blanc, en surface 0,2; lac Catherine, en surface 0,4; lacs de Kitandara, en surface 0,3; lac du Visoke, de 0,2 en surface à 0,6 au fond).

L'absence pratiquement complète de phosphates (malgré la grande sensibilité de la méthode) est particulièrement remarquable. Elle constitue peut-être le facteur limitatif majeur au développement de la vie dans ces lacs.

Les eaux du Visoke n'ont pu être dosées que huit jours après prélèvement et peut-être des traces anioniques furent-elles fermentées pendant ce temps.

URÉE.

La découverte d'*Inflabilis lacustris* au lac Catherine et ultérieurement dans quelques autres échantillons d'eau a posé la question de la présence d'urée dans ces lacs et de l'origine éventuelle de cette urée.

La quantité d'urée en solution dans l'eau, au centre d'un bassin, est trop faible pour être décelée. L'urée n'en est pas moins présente dans les macérations et les paquets d'algues des bords. Elle fut notamment identifiée ainsi au lac Catherine (1,5 mg/l) et au bord du lac Gris. On peut donc croire à une synthèse végétale d'urée, aux dépens d'associations algues, ce qui justifie l'apparition d'une fonction uréase et une certaine spécialisation chez *Inflabilis lacustris*.

FIGURATION GRAPHIQUE ET CLASSEMENT.

Les eaux analysées ne se prêtent pas bien à la figuration devenue classique du diagramme à six ions (KUFFERATH, J., 1951). C'est pourquoi je présente simultanément pour chaque eau de surface un diagramme à six ions légèrement modifié et un diagramme à huit ions construit sur le même principe. En effet, pour obtenir une balance équilibrée, il faut tenir compte de la silice, laquelle est présente en quantités appréciables dans ces eaux. Dans le diagramme à six ions, j'ai fait occuper par la silice la place des ions SO_4^{--} absents.

A. — Eaux pentaioniques.

En tenant compte de la silice comme cinquième ion, on peut réunir dans cette classe les lacs Noir, Vert, de Kitandara, du Visoke et les eaux du fond du lac Catherine. Tous sont achlorurés et asulfatés.

Les eaux des deux lacs de Kitandara sont fort semblables, sauf que la proportion de Ca^{++} est un peu plus forte dans le lac inférieur.

B. — Eau tétraionique.

C'est le cas de l'eau de surface du lac Catherine. Elle est sans magnésium, sans sulfates, sans chlorures et ne contient qu'une quantité réduite de silice.

C. — Eaux aberrantes.

Cas du lac Gris : trois cations Ca^{++} , Na^+ et K^+ contre un seul anion à l'état de traces, CO_3^{--} . La balance n'est pas équilibrée.

Cas du lac Blanc : les trois mêmes cations sont présents mais ne paraissent équilibrés par aucun anion.

On pourrait décrire ces eaux comme triioniques non équilibrées. On peut présenter deux hypothèses explicatives de cette anomalie : les cations peuvent être soit liés à des acides organiques non dosés soit liés à des colloïdes argileux (lait de glacier).

COMPARAISONS.

Bien peu de données comparables aux nôtres figurent dans la littérature limnologique et hydrobiologique. Citons, parmi les revues qui nous sont accessibles :

- lacs des Alpes entre 1.800 et 2.625 m (PESTA, O., 1929);
- lacs de Norvège entre 1.214 et 1.448 m (MÜNSTER-STRÖM, K., 1938);
- lacs du Canada, Montagnes Rocheuses entre 1.280 et 1.990 m (RAWSON, D. S., 1942);
- lacs du Colorado entre 2.500 et 3.884 m (PENNAK, R. W., 1941 à 1955);

- lacs japonais vers 2.800 m (YAGAMATA, N. et al., 1955);
- lacs du Tibet jusqu'à 5.297 m (HUTCHINSON, G. E., 1957).

a) Les lacs des Alpes étudiés par PESTA sont semblables aux lacs ruwenzoriens par leur faible surface, leur faible profondeur (42 lacs ont moins de 10 ha et moins de 7 m de profondeur), par leur concentration en oxygène voisine de la saturation avec faible diminution vers le fond, par leur absence de nitrates, nitrites, ammoniacale, chlore (sauf traces), leur pauvreté en potassium (0,7 à 1,6 mg/l), en sodium (0,6 à 1,2 mg/l), en calcium (0,7 à 44 mg/l), en magnésium (0,18 à 6,18 mg/l).

b) Les quelques lacs de Norvège décrits par MÜNSTER-STRÖM sont semblables aux lacs ruwenzoriens par l'absence de thermocline, leur concentration en oxygène voisine de la saturation avec faible diminution en profondeur, un pH voisin de la neutralité pour les eaux dépourvues de boue glaciaire (glacial ooze); les eaux influencées par les boues glaciaires sont plus riches en matières dissoutes et élèvent leur pH jusqu'à 8,5.

c) Les lacs du Canada étudiés par RAWSON sont semblables aux lacs ruwenzoriens par l'absence de thermocline et une concentration en oxygène voisine de la saturation jusqu'au fond. Par contre, ces lacs sont alcalins et plus riches que les nôtres en sels dissous : silice (3,1 à 5,7 mg/l), calcium (17,6 à 47,3 mg/l), magnésium (5,6 à 14,3 mg/l), sodium (0 à 2 mg/l), sulfates (4,3 à 54,3 mg/l), bicarbonates (78,1 à 152 mg/l), alcalinité de 64,1 à 125 mg/l, carbonate de calcium, chlore absent sauf dans un lac.

d) Les lacs du Colorado étudiés par PENNAK et situés au-delà de 3.200 m sont comparables aux lacs ruwenzoriens par leur faible surface, leur faible profondeur (moins de 11 ha et moins de 10 m de profondeur moyenne), par leur absence de thermocline. Quatre parmi les lacs décrits ont, jusqu'au fond, une saturation en oxygène voisine de la saturation (comme au Ruwenzori), tandis que quatre autres montrent une diminution nette de l'oxygène avec la profondeur (comme au Visoke).

Ces lacs peuvent encore se comparer aux nôtres par leur pH voisin de la neutralité et variant peu en profondeur; leur concentration en CO₂ libre augmente vers le fond (comme au Visoke); leurs alcalinités et résidus secs sont supérieurs ou égaux aux nôtres (r. s. 17,38 à 102,74 mg/l).

e) Certains lacs japonais analysés par YAGAMATA et son équipe ont des concentrations ioniques semblables aux nôtres : sodium (0,19 à 1 mg/l), potassium (0,04 à 0,19 mg/l), calcium (0,26 à 2,13 mg/l), magnésium (0,40 à 2,89 mg/l), fer absent. Par contre, ces lacs sont très pauvres en silice (inf. à 0,3 mg/l) et leur pH est fort acide (5,0 à 5,2).

f) Les lacs du Tibet que HUTCHINSON a fait connaître sont très différents des nôtres. Un thermocline s'y dessine et la concentration en oxygène s'abaisse vers le fond. Ils se divisent en lacs dits ouverts, qui sont en communication avec l'extérieur et en lacs fermés.

Les caractéristiques des lacs ouverts sont les suivantes : pH de 7,1 à 8,7, résidu sec de 78 à 138 mg/l; concentrations ioniques faibles : potassium (3 à 6 mg/l), sodium (5 à 12 mg/l), magnésium (3 à 6 mg/l), calcium (9 à 17 mg/l), fer (0,3 à 0,5 mg/l), silice (3 à 9 mg/l).

Les lacs fermés ont un pH de 8,9 à 9,6, un résidu sec de 1.368 à près de 80.000 mg/l, les ions principaux étant sulfates, chlorures et carbonates.

On peut ajouter, d'une façon générale, qu'au point de vue climatique, les lacs du Ruwenzori et du Visoke sont seuls jusqu'ici, parmi leurs semblables décrits, à ne pas subir de régime saisonnier. Alors que les lacs norvégiens ou canadiens, par exemple, gèlent sur une grande profondeur pendant plusieurs mois de l'année, les lacs les plus élevés du Ruwenzori se couvrent presque chaque nuit d'une pellicule de glace (lac Blanc, lac Gris); non pas les autres ni le lac du Visoke.

CONCLUSION GÉNÉRALE.

Il s'agit d'eaux très peu minéralisées dans lesquelles plusieurs des ions habituels manquent totalement et pour lesquelles il faut tenir compte au contraire d'ions habituellement négligés.

BIBLIOGRAPHIE.

- BURKARD, R., 1955, Zur Ermittlung der relativen Sauerstoffsättigung von Wasser (*Jarb. vom Wasser*, 22).
- DE HEINZELIN, J. et MOLLARET, H., 1956, Biotopes de haute altitude. Ruwenzori I (*Inst. Parcs Nat. Congo Belge, Expl. du Parc Nat. Albert*, 2^e série, fasc. 3, 31 p., cartes et 6 pl.).
- HUTCHINSON, G. E., 1937, Limnological studies in Indian Tibet (*Intern. Rev. Hydrob.*, vol. 35, pp. 134-177).
- 1957, A treatise on limnology, vol. I, 1015 p. (John Wiley and Sons, New-York).
- KORITZ, S. B. et COHEN, P. P., 1954, Colorimetric determination of carbamylaminoacids and related compounds (*Journ. Biol. Chem.*, t. 209, pp. 145 et suiv.).
- KUFFERATH, J., 1951, Représentation graphique et classification rationnelle en types des eaux naturelles (*Bull. Inst. roy. Sc. nat. de Belgique*, t. XXVII, n^{os} 43, 44 et 45).
- MORTIMER, C., 1941, The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes [*Journ. Ecol.*, t. 29, (2), pp. 280-329].
- 1956, The oxygen content of air-saturated fresh waters, and aids in calculating percentage saturation (*Intern. Verein. f. Theor. und Ang. Limnologie*, Mitt. 6, 20 p. et graph.).
- MÜNSTER-STRÖM, K., 1938, Norwegian mountain lakes (*Archiv. f. Hydrob.*, vol. 33, pp. 82-92).
- OHLE, W., 1935, Organische Kolloide in ihrer Wirkung auf den Stoffaushalt der Gewässer (*Naturwiss.*, 23, pp. 480-484).
- PENCK, A., 1894, Morphologie der Erdoberfläche, Bd I, Stuttgart.
- PENNAK, R. W., 1941, An introduction to the limnology of Northern Colorado (*University of Colorado studies*, Ser. D, Phys. and Biol. Sc., vol. I, n^o 3, pp. 203-220, pl.).
- 1941, A bibliography of high altitude limnological investigations in the Western U. S. (*Ibid.*, Ser. D, vol. I, n^o 3, pp. 225-229).
- 1945, Hydrography and morphometry of some Northern Colorado lakes — Some aspects of the regional limnology of Northern Colorado (*Ibid.*, Ser. D, vol. 2, n^o 2, pp. 245-262 et 263-293).
- 1955, Comparative limnology of Eight Colorado mountain lakes (*Ibid.*, ser. Biol., n^o 2, 75 p.).
- PESTA, O., 1929, Der Hochgebirgssee der Alpen (*Die Binnengewässer*, A. THIENEMANN, Stuttgart, 156 p.).
- RAWSON, D. S., 1942, A comparison of some large alpine lakes in Western Canada (*Ecology*, vol. 23, pp. 143-161).
- RUTTNER, F., 1937, Limnologische Studien am einigen Seen der Ostalpen (*Archiv. f. Hydrob.*, vol. 32, pp. 167-319).

-
- YAGAMATA, N. et AL., 1955, Geochemical studies in the district of Mount Norikura (II).
On the chemical composition of the waters of alpine and subalpine lakes
(*Jap. Journ. Limnol.*, vol. 17, pp. 18-22).
- YOSHIMURA, S., 1936, Limnological observations of two crater lakes of Miyake Island,
Western North Pacific (*Jap. Journal of Geology and Geography*, vol. XIII,
pp. 339-352).
- 1936, Contribution to the knowlegde of iron dissolved in the lake waters of Japan.
Second report (*Ibid.*, vol. XIII, pp. 40-56).
-

Sorti de presse le 31 mai 1961.
