

INSTITUT DES PARCS NATIONAUX  
DU CONGO BELGE

INSTITUUT DER NATIONALE PARKEN  
VAN BELGISCH CONGO

---

# Exploration du Parc National Albert

MISSION H. DAMAS (1935-1936)

FASCICULE 1

---

# Exploratie van het Nationaal Albert Park

ZENDING H. DAMAS (1935-1936)

AFLEVERING 1

RECHERCHES HYDROBIOLOGIQUES  
DANS LES  
LACS KIVU, ÉDOUARD ET NDALAGA  
PAR  
H. DAMAS (Liège)



BRUXELLES  
1937

BRUSSEL  
1937

## INTRODUCTION

---

En 1858, BURTON et SPEKE, les premiers explorateurs qui atteignirent le Tanganika, recueillirent sur les rives du grand lac des mollusques d'aspect tout à fait marin. Vingt-cinq ans plus tard, en 1883, BOEHM y découvrit une méduse, une des premières observées en eau douce. L'étrangeté de ces trouvailles posait aux zoologistes une des plus passionnantes énigmes de la géographie animale : la nature et l'origine de la faune des grands lacs africains.

Pour résoudre ce que MOORE (1903) appela « The Tanganyika Problem », de nombreuses expéditions ont récolté des échantillons de flore et de faune dans tous les lacs d'Afrique. Ces collections n'ont fait qu'augmenter l'intérêt des naturalistes pour les vastes mers intérieures du continent africain, à cause de la variété et surtout de la nature endémique de leur population animale. Citons quelques chiffres, à titre d'exemples : CUNNINGTON (1920) dénombre 293 formes spéciales sur 402 espèces récoltées dans le Tanganika. C'est là un cas extrême, mais la faune des autres lacs présente le même caractère. GRAHAM (1929) énumère 85 formes endémiques sur les 97 espèces de poissons qui composent la faune du Victoria. Dans l'Édouard, WORTHINGTON (1932) compte 23 types spéciaux de poissons sur 41. Une aussi forte proportion de formes animales particulières à une aire géographique restreinte ne se rencontre en aucun autre endroit, sauf peut-être au Baïkal.

Les discussions sur l'origine de cet endémisme ont été vives. Pour expliquer la spécialisation de la faune, on a émis de nombreuses théories et fait intervenir des facteurs fort divers.

Ainsi, MOORE (1903), reprenant une idée lancée par SMITH (1881), considère que le Tanganika renferme un nombre important de formes d'origine marine. Pour lui, ce lac a été longtemps réuni à la mer. Il se serait séparé de l'océan à l'époque jurassique et actuellement il est habité par une faune relictive, progressivement adaptée à la vie en eau douce. Cette hypothèse n'a pas résisté à la critique (PELSENEER, 1906; CUNNINGTON, 1920). On admet

généralement aujourd'hui que le Tanganika possède une faune lacustre dont le facies marin incontestable s'explique par les effets combinés de l'isolement et des conditions mécaniques de cette véritable mer intérieure.

D'autre part, la composition chimique de l'eau a été invoquée pour expliquer la rareté ou l'absence de certains groupes animaux. Le lac Kivu, par exemple, est extrêmement pauvre en espèces animales. D'après les listes de CUNNINGTON (1920), sa faune ne comprendrait que 23 espèces. Le petit nombre de types, comme aussi la faible quantité d'animaux habitant le lac, est dû, d'après le même auteur, à la grande salinité des eaux. De même, toujours d'après CUNNINGTON (1920), les Cladocères seraient exclus du Tanganika et du Kivu, par la forte teneur de l'eau en magnésie.

Ainsi, des facteurs géologiques et historiques, d'une part, des facteurs actuels, d'autre part, ont été invoqués pour expliquer la composition spéciale et l'endémisme de la faune lacustre africaine. Mais, il faut reconnaître que ces vues ont jusqu'à présent un caractère spéculatif et constituent des hypothèses. En effet, nous sommes encore dans une grande ignorance des conditions de milieu présentées par les eaux africaines.

Les ouvrages qui étudient les conditions écologiques des eaux africaines sont peu nombreux. En plus de notes brèves sur la composition et la température des eaux de surface du lac Nyassa (FULLERBORN, 1900), du Tanganika et du Moëro (STAPPERS, 1913, 1914, *a* et *b*), ils ne comprennent que cinq travaux récents de GRAHAM (1929), WORTHINGTON (1929, 1930 et 1932) et BEADLE (1932).

Dans leurs rapports sur les pêcheries des lacs Victoria, Kioga et Albert, GRAHAM (1929) et WORTHINGTON (1929) fournissent des documents importants sur les conditions de température, de pH, d'alcalinité des eaux de ces lacs. Le dernier auteur a publié encore une étude comparative sur la stratification des eaux dans le Victoria et l'Albert et son influence sur la faune (WORTHINGTON, 1930). Plus tard (WORTHINGTON, 1932), il étendit ses recherches à bon nombre de lacs du Kenya et de l'Uganda. Son collaborateur BEADLE (1932) a publié un travail très important sur les conditions écologiques dans les marais et les lacs africains.

Les recherches de WORTHINGTON et BEADLE constituent les seuls essais d'étude moderne des conditions de vie dans les lacs africains. Ils ont montré l'existence côte à côte de milieux biologiques très différents, depuis les eaux très douces du Victoria jusqu'aux eaux extrêmement alcalines de certains lacs-cratères, et cherché à établir l'influence de l'augmentation de l'alcalinité sur la composition de la flore et de la faune lacustres.

Cette liste bibliographique n'est pas longue. L'étude hydrobiologique des lacs équatoriaux n'est guère avancée, même en dehors de l'Afrique. On ne peut guère citer, en effet, qu'une note de JUDAY (1910) relatant les observations faites sur quatre lacs mexicains au cours d'un séjour de courte

durée, et surtout l'importante série de travaux publiée sous le titre *Tropische Binnengewasser*, par THIENEMANN (depuis 1930), sur la base de recherches faites à Java, Sumatra et Bali. Le mémoire hydrographique de RUTTNER (1931), paru dans cette série, constitue la base de nos connaissances actuelles sur la limnologie tropicale.

Comme on le voit, nous sommes encore mal documentés sur les conditions hydrobiologiques présentées par les lacs équatoriaux, alors que nous sommes actuellement très bien renseignés sur la composition du milieu aquatique et ses variations saisonnières pour les lacs européens et nord-américains. Dans les régions tempérées, l'influence des divers facteurs hydrologiques sur la production organique est connue, dans ses grandes lignes du moins, et, par conséquent, on est capable de fixer les lois générales de la productivité lacustre.

Les conditions offertes par les eaux équatoriales sont évidemment très différentes de celles des lacs tempérés. Mais les renseignements que nous possédons à leur sujet sont en réalité fort incomplets. D'une manière générale, la lacune essentielle se trouve dans notre ignorance du cycle annuel de ces lacs, soumis à des conditions de climat relativement uniformes et apparemment favorables, d'une façon continue, à une production intensive.

Nulle part, peut-être, dans le monde entier, le problème n'offre autant d'intérêt qu'en Afrique, où se trouvent les lacs les plus grands, de véritables mers intérieures dont beaucoup sont la base de pêcheries importantes. L'intérêt pratique s'y unit à l'intérêt théorique pour rendre souhaitable une étude hydrobiologique.

\*  
\*\*

Aussi, lorsque l'Institut des Parcs Nationaux du Congo belge nous demanda de dresser le plan d'une enquête hydrobiologique dans les lacs Édouard et Kivu, nous y avons inscrit comme premier but l'étude des conditions du milieu lacustre équatorial.

Ajouter quelques espèces nouvelles aux listes faunistiques déjà longues ne nous a pas paru constituer un but susceptible de justifier à lui seul une mission d'étude au Congo. Il est beaucoup plus important de rechercher dans quelles conditions vivent et se développent les animaux que l'on récolte. Les listes faunistiques prennent un intérêt beaucoup plus grand quand on peut les mettre en rapport avec une connaissance un peu détaillée des facteurs caractéristiques du milieu.

Pour cette étude, la situation géographique du Parc National Albert est aussi favorable que possible. Les rapports des expériences antérieures indiquaient, en effet, un contraste énorme entre le Kivu et l'Édouard. Tandis que le premier se caractérise par une pauvreté extraordinaire, tant au point de vue du nombre d'espèces qu'à celui de la quantité d'animaux

qui l'habitent, les eaux de l'Édouard regorgent de vie et recèlent un grand nombre de formes animales. L'étude comparée de deux lacs voisins de productivité si différente jetterait sans doute quelque clarté sur l'influence des facteurs réglant l'écologie d'un lac équatorial.

Notre programme de recherches laissait donc au second plan la récolte de collections. Évidemment, celles-ci n'ont pas été négligées. Déjà l'examen superficiel que nous en avons fait révèle la présence de formes intéressantes. Signalons la trouvaille de Cladocères dans le Kivu, alors que BREHM (1912), étudiant les échantillons de plancton rapportés par la « Deutsch-Zentral Afrika Expedition », avait admis que le plancton de ce lac est caractérisé par l'absence de ce groupe zoologique, par ailleurs répandu dans toutes les eaux douces de la terre. Sans aucun doute, l'étude de ces collections par des spécialistes, étude actuellement en cours, permettra d'autres constatations intéressantes.

Le mémoire que nous présentons en ce moment constitue donc le résultat principal de notre séjour au Congo. Il représente un effort pour mesurer les facteurs susceptibles d'influencer la vie dans un lac équatorial.

On sait que la production biologique d'un lac constitue un cycle presque fermé. Le plancton végétal, utilisant des sels phosphorés et azotés et l'acide carbonique dissous dans l'eau, transforme ces substances minérales en matière organique vivante. Les petits animaux se nourrissent du phyto-plancton et à leur tour sont capturés par des animaux de plus forte taille. Les cadavres seront finalement détruits par les bactéries et remis en solution sous forme de substances minérales simples, acide carbonique, hydrogène sulfuré, corps ammoniacaux, phosphates, etc.

La production dépend donc en premier lieu de la présence ou de l'absence de quelques corps minéraux. Elle est influencée par la température de l'eau, qui active les réactions chimiques. Le cycle des substances organiques est conditionné par la quantité d'acide carbonique présent dans l'eau et, à son tour, modifie cette quantité. La vie des animaux peut être empêchée par l'absence d'oxygène. Ainsi, quelques caractères physiques et chimiques peuvent déterminer la quantité et même la nature des habitants d'un lac.

Nos recherches ont porté sur chacun de ces facteurs. Elles ont été poursuivies dans deux énormes lacs, le Kivu et l'Édouard, et un grand étang : le Ndalaga. Les deux premiers ont évidemment constitué le thème principal de notre étude. Les observations y ont été répétées afin de saisir les variations éventuelles des caractères de l'eau.

Ce mémoire contient les résultats de nos recherches. Il débute par une description rapide de nos instruments et de nos méthodes, signalant leurs particularités, leurs avantages ou leurs inconvénients. Nous exposons ensuite de façon analytique nos études dans le Kivu, l'Édouard et le Ndalaga.

Ces trois chapitres successifs sont bâtis sur le même plan. Après une courte description du lac signalant leur caractère principal au point de vue biologique, nous décrivons successivement le profil du fond, la stratification thermique et les caractéristiques chimiques de l'eau. Un dernier chapitre nous permettra de comparer nos résultats, d'en chercher une interprétation et de mettre en relief l'importance de quelques facteurs hydrologiques pour la biologie lacustre équatoriale.

\*

\*\*

Notre séjour au Congo a été réalisé grâce à des subsides accordés par l'*Institut des Parcs Nationaux du Congo belge* et le *Fonds National de la Recherche Scientifique*. En nous confiant une mission de cette importance, ces deux institutions nous ont témoigné une confiance dont nous souhaitons n'avoir pas été indigne. Nous tenons à exprimer ici notre gratitude envers leurs Comités de direction et tout spécialement envers M. V. VAN STRAELEN, Président de l'Institut des Parcs Nationaux, qui, après avoir suggéré ces recherches, les a rendues possibles par son soutien constant.

Ces études n'ont pu être réalisées que grâce à l'aide de nombreuses personnes. Il nous est particulièrement agréable de remercier ici les maîtres qui nous ont enseigné l'hydrobiologie et ainsi préparé à ce voyage : MM. les Prof. C. WESEMBERG-LUND (Hilleröd), A. THIENEMANN (Plön), F. RUTTNER (Lunz) et les docteurs K. BERG (Hilleröd) et H. MÜLLER (Lunz). Sans leur enseignement, nous n'aurions pu concevoir aussi clairement les problèmes de la biologie lacustre équatoriale ainsi que les moyens d'en aborder l'étude. Nous devons à MM. P. PELSENER, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de Belgique, et H. SCHOUTEDEN, Directeur du Musée du Congo belge, de nombreux conseils sur l'orientation à donner à notre mission. M. SCHOUTEDEN nous a, en outre, fourni le matériel nécessaire à la conservation de nos collections. M. le Prof. V. HENRI, de Liège, nous a guidé dans le choix de nos instruments de chimie. Nos microscopes, plusieurs filets planctoniques et des produits nécessaires à la conservation des collections nous ont été prêtés par l'Institut de Zoologie de l'Université de Liège. A toutes ces personnes, qui ont ainsi rendu notre travail possible, nous sommes heureux de présenter ici l'expression de notre très vive reconnaissance.

Avec l'affabilité qui le caractérise, M. le Colonel HOIER, conservateur du Parc National Albert, nous a rendu des services continuels pendant tout notre séjour en Afrique. M. G. F. DE WITTE, chargé de mission au Parc National Albert, a pris sur lui de nous enseigner les méthodes de vie et de travail en brousse. MM. L. HERMANS et L. LIPPENS, également chargés de mission au Parc Albert, ont été pour nous d'excellents compagnons de

voyage sur le Kivu et l'Édouard. Le premier nous a fortement aidé dans nos recherches bathymétriques. Les docteurs VAN SACEGHEM et WERY, directeurs du laboratoire de médecine vétérinaire de Kisenyi, nous ont fourni à diverses reprises des réactifs chimiques nécessaires à nos recherches. Enfin, les administrateurs et agents territoriaux de Rutshuru, Ruhengeri, Kisenyi et Masisi nous ont prêté une aide très importante en nous procurant les porteurs et les vivres nécessaires à nos déplacements. A tous nous adressons nos plus vifs remerciements.

L'étude de nos résultats et la rédaction de ce mémoire ont été facilitées par les conseils et les critiques de MM. les Prof. D. DAMAS, P. FOURMARIER et H. GERMAÏ, de l'Université de Liège, et F. RUTTNER, de Lunz. Grâce à la libéralité de la *Fondation pour favoriser l'étude scientifique des Parcs Nationaux du Congo belge*, un séjour récent dans le laboratoire du savant professeur autrichien nous a permis de soumettre à son examen les résultats de nos mesures. Ses conseils et ses remarques nous ont été extrêmement utiles. Nous tenons à lui renouveler ici nos remerciements et à exprimer en même temps notre gratitude envers toutes les personnes et les Institutions qui nous ont aidé dans nos recherches.

Liège, le 30 novembre 1936.

---

RECHERCHES HYDROBIOLOGIQUES  
DANS LES  
LACS KIVU, ÉDOUARD ET NDALAGA

PAR  
H. DAMAS (Liège).

---

CHAPITRE PREMIER  
INSTRUMENTS ET MÉTHODES

L'étude des conditions écologiques d'un lac demande l'emploi de techniques spéciales : sondages, mesures physiques, analyses chimiques. Il fallait donc emmener un véritable laboratoire. D'autre part, le programme de nos recherches supposait des déplacements nombreux, par camion, par baleinière ou par porteurs. Nos instruments devaient donc être à la fois effectifs, d'un maniement aisé et assez robustes pour supporter le traitement rude d'un « safari ».

De même, dans les conditions de travail en Afrique, où le laboratoire est normalement une tente, parfois un gîte d'étape, on ne peut songer à utiliser que des techniques relativement simples, n'exigeant pas l'emploi d'un matériel complexe. Qu'on ne s'attende donc pas à trouver dans ce travail des renseignements sur tous les caractères de l'eau habituellement étudiés dans les recherches limnologiques modernes. Nous ne pouvions envisager que l'examen des plus importants au point de vue biologique, susceptibles par surcroît d'être déterminés par des méthodes simples et précises.

La liste des recherches effectuées est déjà longue. Elle comprend des sondages dans certains lacs, la détermination de la transparence, de la couleur de l'eau, de sa température, son pH, sa conductibilité électrique, son alcalinité (puissance d'absorption d'acides) et le dosage des substances dissoutes suivantes : oxygène, acide carbonique, hydrogène sulfuré, phosphates, nitrates, nitrites et ammoniacque.

Des méthodes précises et commodes ont été mises au point, qui permettent le dosage de ces caractères.

La liste des techniques et des appareils utilisés est donnée plus loin. Elle est accompagnée de notes sur leur commodité et leur précision.

Mais une remarque préalable s'impose : *Toutes les recherches exposées dans ce travail ont été faites en brousse, sous la tente* (Pl. III, fig. 1). Le lecteur voudra bien tenir compte de ce facteur important. Des imprécisions, inexcusables dans un laboratoire, s'expliquent quand on se représente les circonstances normales d'un séjour au Congo. Lors de certaines stations hydrographiques, par exemple, il n'a pas été possible de réussir la recherche de l'un ou de l'autre corps, faute simplement de pouvoir renouveler un réactif abîmé, vraisemblablement par suite du long transport en baleinière ou à dos d'homme, en plein soleil. En consultant les tableaux que nous publions, on se rendra compte que dans les lacs où les mesures ont été répétées (Kivu et Édouard) les résultats se contrôlent parfaitement.

## I. — INSTRUMENTS ET APPAREILS

**MACHINE À SONDER.** — De tous les lacs visités, seul l'Édouard avait déjà été sondé de façon régulière. Pour les autres, des mesures le long des bords, ou des on-dit, étaient les seuls renseignements existants. On parlait, par exemple, de 800, voire de 2.000 m. de profondeur dans le Kivu. Il fallait donc procéder nous-même aux sondages indispensables.

Pour être pratique, la machine à sonder devait répondre aux conditions suivantes :

1° avoir une touche très sensible et se manœuvrer rapidement, pour ne pas immobiliser trop longtemps l'embarcation;

2° posséder une très grande longueur de câble, à cause des profondeurs énormes dont on nous parlait;

3° être suffisamment légère pour pouvoir être transportée vers les petits lacs lors des safaris.

Ajoutons à ces *desiderata* la raison d'économie qui nous interdisait l'achat de certains appareils étrangers, parfaits, mais trop onéreux. Après avoir revu les principaux types existants, nous avons fait construire deux appareils : le premier, fixe, pour le travail sur le lac Kivu et le lac Édouard; le second, appareil à main à utiliser le long des rives et dans les petits lacs.

1. *Machine à sonder fixe.* — Elle a été établie sous notre direction par le préparateur de l'Institut Ed. van Beneden, M. Jean SCHOLTZ. La photographie (Pl. II, fig. 2) explique suffisamment sa construction.

En voici les caractéristiques principales :

Le câble employé est un fil d'acier galvanisé de 6/10 mm. de diamètre (résistance : 140 kg. par mm<sup>2</sup> de section; poids : 2 kg. par 1.000 mètres). Deux mille mètres de ce câble s'enroulent sur un tambour de 10 cm. de diamètre, 9 cm. 1/2 de largeur de gorge, 4 cm. de profondeur de gorge.

Pour permettre un maniement rapide, le tambour est monté sur roulement à billes. La manivelle est éloignée du tambour et le mouvement est transmis à celui-ci par une chaîne passant sur deux roues dentées (dans le rapport de 1 à 2), d'où un gain appréciable de temps à la remonte.

Pour éviter l'emballement de l'appareil, un frein très puissant et progressif y est adapté. Une des flasques du tambour porte un épaulement creusé d'une gorge. Sur celle-ci est passé un câble souple relié à ses deux extrémités à une barre mobile, qu'une vis hélicoïdale garnie d'un volant peut ramener très fortement en arrière. Le dispositif permet un débrayage rapide, un freinage progressif ou un calage complet. A l'usage l'appareil a donné entière satisfaction <sup>(1)</sup>.

L'expérience a montré qu'un poids de 2 kg.  $\frac{1}{2}$  entraîne rapidement le fil lorsque le frein est modérément ouvert. Il n'y a jamais eu d'hésitation sur la touche au sol, car l'appareil s'arrêtait de lui-même, instantanément. La rapidité de manœuvre était très grande : un sondage (arrêt du bateau, descente, lecture, remonte, remise en marche) à 400 mètres de profondeur prenait de 10 à 12 minutes.

Le compteur de tours est distinct de la machine à sonder. Le fil d'acier passe sur une poulie en bronze, à gorge profonde, suspendue à un portant par un crochet à émérillon. La roue, soigneusement mesurée, a exactement 50 cm. de pourtour au fond de la gorge. L'axe de rotation de cette poulie, prolongé au delà d'une flasque, a été rendu solidaire d'un câble souple qui le relie à un compte-tours placé devant la machine à sonder, sous les yeux de l'opérateur. Ce compte-tours <sup>(2)</sup> est gradué en mètres.

Ce dispositif (compte-tours séparé de la poulie) n'est peut-être pas à recommander. Le câble souple freine légèrement, non la rotation, mais les mouvements de la poulie, et l'empêche de répondre immédiatement, par une orientation correspondante, aux tractions obliques vers l'avant ou vers l'arrière. Il en résulte que parfois le câble saute de la gorge. Cet inconvénient a été surtout sensible lorsque la poulie mesureuse était employée, ainsi que nous le dirons plus loin, avec l'appareil portant les instruments hydrographiques. Il a été naturellement tenu compte de cet inconvénient, et toute mesure douteuse vérifiée.

2. *Sonde à main.* — Pour les sondages rapides dans les petits lacs ou le long des berges, nous avons utilisé une sonde à main inspirée d'une idée ingénieuse de K. DAHL (1930). Dans notre réalisation le compte-tours est un

(1) Il nous paraît intéressant de signaler que cet appareil a été entièrement construit à l'aide de pièces de fabrication courante : le tambour est un tambour habituellement employé en tréfilerie; les axes, roues dentées, manivelles, chaînes, pièces du bâti, roulements à billes ont été prélevés dans des pièces de bicyclettes.

(2) Ce compteur nous a été donné par la Société anonyme des Compteurs et Manomètres (Liège). C'est un compteur à eau d'une construction à la fois robuste et précise. Il ne provoquait pratiquement aucun freinage.

compteur à eau muni d'une roue à gorge de 10 cm. de pourtour. Le moulinet porte 180 m. de fil de pêche. Le plomb de sonde employé pèse 500 grammes. Cet appareil fonctionne admirablement (Pl. I, fig. 1).

**CABESTAN.** — Pour porter les bouteilles à eau il fallait évidemment un cabestan assez fort. Il a été réalisé de façon très simple (photos n<sup>os</sup> 3 et 4). Le tambour, actionné directement par 2 manivelles, porte un câble souple en acier galvanisé de 1,4 mm. de diamètre (résistance : 140 kg. par mm<sup>2</sup> de section; poids : 10 kg. par 1.000 mètres). Comme dans la machine à sonder, le frein est constitué par des câbles souples agissant sur deux gorges solidaires du tambour. Ces câbles, fixés à une extrémité au bâti, sont, à l'autre, attachés à une barre transversale qu'une vis garnie d'un grand volant peut ramener en arrière.

Le compteur de tours de la machine à sonder sert également pour le cabestan. La photo n<sup>o</sup> 1 (Pl. II) montre ce dispositif réalisé et la bouteille à eau suspendue au câble.

**BOUTEILLE À EAU.** — C'est l'appareil principal de toute exploration de ce genre. Il en existe de nombreux modèles, de qualité excellente. Nous nous sommes décidé à choisir une bouteille à eau du type dit de NANSEN, parce que celle-ci présente l'avantage de pouvoir être utilisée en série. Le gain de temps réalisé en plaçant plusieurs instruments (en l'occurrence 3) sur le même câble est appréciable, surtout pour l'étude des lacs profonds.

Notre bouteille à eau a également été construite à Liège, à l'Institut Ed. van Beneden. Elle présente quelques particularités originales (Pl. I, fig. 2).

1. Les robinets terminaux, se fermant au 1/4 de tour, ont été spécialement construits aussi larges que possible, pour obtenir une ouverture voisine de la section du tube. On conçoit immédiatement l'avantage de cette construction : elle assure un lavage plus complet de la bouteille lors de la descente.

2. L'appareil de déclenchement automatique provoquant le retournement a été très simplifié.

3. Il en est de même de la charnière de suspension de l'appareil autour de laquelle se retourne la bouteille. Un dispositif relâchant un second messenger y est évidemment adapté. Sa simplicité est extrême.

Le corps de la bouteille, cylindrique, d'un diamètre intérieur de 50 mm., d'une longueur de 50 cm., contient 1 litre. Il a été étamé intérieurement pour empêcher le contact entre l'eau et le cuivre.

Cet appareil a fonctionné admirablement en toutes circonstances.

Au corps cylindrique de la bouteille est attaché un tube destiné à recevoir le thermomètre à renversement et à lui servir de protection. L'extrémité inférieure de cette gaine est percée de larges fentes permettant la libre circulation de l'eau autour du thermomètre.

**THERMOMÈTRES.** — Les *thermomètres de profondeur* ont été fournis par le laboratoire hydrographique de Copenhague. Ce sont des thermomètres à renversement fabriqués par la maison Schmidt de Berlin. Leur graduation en  $0,1^{\circ}$  C. permet la lecture au  $0,01^{\circ}$  C. Le certificat les accompagnant leur donnait une erreur maximum de  $0,02^{\circ}$  C. Il a été tenu compte des corrections données par ce certificat ainsi que des indications du thermomètre compensateur incorporé au thermomètre à renversement. Les lectures ont été faites au  $0,01^{\circ}$  C. et corrigées, bien que pour nos recherches seul le  $0,05^{\circ}$  C. soit indispensable. Lors de chaque mesure, le thermomètre a été laissé trois minutes à la profondeur indiquée pour assurer l'équilibre de température entre l'eau et le mercure.

Les *thermomètres de surface* provenaient de la même firme et sont également gradués en  $0,1^{\circ}$  C. Ils ont été étalonnés au  $0,05^{\circ}$  C. Les lectures ont été faites à cette précision et corrigées d'après les indications de leurs certificats.

Les températures de l'air que nous indiquons ont été mesurées au *thermomètre fronde* et lues au  $0,1^{\circ}$  C.

**DISQUE DE SECCHI.** — Le disque de Secchi servant à déterminer la transparence de l'eau était une plaque d'éternit émaillé blanc, carré, de 20 cm. de côté. Elle a été manœuvrée habituellement à l'aide de la sonde à main.

**ÉCHELLE DE FOREL-ULE.** — L'échelle de Forel-Ule pour l'appréciation de la couleur de l'eau était, comme d'habitude, constituée de solutions types enfermées dans des tubes scellés. Malgré les précautions prises, les dernières couleurs de la série se sont modifiées pendant le voyage. Les indications contenues dans nos tableaux n'ont donc qu'une valeur approchée.

**BURETTES, PIPETTES ET FLACONS JAUGÉS.** — Ils ont été spécialement établis pour la température de  $25^{\circ}$ C. Les burettes, au nombre de 6, contiennent  $20\text{ cm}^3$ . Leur graduation indique le  $1/20$  de  $\text{cm}^3$ . La grosseur de la goutte est de  $0,025\text{ cm}^3$ . Pour les protéger contre les chocs, leur emballage était une caisse feutrée, à compartiments. Dans le même but, les nombreuses pipettes nécessaires ont fait le voyage dans des tubes épais, en papier bakérisé, fermés aux deux extrémités par des bouchons de caoutchouc. Ces précautions ont évité toute casse.

Quant aux flacons jaugés (de 1 litre) ils n'ont pas quitté Rutshuru, station centrale du Parc National Albert, où nos réactifs ont toujours été préparés.

**LA COLORIMÉTRIE** a été effectuée en tubes de  $50\text{ cm}^3$  de contenu (diamètre intérieur 16 mm.), analogues aux tubes employés à Java par RUTTNER (1931). Seuls les nitrates ont été dosés en employant des tubes de  $10\text{ cm}^3$ , à bouchon de verre, identiques à ceux décrits par H. MULLER (1933). Les comparateurs colométriques ont été construits d'après ceux de RUTTNER (1931).

LES PRODUITS CHIMIQUES POUR SOLUTIONS TITRÉES ont été pesés en Belgique et emportés en tubes. Pour fabriquer les solutions N/10 de HCl, nous avons employé des tubes de Fixanal. Les pesées plus grossières ont été faites sur place, à l'aide d'un trébuchet.

L'EAU DISTILLÉE nécessaire nous a été gracieusement fournie par le laboratoire de médecine vétérinaire de Kisenyi, dont les directeurs nous ont ainsi apporté une aide très importante. Nous les en remercions à nouveau.

## II. — METHODES

O<sup>2</sup>. — La méthode classique de dosage de l'oxygène dissous est celle de WINCKLER. Une variante de cette technique, proposée par ALSTERBERG (1926), est actuellement généralement employée. Son principe est de combattre l'influence des substances réductrices de l'iode présentes dans l'eau (H<sup>2</sup>S, sels ferreux) par une action préalable du brome. RUTTNER (1931) a publié des résultats de dosages d'après lesquels, dans les couches profondes, à faible teneur en oxygène, la méthode d'ALSTERBERG décèle des quantités plus grandes de ce gaz que la méthode de WINCKLER.

Nous avons utilisé les deux méthodes, celle d'ALSTERBERG au début, celle de WINCKLER à la fin de notre séjour.

La technique d'ALSTERBERG a fourni en certains cas des résultats inadmissibles. Par exemple, elle indique la présence de quantités encore considérables d'O<sup>2</sup> dans des échantillons dégageant une forte odeur de H<sup>2</sup>S (observation du 10-V-35 à Ngoma : à 100 m. de profondeur 0,48 mgr. O<sup>2</sup> par litre; à 200 m. 0,15 mgr. O<sup>2</sup>/lit.). La présence simultanée de H<sup>2</sup>S et d'O<sup>2</sup> est impossible, le premier réduisant le second pour se transformer en sulfates.

A d'autres occasions, les résultats obtenus par la méthode d'ALSTERBERG étaient presque deux fois plus grands que ceux obtenus par la méthode habituelle de WINCKLER (exemple : le 13-IX-35 à Ngoma, à 20 m., 7,52 mgr./lit. d'O<sup>2</sup> d'après méthode Winckler; 12,35 mgr./lit. d'O<sup>2</sup> d'après méthode d'Alsterberg).

Ces erreurs peuvent être attribuées à deux causes : 1° la présence de sels manganéux dans l'eau, lesquels, oxydés par le brome et transformés en sels manganiques, sont dosés comme l'O<sup>2</sup>. Cette cause d'erreur a été signalée par RUTTNER (1931). 2° L'action du soleil sur l'eau bromée. Il est possible que sous l'action du soleil le brome provoque la transformation d'une partie de l'eau [H<sup>2</sup>O] en eau oxygénée [H<sup>2</sup>O<sup>2</sup>].

A cause de l'irrégularité de ces résultats, la méthode d'ALSTERBERG a été finalement complètement délaissée pour celle de WINCKLER. Dans les tableaux publiés à la fin de ce travail, les valeurs indiquées sont suivies des lettres A ou W, suivant qu'elles ont été obtenues avec la méthode d'ALSTERBERG ou celle de WINCKLER.

Les échantillons devant servir au dosage de l'O<sup>2</sup> dissous ont été prélevés dans des flacons de WINCKLER contenant 100 à 125 cm<sup>3</sup>.

H<sup>2</sup>S. — Le dosage du H<sup>2</sup>S nous a causé de grandes difficultés. Les échantillons d'eau profonde du lac Kivu, au-dessous de 75 m., présentaient de fortes quantités de ce gaz. Il eût été extrêmement intéressant de pouvoir le doser avec quelque exactitude. La méthode habituellement employée est celle de DUPASQUIER-FRESENIUS (titration par l'iode) ou, plus exactement depuis BRUNCK, mélange de l'eau à une quantité déterminée d'iode et titrage en retour par l'hyposulfite de l'iode non neutralisée. On obtient de la sorte, dans les lacs Kivu et Édouard, des valeurs considérables : jusqu'en surface, une consommation d'iode qui équivaldrait à plusieurs milligrammes de H<sup>2</sup>S par litre. L'existence de ce gaz dans les couches bien aérées étant impossible, cette consommation d'iode ne peut être attribuée qu'à d'autres substances, hyposulfites ou substances organiques.

Une amélioration de la méthode de DUPASQUIER-FRESENIUS a été utilisée par RUTTNER à Java. Elle consiste à prélever un échantillon de contrôle, dans lequel tout le H<sup>2</sup>S est précipité par du CdCl<sup>2</sup> sous forme de CdS. Le liquide surnageant est titré comme d'habitude et la valeur obtenue soustraite de celle mesurée dans le premier échantillon. En employant cette méthode, nous avons mesuré dans les échantillons-contrôles des couches superficielles une plus grande consommation d'I<sup>2</sup> que dans l'autre échantillon. Les valeurs du H<sup>2</sup>S seraient donc négatives dans ces caux ?

Nous avons utilisé encore une troisième méthode, décrite par OHLE (1936). Elle consiste à recueillir un échantillon d'eau dans un flacon de WINCKLER et à fixer par le CdNO<sup>3</sup> tout le H<sup>2</sup>S y contenu. Le précipité formé est recueilli sur filtre et le filtre avec le précipité est attaqué par un acide fort (HCl) en présence d'une quantité déterminée d'iode. Un titrage en retour par l'hyposulfite indique la quantité d'iode utilisée et permet de calculer la quantité de H<sup>2</sup>S présent. Cette méthode nous a donné les meilleurs résultats. Les valeurs obtenues ne concordent pas avec celles fournies par la méthode décrite plus haut.

CO<sup>2</sup> LIBRE. — Dosé par Na<sup>2</sup>CO<sup>3</sup> en présence de phénolphtaléine. Dans les échantillons de surface, la phénolphtaléine se colore immédiatement en rose. Nous dosons donc les déficits en CO<sup>2</sup>, c'est-à-dire la quantité de CO<sup>2</sup> que l'eau pourrait absorber. Le dosage est fait par HCl.

WINCKLER a établi que ces méthodes indiquent toujours trop peu d'acide carbonique libre. D'après lui (voir MAUCHA, 1930) la correction à ajouter correspond au 1/50 de la dureté de l'eau exprimée en degrés allemands (milligramme de CaO par 100 cm<sup>3</sup>). La dureté de l'eau peut être déduite du dosage de l'alcalinité. Cette correction a toujours été appliquée.

L'échantillon a été prélevé dans une bouteille de WINCKLER de 100 à 125 cm<sup>3</sup>. Pour le dosage, son volume était réduit exactement à 100 cm<sup>3</sup> à l'aide d'une pipette.

ALCALINITÉ. — On entend par là le nombre de  $\text{cm}^3$  de  $\text{HCl N/10}$  nécessaire pour neutraliser  $100 \text{ cm}^3$  d'eau en présence de méthylorange (voir MAUCHA, 1930).

MÜLLER a introduit une correction à cette méthode : c'est l'appréciation de la quantité de  $\text{HCl N/10}$  nécessaire pour faire virer le méthyl-orange dans l'eau distillée. Il l'estime au chiffre  $0,09 \text{ cm}^3$ . Cette correction a toujours été appliquée.

Le dosage de l'alcalinité a eu lieu, suivant les cas, dans  $100$  ou  $50 \text{ cm}^3$ .

DURETÉ. — Pour évaluer la quantité exacte de sels alcalino-terreux présents, nous avons effectué des dosages de la dureté totale, dosage au savon. La méthode employée est celle de BLACHER modifiée par WINCKELER, telle qu'on la trouve décrite dans le volume de MAUCHA (1930) : dosage par le palmitate de potasse ( $\text{N/10}$ ), en présence de phénolphtaléine, d'un échantillon d'eau ayant préalablement subi le traitement pour le dosage de l'alcalinité. Cette méthode n'est pas extrêmement précise, parce que le point de virage de la phénolphtaléine dans la solution de savon n'est pas très net. Les valeurs de sels alcalino-terreux qu'elle fournit permettent des comparaisons instructives avec les valeurs tirées du dosage de l'alcalinité. Comme ces valeurs ne coïncident que dans le cas d'eaux contenant presque uniquement des sels alcalino-terreux (cas le plus général), WINCKLER a proposé d'appeler dureté apparente la valeur calculée sur la base du dosage de l'alcalinité, et dureté réelle la valeur trouvée sur la base du dosage au savon. Nous adopterons ces dénominations dans notre travail.

CONCENTRATION TOTALE DES SELS. — Celle-ci a été évaluée indirectement par la mesure de la conductibilité électrique de l'eau, mesure effectuée au pont de Whaestone (en l'espèce l'appareil Pontavi) en écoutant dans un téléphone le minimum de bourdonnement. Comme source de courant : une pile à 3 éléments branchée sur une bobine d'induction à marteau vibrant. L'électrode utilisée avait été construite à l'Institut Ed. van Beneden. Pour éviter les erreurs provenant d'une modification éventuelle en cours de voyage, nous avons pris la précaution de mesurer en même temps, chaque fois, la résistance électrique d'une solution  $\text{N/10}$  de  $\text{KCl}$ .

Notre réalisation de l'instrument de mesure n'était pas parfaite. Le point de minimum n'était pas très précis : l'erreur qui peut résulter de ce fait a été calculée dans quelques cas. Elle est d'environ  $0,20 \cdot 10^{-4}$ . Comparée aux valeurs que nous avons mesurées et surtout à l'énorme variabilité de la conductibilité électrique dans les lacs que nous avons visités, ce chiffre n'a aucune importance.

On peut tirer de la conductibilité électrique d'un liquide sa concentration totale. Le coefficient de conductibilité dépend évidemment de la nature des sels dissous. KOLRAUSCH (1916) a établi, comme résultat moyen de mesures très nombreuses, que pour les eaux naturelles on peut, avec une approximation suffisante (voisine de 2 à 4 %), utiliser le coefficient

75.10<sup>4</sup>. En multipliant par ce chiffre le résultat des mesures on obtient donc en mgr./litre la concentration de l'eau.

Dans les tableaux repris en annexe, nous ne donnerons que le résultat direct de la mesure. Mais nous utiliserons pour la discussion le coefficient de KOLRAUSCH.

pH. — Le pH a été mesuré par la méthode colorimétrique de CLARKS et LUBBS. Nous avons employé pour cela l'appareil de HELIGE, où les couleurs types sont marquées sur verre. Les étalons fournis par cette firme donnent les teintes de 0,2 en 0,2 unités de pH. Nous avons estimé la teinte prise par le liquide en trois gradations entre ces deux teintes. Par exemple, entre 7,4 et 7,6, nous indiquons : 7,45; 7,50 ou 7,55 pour des teintes intermédiaires se situant plus proches de 7,4 que de 7,6, exactement au milieu ou plus proches de 7,6 que de 7,4.

SELS D'AMMONIAQUE. — Les sels d'ammoniaque ont été dosés colorimétriquement par le réactif de NESSLER en présence de sel de Seignette. Ces réactifs étaient préparés suivant la technique préconisée par WINCKLER (voir MÜLLER, 1933). Les valeurs sont données en milligrammes d'azote sous forme d'ammoniaque par litre. La réaction avait lieu dans 50 cm<sup>3</sup> d'eau. La méthode est sensible au 0,01 milligramme d'N<sup>2</sup> sous forme d'ammoniaque par litre (N/NH<sup>3</sup> par litre).

NITRITES. — Les nitrates sont décelables par la réaction très sensible de GRIESS :  $\alpha$ -naphthylamine et acide sulfanilique (cf. TREADWELL, 1923). La réaction utilise 50 cm<sup>3</sup> d'eau et est sensible à 0,001 mgr./litre d'azote sous forme de nitrites (N/NO<sup>2</sup> par litre).

NITRATES. — Pour le dosage des nitrates, nous employons la réaction à la diphénylamine, telle qu'elle est décrite dans MÜLLER (1933). Cette réaction colorimétrique se fait dans 1 cm<sup>3</sup> d'eau. Les valeurs sont données en milligramme de N<sup>2</sup> sous forme de nitrates par litre. La méthode est sensible au 0,01 mgr. N/NO<sup>3</sup> par litre.

PHOSPHATES. — Les phosphates ont été dosés également colorimétriquement par la réaction de DENIGES au bleu de molybdène. La technique employée est celle de JUDAY (1928). La réaction s'effectue dans 50 cm<sup>3</sup> d'eau et est sensible au 0,001 milligramme par litre, de phosphore sous forme de phosphates (P/PO<sup>4</sup> par litre).

Pour effectuer tous ces dosages, il était nécessaire de disposer d'environ 1 litre  $\frac{1}{2}$  d'eau. Notre bouteille à eau contient exactement 1 litre. Aussi, chaque station hydrographique n'a permis d'effectuer que la moitié seulement des titrations énumérées ci-dessus. Chaque station hydrographique a donc toujours été répétée, généralement après un intervalle de 2 ou 3 jours, pour permettre de faire les recherches négligées la première fois. Ainsi s'explique que nos tableaux sont presque toujours divisés en 2 parties de dates différentes.

## CHAPITRE SECOND

### LE LAC KIVU

Le Kivu possède la réputation d'être le plus pittoresque de tous les grands lacs alignés dans l'axe de l'Afrique. Il doit sa grande beauté à l'aspect tourmenté et compliqué des montagnes qui l'entourent.

Donner une description du lac est extrêmement difficile, car ses aspects sont multiples et changeants. Sa portion méridionale n'est guère constituée que par une succession de chenaux entre des îles et des promontoires. Vers le Nord, le lac s'élargit beaucoup, devient une mer intérieure si vaste, que c'est à peine si, d'une rive, on peut reconnaître les hauts sommets de l'autre berge.

Au Nord, la plaine de laves émises par les grands volcans Virunga arrête, à quelques mètres au-dessus des flots, sa ligne noire surmontée de bouquets d'euphorbes. Cette berge, presque rectiligne, est fort plate. De-ci, de-là, une colline assez abrupte dresse un profil conique d'ancien cratère (Pl. III, fig. 2). Au loin s'élève la chaîne des grands volcans du Parc National Albert, parmi lesquels le Niamlagira et le Niragongo, encore actifs, s'illuminent chaque soir comme de gigantesques phares.

A l'Est et à l'Ouest, le lac est bordé par des rivages très escarpés : des chaînes de grandes montagnes qui s'allongent parallèlement au lac du Sud-Sud-Ouest vers le Nord-Nord-Est.

A l'Est, les hauts sommets du Ruanda demeurent assez éloignés du lac. Ils sont précédés par une série de grandes collines abruptes, à sommets arrondis. Les vallées profondes qui les séparent s'ouvrent dans le Kivu par des couloirs étroits, des baies allongées affectant l'allure de fjords (Pl. VI, fig. 1).

La rive occidentale est longée, à moins de 10 kilomètres de distance, par une rangée d'énormes montagnes dépassant trois mille mètres d'altitude. De cette chaîne principale se détachent un certain nombre de branches qui se dirigent vers le Nord-Est. Ce sont les presqu'îles d'Ishara, de Busiru, de Katshutshu, de Mabula, de Sekere et de Mbusi, qui séparent dans le lac autant de grandes baies ouvertes vers le Nord (Pl. IV, fig. 2). La plus septentrionale d'entre elles, la baie de Kabuno-Kashanga, constitue même un lac presque indépendant. Entre la presqu'île de Mbusi et la rive Nord il n'existe, en effet, comme seule communication avec le restant du Kivu, qu'un étroit passage de 150 mètres de largeur, la passe de Nzulu.

Dans l'axe du lac se dresse une crête formidable, l'île Idjwi, dont le sommet atteint 2.300 mètres d'altitude, soit plus de 800 mètres au-dessus des eaux. Elle divise le lac Kivu en deux bras, à première vue indépendants

l'un de l'autre, mais réunis en réalité par des chenaux transversaux très étroits, avec un bassin rectangulaire situé au Sud d'Idjwi. A son extrémité méridionale, ce bassin est lui-même rattaché par des canaux dirigés d'Est en Ouest avec une dernière portion du lac, placée dans le prolongement exact du bras occidental.

Quoique compté parmi les petits lacs africains, le Kivu est de taille respectable. De Costermansville, au Sud, jusqu'à Nyarustshiru, sur la rive nord, la distance à vol d'oiseau est de 102 kilomètres. La plus grande largeur du lac, de Shova à Kibuye, atteint 50 kilomètres. Malgré les très nombreuses îles (Pl. V, fig. 2) qui obstruent ses eaux, la superficie du lac dépasse 2.300 kilomètres carrés.

Le Kivu couvre près d'un degré de latitude. Saké, au Nord, se trouve à 1°34' de latitude Sud, tandis que Costermansville, au Sud, est à 2°30' de latitude Sud. De l'Est à l'Ouest, il s'étend entre 28°50' et 29°23' de longitude Est.

Un lac de cette taille est une véritable mer intérieure. Les vagues et les tempêtes s'y développent avec une intensité et un aspect plus marins que lacustres. Ainsi battues par les flots, les berges sont rocheuses, dégarnies de terre et de végétation. Il est extrêmement rare de trouver dans le Kivu des plantes aquatiques. Jones, nénuphars, characées sont concentrés dans le fond bien abrité des baies. Partout ailleurs les rives sont marquées d'une ligne nue peinte en blanc par un tuf calcaro-magnésien très épais (Pl. V, fig. 1). Ce tuf est une des caractéristiques du lac. Il réunit et soude toutes les pierres de la berge, recouvre les branches tombées autrefois dans l'eau et constitue autour des rares plantes aquatiques une croûte basale d'allure madréporique.

Le Kivu, lac de montagne, situé à une altitude élevée (1.463 m.), entre de très hauts sommets, voisin de l'Équateur, se trouve au centre d'une région très pluvieuse. Des chaînes montagneuses orientales et occidentales descendent vers le lac un bon nombre d'affluents. Mais aucun ne dépasse la taille d'une rivière. Chose à première vue étrange, la rive nord ne possède pas un seul ruisseau. On admet que la pluie traverse directement la lave poreuse et entre dans le lac sous le niveau des eaux. L'exutoire du Kivu, la Ruzizi, quitte le lac à son extrémité sud, dévale l'escarpement des anciens volcans du Sud du Kivu et se jette dans le Tanganika. Le lac Kivu fait donc partie du bassin du Congo.

Les rives du Kivu sont fort peuplées. Sur les collines du Ruanda, défrichées depuis longtemps, se succèdent des champs de haricots, de maïs et de sorgho, ainsi que les landes où paissent les troupeaux de bœufs aux grandes cornes des Watuzi. Le long de la rive occidentale, d'énormes bananeraies indiquent la présence de villages importants. Le lac sert évidemment, depuis toujours, aux populations riveraines, comme voie de communication et de trafic. Des flottilles de pirogues transportent continuellement, d'une rive à l'autre, bétail et vivres.

Parmi tous ces indigènes habitués à parcourir le lac, bien peu s'adonnent à la pêche. Il n'existe sur tout le pourtour du Kivu que quelques villages de pêcheurs : à Kisenyi, à Nzulu, au Nord d'Idjwi, à Katana, ainsi qu'en deux ou trois endroits au Sud du lac. Une étendue d'eau aussi grande que le Kivu semblerait cependant susceptible de fournir à une population importante une source de nourriture.

La rareté des villages de pêcheurs révèle la caractéristique principale du lac : le Kivu est un véritable désert. Ses eaux pures et transparentes ne contiennent presque pas de plancton. Les seuls symptômes de vie qu'on peut observer sur le lac, poissons, oiseaux aquatiques, plantes, sont concentrés dans le fond des baies et à l'embouchure des affluents.

On peut s'étonner de rencontrer dans la nature équatoriale, alors que les conditions de température et de climat semblent aussi favorables que possible, une région pauvre comme le Kivu. Notre étude cherche donc à montrer quelles sont les causes qui inhibent le développement intensif de la vie dans le Kivu.

## I. — SONDAGES DANS LE LAC KIVU

Ce chapitre peut paraître s'écarter très fort du but principal de notre travail : la détermination des conditions écologiques du lac Kivu. On verra plus loin que cet écart est plus apparent que réel : l'histoire du lac, que sa forme nous aide à comprendre, explique les caractères étranges de ses eaux et, par conséquent, nous renseigne indirectement sur ce milieu biologique.

Ces sondages n'ont donc pas été faits, comme on pourrait le penser, pour des recherches de géographie physique. Il nous était nécessaire de connaître l'allure du fond pour choisir correctement les stations hydrographiques témoins de l'ensemble des eaux.

Les documents rassemblés à notre départ étaient très fragmentaires. Le Commandant GOOR a publié une carte de navigation sur le Kivu, dont les annexes contiennent des sondages d'un certain nombre de ports. Toutes ses mesures sont arrêtées à 20 ou 30 mètres. Elles ne peuvent qu'indiquer l'allure rapide de la pente des berges. D'autre part, on nous parlait couramment des profondeurs formidables du Kivu. On les disait de 800, voire de 2.000 mètres.

Devant ces données incomplètes, il était nécessaire de procéder nous-même aux sondages indispensables. Mais on comprendra aisément que nous n'avons jamais cherché à lever dans le détail le relief du fond. Seule l'allure générale de la cuvette avait une importance pour les problèmes que nous étudions. Nous avons par conséquent cessé ce travail lorsque nos mesures nous ont eu fait connaître les principales particularités de ce relief.

Les documents que nous avons ainsi réunis se sont révélés avoir une grande signification au point de vue de la géographie physique de la région du lac Kivu. Ce chapitre le démontrera.

### MATÉRIEL NAUTIQUE

Le Parc National Albert ne possédait pas de bateau sur le lac Kivu. Nous avons donc dû nous servir d'un matériel nautique d'occasion : une balcinère en fer, non pontée, de cinq tonnes. Elle était actionnée par une motogodille de 5 chevaux qui lui donnait une vitesse de 7 à 10 kilomètres à l'heure, suivant la charge. On voudra bien tenir compte de ce que pareil équipement a handicapé singulièrement nos travaux. Cette embarcation tenait très mal la vague et il ne pouvait être question de l'exposer aux fréquentes tempêtes qui assaillent les lacs africains.

Dans l'organisation de nos sorties, nous devions compter avec cet élément et, en pratique, nous étions forcés de limiter notre séjour sur le lac aux premières heures de la journée. Le Kivu est en effet sujet à une colère presque journalière qui éclate entre 11 heures et midi. Durant toute une année, quelques journées seulement sont parfaitement calmes et permettraient un travail continu. On ne peut guère faire fond sur le beau temps qui semble régner, car la tempête se déclare avec une violence subite. En voici un exemple : Le 7 novembre 1936, à 12,30 heures, nous exécutions un sondage à une dizaine de kilomètres au Nord de l'île Idjwi. L'opération débuta par un calme plat. Au moment où le plomb toucha le fond, le vent s'éleva de Sud-Sud-Est et quelques petites vagues se dressèrent. La relève se termina en pleine tempête. La station n'avait duré que 14 minutes, durant lesquelles le lac passa de l'immobilité parfaite à l'extrême agitation. Nous dûmes évidemment nous réfugier à la côte le plus rapidement possible. Nos divers voyages sur le lac nous ont réservé plusieurs surprises de ce genre.

Ce caractère du lac, joint aux mauvaises qualités nautiques de notre bateau et à l'état d'épuisement du moteur (qui s'est traduit par de nombreux ennuis : deux ruptures de l'arbre, mauvais fonctionnement de l'allumage, etc.), nous interdisait de songer à aborder les longues traversées dans la région nord du lac. Pour combler cette lacune, nous avons utilisé une autre embarcation, le « Bata », appartenant à la C.I.M.N.O.K.I. de Ngoma, que le directeur d'Afrique de cette firme consentit à nous louer pour quelques jours. Grâce à elle nous pouvons présenter une carte complète de la région nord du lac Kivu. Ce bateau peut affronter les plus mauvais temps.

### DÉTERMINATION DU POINT

Normalement notre travail a été effectué avec la seule aide de quelques nègres. Ils n'étaient évidemment d'aucun secours pour des mesures précises. Aussi, il nous était pratiquement impossible d'employer les méthodes classiques de détermination du point des sondages : recouvrements par observateurs placés sur la rive, de la position du bateau au moment de l'observation.

Nous avons dû nous contenter d'une méthode approchée, dont la précision nous apparaît cependant suffisante. Elle consiste à noter continuel-

lement des alignements au cours des traversées, à consigner le moment où telle île se détache de la côte, se sépare de sa voisine, où tel sommet bien visible se profile devant tel autre. En combinant la vitesse moyenne du bateau, le temps séparant deux mesures et le rapport graphique sur la carte de ces observations, on obtient une position approchée du sondage. Les côtes du lac Kivu sont très découpées. Elles ont été admirablement cartographiées. Ces deux facteurs augmentent considérablement la précision obtenue. Normalement, l'erreur maximale doit être inférieure à 100 mètres. On trouvera, en annexe, copie de quelques pages de notre journal de bord <sup>(1)</sup>. Elles serviront d'illustration à la méthode décrite ci-dessus (annexe 1).

Nous avons eu la bonne fortune d'être accompagné pendant une partie de nos voyages par M. L. HERMANS, Dr. Sc., ancien chef de la Mission cartographique du Kivu. L'aide qu'il nous a apportée est inappréciable, car il s'est chargé, pendant tout son passage à bord, de ces observations et de la tenue de notre journal. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de nos très vifs remerciements.

L'idéal, évidemment, eût été d'exécuter tous trajets en ligne droite entre deux points connus. Cela n'a pas toujours été possible. L'état du lac nous a parfois obligé à dévier de notre route. Ainsi, le 30 septembre 1935, nous avons quitté Mwigabiro, à l'extrémité nord de la presqu'île de Mabula, dans l'intention de nous rendre près de Nandegeza, sur l'île Idjwi. Nous avons fait dans cette direction 3/4 d'heure de route et trois sondages, quand un grain très violent nous obligea à nous réfugier à Kalehe. Durant ce trajet, quelques sondages ont été exécutés. En faisant intervenir l'heure du changement de route, la durée des trajets, les observations d'alignement sur les montagnes, nous avons situé ces points avec une précision suffisante. Des trajets de ce genre en ligne brisée ont été faits à plusieurs reprises. Un coup d'œil sur la carte les indiquera mieux que tout commentaire.

D'autre part, nous avons tenu compte, pour établir notre carte, des sondages effectués avant une station hydrographique. Pour les situer, nous avons admis comme vitesse moyenne celle qui fut réalisée en pratique les jours voisins. De même, certaines mesures très rapprochées de la côte ont été remplacées en tenant compte uniquement du temps de marche et de la vitesse moyenne habituelle du bateau dans les mêmes conditions de charge.

Quant aux sondages effectués en pirogue, à l'aide de la sonde à main, nous avons estimé la distance les séparant les uns des autres de la façon suivante : Deux nègres installés avec nous dans la pirogue donnaient vingt coups de pagaie, puis arrêtaient l'embarcation. La mesure faite, nous repartions dans la même direction, et après vingt coups de pagaie, arrêtions à nouveau l'embarcation. Mesurée le long de la rive, la distance ainsi parcourue était de 45 mètres.

---

(1) Nous ne croyons pas indispensable de publier tout notre journal. Il est évidemment à la disposition de qui désirerait contrôler nos observations.

### CARTE

Au total, 202 sondages ont été effectués. Ils ont été reportés sur l'excellente carte au 1/100.000<sup>e</sup> publiée par le Ministère des Colonies (éditions de 1935 et 1936). Nous la reproduisons dans une planche annexe, après l'avoir réduite au 1/200.000<sup>e</sup>, et conservé une courbe de niveau sur deux. Seules les courbes de 100 en 100 mètres ont été retenues (1).

Le réseau de nos observations n'offre pas une régularité parfaite : les circonstances dans lesquelles s'est effectué notre travail en justifient suffisamment les lacunes. Il est sans doute regrettable que nous n'ayons pu effectuer le trajet : île Tembabagoye-Niamisinga (île Idjwi), qui eût comblé le vide le plus important.

Toutefois, dans l'état actuel de nos connaissances des lacs africains, on estimera sans doute que ces 202 sondages représentent une première approximation satisfaisante. Deux sondages successifs d'une même course sont distants de 2 à 3 km. Leur ensemble donne donc une idée générale exacte du relief de la cuvette du Kivu.

### LISTE DES SONDAGES

Les points étant reportés le plus exactement possible sur la carte, nous en avons déduit les coordonnées. Il ne faut évidemment pas attribuer à cette mesure une précision trop rigoureuse. On peut estimer que les points de sondages reportés sur la carte sont justes à 100 mètres près. Ce qui revient à dire que les coordonnées sont exactes à 3 secondes près.

La liste de nos sondages est donnée dans l'annexe II.

### ALLURE GÉNÉRALE DE LA CUVETTE DU KIVU

#### A. — Au Nord d'Idjwi.

L'examen de ces résultats et surtout l'étude de la carte permettent d'affirmer que ces 202 sondages donnent une idée suffisante du relief submergé du lac Kivu.

En premier lieu ils révèlent que les profondeurs considérables attribuées à cette cuvette n'existent pas en réalité. Le point le plus profond atteint est 478 mètres (station 184). Il est situé sur la ligne joignant l'île Bunyunyu à l'île Tshégéra, à 10 km. 400 au Sud de cette dernière. Cette valeur est donc bien inférieure aux 800 et surtout aux 2.000 mètres que l'on accordait à cette soi-disant fosse lacustre.

Il est même tout à fait improbable que des profondeurs notablement supérieures à 478 mètres puissent exister. La vaste cuvette située au Nord

---

(1) La réduction au 1/200.000<sup>e</sup> a été exécutée par les soins du service cartographique du Ministère. Nous exprimons nos très vifs remerciements à M. l'ingénieur en chef MAURY, directeur de ce service, à qui nous devons de pouvoir présenter une carte de facture impeccable.

d'Idjwi se montre en effet posséder un fond remarquablement uniforme. A partir de 4 km. environ des berges, 13 sondages accusent des valeurs variant exclusivement entre 450 et 478 mètres. Il n'y a nulle part l'indication d'une déclivité brusque permettant de supposer l'existence d'un creux local demeuré insondé.

La présence d'une cuvette à fond régulier dans la partie septentrionale du Kivu ne pouvait être prévue. L'allure tourmentée de la région périphérique, la bordure de hautes montagnes abruptes le long de ses rives laissaient soupçonner plutôt un relief submergé irrégulier dont aucune indication n'est donnée par les sondages. De tous côtés, la pente est progressive et les cotes de profondeurs augmentent et diminuent d'après la distance du bord.

D'autre part, la considération de la carte nous aurait plutôt porté à admettre a priori l'existence d'un repli médian longitudinal prolongeant le faite de l'île Idjwi dans la direction Sud-Nord et divisant la cuvette septentrionale en deux bassins. Il n'en est rien. La partie la plus profonde de la cuvette se trouve précisément dans cet axe et le fond se relève régulièrement vers l'Est et l'Ouest.

La démonstration de l'existence d'une cuvette à fond régulier dans la partie septentrionale du lac Kivu, au Nord de l'île Idjwi, est donc un premier résultat positif de nos sondages.

L'examen des 4 sections que nos mesures permettent d'y tracer démontre amplement la régularité de cette cuvette (1).

**SECTION 1. — De Mobimbi à Magapa.** — C'est le profil d'une vallée très large et très plate où 6 sondages, répartis sur 14 km., indiquent une différence de niveau de 23 m. seulement. Cette véritable plaine se raccorde très brusquement aux montagnes du Ruanda et du Congo. A l'Est, nous mesurons 395 m. (sond. 150) à 5 km. de la rive. Mais la section étant légèrement tangentielle à la rive, ce sondage 150 se trouve seulement à 3 km.  $\frac{1}{2}$  de la côte, aux environs de l'archipel des îles Ndumba Kakoï, etc. Vers l'Ouest, la section passe entre les sondages 6 (352 m.) et 144 (336 m.), situés l'un et l'autre, à 3 km.  $\frac{1}{2}$  environ de Mobimbi.

Le contraste entre cette pente des bords (environ 10 %) et l'uniformité du fond est extrême. On remarquera cependant que la descente des berges prolonge sous l'eau en quelque sorte la chute des sommets étagés des montagnes voisines.

**SECTION 2. — De Kasongolele à Kisenyi.** — Les sondages effectués sur ce trajet septentrional n'ont pas rencontré des profondeurs tout à fait aussi grandes (fig. 2). Quatre sondages, cependant (nos 140 à 143), indiquent des valeurs voisines de 450 m. Vers l'Est comme vers l'Ouest, cette section se raccorde à la rive de façon très tangentielle, de sorte que la pente des berges est fortement étirée. Près de Kisenyi, le sondage 172 (384 m.) n'est qu'à 1 km. 8 de la rive (chute 20 % environ). Du côté ouest, le dernier sondage, n° 144 (336 m.), n'est qu'à 3 km. de Mobimbi (pente 10 %). C'est donc par des berges très accores que le fond de plaine relevé par les sondages s'unit aux montagnes formidablement abruptes qui bordent le lac.

**SECTION 3. — D'Idjwi à l'île Tshegera.** — Cette section Sud-Nord recoupe les trajets précédents. Au Nord d'Idjwi, le relief est assez tourmenté, par suite de la

(1) Dans toutes les figures, les profondeurs ont été exagérées 5 fois.



présence d'un petit archipel dont les îles Musosi et Bunyunyu sont seules touchées par notre ligne. Les profondeurs notables séparant ces îles les transforment en de véritables pitons (fig. 3).

À 2 km. 800 de l'île Bunyunyu, le sondage 135 indique déjà 386 mètres. Dans la cuvette proprement dite nous rencontrons 462, 473, 474 et 478 mètres. Ce dernier sondage, le plus profond que nous ayons effectué, est à 16 km. 200 au Nord de l'île Bunyunyu. Plus vers le Nord, le fond du lac indiqué par notre section se relève un peu : à cet endroit, il rencontre la section 2 entre les sondages 143 et 142 (435 et 454 m.). Ces deux mesures, ainsi que le sondage 183 (437 m.), semblent indiquer une légère plate-forme. Un second talus septentrional est indiqué par les sondages 182 (327 m.) et 181 (290 m.), séparés par la même distance que celle qui existe entre le sondage 181 et la rive de l'île Tshegera (1 km. 800). Ces plates-formes correspondent aux irrégularités de la plaine de lave. On peut y voir les traces de l'activité ancienne des volcans qui bordent le Kivu au Nord et dont Tshegera est un des petits représentants.

Au centre du cratère de l'île Tshegera, le sondage 180 n'indique que 20 m. de profondeur. Entre l'île et la côte nord, la profondeur dépasse 160 m. Les sondages 201 et 202, situés de part et d'autre de notre ligne, indiquent respectivement 102 et 123 m.

De nouveau, nous trouvons ici un profil de plaine reliée à la rive par une pente rapide.

**SECTION 4. — De Wahu à Kisenyi.** — Des faits identiques résultent de l'examen de cette autre courbe S.-S.-W.—N.-N.-E. (fig. 4). L'île Wahu, son point de départ, a une forme en croissant qui suggère qu'il s'agit d'un ancien cratère. À 1 km.  $\frac{1}{2}$  de

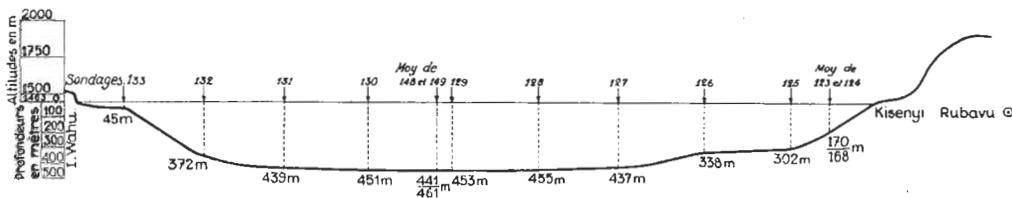


FIG. 4.

la rive nord, le sondage 133 a indiqué 45 m. de profondeur seulement. C'est peut-être la base élargie de l'île. C'est peut-être un piton sous-lacustre analogue aux îles qui continuent vers le Nord la crête d'Idjwi. Plus au Nord, nous rencontrons la même vaste plaine que dans les sections précédentes.

**SECTION 4a. — Vers Kisenyi,** la pente paraît assez lente. Ceci provient uniquement du fait que la section est extrêmement tangentielle à la côte est du lac. Aussi nous préférons lui substituer une courbe mesurée à 2 km. vers l'Ouest, en partant de l'ancien camp de la Mission cartographique à Ngoma et en se dirigeant vers le sommet de Wahu (fig. 5). Sur ce trajet, nous disposons d'ailleurs de mesures beaucoup plus nombreuses : 6 sondages de 45 en 45 mètres; 4 sondages de 232 m. 50 en 232 m. 50 et 3 sondages de 725 en 725 mètres. Il s'agit de trois séries d'opérations effectuées à partir du même point sur la même ligne (voir annexe, p. 000). On constatera que ces mesures s'accordent parfaitement.

La courbe ainsi dessinée indique un profil de rive extrêmement abrupt. À 270 mètres de distance de la rive, la profondeur atteint 173 m., soit une pente de 64 %. Entre 173 m. et 297 m. de profondeur, la pente tombe à 27 %. Calculée depuis la rive, elle est de 40 %. Plus loin encore, entre 297 et 386 mètres, elle est encore de 6 %. Au total, de 0 à 386 m., la pente est de 17 %.

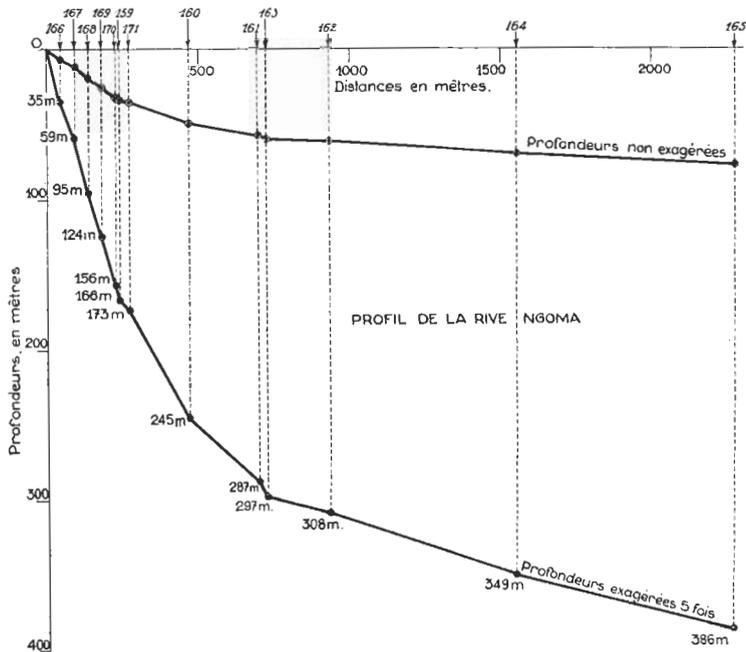


FIG. 5.

### B. — A l'Est et à l'Ouest d'Idjwi.

Les sondages indiquent que la cuvette du Nord est prolongée à l'Est et à l'Ouest d'Idjwi de façon légèrement différente.

Entre l'île et la côte du Ruanda, on rencontre, aussi bien au Sud qu'au Nord, des profondeurs considérables. L'isobathe de 400 mètres y circonscrit une surface importante. Nous ne possédons que 3 mesures dans cette région (434 m. sond. 153; 401 m. sond. 157 et 406 m. sond. 156), mais elles sont séparées par de telles distances que la pente du sol en ces endroits est insignifiante.

Des profondeurs supérieures à 300 mètres, par contre, ont été fréquemment enregistrées. La carte en mentionne très loin au Sud et très près de la côte. Un sondage à 285 mètres sur la ligne joignant l'extrémité de Nyamirundi à la pointe d'Ishara témoigne que l'isobathe de 300 mètres doit se trouver presque au même parallèle que l'extrémité sud d'Idjwi. Dans tout ce bras oriental du lac, l'isobathe de 300 mètres est à moins de 3 km. des côtes. L'énorme surface du lac englobée par lui ne comprend que des pentes relativement faibles, insignifiantes vis-à-vis du talus de la berge.

Le relief décelé par les sondages montre que les accidents de la rive : falaises, montagnes ou vallées, sont prolongés sous l'eau. Il suffit de voir combien les isobathes se resserrent dans l'axe des baies Seneya et Bitare,

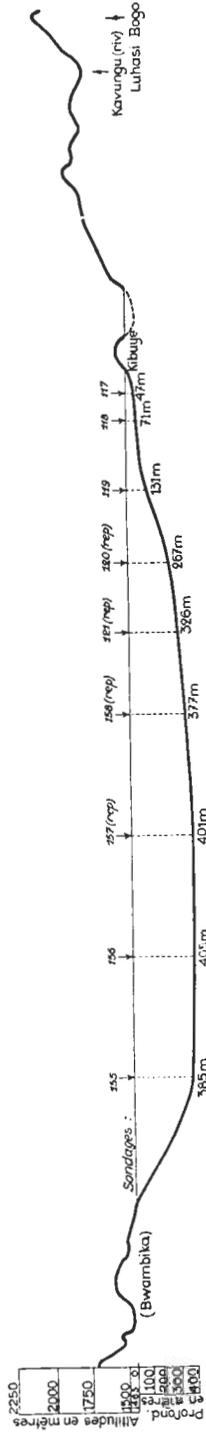


FIG. 9.

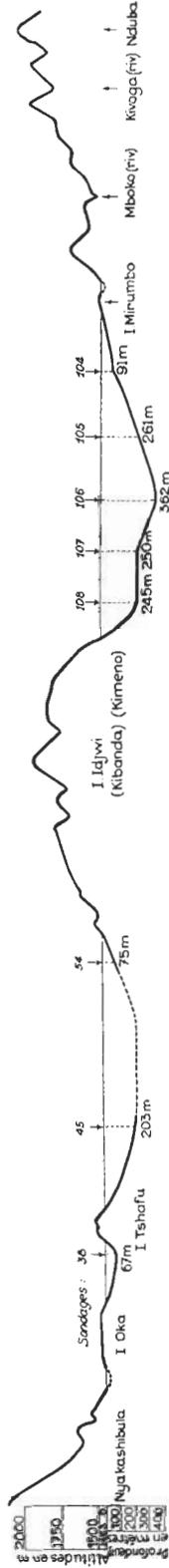


FIG. 10.

SECTION 7. — **De Nyakashibula à Nduba.** — Cette section, un peu plus méridionale, passe par Nyakashibula, l'île Oka, l'île Tshafu, l'île Idjwi (Kibanda) et se termine dans le Ruanda, vers Nduba (fig. 10). Elle rencontre 8 sondages. Dans sa portion ouest, malheureusement, elle ne touche que deux mesures, d'ailleurs très différentes. Nous avons tracé une courbe en tenant compte d'une section oblique à ce bras du lac et touchant, à l'Ouest Ngoma (au Nord de Katana) et à l'Est, l'île Miku.

Ces courbes, telles que nous pouvons les dessiner, donnent aux deux bras du lac des profils très différents. Après une série des grandes îles plates contrastant très fort avec la pente de Nyakashibula, la région ouest présente une cuvette régulière d'environ 200 mètres de profondeur maximum, aux parois faiblement inclinées. Les hautes collines d'Idjwi, de plus de 2.000 mètres d'altitude, s'inclinent assez lentement vers l'Ouest, tandis que vers l'Est elles descendent très rapidement dans une fosse, où, à moins de 2 km. de la rive, 245 mètres de profondeur ont été mesurés. L'axe de cette fosse est constitué par un creux très prononcé de 362 mètres de profondeur. Vers l'Est, la pente remonte assez lentement et prolonge l'allure générale des collines du Ruanda. La portion est de cette section présente une allure typique de vallée immergée.

#### C. — Au Sud d'Idjwi.

Passé les détroits qui séparent Idjwi des presqu'îles de Nyamirundi et d'Ishungu, on pénètre dans une région du lac au fond plus complexe. Les profondeurs sont encore considérables, — elles le sont partout dans le Kivu, — mais ici cependant elles ne dépassent pas 163 mètres (profondeur mesurée dans la passe même entre Idjwi et Nyamirundi). Plus on avance vers le Sud, plus les chiffres deviennent faibles. Sur la ligne Bindja-Nyamirundi, où nous avons arrêté nos mesures, faute de temps, la profondeur maximum est de 75 mètres. Ceci confirme la constatation relevée dans le paragraphe précédent : la pente du fond est orientée du Sud vers le Nord.

Sur la base des sondages on peut aisément tracer le cours d'une vallée circulant à l'Ouest de Nyamirundi et, par la passe entre cette presqu'île et Idjwi, s'ouvrant dans le bras oriental.

Entre Ishungu et l'île Kibusa, la profondeur atteint 154 mètres. On peut donc admettre l'existence d'une seconde vallée se dirigeant vers le bras occidental. Nos mesures ne sont malheureusement pas assez serrées pour indiquer la position de la crête séparant ces deux versants. Elle se trouve vraisemblablement dans le prolongement de l'île Nyamarangwa.

Nous pouvons présenter dans cette région 2 sections : la première au niveau de la passe Idjwi-Nyamirundi; la seconde au niveau de l'île Bindja

SECTION 8. — **D'Ishungu à Ishara.** — Cette section (fig. 11), dont les extrémités indiquent que le relief de la rive se prolonge sous l'eau, présente au milieu deux irrégularités. A l'Est des sondages 85 et 86 (228 m. et 237 m.), le sol se relève fortement

(sond. 94, 136 m.), pour redescendre ensuite (sond. 95, 285 m.). Ce soulèvement local se trouve devant la crête Gangawanda-Nyamirundi, tandis que le point le plus profond se place dans l'axe de la baie de Bitare. Ces deux mesures, à première vue discordantes, démontrent amplement combien le relief de la rive influence celui du fond. Quant aux sondages 84, 85 et 86, ils montrent une pente assez forte vers l'Est, au sortir de la passe.

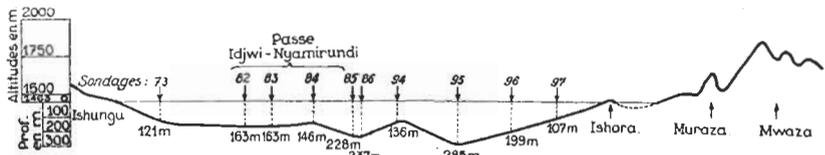


FIG. 11.

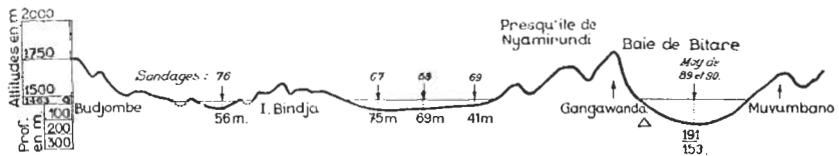


FIG. 12.

SECTION 9. — **De Budjombe à Muvumbano.** — Cette coupe (fig. 12), la plus méridionale, est le dessin d'une section de vallée dont la pente est très inégale; un creux large, à fond plat, entre les collines peu élevées de Bindja et Nyamirundi, et une cuvette profonde à la suite de la montagne abrupte de Gangawanda.

#### D. — La baie de Kabuno-Kashanga.

Nous traitons à part cette région. Elle constitue en effet une portion presque isolée du reste du lac, puisque ce grand triangle de 8 km. de base sur 14 km. de hauteur n'est rattaché au lac que par un chenal de 150 mètres de largeur. Cette passe a été réduite à sa largeur actuelle par l'éruption du Rumoka en 1912. Les laves ont conquis sur le lac 2 à 3 kilomètres carrés <sup>(1)</sup>. Actuellement, le chenal devant Nzulu n'a plus que 16 mètres de profondeur. C'est dire si, pratiquement, les eaux des deux régions sont séparées.

Cette baie de Kabuno présente également tous les caractères d'une vallée fermée et noyée. La profondeur augmente régulièrement du Sud vers le Nord. Les sondages que nous avons effectués dans son axe indiquent successivement, du Sud vers le Nord : 28, 42, 61, 75, 130 et 137 mètres.

#### PROFIL LONGITUDINAL DU LAC

Nos sondages indiquent donc que le relief submergé du lac Kivu est un relief de vallées. Partant du Sud, ces vallées se dirigent à l'Est et à l'Ouest

(1) On peut avoir une idée de la surface reprise sur le lac, en comparant les cartes publiées en 1912 par la mission germano-belge de délimitation et en 1935 par le Ministère des Colonies.

de l'île Idjwi vers une plaine septentrionale dans laquelle elles s'ouvrent. Il nous paraît intéressant d'établir le profil longitudinal du fond et d'en calculer la pente.

Pour le faire, nous avons réuni les segments de droites joignant les points les plus profonds de nos sections transversales.

Un premier trajet emprunte le bras oriental, un second le bras occidental du lac. Tous deux se terminent au sondage le plus profond: 478 mètres.

Le premier part de l'Est de l'île Bindja, passe à l'Est de l'île Nyamarangwa, franchit la passe Idjwi-Nyamirundi, suit l'axe du bras oriental du lac, puis, au Nord de Wahu, s'infléchit vers le Nord-Ouest.

Il présente trois anomalies. Au niveau de la passe Idjwi-Nyamirundi, entre les sondages 83 (163 m.) et 85 (228 m.), le sondage 84 n'indique que 146 mètres. De même, entre les sondages 86 (237 m.) et 95 (285 m.) s'intercale une mesure de 136 mètres (sond. 94). La vallée que nous supposons devrait donc joindre ces mesures en contournant une irrégularité du terrain et la distance entre ces deux points devrait être allongée d'autant. Nous ne l'avons pas fait, faute d'éléments permettant d'apprécier la longueur approximative de cette courbe. D'autre part, le sondage 111 (352 m.) est moins profond que le sondage 101 (362 m.), plus méridional. Mais, dans une même section, nos mesures sont séparées par environ 2 km. Et dans cette région du lac les isobathes sont fortement rapprochés. Supposer entre les sondages 110 (339 m.) et 111 (352 m.) un point légèrement plus profond, par exemple 375 mètres, n'est pas une très grande hypothèse.

Entre l'Est de l'île Bindja et le sondage 184, la distance par le bras oriental est de 83 km. 300; la différence de niveau entre les deux sondages terminaux est de 403 mètres. La pente ainsi réalisée est de 5 ‰. Cette pente est évidemment très inégalement répartie sur le trajet. En considérant exclusivement le trajet Nord-Sud, dans le bras oriental du lac, la pente est de 3 ‰ entre les sondages 95 et 184. Dans l'extrémité de la courbe, entre les deux derniers sondages reportés, la pente n'est plus que de 1,4 ‰.

Le trajet dans le bras ouest du lac présente une pente beaucoup plus forte. Nous avons admis comme point de départ le sondage 73, situé au Nord de l'île Nyamarangwa. La ligne passe entre la pointe d'Ishungu et l'île Kibusa, suit l'axe du bras occidental, passe à l'Est des îles Shushu et se termine au même point que la courbe précédente. Ce trajet mesure 63 km. Sur cette distance, une différence de niveau totale de 357 mètres donne une pente de 5,7 ‰. Depuis la pointe d'Ishungu, soit dans la portion nord-sud du trajet, la pente est de 5,3 ‰.

Ces deux graphiques, quoique très différents, ont cependant un même caractère : la pente diminue progressivement du Sud vers le Nord, en même temps qu'augmente la profondeur. On peut rapprocher cette allure de celle des vallées fluviales dont la pente diminue dans la plaine vers l'embouchure.

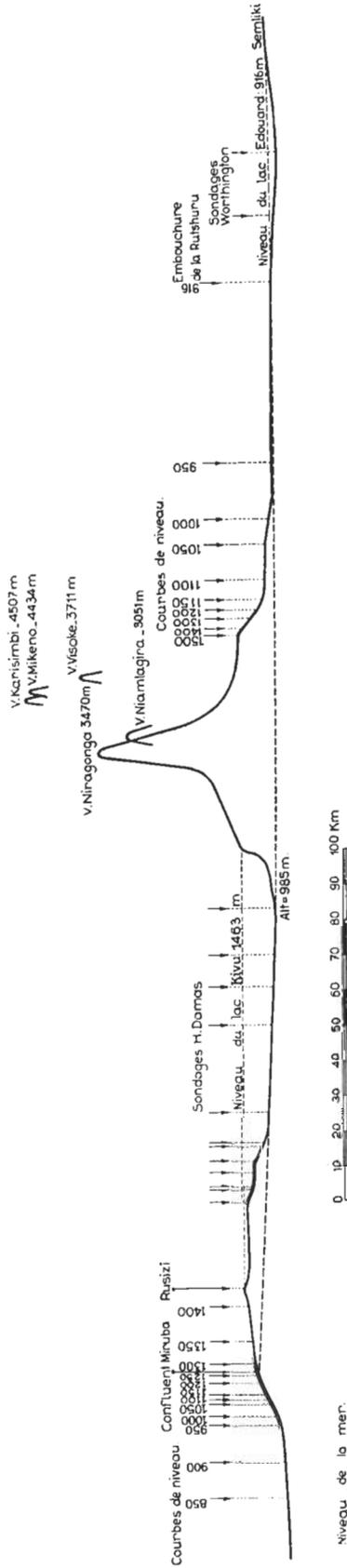


FIG. 13.

**RELATIONS DU LAC KIVU AVEC LES LACS VOISINS : TANGANIKA ET ÉDOUARD**

Le Kivu est bordé au Nord comme au Sud par des régions volcaniques. A travers les anciennes laves du Sud du Kivu, son émissaire actuel s'échappe vers le Tanganika. C'est la Ruzizi, au cours torrentueux coupé de chutes et de rapides. Au Nord, les eaux du Kivu se butent contre la plaine de laves émises par le groupe des volcans Virunga.

Le profil de toute cette région a été représenté dans la figure 13. Le relief du fond du Kivu dessiné part de l'embouchure de la Ruzizi, passe entre les îles situées au Nord de Costermansville et joint la ligne étudiée plus haut comme profil du bras oriental du lac. Le point le plus profond du lac, situé au Nord, au pied des Virunga, correspond au sondage 184. L'altitude du sol en cet endroit est de 985 mètres (1.463 m.-478 m.).

Le versant nord des Virunga appartient au bassin du lac Édouard. Il est drainé par la Rutshuru et ses affluents. Après une descente très rapide sur les contreforts des volcans, la Rutshuru pénètre dans la plaine de l'Édouard (altitude 916 m.), où elle serpente et se jette finalement dans le lac. Dans la figure 13, le profil dessiné pour cette région, à partir de la courbe de niveau de 1.500 mètres, est celui de la rivière Rutshuru. La plaine du lac Édouard, le croquis le montre nettement, est comprise presque entièrement entre les cotes de niveau de 950 et de 916 mètres, ce dernier chiffre indiquant le niveau du lac Édouard.

Si le barrage des Virunga n'existait pas, les eaux qui actuellement remplissent le lac Kivu se déverseraient dans le lac Édouard. C'est ce que représente la ligne brisée qui réunit dans la figure 13, sous les volcans, le point le plus profond du lac Kivu à la plaine de la Rutshuru. Cette ligne prolonge en réalité la direction du fond du Kivu, auquel nous avons déjà reconnu l'allure d'une vallée fluviale orientée vers le Nord. Cette ligne hypothétique représente le trajet d'un fleuve qui, avant l'apparition des volcans, aurait drainé vers le Nord les vallées actuellement cachées sous le Kivu.

Ce fleuve aurait encore une pente sensible. La différence de niveau entre le fond reconnu du Kivu et les eaux de l'Édouard est de 69 mètres (altitude minimum du fond du Kivu 985 m.; altitude de l'Édouard 916 m.). A vol d'oiseau, la distance entre les rives de l'Édouard (embouchure de la Rutshuru) et le point le plus profond du Kivu est de 130 km. La pente entre les deux points est d'environ 0,5 ‰. Mais, évidemment, une rivière qui eût autrefois réuni ces deux points à travers une plaine n'eût pas eu un trajet rectiligne. Elle eût serpenté et ses méandres eussent augmenté sa longueur et diminué sa pente. Pour estimer la longueur approximative de ces méandres, nous avons mesuré, sur la carte au 1/100.000<sup>e</sup> publiée par le Ministère des Colonies, le trajet de la Rutshuru dans la plaine du lac Édouard. Depuis la courbe de niveau de 950 mètres jusqu'à l'embouchure de la Rutshuru, le trajet à parcourir est de 37 km. 5. Le trajet réel est de 51 km. 4. Les méandres ont augmenté la distance de 1 à 1,37.

Nous avons utilisé ce coefficient et multiplié par 1,37 la distance de 130 km. en ligne droite. Le chiffre obtenu est de 178 km. La pente, par les méandres hypothétiques, devient alors 0,4 ‰; ce qui permet très bien l'existence d'un courant.

Le dessin qui vient d'être commenté est en réalité la représentation graphique de l'hypothèse géologique classique concernant l'origine du lac Kivu. Cette théorie peut être résumée comme suit :

Le lac Kivu occupe l'emplacement d'une série de vallées fortement érodées, dirigées vers le Nord et vraisemblablement autrefois tributaires du lac Édouard. L'apparition des volcans Virunga a fermé ces vallées. Le Kivu a été créé par l'inondation de l'ancien réseau hydrographique. Les eaux, rencontrant au Sud la région de la cuvette d'altitude la plus faible, se sont écoulées par cette fenêtre et déversées dans le Tanganika. La région du Kivu, autrefois tributaire de l'Édouard et par conséquent du Nil, devint de la sorte tributaire du Tanganika et du Congo.

A. SALÉE a voulu compléter cette hypothèse. D'après lui (1927, p. 208), « le lac Tanganika, à une époque géologiquement assez récente, déversait ses eaux vers le Nord et, par le réseau hydrographique du Kivu, communiquait avec le lac Édouard ».

N. BOUTAKOFF (1933) a exposé récemment des arguments nouveaux en faveur de cette thèse, qui n'a cependant pas obtenu l'adhésion unanime des géologues. On lui oppose une objection sérieuse : l'existence actuelle d'un exutoire du Tanganika : la Lukuga. Si même les dénivellations subies par le Tanganika atteignent l'importance (500 m. environ) que leur attribue A. SALÉE, il resterait à démontrer que ce lac ne s'écoulait pas plutôt par son déversoir actuel que par le Kivu.

Nous n'avons pas à prendre position dans ce débat entre géologues. Nous nous sommes borné, dans la figure schématique 13, à représenter cette hypothèse en joignant les deux points extrêmes des laves du Sud du Kivu. D'après A. SALÉE, la limite méridionale serait indiquée par le confluent de la Miruba avec la Ruzizi (altitude 1.290 m.). Nous avons choisi comme limite nord de l'extension des laves du Sud du Kivu le premier sondage en dehors de la presqu'île de Nyamirundi. En effet, d'après la carte géologique du Ruanda-Urundi, publiée par A. SALÉE, cette presqu'île constitue l'avance extrême des coulées. Le premier sondage en dehors, à l'Est de cette presqu'île, se trouve dans l'axe de la baie de Bitare. C'est le n° 24, 227 mètres de profondeur. L'altitude du fond à cet endroit est de 1.236 mètres. Il y a donc entre ce point et celui indiqué par A. SALÉE (le confluent Miruba, 1.290 m. altitude) une pente dirigée vers le Kivu.

En attendant que d'autres faits infirment ou confirment l'hypothèse d'A. SALÉE, on peut s'en tenir à la théorie classique : le Kivu, lac de barrage provoqué par les éruptions des Virunga qui ont bloqué une vallée tributaire de l'Édouard. On a pu s'apercevoir, par la lecture de ce paragraphe, combien nos sondages confirment cette manière de voir. Les eaux du Kivu cachent bien des vallées noyées, orientées vers le Nord, et dont la pente, prolongée sous les Virunga, rejoint la plaine du lac Édouard.

### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

1. Contrairement à une opinion fréquemment émise, le lac Kivu ne présente pas de profondeurs véritablement abyssales. Le point le plus profond que nous ayons rencontré est à 478 mètres sous le niveau actuel des eaux.

2. Ces sondages montrent, au Nord d'Idjwi, une vaste plaine sous-lacustre située à environ 460 mètres sous l'eau. Cette plaine s'étend sur près de 15 kilomètres de longueur et de largeur.

3. Cette plaine est prolongée à l'Est et à l'Ouest d'Idjwi par deux vallées noyées où la profondeur diminue au fur et à mesure qu'on avance vers le Sud. La pente du fond du Kivu est donc inverse du sens actuel de l'écoulement des eaux.

4. Au Nord, au pied de la plaine de lave, des profondeurs très considérables ont été enregistrées à peu de distance de la côte. Le profil de la berge à ces endroits est celui d'une muraille extraordinairement abrupte (64 %).

5. Ces constatations confirment entièrement l'hypothèse émise par les géologues sur l'origine du lac Kivu : le barrage par les Virunga d'un réseau fluvial coulant vers le Nord et tributaire du lac Édouard. Elles en constituent une démonstration inespérée.

## II. — RECHERCHES HYDROGRAPHIQUES DANS LE LAC KIVU

### LE PROBLÈME THERMIQUE ET CHIMIQUE DU LAC KIVU

La première station hydrographique effectuée dans le lac Kivu est une des dates importantes de notre voyage au Congo. Jusqu'alors nous n'avions pas rencontré d'eau assez profonde pour expérimenter nos instruments hydrographiques. En fait, nous ignorions complètement s'ils se révéleraient adéquats à leur destination.

L'existence, devant Ngoma, de profondeurs assez considérables très proches de la côte nous permit, dès notre arrivée au lac Kivu, d'effectuer une station hydrographique complète, le 10 avril 1935.

A quelques centaines de mètres au large, nous arrêtons notre baleinière et descendons sur un seul câble trois bouteilles à eau, à 50, 100 et 250 mètres de profondeur. Avec une anxiété que le lecteur comprendra aisément, nous libérons le plomb messenger chargé de déclencher nos appareils. L'expérience doit décider du sort de toutes nos recherches. Les instruments répondront-ils à nos désirs? Les bouteilles à eau se refermeront-elles correctement? Le câble qui les porte résistera-t-il au poids et au choc? Nous avouons avoir à ce moment imaginé les pires accidents et vu nos recherches terminées dès le premier jour.

La vibration et le bruit provoqués par le déclenchement successif des trois bouteilles nous apprennent, à notre grande joie, le fonctionnement correct de nos appareils, et nous pouvons relever les bouteilles à eau.

A 50 mètres de profondeur, le thermomètre indique 22°3 C., soit 2°5 C. de moins qu'en surface (environ 25° C.). Chose étrange, la bouteille remontant de 100 mètres arrive en surface complètement noircie. L'eau qu'elle ramène dégage une odeur nette d'hydrogène sulfuré et le thermomètre inscrit 22°4 C., soit un peu plus qu'à 50 mètres. Quand la troisième bouteille (250 m.) apparaît à la surface, notre surprise est encore plus forte. A travers les robinets perlent des bulles de gaz. L'eau péfille comme une eau minérale gazeuse et sent horriblement l'hydrogène sulfuré. Chose plus étonnante encore, la température du fond est plus élevée de 1° C. (23°4 C.) que celle mesurée à 50 mètres de profondeur.

Des caractères aussi étranges : inversion de la température, présence d'hydrogène sulfuré, dégagement intense d'un gaz dissous, révèlent une situation hydrographique anormale et posent une foule de problèmes.

Quelle peut-être la cause du réchauffement profond? Quelles substances contiennent ces eaux pour demeurer les plus profondes, bien que plus chaudes?

D'autre part, cet état anormal n'est-il pas un fait local? Ne sommes-nous pas par hasard au-dessus d'une solfatare sous-lacustre que pourrait expliquer la proximité des volcans? Ou bien, au contraire, le phénomène a-t-il un caractère général et intéresse-t-il toute l'étendue du lac Kivu?

La stratification constatée en avril 1935 se maintient-elle toute l'année, ou varie-t-elle avec les saisons?

Ainsi, dès le premier contact avec le Kivu se posaient des problèmes importants. La stratification thermique et la composition des eaux du lac se révélaient anormales et extrêmement complexes.

#### POSITION DES STATIONS HYDROGRAPHIQUES

Pour chercher une réponse à ces divers problèmes, les observations ont été répétées en quatre endroits du lac : aux environs de Ngoma, au Nord et au Sud d'Idjwi, dans la baie de Kabuno-Kashanga.

Des raisons pratiques — la proximité de Rutshuru, station centrale du P. N. A., et l'existence à cet endroit d'un port — ont fait de Ngoma notre base sur le lac Kivu. Situation éminemment favorable, d'ailleurs, car, comme la carte bathymétrique le démontre, la rive nord du lac est extrêmement abrupte. Il suffisait de s'écarter de 2 à 3 km. pour rencontrer des profondeurs atteignant 300 mètres.

Le sondage précédant la station hydrographique au Nord d'Idjwi a été inscrit dans notre liste sous le n° 17. Il est situé au Nord-Ouest de la pointe nord de l'île Idjwi; à l'Ouest des îles Kitanga et Mukondo, c'est-à-dire au point de jonction du bras ouest avec la portion la plus large du lac. C'est une station d'assez grande profondeur : 223 mètres. On peut la considérer comme représentant l'état de l'eau au centre géométrique du lac.

La station au Sud de l'île a eu lieu dans l'axe de la passe entre Idjwi et Nyamirundi, à 3 km. à l'Est du point le plus étroit de la passe. La profondeur en cet endroit atteignait 237 mètres. Cette station peut servir de témoin pour les eaux du Sud du lac.

La baie de Kabuno-Kashanga pose des problèmes spéciaux. Elle n'est rattachée au lac que par un chenal de 150 mètres de largeur. Le seuil de la passe est à 16 mètres de profondeur. Notre station hydrographique, par 137 mètres de profondeur, se place au centre de ce vaste bassin triangulaire.

Ces quatre groupes de stations hydrographiques ont été effectués tous à une distance relativement faible (2 à 3 km.) de la côte. On peut le regretter, car la plus grande profondeur atteinte est 375 mètres et par conséquent nous n'apportons aucun renseignement sur les eaux de la cuvette profonde, entre 375 et 475 mètres.

Cette lacune tient aux conditions difficiles du travail sur le lac Kivu. Que l'on veuille bien se rappeler le caractère subit et imprévu des orages journaliers qui agitent cette vaste surface. Une station hydrographique comportant le relèvement d'une douzaine d'échantillons d'eau s'étagant entre 300 mètres et la surface demande de deux à trois heures de travail. En partant au lever du jour et en tenant compte de ce que le travail doit être terminé entre 11 heures et midi, il n'est pas possible de consacrer plus d'une demi-heure pour chacun des trajets aller et retour.

Malgré cela, nos mesures peuvent être considérées comme bien représentatives de l'ensemble du lac Kivu. A cause du caractère abrupt des berges, à 2 km. de la rive, elles étaient déjà en dehors de l'influence de la côte. La congruence parfaite, l'identité des résultats obtenus au Nord du lac, à Ngoma, au Nord et au Sud de l'île Idjwi établiront la pertinence de nos mesures.

#### DATE DES OBSERVATIONS

En vue de saisir l'allure générale des variations saisonnières, nous avons multiplié autant qu'il nous était possible les observations à notre station de base de Ngoma. Sept séries d'observations y ont été faites. Elles se groupent en trois périodes : avril 1935, septembre 1935 et février 1936. Elles se situent donc : celle d'avril au milieu de la saison pluvieuse, celle de septembre à la fin de la grande saison sèche, celle de février au début de la seconde saison des pluies. Par conséquent, nous avons deux séries de mesures en saison des pluies, qui se contrôlent, et une série en saison sèche.

D'autre part, les stations au Nord d'Idjwi (septembre 1935) et au Sud d'Idjwi (octobre 1935) se placent tout à la fin de la saison sèche, tandis que celle de la baie de Kabuno-Kashanga (février 1936) se situe au milieu de la saison pluvieuse.

Nos observations se répartissent donc dans les deux saisons principales. Elles nous révèlent l'allure générale des variations annuelles.

## A. — THERMOMÉTRIE

### I. — EXPOSÉ DES OBSERVATIONS

Nos observations sont consignées dans les annexes 3 à 13. Pour la commodité de l'exposé, les résultats ont été traduits en courbes. Nous les présenterons d'une manière objective avant d'en discuter la signification et l'interprétation.

#### a) Observations aux environs de Ngoma.

Trois séries d'observations en *avril 1935* (annexe 4) ont fourni des chiffres remarquablement congruents. Les courbes (fig. 14) qui les traduisent montrent les faits suivants :

La température en surface diffère évidemment d'un jour à l'autre. Elle dépend des conditions momentanées (heure de la journée, insolation, nébulosité, vent, etc.). Elle a varié de 24°1 C. à 25°1 C., chiffres relativement peu élevés. On trouverait fréquemment en été dans des lacs européens, des valeurs équivalentes ou même supérieures.

Immédiatement sous la surface, la température diminue rapidement. La chute était de 1°2 C. entre 0 et 2 mètres le 15. L'échauffement sous l'influence directe des rayons solaires ne se fait donc pas sentir très bas.

Sous cette pellicule superficielle échauffée vient une zone pratiquement homéotherme, aux environs de 23°85 C. De 2 à 20 mètres, la température ne décroît que de 0°2 C. La différence entre les stations est infime : 0,08° C., ce qui indique une stabilité momentanée de la couche.

Entre 20 et 50 mètres, la différence de température est 1°40 C. Entre ces niveaux existe un thermocline dont la situation n'est pas précisée. Entre 20 et 25 mètres, la chute est déjà de 0°65. L'absence de mesures entre 25 et 50 mètres nous empêche de préciser la courbe des températures.

A 50 mètres de profondeur, trois observations faites respectivement le 8, le 10 et le 15 avril ont fourni le chiffre constant de 22°32 C. Une mesure effectuée à 75 mètres, le 15 avril, donne le chiffre le plus faible constaté à cette époque : 22°28 C.

A partir de cette profondeur, il se produit une inversion de la courbe : la température augmente. Jusqu'à 200 mètres, les courbes des deux stations sont sensiblement parallèles. Des différences de 0°02 C. à 100 mètres, de 0°06 à 200 mètres de profondeur sont dans l'ordre de grandeur de erreurs de lecture. Elles ne peuvent que souligner la stabilité remarquable des couches profondes. Le graphique indique une augmentation beaucoup plus rapide de la température à partir de 200 mètres. A 200 mètres, le thermomètre marque 22°85. A 250 mètres, 23°41; à 290 mètres, 24°66, c'est-à-dire presque autant qu'en surface à midi !

En *septembre*, les mesures ont fourni des courbes (fig. 15) d'allure comparable à celles d'avril. On retrouve la même division en une région

superficielle et une région profonde séparées par un minimum thermique. Notons que la température de surface est légèrement plus basse. Toutes les valeurs observées de 0 à 25 mètres sont plus faibles qu'en avril ( $1^{\circ}$  C. en moyenne). Il s'est produit un léger refroidissement de cette zone.

De nouveau, entre 0 et 2 mètres, la chute de température est nette. De 2 à 50 mètres existe une région où la température diminue d'une façon lente et peu régulière. Les courbes n'indiquent pas de thermocline net. Le minimum thermique a été constaté le 13 à 40 mètres, le 15 à 50 mètres.

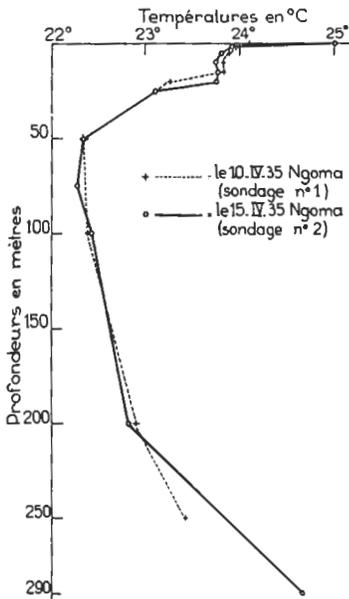


FIG. 14.

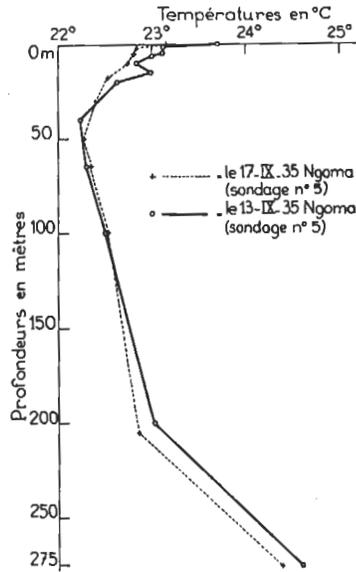


FIG. 15.

Ces minima ( $22^{\circ}23$  à 40 m. le 13 septembre et  $22^{\circ}27$  à 50 m. le 17) ne diffèrent guère du minimum thermique d'avril ( $22^{\circ}28$  à 75 m.), mais sont situés moins profondément.

Le réchauffement des eaux profondes ne se produit pas de façon progressive. Les lignes réunissant nos mesures sont nettement brisées à 200 mètres de profondeur. Lors des deux observations, la température de 275 mètres dépassait celle de l'eau de surface. Les chiffres des 13 et 17 septembre diffèrent entre eux de  $0^{\circ}11$ . Nous discuterons plus loin cette anomalie. La différence entre les mesures d'avril et d'octobre est au maximum de  $0,2^{\circ}$  C. On peut en conclure à une stabilité remarquable de la stratification profonde.

Lors de nos dernières stations hydrographiques, en février 1936, prévenu par nos observations antérieures, nous avons cherché à atteindre les profondeurs les plus grandes situées dans notre rayon d'action. Nous avons également multiplié les observations pour mieux préciser la courbe (fig. 16).

Les deux régions, superficielle et profonde, s'opposent à nouveau. La première peut être subdivisée en trois zones. Sous la surface, fortement échauffée, vient une région presque homéotherme (à 23°65), entre 5 et 20 mètres (la différence maximum entre les diverses valeurs n'est le 13 que de 0°04). Vient ensuite un thermocline très net où, en 5 mètres, la température s'abaisse de près d'un degré. De 40 à 70 mètres existe une région pratiquement homéotherme s'établissant à 22°26-22°29 C. A partir de 75 mètres la température augmente. Jusqu'à 200 mètres, l'augmentation

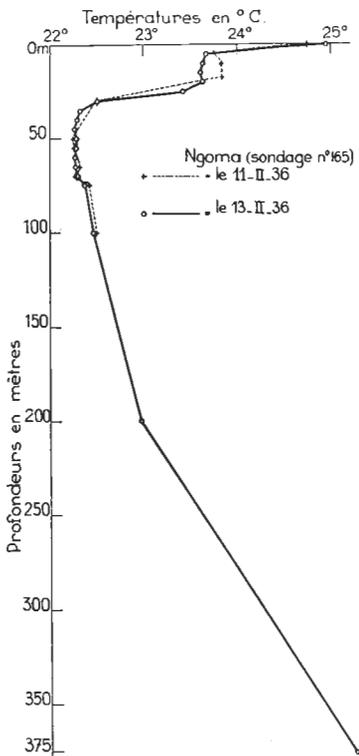


FIG. 16.

A 100 mètres se manifeste à nouveau l'inversion thermique. La température mesurée est presque identique aux chiffres obtenus au Nord du lac (22°45 à 100 m. au Nord d'Idjwi; 22°60 à 115 m. au Sud d'Idjwi, contre 22°44 en moyenne à Ngoma, à 100 m. de profondeur).

A 215 mètres de profondeur, au Nord d'Idjwi, nous avons constaté 23°33 C. A 225 mètres au Sud de l'île : 23°26 C. De nouveau l'accroissement de température à cette profondeur est identique à celui observé au pied de la rive septentrionale. On peut en conclure avec certitude à l'horizontalité absolue des couches principales du lac Kivu.

est à peu près régulière. Elle est identique à celle mesurée lors des stations précédentes. A 375 mètres nous trouvons 25°26 C., chiffre le plus haut mesuré dans le lac Kivu et à la plus grande profondeur.

En comparant les graphiques 14 et 16 on constate que les valeurs obtenues aux profondeurs correspondantes coïncident remarquablement. La situation thermique du lac est donc redevenue ce qu'elle était un an auparavant.

#### b) Mesures au Nord et au Sud d'Idjwi.

Les courbes dessinées par ces mesures diffèrent légèrement des précédentes. De 0 à 25 mètres la température décroît très régulièrement. Pas la moindre division de la masse par un thermocline brusque (fig. 17 et 18).

Au-dessous de 25 mètres, la température diminue encore. Un minimum thermique a été constaté de part et d'autre de l'île à 65 mètres de profondeur (22°27 le 26 septembre 1935, au Nord, et 22°22 le 13 septembre 1935, au Sud d'Idjwi), et ce minimum est, on le constate, extrêmement semblable aux chiffres constatés au Nord du lac, à respectivement 30 et 70 km. de distance.

c) Mesures dans la baie de Kabungo-Kashanga.

Dans cette baie, nous avons observé, le 22 février 1936, des températures très différentes de celles du restant du lac. Certes, la courbe est divisée en deux parties et présente un minimum, mais cette fois à 20 mètres de profondeur seulement (fig. 19).

La température en surface n'est pas très élevée. Mais il faut tenir compte qu'elle a été observée par une journée pluvieuse. Dans les 20 premiers

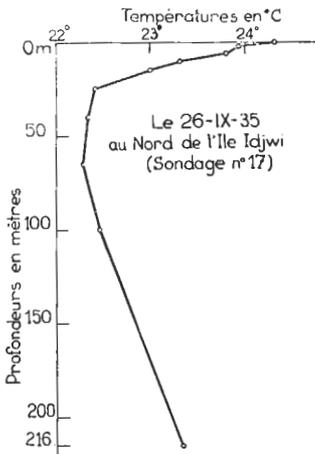


FIG. 17.

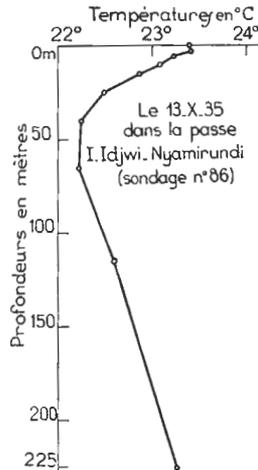


FIG. 18.

mètres, la courbe est extrêmement progressive. Le minimum thermique à 20 mètres de profondeur est inférieur de 1° C. aux chiffres minimum observés dans le restant du lac.

Entre 20 et 40 mètres, la température augmente très régulièrement (de 21°49 à 22°18). A 45 et 50 mètres de profondeur, la courbe s'infléchit brusquement. Sur ces 10 mètres, la température était à peu près identique à celle observée à la même profondeur (22°23 contre 22°27 en moyenne ailleurs) dans le restant du lac.

Les trois mesures que nous possédons au-dessous de 50 mètres indiquent une augmentation de la température beaucoup plus rapide que dans le restant du lac. Pour trouver sur les courbes mesurées à Ngoma une température égale à celle mesurée à 130 mètres de profondeur dans la baie (23°70), il faudrait descendre à plus de 250 mètres.

La baie de Kabungo-Kashanga est un raccourci du lac tout entier. On y trouve, mais à une autre échelle, tous les phénomènes qui caractérisent le lac Kivu.

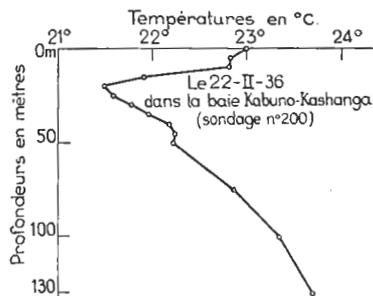


FIG. 19.

## II. — DISCUSSION

Partout nous avons constaté la présence d'une couche d'eau froide entre deux zones de température plus élevée. Dans la plus grande partie du lac Kivu, le minimum thermique est situé entre 40 et 75 mètres. Dans la baie de Kabuno-Kashanga, il se place à 20 mètres de profondeur seulement.

La superposition permanente d'une couche d'eau froide à une zone plus chaude constitue une situation anormale. En effet, la densité de l'eau diminuant quand sa température augmente, les courbes de températures mesurées dans le lac Kivu semblent, à première vue, indiquer la présence d'une masse lourde au-dessus d'une zone légère. Ce paradoxe thermique montre qu'il s'agit de deux eaux essentiellement différentes.

Nous discuterons deux problèmes très différents : celui de la zone des températures décroissantes et celui de la zone des températures croissantes.

### 1. ZONE DES TEMPÉRATURES DÉCROISSANTES.

La courbe des températures nous amène à considérer cette portion des eaux du lac Kivu comme tout à fait différente de la zone profonde. *La couche superficielle, seule, peut être comparée à la masse totale d'un lac habituel.*

En été, un lac de région tempérée présente une stratification très nette. Les premiers mètres d'eau, échauffés par le soleil, possèdent une température relativement élevée (20 à 25° C. fréquemment), tandis que les eaux de la cuvette profonde sont demeurées froides. Leur température est voisine du point de densité maximum de l'eau douce (4° C.). Les deux zones, très différentes à tous points de vue, sont réunies par une couche généralement peu épaisse, caractérisée par une chute brusque de la température : le thermocline. Pendant cette période de stratification, ou de stagnation estivale, le lac est divisé en un épilimnion, — les premiers mètres d'eau, — un thermocline et un hypolimnion, — la couche profonde demeurée froide.

Au début de la saison d'hiver, la température atmosphérique diminuant, les eaux de surface se refroidissent, deviennent plus lourdes, et il se produit un brassage. L'écart de température diminue. Le thermocline s'abaisse. L'épilimnion augmente de volume aux dépens de l'hypolimnion, jusqu'au moment où, les eaux de surface ramenées à 4° C., une homogénéité parfaite s'établit sur toute la hauteur du lac. Celui-ci est alors en période de circulation.

Ce cycle, bien connu dans les régions tempérées, peut-il se retrouver dans les lacs équatoriaux et spécialement dans le Kivu? Examinons à ce point de vue les courbes d'avril 1935 (fig. 14) et surtout celles particulièrement nettes de février 1936 (fig. 16). Il saute aux yeux qu'à cette époque les 70 premiers mètres du lac Kivu se trouvaient dans une situation identique à celle présentée par les lacs tempérés en période de stratification estivale.

On y distingue, en effet, un épilimnion (de 0 à 25 m.), un thermocline (de 25 à 30 m.) et un hypolimnion (de 30 à 70 m.). Nous aurons à les discuter successivement.

a) *Epilimnion*. — Dans les premiers mètres de cette couche existe une chute assez importante de la température (1°20 C. entre 0 et 2 m. à 12 h. le 15 avril 1935; 1°30 C. entre 0 et 5 m. à 10 h. 30, le 13 février 1936). La chose n'a rien d'étonnant et ne doit pas nous arrêter longtemps. La température mesurée en surface exprime l'échauffement de la pellicule superficielle sous l'influence momentanée de l'insolation. Une mesure effectuée à une autre heure de la journée nous aurait fourni un autre chiffre.

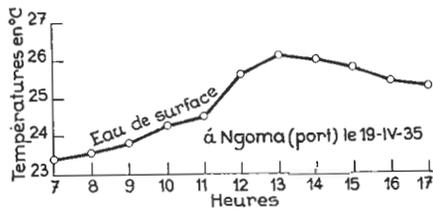


FIG. 20.

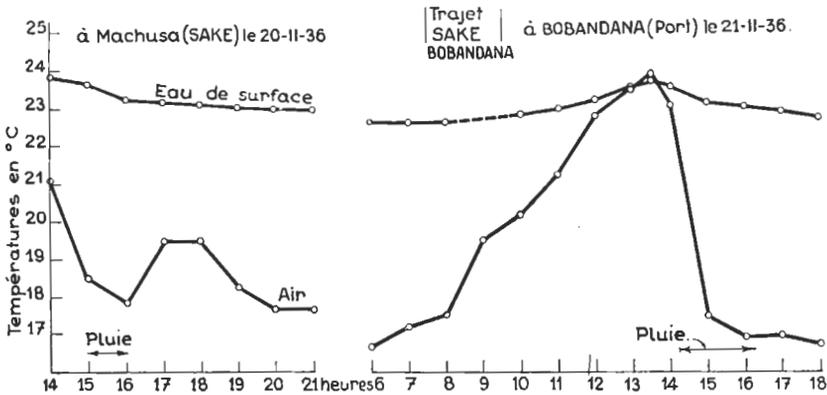


FIG. 21.

Deux séries de mesures donnent quelques renseignements sur les variations de la température en surface.

Le 19 avril 1935, à Ngoma, par une journée ensoleillée, la température de l'eau de surface a monté assez rapidement depuis 23°4 C., à 7 heures, jusqu'à un maximum de 26°1, à 13 heures (fig. 20). A partir de ce chiffre la chute est lente; à 17 heures la température de surface est encore presque égale à celle de midi (25°6 C.).

Les mesures du 20 et du 21 février 1936 ont été faites par des journées pluvieuses (fig. 21). Le soleil est resté caché continuellement et l'augmentation de la température de l'eau de surface est plus faible. Les valeurs

passent de 22°75 C., à 6 heures, à 23°75 C., maximum qui se place à 13 h. 30. Il est intéressant de constater que la température de l'air est restée presque continuellement inférieure à celle de l'eau. Le soleil agissait donc sur le lac à travers la couche ininterrompue des nuages.

Un fait plus important est mis en évidence par la comparaison des valeurs minimales observées en surface, avec la température de l'épilimnion. Le 19 avril 1935, à 7 heures du matin, la température en surface était de 23°4 C., c'est-à-dire inférieure à celle mesurée le 10 et le 15 avril 1935, de 2 à 25 mètres de profondeur. De même, les mesures du 21 février 1936, à 6 heures du matin (22°75 C.), et du 29 février 1936, à 6 heures (22°75 C.), indiquent une température de surface inférieure à la température de la couche de 5 à 25 mètres, lors des stations du 13 et du 17 février 1936.

Le refroidissement nocturne a comme conséquence une augmentation de la densité de l'eau de surface. Durant les dernières heures de la nuit, les eaux de surface doivent descendre dans la profondeur, jusqu'à rencontrer une couche de densité équivalente, c'est-à-dire jusqu'au thermocline.

Peut-on admettre que le refroidissement superficiel, combiné avec le brassage des eaux qui en résulte, ramène la température de tout l'épilimnion au chiffre mesuré en surface aux dernières heures de la nuit? Certainement pas.

L'eau de surface demeure dans les premières heures de la journée légèrement plus froide que le restant de l'épilimnion. La courbe mesurée à Ngoma le 11 février 1936 montre à 5 mètres de profondeur une température inférieure à celle de 10 et de 17<sup>m</sup>50. C'est la trace d'une stratification inversée qui doit s'être produite pendant la nuit. Ce déséquilibre ne constitue évidemment pas une situation durable. Une courbe inversée indique seulement que la chute de l'eau n'est pas aussi rapide que son refroidissement.

Le refroidissement nocturne provoque un mouvement vertical de l'eau et ce brassage est responsable de l'homéothermie de l'épilimnion (par exemple : différence maximum entre 5 et 20 m. le 13 novembre 1936 : 0,04° C.). La température prise par la couche de 2 à 20 mètres est le résultat du balancement journalier (réchauffement diurne et refroidissement nocturne) et en constitue en quelque sorte la moyenne.

Pendant une période de calme et de beau temps, la valeur de cette moyenne augmente et la température de l'épilimnion s'élève. Le mouvement inverse se produira dans les circonstances contraires. Si le refroidissement persiste, la moyenne temporaire inscrite dans l'épilimnion diminuera et le thermocline deviendra de moins en moins net. Une forte augmentation du rayonnement nocturne, dans une période de nuits froides, doit donc avoir pour effet la réunion en une masse homogène des eaux de l'épi- et de l'hypolimnion.

C'est la situation présentée par les courbes mesurées en septembre-octobre 1935. Par suite du refroidissement (environ 1° C.) des 25 premiers mètres d'eau, aucune des courbes n'indique l'existence d'un thermocline

net. La moyenne temporaire inscrite dans les eaux du lac est plus basse, et le lac se trouvait en période de circulation.

On objectera peut-être que la différence de température peut s'expliquer par des conditions momentanées locales : insolation, vent, heure de l'observation, etc. Deux faits prouvent qu'il n'en est rien : *a*) l'examen de toutes les courbes montre que l'influence immédiate de l'échauffement direct par le soleil ne dépasse pas 2 à 5 mètres de profondeur; *b*) toutes les courbes sans thermocline ont été observées à la même période de l'année : septembre-octobre.

*Les courbes présentant un thermocline ont été enregistrées toutes en saison des pluies, tandis que celles sans thermocline ont été mesurées à la fin de la saison sèche.*

Or, SCAETTA, dans son enquête sur le climat de cette province congolaise (1934), page 89, indique que les mois de saison sèche possèdent les températures nocturnes les plus basses. Pendant cette période à nuits froides, la perte de chaleur du lac, par rayonnement, doit avoir été beaucoup plus intense. Le refroidissement des 25 premiers mètres du lac Kivu, au cours de la saison sèche, est, sans aucun doute possible, dû à ce phénomène.

*b) Hypolimnion.* — Dans l'hypolimnion, la température varie très peu. Elle s'est toujours maintenue aux environs de 22°3 C. (valeurs extrêmes : 22°22 et 22°34 C.). Nous pouvons négliger ces très minimes différences et considérer comme homéotherme la couche de 30 à 70 mètres dans toute l'étendue du lac Kivu (exception faite, évidemment, de la baie de Kabuno-Kashanga).

D'après ce qui a été exposé plus haut, la température inscrite dans l'hypolimnion est le résultat du recul le plus fort de la température de l'eau et doit exprimer la température minimale imprimée aux eaux du lac pendant une assez longue période et demeurée inscrite dans les couches qui ne sont que rarement sujettes aux convections.

Généralement, dans les lacs dont la température ne descend jamais jusqu'à 4° C. (lacs à régime tropical de FOREL), la température de l'hypolimnion correspond à la température atmosphérique moyenne. D'après SCAETTA (1934), la température atmosphérique moyenne au bord du lac Kivu est de 21°3 C., soit 1° C. de moins que la température de l'hypolimnion du lac. La différence est faible. Il est probable qu'on peut en rechercher l'origine dans l'influence des couches d'eau plus chaudes, sous-jacentes. Les courants internes qui ne peuvent manquer d'exister à la zone de contact des deux couches (seiches, courants de turbulence, etc.) doivent introduire peu à peu dans l'hypolimnion de la chaleur provenant de la zone profonde du lac Kivu.

L'analyse des courbes de température indique donc qu'il s'est produit dans le lac Kivu, en 1935, des mouvements verticaux de l'eau, influençant uniquement la zone des 70 premiers mètres et provoqués par le refroidissement nocturne du lac lors de la saison sèche. Ce mouvement transforme

cette couche en une masse homogène. Pendant la saison des pluies, le lac accumule de la chaleur et se stratifie en épilimnion, thermocline et hypolimnion.

c) *Zone des températures décroissantes dans la baie de Kabuno-Kashanga.*

— Dans la baie de Kabuno-Kashanga, la température ne décroît que dans les 20 premiers mètres. On remarque immédiatement que cette couche supérieure est la seule qui communique avec le restant du lac. La profondeur de la passe de Nzulu n'est, en effet, que de 16 mètres. Le rapport entre la profondeur de cette passe et le niveau de séparation des deux couches démontre que la baie de Kabuno-Kashanga constitue une cuvette dont seules se renouvellent les eaux superficielles, en communication avec le lac.

La couche des 20 premiers mètres correspond à la zone des 70 premiers mètres du restant du lac. La température minimum constatée dans cette couche (21°49) est très voisine de la température moyenne de l'air dans la région (21°3). Cette coïncidence meilleure constatée dans la baie de Kabuno-Kashanga provient, sans aucun doute, de la moindre étendue de cette portion du lac. Proportionnellement, les agents atmosphériques ont une influence plus forte sur un moindre volume d'eau.

Dans la zone des 20 premiers mètres, la température diminue assez régulièrement. Nos mesures ne semblent pas indiquer de division en épilimnion, thermocline et hypolimnion.

d) *Stabilité de la stratification dans les 70 premiers mètres du lac Kivu.*

— Le lecteur se sera peut-être étonné de nous voir attribuer tant d'importance à de si faibles différences de température. C'est ainsi que le thermocline très net constaté en février 1936 à Ngoma, entre 25 et 30 mètres de profondeur, n'est que de 0°9 C. (23°42-22°50). Nous y voyons cependant une barrière importante au mouvement des eaux. D'autre part, nous avons considéré comme très différente la température de l'épilimnion en octobre (environ 22°60 C.) et en février (environ 23°60 C.). Ces valeurs ne sont séparées que d'un seul degré.

Il est exact que les variations de la température d'un lac de région tempérée ont une autre amplitude et que les thermoclines qu'on y observe sont bien plus importants.

Cependant, malgré sa faible valeur absolue, le thermocline de 1° C. a une importance pratique très considérable, grâce au fait que la densité de l'eau décroît très rapidement à ces températures.

Entre 4 et 5° C. la densité de l'eau pure ne se modifie presque pas (différence de densité =  $8 \times 10^{-6}$ ). La même variation aux environs de 25° C. provoque, par contre, un fort changement de densité : ( $= 252 \times 10^{-6}$ ). La superposition de deux couches d'eau dont les températures, voisines de 25° C., diffèrent entre elles d'un degré environ constitue en réalité un système fort stable.

SCHMIDT (1915, 1928) a introduit une méthode de calculer la valeur mécanique de cette stabilité. Appliquons-la aux 70 premiers mètres du lac Kivu.

La formule de SCHMIDT est basée sur le raisonnement suivant : Le centre de gravité d'une masse d'eau de densité partout égale occupe dans cette masse une position déterminée. Échauffons-en les couches superficielles. Leur densité diminue. Le centre de gravité de la masse s'abaisse. En mélangeant l'eau pour la rendre à nouveau homogène, nous ramenons le centre de gravité à son ancienne position. Par conséquent, pour vaincre la résistance provoquée par la superposition de couches de densités différentes, nous aurons dû effectuer un travail au moins égal à celui qui consisterait à élever toute la masse d'eau de son centre de gravité actuel jusqu'au niveau occupé par le centre de gravité quand la masse d'eau est homogène.

Ce travail peut servir à mesurer la stabilité de la stratification. Il représente, en effet, la résistance minimum opposée par l'eau aux causes de mélange mécanique, par exemple au vent.

SCHMIDT (1928) a établi, pour calculer cette valeur, la formule suivante :

$$S = \gamma \int_0^{z_m} f(z) \sigma(z) (z_s - z) dz,$$

dans laquelle

$S$  = la stabilité,

$z$  = la profondeur considérée,

$z_m$  = la profondeur maximum,

$z_s$  = la profondeur occupée par le centre de gravité lorsque le volume d'eau est homogène,

$f(z)$  = la surface circonscrite par l'isobathe à la profondeur  $z$ ,

$\sigma(z)$  = la différence entre la densité maximum de l'eau (= 1) et la densité observée à la profondeur  $z$ ,

$\gamma$  = l'accélération de la pesanteur.

Cette formule a été établie pour le calcul de l'énergie totale contenue dans un lac. Pour être employée, elle suppose connue la forme exacte de la cuvette lacustre. D'autre part, elle ne fournit pas de valeur comparable d'un lac à l'autre, puisque le volume total intervient comme facteur.

Dans le cas du lac Kivu, nous calculerons la valeur de la stabilité d'une colonne d'eau de 1 m<sup>2</sup> de section. Ceci nous permet de supprimer de la formule la variable  $f(z)$ , que nous remplaçons donc par 1 m<sup>2</sup>. Le centre de gravité de cette colonne de forme simple est évidemment situé à mi-hauteur;  $z_s$  devient  $\frac{z_m}{2}$ .

Enfin, une courbe de température est normalement trop compliquée pour être traitée en une seule intégrale. Nous avons donc fractionné la courbe en 4 ou 5 segments où la température varie régulièrement; par exemple, le 13 février 1936, de 0 à 5 m., de 5 à 25 m., de 25 à 30 m., de 30 à 70 m. Dans les zones homéothermes, ces segments sont longs et la température moyenne est aisée à choisir. Au niveau des thermoclines, les

segments sont courts et la température ayant servi de base au calcul est la température moyenne mesurée graphiquement.

La formule devient donc la suivante : soient  $z_1, z_2, z_3 \dots z_m$  les profondeurs choisies;  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots \sigma_m$  seront les différences entre la densité maximum de l'eau = 1, et la densité aux profondeurs  $z_1, z_2 \dots z_m$ . La stabilité devient

$$S = \gamma \left[ \sigma_1 \int_0^{z_1} \left( \frac{z_m}{2} - z_1 \right) dz + \sigma_2 \int_{z_2}^{z_1} \left( \frac{z_m}{2} - z_2 \right) dz + \dots + \sigma_m \int_{z_{m-1}}^{z_m} \left( \frac{z_m}{2} - z_{m-1} \right) dz \right];$$

d'où l'on peut tirer

$$S = \gamma \left[ (\sigma_1 - \sigma_2) \frac{z_1}{2} (z_m - z_1) + (\sigma_2 - \sigma_3) \frac{z_2}{2} (z_m - z_2) + \dots + (\sigma_{m-1} - \sigma_m) \frac{z_{m-1}}{2} (z_{m-1} - z_m) \right].$$

Calculée d'après cette formule, la stabilité de la stratification des 70 premiers mètres du lac Kivu, le 13 février 1936, est par mètre carré de surface : 208 kilogrammètres (1). De cette valeur, 141 kilogrammètres, soit les 7/10, sont conditionnés par le thermocline seul.

En septembre, par contre (1<sup>er</sup> septembre 1935), la stabilité ne mesure plus que 93 kilogrammètres. Ces chiffres, qui expriment la résistance opposée aux causes de mélange par la stratification thermique seule, démontrent que les faibles différences de température observées entre la saison sèche et la saison des pluies, ainsi qu'au niveau du thermocline, ont une importance mécanique très considérable. Puisque 1° C. de température en plus dans les 25 premiers mètres, pendant la saison des pluies, suffit à doubler les forces mises en jeu, de même, le thermocline, si peu important qu'il soit en valeur absolue, acquiert, quand on le considère de cette façon, le caractère d'une barrière véritable, limitant le mouvement des eaux et par conséquent des substances dissoutes.

A titre de comparaison, nous avons calculé quelle courbe de température provoquerait dans un lac de 70 mètres de profondeur, situé dans les régions tempérées, une stabilité identique à celle du lac Kivu (le 13 février 1936). En admettant une température du fond égale à 4° C. (le cas normal théoriquement), il nous faudrait les températures suivantes : à 0 m. : 12° C.; à 5 m. : 10°4 C.; à 20 m. : 9°8 C.; à 30 m. : 5°7 C.; à 70 m. : 4°0 C.; soit entre 0 et 70 mètres une différence de température de 8° C., et au niveau du thermocline, entre 20 et 30 m., 4°1 C., contre, dans le cas du lac Kivu, respectivement 2° C. et 1° C.

## 2. ZONE DES TEMPÉRATURES CROISSANTES.

A partir de 70 mètres de profondeur, nous avons toujours constaté une augmentation de la température de l'eau. Les valeurs observées au Nord,

(1) Ce chiffre a été obtenu sans faire intervenir dans le calcul l'accélération de la pesanteur.

au centre et au Sud du lac diffèrent si peu l'une de l'autre que *nous devons considérer comme parfaitement horizontale la stratification des eaux profondes du Kivu.*

La température observée en moyenne à 75 mètres est 22°35 C. (écart entre les extrêmes : 0°12); à 100 mètres, 22°44 C. (écart maximum : 0°2). Plus profondément, il est difficile de calculer des moyennes véritables : le nombre de mesures est trop faible. De plus, certaines observations semblent à première vue discordantes (22°95 C. en moyenne à 200 m.; 22°85 à 205 m.; 23°33 à 215 m.; 23°26 à 225 m.; 23°41 à 250 m.; 24°45 en moyenne à 275 m.; 24°66 à 290 m.; 25°25 à 375 m.).

On ne peut tirer de ces très faibles différences entre les mesures de conclusions bien fermes. Elles peuvent évidemment indiquer l'existence de mouvements internes de l'eau. Par exemple, le décalage entre les deux courbes mesurées au même endroit le 13 et le 17 septembre 1935, à Ngoma, pourrait très bien s'interpréter comme le résultat d'un balancement, d'une seiche. Mais nos mesures dans la région profonde du lac sont trop peu nombreuses et trop de facteurs peuvent avoir influencé leur exactitude pour qu'on puisse attribuer à ces petites anomalies des courbes (0°11 C.) une signification absolue (1).

A ces très faibles divergences près, les courbes de température mesurées au Nord, au centre et au Sud du lac ont indiqué le même accroissement de la température vers le fond. Jusqu'à 250 mètres de profondeur, les courbes sont vraiment superposables. Pour les profondeurs supérieures à 250 mètres, nous ne disposons que des mesures effectuées

aux environs de Ngoma. En les comparant, on peut se convaincre qu'il existe entre 250 et 275 mètres de profondeur un thermocline inversé (fig. 22). Malheureusement, nos mesures sont trop peu nombreuses dans cette région profonde pour préciser de façon définitive la position de ce thermocline.

Quelle peut-être l'origine de réchauffement profond des eaux du lac Kivu, et comment une stratification thermique aussi anormale peut-elle subsister? Ces deux questions, qui se posent immédiatement, ne constituent, tout bien considéré, que deux aspects du même problème. Pour que les eaux les plus chaudes demeurent les plus profondes, il faut que leur concentration saline soit suffisante pour contrebalancer la diminution de la densité en fonction de l'augmentation de la température.

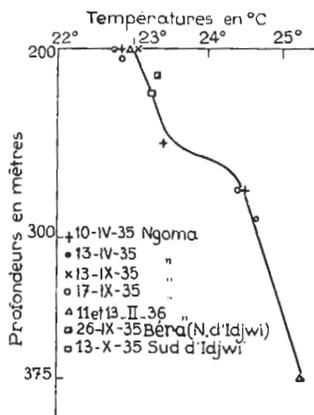


FIG. 22.

(1) Il suffit, par exemple, que le câble portant les thermomètres ne soit pas tout à fait vertical pour obtenir une différence de niveau de plusieurs mètres. Nous avons d'ailleurs dit plus haut (voir p. 11) que par moments le câble sautait de la poulie mesureuse. Lors des sondages destinés à la confection de la carte bathymétrique, il était facile de supprimer cette cause d'inexactitude, ne fût-ce qu'en répétant la mesure. Il n'en était pas de même, évidemment, au cours d'une station hydrographique.

Les deux phénomènes, augmentation de la température, concentration saline, ont vraisemblablement même origine. En bonne logique donc, ces deux aspects du problème devraient être étudiés en même temps. Pour la commodité et la clarté de l'exposé, il nous paraît cependant préférable de les examiner l'un après l'autre. Le paragraphe suivant dira les renseignements fournis par les analyses chimiques sur la nature des sels dissous. Pour le moment, nous nous bornerons à examiner les causes possibles du réchauffement de l'eau profonde.

La question n'est pas simple. Il nous paraît utile de chercher dans la bibliographie si des cas analogues ont déjà été décrits. D'autres lacs présentent-ils une inversion thermique? Les explications fournies peuvent-elles s'appliquer au lac Kivu?

Cette enquête bibliographique révèle qu'une stratification thermique anormale a déjà été observée dans bon nombre de lacs. S. YOSHIMURA (1933) a publié une liste complète des cas observés jusqu'en 1933, liste qui ne comprend pas moins de 9 lacs européens, américains ou japonais. Depuis cette date, six cas nouveaux ont été trouvés en Europe centrale (FINDENEGG, 1933-1935; RUTTNER, 1934).

La plupart de ces lacs, situés dans les régions tempérées, ont été étudiés durant de nombreuses années, de sorte que l'origine de leur stratification anormale a pu être élucidée. Jusqu'à présent le réchauffement des couches profondes a toujours pu être attribué, soit à l'action de sources sous-lacustres, soit à l'action de la température des parois du lac.

PREMIER CAS. *Influence de sources*. — Ce cas a été étudié de façon très complète dans le lac de la Girotte (DELEBECQUE, 1898), dans le lac Ritom (BOUCART, 1906; COLLET, 1925) et dans l'Ulmener Maar (THIENEMANN, 1914). Des constatations identiques ont été faites dans ces trois lacs. Leur stratification thermique d'été se caractérise par un minimum situé à mi-hauteur (25 m. lac de la Girotte, 11 m. lac Ritom, 20 m. Ulmener Maar) et voisin de 4° C. Au-dessous du minimum existe un thermocline inversé, d'épaisseur très faible (1 m. dans l'Ulmener Maar et dans le lac Ritom). La région profonde de ces lacs possède une température fixe voisine de 7° C.

Les divers auteurs ont conclu que la température constante et la concentration saline des eaux profondes sont dues à l'influence de sources sous-lacustres. L'existence de ces sources a pu être prouvée, soit par la comparaison du débit des affluents et de l'exutoire, soit même, dans un cas, par constatation directe (lac Ritom).

DEUXIÈME CAS. *Influence de la chaleur des parois*. — I. FINDENEGG (1933 et 1935) a récemment décrit, dans 5 lacs de Carinthie, des cas d'inversion thermique moins développés et d'origine plus difficile à découvrir.

Dans les Längsse, Klopeiner See, Weissensee, Wörthersee, Millstätter See, la température des couches profondes ne varie pas durant toute l'année. Elle est de 4°4 à 5° C., soit un peu supérieure à la température de densité maximum de l'eau. Au début du printemps, après le dégel, les eaux de

surface se réchauffant, la couche moyenne conserve encore la température de 4° C., tandis que la zone profonde garde sa température fixe voisine de 5°2 C. Ces lacs présentent donc une stratification thermique anormale, la courbe des températures passant par un minimum.

La stagnation durable des couches profondes provient évidemment d'une concentration plus forte en sels. Mais dans ce cas, la différence de température n'étant que de quelques dixièmes de degré centigrade, l'augmentation de la concentration est très faible. Les couches profondes sont caractérisées par l'abondance de certains produits appartenant au cycle de la matière vivante. Il n'a pas été possible d'y constater une augmentation de la teneur en sels proprement minéraux, chlorures et sulfates. I. FINDENEGG admet que la stagnation provient de conditions locales. Ces lacs sont étroits, relativement profonds et très bien abrités du vent, qui est si faible à leur niveau, qu'il n'arrive jamais à mélanger la masse totale.

Dans ce cas, d'après RUTNER (1934), qui a trouvé des cas analogues dans le Toplitzsee, Krottensee, Halstatter See, la température de l'eau profonde, en stagnation durable, tend à se rapprocher de la température du sol. La température de ces couches immobiles semble, en effet, fonction de l'altitude et pourrait s'expliquer par l'action du gradient thermique de la terre.

Reprenons maintenant le cas du lac Kivu, afin de voir si ces explications peuvent éclairer le problème présenté par sa stratification thermique. Évidemment, pour expliquer le réchauffement des couches profondes, nous ne pourrions que hasarder des hypothèses. La preuve péremptoire capable d'éclairer la nature de phénomènes se passant à des centaines de mètres sous la surface actuelle du lac manquera probablement longtemps.

L'inversion thermique dans le lac Kivu se manifeste presque partout de façon identique. Seule la baie de Kabuno-Kashanga nous a fourni une courbe tout à fait spéciale. Les températures mesurées au Nord, au centre et au Sud du lac proprement dit sont identiques.

*Il faut donc chercher l'origine du réchauffement profond dans un phénomène capable d'affecter tout le lac.*

A ce titre, il nous paraît peu vraisemblable que des sources thermales sous-lacustres puissent influencer un aussi grand volume d'eau : toute la cuvette du lac Kivu au-dessous de l'isobathe de 70 mètres. Il existe, il est vrai, des sources thermales en deux endroits de la rive : au Sud de Kisenyi et au Sud de Katana. Il en existe, dit-on, de sous-lacustres. Personnellement nous n'en avons jamais observé. Mais, même si de telles sources existent, leur influence ne nous paraît pas devoir être prépondérante. Il nous est difficile d'imaginer que ces sources thermales aient un débit suffisant pour influencer tout le lac <sup>(1)</sup>. Les chiffres que nous avons mesurés s'accordent

---

(1) On pourrait peut-être invoquer l'influence des eaux de pluie tombant sur la lave qui forme la rive nord du lac. La pluie traversant la lave poreuse entre peut-être dans le lac sous la surface des eaux. Mais nous imaginons difficilement que ce phénomène pourrait influencer tout le Kivu d'une manière aussi uniforme.

trop bien et devraient alors être considérés comme le résultat d'un hasard qui aurait placé nos stations à distances équivalentes des sources. D'ailleurs, dans les lacs européens où a été décrite une inversion thermique due à l'influence de sources, la couche profonde, en stagnation permanente, possédait la même température sur toute sa hauteur. On peut se convaincre par l'examen de nos graphiques qu'il n'en est pas ainsi dans le lac Kivu. Nous abandonnons donc, faute de preuves suffisantes, cette première hypothèse.

Pouvons-nous supposer qu'un phénomène analogue à celui décrit par FINDENEGG ait causé le réchauffement des eaux profondes et que la température de ces eaux soit conditionnée par la chaleur propre du fond? Il nous paraît impossible que ce phénomène puisse agir seul. Dans les lacs européens où il se manifeste, il ne provoque qu'une augmentation très faible de la température (1° C. au maximum). Il paraît invraisemblable que la température *normale* du sol puisse augmenter de 22° C. à 25° C. la masse totale des eaux du Kivu.

En l'absence de documents définitifs, nous nous représentons volontiers l'état actuel du lac comme le résultat des phénomènes volcaniques qui ont causé sa formation. Nous avons exposé plus haut que les géologues voient dans ce lac le résultat du barrage par les volcans d'une ancienne vallée et que nos sondages contrôlent et confirment complètement cette hypothèse. Après les éruptions qui ont causé ce barrage, l'eau a dû couler sur la lave encore chaude, la refroidir et en dissoudre certains sels. Finalement, il se sera accumulé dans le bassin, qui peu à peu se remplissait, une masse d'eau chargée de produits d'origine volcanique, de forte densité et chaude. Les eaux venues plus tard, plus légères, seront restées en surface et constitueront la couche supérieure soumise aux influences saisonnières.

Nous trouvons un argument dans ce sens dans la situation présentée par la baie de Kabuno-Kashanga. Dans cette baie, le relèvement de la température vers le fond est beaucoup plus marqué qu'ailleurs (voir fig. 19). Or, cette étendue d'eau, presque entièrement séparée du lac, a été très récemment encore soumise à des phénomènes volcaniques. La rive nord de la baie est presque entièrement bordée de lavas récents, provenant en partie d'une éruption du Singiro (1904) et, pour une part plus importante, de l'éruption du Rumoka (1912) (Pl. IV, fig. 1). Les coulées ont alors comblé une des irrégularités de la rive nord et rétréci de moitié la passe de Nzulu, l'amenant à sa largeur actuelle.

D'après le R. P. GILÈS DE PELICHY, supérieur de la Mission de Bobandana, qui en fut le témoin et nous le raconta, lors de l'éruption du Rumoka, les eaux du Nord de la baie entrèrent en ébullition. A Bobandana, à l'autre extrémité de la baie, à 15 km. de distance, la température de l'eau atteignait encore 60° C.

Comme il n'existe pas de preuves péremptoires de l'existence de sources sous-lacustres, nous inclinons à voir dans les eaux de la baie, de profondeur supérieure à 20 mètres, le reste des eaux échauffées lors des éruptions. Ces eaux, qui, par leur contact avec la lave chaude, avaient dû se charger

de sels et acquérir une forte densité, se seront accumulées dans le fond de la cuvette. La forme du goulot et son peu de profondeur (16 m.) ont fait que seules les eaux tout à fait superficielles ont été entraînées vers le lac proprement dit par les eaux de pluie et les affluents.

Le même phénomène a dû influencer le lac tout entier. A plusieurs reprises, sans aucun doute, des coulées de lave sont venues toucher le lac. On pourrait expliquer par là la présence, dans le fond de la cuvette lacustre, d'eau de concentration relativement élevée, ayant conservé une partie de la température acquise au contact de la lave.

Si cette hypothèse est exacte, elle entraîne une conséquence qui peut-être permettra de la contrôler. Si vraiment l'eau profonde du lac Kivu reste comme témoin des éruptions passées, on doit admettre que, à moins d'une nouvelle éruption venant atteindre le lac, la température des eaux profondes sera progressivement éliminée, par mélange avec les eaux superficielles. Un phénomène pareil ne peut évidemment agir qu'extraordinairement lentement; sa vitesse doit diminuer au fur et à mesure qu'il atteint des couches plus profondes. Par contre, si le réchauffement des eaux profondes était dû à l'influence de sources thermales, leur température ne peut guère se modifier.

Des observations effectuées dans un certain nombre d'années, spécialement dans la baie de Kabuno-Kashanga, pourraient peut-être apporter une réponse à cette question et éclairer un peu l'énigme de la stratification du lac Kivu.

#### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

10 stations hydrographiques effectuées en quatre endroits du lac : 7 au Nord, près de Ngoma (avril 1935, septembre 1935, février 1936); 1 au centre (Nord d'Idjwi, septembre 1935); 1 au Sud du lac (Sud d'Idjwi, octobre 1935) et 1 dans la baie de Kabuno-Kashanga ont démontré :

1° Au Nord, au centre et au Sud du lac, les résultats sont identiques. Toute cette partie du lac constitue donc un seul ensemble. Jusqu'à 70 mètres de profondeur, la température des eaux décroît; plus bas, elle augmente avec la profondeur. Cette masse se compose donc de deux couches nettement différentes;

2° La première zone (de 0 à 70 mètres) contient les trois couches habituelles d'un lac : épilimnion, thermocline et hypolimnion. En saison des pluies, le thermocline est brusque, relativement important (1° C.) et situé à 25 mètres de profondeur. En saison sèche, il est estompé. C'est le résultat d'un refroidissement nocturne plus intense qui a abaissé d'un degré C. la température de l'épilimnion. La saison sèche est donc une période de circulation;

3° Chaque nuit la température de surface devient inférieure à celle de tout l'épilimnion. Il y a donc un brassage journalier et une homogénéisation journalière de cette zone;

4° Pendant l'année 1935-1936, la température de l'hypolimnion est restée fixe à 22°3, soit 1° C. de plus que la température atmosphérique moyenne;

5° A partir de 70 mètres de profondeur la température augmente considérablement, mais pas régulièrement, car nos courbes indiquent un thermocline inversé entre 250 et 275 mètres. A 375 mètres la température de 25°25 C. a été enregistrée. Nous émettons l'hypothèse que le réchauffement des couches profondes est un reste des phénomènes volcaniques qui, à plusieurs reprises certainement, ont atteint le lac.

6° La baie de Kabuno-Kashanga est un raccourci de l'ensemble du lac. Les eaux y sont également divisées en deux zones, mais la limite de séparation est située à 20 mètres de profondeur. La température s'accroît vers le fond et beaucoup plus rapidement que dans le reste du lac. A 130 mètres elle atteint 23°7. Le fait est vraisemblablement dû aux coulées de laves récentes du Rumoka (1912).

## B. — CHIMIE

### 1. — OXYGÈNE

Les résultats de tous les dosages d'oxygène dissous sont présentés graphiquement par la figure 23 (1). La comparaison des courbes révèle immédiatement trois faits principaux :

a) La quantité d'oxygène présente dans les 20 premiers mètres ne s'est guère modifiée d'une station hydrographique à l'autre;

b) Dans l'hypolimnion, au contraire, les dosages ont fourni des résultats très différents suivant les époques;

c) A partir de 65 mètres de profondeur nous avons toujours constaté l'absence totale d'oxygène.

Dans l'épilimnion, toutes les valeurs observées dépassent le point de saturation de l'oxygène dans l'eau (voisin de 7 mgr./litre à 25° C. et 650 mm. de pression barométrique). Les résultats des dosages varient de 9,03 à 6,93 mgr/lit. La fréquence de valeurs supérieures à 8 mgr/lit., soit 115 % de saturation par rapport à la surface, indique l'intensité de la photosynthèse dans cette zone bien éclairée du lac.

Entre 25 et 50 mètres, les résultats de dosages diffèrent assez fortement suivant les observations. Éliminons les mesures d'avril 1935, certainement erronées. La méthode de dosage d'après ALSTERBERG a indiqué dans l'échantillon de 50 mètres de profondeur des quantités encore appréciables d'oxygène dissous, alors que cette eau contenait de l'hydrogène sulfuré en assez grande abondance. Nous avons dit plus haut l'origine probable de l'inexactitude de ce résultat (voir p. 14).

---

(1) On trouvera dans les annexes 4 à 13 le détail des résultats de tous les dosages chimiques.

Comme renseignements sur les quantités d'oxygène présentes dans l'hypolimnion, il reste donc les stations hydrographiques 4, 6 et 9.

En septembre, la concentration en oxygène diminue brusquement dans l'eau de profondeur supérieure à 20 mètres. Le 13 septembre 1935, à Ngoma, elle passe de 7,52 mgr./lit. (20 m. de profondeur) à 2,88 mgr./lit. (40 m. de profondeur). Le 26 septembre 1935, à Béra, elle était de 3,44 mgr./lit. à 25 mètres et de 2,65 mgr./lit. à 40 mètres. A partir de 65 mètres, absence totale d'oxygène.

Les dosages du 13 février 1936 indiquent une chute beaucoup plus brutale encore des quantités d'oxygène dissous dans les couches profondes. A 20 mètres de profondeur il y avait, ce jour-là, 6,93 mgr./lit. et à 25 mètres, 6,66 mgr./lit. A 30 mètres il n'y en avait plus que 0,10 mgr./lit. Cette quan-

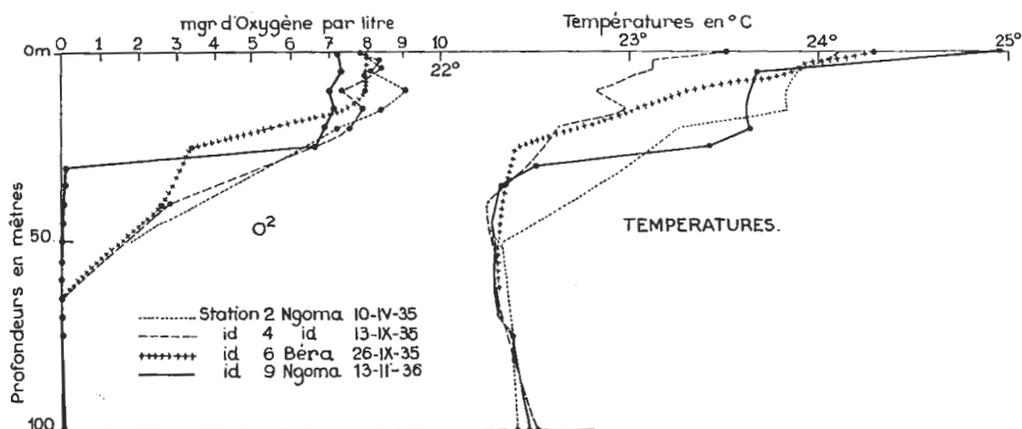


FIG. 23.

tité diminue encore dans les couches plus profondes. Elle tombe à zéro à 50 mètres. Lors de cette observation, la quantité d'oxygène dissous présentait donc la particularité de passer, entre 25 et 30 mètres, de l'état de saturation presque parfaite jusqu'à des valeurs si faibles qu'elles équivalent pratiquement à zéro.

L'allure des courbes dessinées par les dosages d'oxygène est très semblable à celle des courbes de température mesurées le même jour. Pour illustrer ce fait, nous avons repris les courbes de température dans la seconde partie de la figure.

Nous en déduisons que :

1° La stratification thermique inversée à partir de 70 mètres de profondeur avait indiqué l'existence d'une couche profonde absolument différente des eaux sus-jacentes. Cette couche « morte » profonde, en volume la majeure partie du lac Kivu, est complètement dépourvue d'oxygène;

2° Dans la couche des 70 premiers mètres, la diminution des quantités d'O<sub>2</sub> dissous se fait parallèlement au thermocline. La concordance

entre les courbes d'O<sup>2</sup> et de température est parfaite : leurs irrégularités sont situées aux mêmes niveaux. Les courbes du 10 février 1936 sont particulièrement parlantes à ce sujet. Au thermocline extrêmement net constaté entre 25 et 30 mètres correspond une chute brutale de la quantité d'oxygène ; l'épilimnion était presque saturé, l'hypolimnion presque dépourvu de ce gaz. En septembre 1935, par contre, au moment où le thermocline était peu net, l'hypolimnion contient encore des quantités notables d'oxygène.

L'analyse des courbes de température nous a fait conclure à un remaniement des couches pendant la saison sèche. Les dosages d'oxygène dissous confirment entièrement cette déduction. L'oxygène présent dans l'hypolimnion à la fin de la saison sèche ne peut y avoir été introduit que par un brassage des eaux.

Les 25 premiers mètres, par contre, sont toujours saturés d'O<sup>2</sup>. C'est le résultat de la photosynthèse ainsi que du mélange des eaux par les vents et le refroidissement nocturne que nous ont indiqué les mesures de température en surface à 6 heures du matin.

## 2. — HYDROGÈNE SULFURÉ

Ainsi que nous l'avons exposé dans l'introduction de ce chapitre, tous les échantillons d'eau profonde dégageaient une forte odeur d'hydrogène sulfuré.

Il eût été extrêmement intéressant de pouvoir doser ce gaz avec précision et surtout d'établir la limite supérieure de sa présence. Les difficultés rencontrées dans cette recherche ont été exposées dans le chapitre consacré aux techniques. Dans les tableaux publiés plus loin, on trouvera deux séries de chiffres, résultats de nos dosages. Ils n'ont pas été obtenus par la même méthode. Ceux du 13 septembre 1935 sont basés sur une série de mesures effectuées par la méthode de DUPASQUIER-FREZENIUS, corrigées par l'évaluation de la consommation d'iode par un échantillon identique d'eau traitée par le chlorure de cadmium. Les résultats du 11 février 1936 ont été obtenus par la modification introduite par OHLE de la méthode de DUPASQUIER-FREZENIUS.

La dernière série de dosages, celle du 11 février 1936, nous a seule donné des résultats positifs pour les échantillons de profondeur inférieure à 100 mètres. A partir de 60 mètres nous avons trouvé plus de 1 mgr. de H<sup>2</sup>S par litre. La valeur exacte à cette profondeur est malheureusement inconnue, parce qu'un doute subsiste sur la lecture. Mais on peut conclure que l'hydrogène sulfuré commençait à se manifester à partir de 60 mètres. Rappelons que les dosages d'oxygène effectués deux jours plus tard ont indiqué une absence totale d'O<sup>2</sup> à partir de 50 mètres. L'hydrogène sulfuré se manifeste donc quelques mètres au-dessous du niveau où disparaît l'oxygène.

La quantité maximum que nous avons mesurée est 7 mgr./lit. à 275 mètres de profondeur, le 13 septembre 1935. Cette quantité ne représente certainement pas tout le H<sup>2</sup>S présent à cette profondeur, par suite d'une erreur de

manipulation. N'imaginant pas la teneur en hydrogène sulfuré aussi grande, nous n'avions pas versé dans l'échantillon une quantité suffisante d'iode pour neutraliser tout le  $H^2S$ . On sait que dans la technique de ce dosage, ajouter une seconde quantité d'iode ne fournit pas un chiffre exact, mais légèrement trop petit. Le chiffre obtenu est tout de même utilisable. Il indique l'ordre de grandeur des quantités présentes.

Ce sont les seuls chiffres que nous soyons à même de présenter. Lors des autres stations hydrographiques, les dosages n'ont pas donné de résultats utilisables. Heureusement, une autre source de renseignements est fournie par l'odeur caractéristique de ce gaz. Les échantillons de 65 mètres et plus de profondeur dégageaient tous cette odeur. Elle a été observée deux fois dans un échantillon de 50 mètres de profondeur, le 10 avril 1935, à Ngoma, et le 2 février 1936, dans la baie de Kabuno-Kashanga.

Cette profondeur de 65 mètres correspond à peu près à la limite supérieure de la zone de réchauffement. L'abondance de  $H^2S$  dans la couche profonde du lac Kivu confirme son caractère de « couche morte », ne venant jamais en contact avec les couches superficielles aérées.

Pendant une période de stagnation, le  $H^2S$  des couches profondes doit diffuser dans les eaux sus-jacentes. C'est l'origine de l'odeur constatée dans les eaux de 50 mètres de profondeur le 10 avril 1935, à Ngoma, car cette observation a été faite à la fin de la saison des pluies, au moment où le lac Kivu présentait une forte stratification thermique.

Dans la baie de Kabuno-Kashanga, la limite supérieure de présence de l'hydrogène sulfuré se situe à 50 mètres. La courbe de température nous a montré que cette baie est, en quelque sorte, un raccourci de l'ensemble du lac. Le phénomène se constate aussi bien par la présence à un niveau plus élevé d'hydrogène sulfuré que par l'élévation plus rapide de la température.

Nous avons signalé plus haut que la quantité la plus forte d'hydrogène sulfuré que nous ayons pu mesurer est de 7 mgr./lit. C'est une valeur considérable, mais qui ne constitue en aucune façon un record. En effet, en parcourant les travaux bien connus, on trouve cités les cas suivants :

Lac de la Girotte (DELEBECQUE) : 15,5 mgr./litre.

Lac Ritom (COLLET) : 23 à 31 mgr./litre.

Ulmener Maar (THIENEMANN) : 15,5 mgr./litre.

On pourrait certainement trouver dans la bibliographie des valeurs beaucoup plus élevées encore.

D'autre part, cette quantité est beaucoup au-dessous du point de saturation de l'hydrogène sulfuré, qui est d'environ 33 grammes par litre à 25° C. L'hydrogène sulfuré ne peut donc en aucune façon être responsable du dégagement gazeux observé dans les eaux profondes du lac Kivu.

Cependant, ce chiffre de 7 mgr./lit., mis en rapport avec le volume total du lac, au-dessous de l'isobathe de 275 mètres, suffit pour démontrer qu'il existe dans le Kivu des quantités formidables d'hydrogène sulfuré. On ne

peut par conséquent attribuer sa présence à la réduction de substances organiques. Dans beaucoup de lacs, pendant une longue période de stagnation des eaux, il se développe, au contact du fond, de l'hydrogène sulfuré dû à la décomposition de matières albumineuses. Mais il s'agit toujours de quantités minimales et de lacs à production organique intense. Il ne peut en être de même dans le Kivu, aux eaux extrêmement pauvres.

En réalité, les lacs où l'hydrogène sulfuré a été constaté en quantité abondante sont tous des lacs à stratification thermique anormale. Les chiffres cités plus haut ont été observés dans des couches mortes analogues aux eaux profondes du lac Kivu. COLLET (1925) attribue l'hydrogène sulfuré du lac Ritom à la réduction des sulfates alcalino-terreux. Il est fort probable que le même phénomène se passe dans le lac Kivu, dans les couches profondes non oxygénées, en immobilité presque parfaite.

### 3. — ALCALINITÉ, DURETÉ RÉELLE, CO<sup>2</sup>, pH

Le pouvoir tampon des eaux du lac Kivu est très considérable et varie avec la profondeur.

Pour neutraliser, en présence de méthylorange, 100 cm<sup>3</sup> d'eau de surface, il ne faut pas moins de 16 cm<sup>3</sup> de HCl N/10, et pour 100 cm<sup>3</sup> d'eau de 375 mètres de profondeur, il en faut plus de 66 cm<sup>3</sup>.

Les différences entre les résultats des stations hydrographiques sont si faibles que nous ne pouvons nous y arrêter.

La courbe moyenne que nous en avons tirée (fig. 24) <sup>(1)</sup> indique que jusqu'à 30 mètres de profondeur l'alcalinité ne change point ou guère (moyenne en surface : 16,12; à 30 m. : 16,25). Dans l'hypolimnion, elle augmente très légèrement (à 50 m. : 16,93; à 60 m. : 17,49). Par contre, dans la zone morte, la courbe se modifie énormément (19,29 à 65 m.; 23,35 à 75 m.; 28,87 à 100 m.). Dans les régions plus profondes, l'alcalinité augmente encore, mais de façon irrégulière : beaucoup plus rapidement entre 200 et 275 mètres qu'ailleurs (32,75 à 200 m.; 55,91 à 275 m.; 66,37 à 375 m.).

De même que les mesures de température, les dosages d'alcalinité indiquent une différence très grande entre les couches supérieures du lac et les couches profondes, la limite entre les deux se trouvant placée dans les deux cas exactement entre 65 et 70 mètres. Dans la zone profonde, le parallélisme entre les deux courbes : température et alcalinité, est parfait. En effet, l'augmentation plus rapide de l'alcalinité entre 200 et 275 mètres répond à une cassure identique de la courbe des températures, phénomène qui nous a montré l'existence d'un thermocline inversé dans cette zone (fig. 22).

---

(1) La courbe ne tient pas compte de la mesure effectuée le 15 avril 1935 à Ngoma, à 290 m. de profondeur. Nous avons supprimé cette valeur trop discordante (41,72, contre 55,91 à 275 m., le 17 octobre 1935), peut-être due d'ailleurs à l'influence momentanée d'une seiche interne.

La dureté réelle des eaux a été évaluée lors de la dernière station hydrographique (n° 9). Les résultats de ces dosages diffèrent très fort des chiffres fournis par le dosage de l'alcalinité, mais ces deux valeurs varient toujours de la même manière. La dureté réelle et la dureté apparente sont entre elles comme 3 est à 5. L'eau du lac Kivu contient donc des sels alcalins en quantités appréciables. Le Kivu partage ce caractère avec beaucoup de lacs centre-africains. Les analyses publiées par BEADLE (1934) sont caractéristiques à ce sujet.

Le dosage de l'acide carbonique libre et du déficit en acide carbonique a fourni des chiffres extrêmement élevés passant de  $-100$  milligrammes par litre en surface à  $+1.098$  mgr./litre à 375 mètres de profondeur.

Les résultats des diverses stations hydrographiques sont de nouveau suffisamment semblables pour que nous ayons pu tracer une seule courbe moyenne (fig. 24) au moins pour les 100 premiers mètres. Plus bas, les valeurs ne s'accordent plus aussi bien. Lorsqu'il y avait une trop grande différence entre les résultats nous avons choisi, pour tracer la courbe, les valeurs mesurées le 11 février 1936, à Ngoma.

De 0 à 65 mètres, les valeurs de  $\text{CO}_2$  sont toutes négatives. Dans l'épilimnion (0-25 m.) elles varient entre  $-88$  mgr./lit. et  $-103$  mgr./lit., sans qu'apparaisse une relation immédiate entre ces chiffres et les autres caractères de l'eau (profondeur, température, oxygène dissous, alcalinité). Dans l'hypolimnion (36-60 m.), le déficit en  $\text{CO}_2$  diminue (de  $-79$  à  $-55$  mgr./lit.) assez régulièrement avec la profondeur. A 65 mètres, le déficit est très faible ( $-16$  mgr.). Dans la couche morte profonde, à partir de 70 mètres, les valeurs deviennent positives et ne cessent d'augmenter. La courbe est de nouveau brisée entre 200 et 275 mètres.

La quantité présente au-dessus du fond (1.098 mgr./lit. à 375 m.), si énorme qu'elle soit, n'atteint pas encore le point de saturation de l'acide carbonique dans l'eau. En effet, ce coefficient est tel qu'à  $25^\circ\text{C}$ ., 1.449 grammes de  $\text{CO}_2$  peuvent être dissous dans un litre d'eau sans qu'il y ait pour cela dégagement gazeux.

Les bulles qui se développaient dans les échantillons d'eau profonde du lac Kivu ne devaient donc pas être de l'acide carbonique. Les quantités

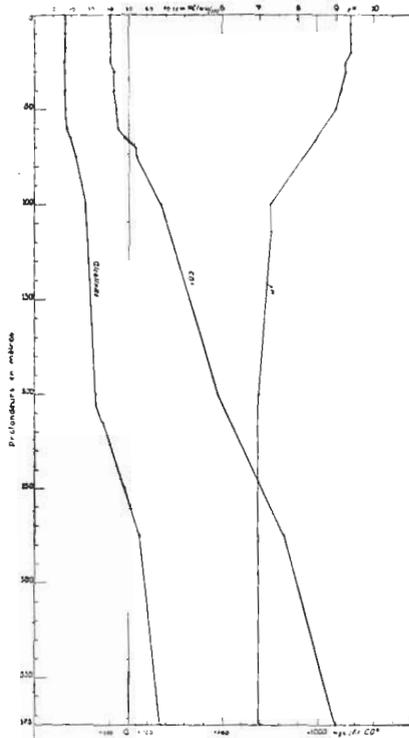


FIG. 24.

que nous avons mesurées sont beaucoup trop faibles pour provoquer la tension nécessaire au dégagement de bulles gazeuses à travers un robinet bien étanche. Il est vraisemblable que le gaz qui se dégage ainsi entraîne avec lui de l'acide carbonique. Mais ce dernier à lui seul ne pourrait être la cause du phénomène.

Des valeurs aussi importantes, positives ou négatives, d'acide carbonique dissous ne peuvent s'expliquer que par l'action des sels alcalins. La présence de ces derniers est démontrée par les dosages de la dureté totale. Si les sels alcalino-terreux intervenaient seuls, un déficit en  $\text{CO}_2$  de l'ordre observé dans les couches superficielles provoquerait une précipitation immédiate des carbonates alcalino-terreux. Le cycle de l'acide carbonique dans les eaux du lac Kivu est donc conditionné par la présence des sels alcalins. Dans la plupart des lacs il est déterminé par les bicarbonates alcalino-terreux.

On se sert généralement de la courbe du  $\text{CO}_2$  pour indiquer l'épaisseur de la zone trophogène d'un lac, c'est-à-dire la zone où la photosynthèse, qui utilise l'acide carbonique, dépasse en importance la respiration des organismes qui en fournit. Mais toutes les tables et courbes de comparaison ont été calculées pour de l'eau contenant des bicarbonates alcalino-terreux. Nous ne pouvons donc nous en servir pour déterminer dans le lac Kivu la zone d'influence du phytoplancton.

La courbe d'acide carbonique dans le lac Kivu est brisée à 25 mètres, niveau du thermocline. Vraisemblablement, l'exagération du déficit en acide carbonique de l'épilimnion est due à la photosynthèse. Nous n'osons l'affirmer avec certitude, à cause de l'importance des chiffres (en moyenne 20 mgr. de  $\text{CO}_2$  en moins par litre dans l'épilimnion que dans l'hypolimnion). Les résultats des dosages dans le lac Kivu sont trop différents de tout autre connu. De plus, l'exagération du déficit en  $\text{CO}_2$  se constate de façon identique dans tout l'épilimnion. Or, l'examen des courbes de températures a démontré (voir p. 46) que cette zone du lac est soumise à un brassage total journalier qui doit homogénéiser non seulement la température, mais aussi le contenu en acide carbonique. La cassure de la courbe à 25 mètres n'indique donc pas nécessairement la limite inférieure de la zone trophogène.

Les mesures de pH effectuées en divers endroits du lac ont été réunies toutes en un seul graphique. Les différences entre les résultats sont en effet trop faibles pour avoir une signification quelconque (fig. 24).

L'eau de surface du lac Kivu atteint un pH très élevé : 9,45. Dans l'épilimnion, cette valeur se maintient à peu près constante. Elle diminue légèrement dans l'hypolimnion (environ 9,0 à 50 m.). Entre 50 et 100 mètres, le pH tombe très fort. Il passe de 9,0 à 50 m., à 8,5 à 65 m., à 8,2 à 75 m., à 7,2 à 100 m. A partir de 200 mètres, toutes les mesures ont indiqué une réaction légèrement acide de l'eau, variant entre un pH de 6,85 à 6,75.

L'alcalinité très grande des eaux de surface n'est pas étonnante. Elle est due à l'influence des sels alcalins contenus dans l'eau. Tous les lacs compris dans les Grabens africains et étudiés jusqu'à présent (cfr. BEADLE, 1933, et JENKIN, 1931) présentent ce caractère. BEADLE cite des pH de 10,5 pour certains lacs-cratères de l'Uganda (lac-cratère de Naivasha, par exemple). Il attribue la grande alcalinité des eaux dans cette région de l'Afrique à la nature des laves du sol, qui, d'après GREGORY (1921), contiendraient une très grande quantité de soude.

La chute la plus brusque du pH se fait entre 50 et 100 mètres de profondeur, c'est-à-dire dans la zone de contact entre la couche superficielle à stratification thermique directe et la couche morte profonde à stratification thermique inversée. La réaction légèrement acide (6,75) des eaux les plus profondes doit être causée en majeure partie par la grande abondance de l'acide carbonique libre dans cette zone.

Dans les eaux du Kivu, le pH est conditionné par les carbonates et bicarbonates alcalins. C'est là une différence essentielle d'avec l'état généralement rencontré dans les eaux douces, où le système tampon est constitué par l'acide carbonique et les bicarbonates alcalino-terreux.

Cette situation nous a déjà interdit d'utiliser, pour l'évaluation de la couche trophogène du lac Kivu, la courbe du  $\text{CO}_2$ , ainsi que RUTNER (1931) le conseillait pour les lacs équatoriaux à la suite de ses recherches à Java. Elle nous empêche maintenant d'utiliser dans ce but la courbe des pH.

#### 4. -- CONCENTRATION TOTALE

La conductibilité électrique des eaux du Kivu est extrêmement élevée (fig. 25). Dans l'épilimnion, les valeurs varient de 12,8 à  $13,7 \times 10^{-4}$ . Dans l'hypolimnion, nous avons observé déjà une légère augmentation ( $14,6 \times 10^{-4}$  à 40 m.), mais elle n'est rien à côté de la brusque modification présentée par la zone de 50 à 100 mètres : 18,1 à 65 m.,  $21,9 \times 10^{-4}$  à 100 m. Vers le bas, les valeurs continuent à s'accroître. L'augmentation est régulière le 10 avril 1935 jusqu'à 250 mètres. Le 13 septembre 1935, la courbe mesurée était brisée entre 200 et 275 mètres.

La courbe de conductibilité électrique suggère donc les mêmes conclusions que les courbes de la température, de l'alcalinité, du  $\text{CO}_2$  libre, du pH : il y a une modification brusque dans la nature de l'eau aux environs de 70 mètres, et une seconde, dont la limite n'est pas très précise, entre 200 et 275 mètres. La première modification, la plus brutale, exprime la limite inférieure de la zone soumise à des brassages périodiques par suite des modifications saisonnières. La seconde, entre 200 et 275 mètres, doit provenir d'une autre cause, que nous chercherons à établir dans ce paragraphe.

En multipliant les valeurs de conductibilité électrique par le coefficient de KOLRAUSCH (voir p. 16), il est possible de connaître approximativement la concentration totale des sels aux diverses profondeurs. Il s'ensuit que

l'eau de surface du Kivu contient environ 1 gr./lit. de sels, tandis que la concentration de l'eau de 275 mètres est de 2,8 gr./lit.

D'autre part, les tables de KNUDSEN nous permettent de calculer la densité d'une eau d'une concentration en sels déterminée. Il ne s'agit pas là de calculs rigoureux, mais les valeurs ainsi obtenues ne peuvent s'éloigner extrêmement de la réalité. Elles renseignent en tous cas sur l'ordre de grandeur de ces facteurs.

Partant de ces données, nous pouvons calculer avec une précision suffisante la densité des eaux du lac Kivu aux différentes profondeurs. Il suffit

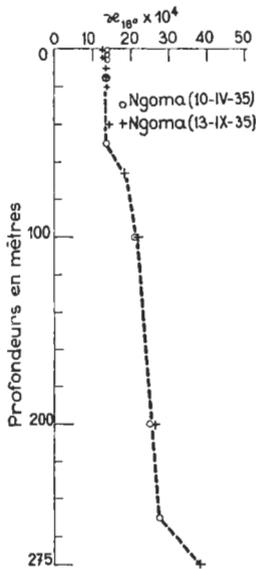


FIG. 25.

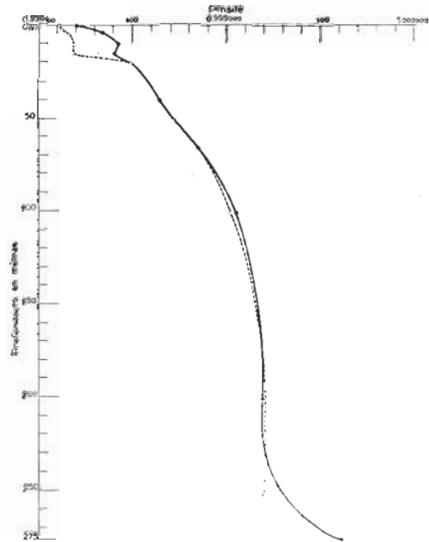


FIG. 26.

d'additionner la densité acquise par la teneur en sels à celle que possède l'eau pure à la température observée aux diverses profondeurs.

La courbe ci-jointe (fig. 26) contient les résultats de ce calcul effectué pour les deux stations où nous avons mesuré la conductibilité électrique de l'eau (17 avril 1935 et 13 septembre 1935). La courbe indique nettement combien la densité augmente dans la zone des températures décroissantes. Le phénomène est particulièrement net dans la courbe mesurée en saison des pluies, alors que l'épilimnion était fortement réchauffé. Dans la couche morte, stagnante, à partir de 75 mètres, la densité s'accroît malgré l'augmentation de la température, mais beaucoup plus lentement. La courbe démontre que *la concentration en sels est suffisante pour assurer à l'inversion thermique de cette zone une stabilité réelle.*

L'accroissement de la densité entre 100 et 200 mètres est très faible. Entre 200 et 250 mètres, le 10 avril 1935, il était nul, tandis que le 13 sep-

tembre 1935, entre 200 et 275 mètres, il était énorme. Nous nous trouvons de nouveau dans une couche intermédiaire, dans le thermocline inversé que nous avons signalé à plusieurs reprises déjà.

La courbe des densités peut servir de base à un autre calcul, également approché, mais très instructif. Nous connaissons la teneur en sels en surface et la densité de l'eau aux diverses profondeurs. Il suffit de chercher dans les tables de constantes physiques quelle est la température d'une eau de même teneur en sels que l'eau de surface et qui aurait la densité constatée à 50, 100, 200 mètres, pour savoir de combien devrait se refroidir l'eau de surface du Kivu pour obtenir un brassage de l'eau jusqu'à cette profondeur.

En calculant de la sorte, on peut établir le tableau suivant :

pour obtenir un renversement des couches jusqu'à	la température des eaux de surface devrait être ramenée aux chiffres suivants:	
	d'après les mesures du 10-IV-35	d'après les mesures du 13-IX-35
20 mètres. . . . .	22°5	22°4
40 " . . . . .	—	21°5
50 " . . . . .	21°5	—
100 " . . . . .	20°2	19°9
200 " . . . . .	19°2	19°2
250 " . . . . .	19°2	—
275 " . . . . .	—	16°3

On se rappelle que la température moyenne de l'air dans la région du lac Kivu, calculée par SCAETTA pour la période 1928-1931, à Katana, station de la rive du lac, est de 21°3. Il est donc évident qu'un brassage de l'eau jusqu'à 50 mètres, c'est-à-dire dans l'hypolimnion, peut se produire sans difficulté. Ceci soutient encore l'hypothèse émise plus haut d'un brassage annuel, pendant la saison sèche, de tout l'hypolimnion. Le mouvement peut-il pénétrer dans la couche sous-jacente? Il suffirait d'un refroidissement à 20°8 pour qu'il atteigne 65 mètres, à 20° environ pour qu'il descende à 100 mètres, à 19°2 pour 200, voire pour 250 mètres de profondeur. Sous cette profondeur la variation est beaucoup plus brusque, puisque pour que le mélange se fasse jusqu'à 275 mètres, il faudrait un refroidissement de la surface à 16°3. Il est certain que si nos mesures de conductibilité électrique avaient pu être prolongées plus profondément, elles auraient indiqué qu'un refroidissement beaucoup plus intense encore était nécessaire pour provoquer un mouvement intéressant la masse totale de l'eau. Le calcul approximatif auquel nous venons de procéder nous semble éclairer une des particularités de la courbe de température : le thermocline inversé indiqué par toutes nos courbes entre 200 et 275 mètres de profondeur.

Les températures nocturnes de l'air aux environs du lac Kivu varient entre 11 et 15°. On peut tirer des chiffres de SCAETTA (1931) une moyenne de 14°1. Il ne semble donc pas du tout invraisemblable qu'une période un peu prolongée de nuits froides ramène la température de l'eau de surface

du Kivu à une valeur légèrement inférieure à la température moyenne habituelle de l'air, jusqu'à 19 ou 20 degrés, par exemple.

Pareil phénomène, qui produirait un renversement de couches jusqu'aux environs de 250 mètres, a dû se produire autrefois <sup>(1)</sup>. C'est la cause très vraisemblable de la cassure de toutes les courbes (température, alcalinité, CO<sup>2</sup>, conductibilité électrique, pH) entre 200 et 275 mètres de profondeur. En réalité, nous observons à ce niveau le reste d'une ancienne zone limite entre couche morte et hypolimnion, qui présente de façon estompée tous les phénomènes actuellement observés à 65 et 70 mètres de profondeur.

Ce mouvement de brassage doit être déjà très ancien. La grande abondance de l'acide carbonique libre (jusqu'à 470 mgr./lit.) dans cette zone, la présence d'hydrogène sulfuré en quantités déjà importantes nous en paraissent des preuves péremptoires.

##### 5. — NITRATES, NITRITES, AMMONIAQUE ET PHOSPHATES

Ces ions ont été recherchés lors des stations hydrographiques 5 et 9 (septembre 1935 et février 1936) à Ngoma. Avant d'examiner ces résultats, nous attirerons l'attention du lecteur sur le peu de certitude des valeurs indiquées pour les profondeurs dépassant 75 mètres. L'introduction des réactifs dans l'eau de la région profonde du lac y provoquait l'apparition d'un trouble et souvent d'un précipité extrêmement opaque enlevant à l'appréciation colorimétrique sa précision habituelle. Diluer l'eau du fond par l'eau distillée ne rendait pas aux échantillons la transparence désirable. Aussi cet artifice ne nous a été que d'un faible secours. Les chiffres publiés pour les profondeurs dépassant 75 mètres ne sont donc que des indications sur les quantités présentes. Pour marquer ce caractère approximatif, les chiffres sont, dans les tableaux, entourés de parenthèses.

La courbe des nitrates ne présente rien de bien extraordinaire. Cet ion n'est présent que dans les couches supérieures. D'après les mesures du 13 février 1936, il se rencontre jusqu'à 45 mètres, c'est-à-dire dans l'hypolimnion, dans des couches à peu près dépourvues d'oxygène. Dans cette zone, de 0 à 45 mètres, les quantités de nitrate présentes augmentent avec la profondeur. En surface, il n'en existe pas beaucoup (0,02 mgr./lit. N/NO<sup>3</sup>). Cette valeur augmente jusqu'à 0,2 mgr./lit. à 40 mètres. Ces chiffres, si faibles qu'ils soient, ne sont cependant pas considérés par les planctologues comme des valeurs limitant à eux seuls la croissance des algues (RAKESTRAM, N. & GRAN, H., 1933).

La question des nitrites dans le Kivu n'est pas résolue par nos mesures. Nous en avons observé lors de deux stations hydrographiques, mais à

<sup>(1)</sup> Scaëtta (1934) cite une observation d'après laquelle une température de surface de 18°5 aurait été mesurée un jour sur le Kivu. Il serait très intéressant de connaître en quelles circonstances et en quel endroit ce chiffre a été observé. Mais peut-être ne s'agit-il que d'un refroidissement local, dû, par exemple, à l'influence d'un affluent ?

des profondeurs et en des teneurs très différentes. Le 17 septembre 1935 nous avons dosé 0,1 mgr. par litre à 75 mètres de profondeur, c'est-à-dire au début de la couche morte; et le 13 novembre 1936, 0,001 mgr./lit. à 40 mètres de profondeur, c'est-à-dire dans l'hypolimnion au niveau du maximum en nitrates. Il est impossible de tirer de conclusion de deux chiffres aussi différents.

L'ammoniaque est absolument absente des couches supérieures du Kivu. Des traces apparaissent dans l'hypolimnion à 40 mètres. A partir de 60 mètres, les chiffres croissent très rapidement, indiquant la présence de quantités très grandes de cette substance. A 75 mètres il y a déjà plus de 1 mgr. N/NH<sup>3</sup> par litre. A 100 mètres, plus de 3 mgr./lit. La valeur obtenue à 375 mètres : 56 mgr./lit., est énorme et certainement la plus grande jamais observée au monde. Cette constatation ne fait que confirmer l'opinion que l'état des couches profondes du Kivu est dû à des influences anormales.

La courbe des phosphates nous amène à une conclusion identique. Les quantités de cet ion présentes dans les 60 premiers mètres sont très faibles, tandis que dans la profondeur elles deviennent considérables, jusqu'à 3,5 mgr./litre, ce qui est également un chiffre record. Dans l'épilimnion, il y a si peu de phosphates que nous avons indiqué : traces, soit moins de 0,001 mgr./lit. P/PO<sup>4</sup>. Il s'agit là, évidemment, d'une valeur beaucoup trop faible pour permettre un développement un peu intense des algues. La pauvreté en phosphates de l'épilimnion du lac Kivu est sans aucun doute une cause du peu de productivité du lac.

Dans l'hypolimnion, en septembre 1935 (st. 5), nous n'avons observé que 0,004-5 mgr./lit. de phosphates, tandis qu'en février 1936 nous en avons constaté dans la même zone cinq fois plus (0,024-28 mgr./lit. P/PO<sup>4</sup>). Cette variation de la concentration en phosphates doit être en rapport avec les mouvements de l'eau.

En septembre, la stratification thermique du lac Kivu n'indique pas de division nette de la masse par un thermocline. Le brassage produit par le refroidissement en saison sèche a rendu homogène toute la couche des 65-70 premiers mètres d'eau. Il a transporté les phosphates de l'hypolimnion dans les couches superficielles éclairées, où elles peuvent être absorbées par la photosynthèse. Ce mouvement des eaux explique donc complètement la pauvreté en phosphates de l'épilimnion à la fin de la saison sèche.

Pendant la saison des pluies, le lac se stratifie, le thermocline qui se crée divise les eaux en deux masses indépendantes. Les phosphates mis en liberté dans l'hypolimnion par l'activité des organismes bactériens ne peuvent être ramenés dans la zone d'influence de la photosynthèse. Ils s'accumulent momentanément dans la couche de 40 à 70 mètres.

Les quantités énormes de phosphates observées dans la couche morte profonde s'expliquent par un phénomène analogue. Les produits de la

décomposition bactérienne des substances organiques descendent évidemment dans les eaux profondes et s'y amassent, soustraits pour toujours à la circulation générale. Nous aurons à revenir plus loin sur ce point important.

#### 6. — TRANSPARENCE DE L'EAU

La transparence de l'eau du lac Kivu a varié dans d'assez fortes limites au cours de notre séjour.

En septembre 1935, le disque de Secchi devenait déjà invisible aux environs de 2 mètres de profondeur (1<sup>m</sup>75, le 26 septembre 1935 à Béra; 2<sup>m</sup>70 le 17 septembre 1935 à Ngoma; 2<sup>m</sup>75 le 13 octobre 1935 à Nyamirundi). En avril 1935, il demeurait visible jusqu'à 6<sup>m</sup>40, en février 1936 jusqu'à 4<sup>m</sup>55 (station 1 et 9 à Ngoma).

La transparence de l'eau dépend évidemment de l'eau elle-même, mais aussi de la quantité de substances en suspension et de la densité du plancton. Elle est donc une indication indirecte de l'abondance de la vie.

L'eau du lac Kivu était plus transparente en saison des pluies qu'en saison sèche. Inversement, la population en plancton devait être plus dense en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Or, nous avons indiqué, dans les pages précédentes, que le brassage en saison sèche avait dû ramener dans les couches éclairées par le soleil les phosphates de l'hypolimnion. Les deux faits cadrent parfaitement. L'apport de phosphates a provoqué le développement du phytoplancton, et par suite, des animaux qui se nourrissent d'algues. L'abondance momentanée du plancton aura diminué la transparence de l'eau.

#### 7. — ORIGINE DU DÉGAGEMENT GAZEUX DANS LES ÉCHANTILLONS D'EAU PROFONDE

La nature du gaz qui se dégage des échantillons d'eau profonde du lac Kivu demeure une énigme. Les résultats de dosage montrent que, ni l'hydrogène sulfuré, ni l'acide carbonique ne se trouvent en quantités suffisantes pour se dégager spontanément lorsqu'est supprimée la pression hydrostatique existant à 200 mètres de profondeur.

A cause de ce résultat négatif, nous ne pouvons qu'émettre des hypothèses sur l'origine et la nature du gaz dissous. Dans les eaux lacustres on trouve comme gaz dissous, outre l'oxygène, l'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré, du méthane et de l'azote. Le méthane apparaît comme le résultat de la décomposition des substances organiques. L'azote moléculaire est le terme final de la décomposition des substances azotées par les bactéries. Il est possible que l'un et l'autre corps interviennent dans le cas du Kivu. La présence de grandes quantités de sels d'ammoniaque dans les eaux profondes nous porte à supposer que le gaz énigmatique pourrait être de l'azote produit par la destruction bactérienne de ces corps ammoniacaux.

**RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS**

1° La couche « morte » du Kivu est absolument dépourvue d'oxygène. Dans la zone superficielle (0-65 m.), la courbe d'O<sup>2</sup> est parallèle à la courbe des températures. L'épilimnion est saturé d'O<sup>2</sup>. En période de stratification, l'hypolimnion en est privé. Il en contient un peu en saison sèche, période de circulation.

2° L'hydrogène sulfuré se manifeste environ 10 mètres au-dessous du niveau où disparaît l'O<sup>2</sup>. La quantité la plus forte dosée est de 7 mgr./litre.

3° L'alcalinité des eaux varie de 16 en surface à 66 à 375 mètres. Cette augmentation n'est pas régulière. Elle se fait à deux niveaux principaux : entre 65 et 100 mètres et entre 200 et 275 mètres.

La dureté réelle est égale aux 3/5 de la dureté apparente. L'eau du Kivu contient donc beaucoup de sels alcalins.

Dans les eaux de 0 à 65 mètres les valeurs de CO<sup>2</sup> sont négatives. Dans l'épilimnion, elles sont de -100 mgr./lit. A partir de 70 mètres, les valeurs deviennent positives et augmentent très fort. La concentration atteint 1.098 mgr./lit. à 375 mètres. Mais cette quantité n'est pas encore suffisante pour provoquer un dégagement gazeux.

Le pH est égal à 9,45 en surface, à 8,5 à 65 mètres. A 100 mètres il est voisin de la neutralité. A partir de 200 mètres il est légèrement acide : 6,75.

4° La conductibilité électrique indique une concentration saline d'environ 1 gr./lit. en surface, de 2,8 gr./lit. à 275 mètres. La densité causée par l'augmentation de la concentration est suffisante pour rendre stable la stratification thermique anormale.

5° Les nitrates n'existent que dans l'épilimnion. Il y a dans la couche « morte » des sels ammoniacaux en quantités formidables, jusqu'à 56 mgr./lit. Les phosphates n'existent qu'en traces indosables dans l'épilimnion, sont un peu plus concentrés dans l'hypolimnion et atteignent dans la couche « morte » jusqu'à 3,5 mgr./lit.

6° La transparence de l'eau a varié de 1<sup>m</sup>75 — 2<sup>m</sup>75 en saison sèche, période de circulation, à 6<sup>m</sup>50 en saison pluvieuse, période de stratification.

7° Le dégagement gazeux dans les échantillons d'eau profonde n'étant dû ni au CO<sup>2</sup>, ni au H<sup>2</sup>S, ne peut être causé que par du méthane ou de l'azote.

## CHAPITRE TROISIEME

### LE LAC ÉDOUARD

A 150 kilomètres au Nord du Kivu se trouve un autre grand lac : l'Édouard. Pour qui l'aborde par la rive sud, il se présente comme un gigantesque marécage. Ses bords sont plats, fangeux, couverts de papyrus et de petits épineux (Pl. VI, fig. 2; Pl. VII, fig. 1). Le lac est presque entièrement entouré de plaines et la limite entre la terre et l'eau est souvent fort vague. Seule la rive occidentale est assez abrupte (Pl. VII, fig. 2). La chaîne des Mitumba constitue à cet endroit du lac quelques promontoires rocheux et escarpés. Mais le brouillard, qui couvre la région presque continuellement, la dérobe à la vue, en même temps qu'il cache les hauts sommets neigeux, si voisins cependant, du Ruwenzori.

La forme de son bassin rend l'Édouard très monotone, mais l'abondance de la vie animale lui confère un pittoresque qui compense largement cette infériorité. Dans les baies, des centaines d'hippopotames se chauffent sur les bancs peu profonds; des compagnies de pélicans, de cormorans, de mouettes explorent les eaux. Des hérons, des aigrettes, des spatules, des ibis et, pendant l'hiver, une foule d'oiseaux migrateurs se cachent dans les roseaux de la rive. Aux heures chaudes de l'après-midi, il n'est pas rare de voir une bande d'éléphants venir se baigner et jouer le long de la berge. L'eau, verte de plancton, semble vivre, tant elle est agitée par le saut de petits poissons qui s'échappent devant un adversaire, ou par les protoptères venant en surface avaler une gorgée d'air.

Travailler au bord du lac Édouard, c'est vivre dans un véritable paradis terrestre. Lorsqu'on arrive du lac Kivu, aux rives magnifiques, mais immobiles, où la vie animale est invisible, on reste émerveillé de l'abondance, de l'exubérance de la faune.

Cette richesse de la vie animale permet de considérer le lac Édouard comme le type d'un grand lac équatorial à production intense. Dans le Kivu, nous avons eu l'occasion d'examiner un lac très pauvre. Leur étude comparative nous permet d'isoler quelques-uns des facteurs influençant la production dans les lacs équatoriaux.

#### SITUATION GÉOGRAPHIQUE, CARTE, PROFONDEUR

Le lac Édouard est situé à l'altitude de 916 mètres. Au Nord, il touche presque l'Équateur. La baie de Vitshumbi, sa pointe sud extrême, atteint 0°45 de latitude Sud. Il est compris presque entièrement entre les méridiens de 29°30' et 30° longitude Est.

C'est un vaste quadrilatère dont le grand axe est orienté Nord-Est-Sud-Ouest. Sa largeur moyenne est de 30 kilomètres, sa longueur de 75 kilomètres environ. Sa superficie est donc très semblable à celle du Kivu (environ 2.250 km<sup>2</sup>). Il reçoit les eaux de rivières importantes permanentes, telles que la Talia, la Ruindi, la Rutshuru, l'Ishasha, la Ntungwe, la Lubilia, ainsi que d'un grand nombre de petits ruisseaux et de torrents à débit variable, qui descendent des montagnes de la rive occidentale. Il communique avec le lac George par le Kasinga Channel, large rivière où aucun courant n'est perceptible. L'exutoire de l'Édouard est situé sur sa rive nord. C'est la Semliki, dont les eaux, après une série de rapides, atteignent le lac Albert, et, à travers lui, se jettent dans le Nil.

Il n'existe pas encore, à l'heure actuelle, de carte complète du lac. Le Ministère des Colonies a publié une carte au 1/100.000<sup>e</sup> de la rive sud, entre les rivières Ishasha (frontière de l'Uganda) et Talia. Pour le restant du lac, il n'existe guère qu'une très mauvaise carte publiée par l'« Uganda-Congo Boundary Commission » et un levé effectué en 1934 par le Colonel HACKARS, conservateur du Parc National Albert. Une réduction de cette dernière carte est publiée plus loin (fig. 27).

En 1931, E. WORTHINGTON a procédé à un certain nombre de sondages dans le lac Édouard. Quoique ce réseau de mesures ne soit pas extrêmement serré, il définit de façon suffisante le relief du fond. Devant les rives nord, est et sud s'étendent des régions peu profondes où l'isobathe de 5 mètres est reporté à des kilomètres de distance. Le fond du lac est incliné vers l'Ouest et les plus grandes profondeurs (117 m.) se trouvent au pied des rochers de la côte occidentale.

Nous n'avons procédé qu'à des sondages occasionnels et à des mesures dans les baies du Sud. Ces observations ont entièrement confirmé les mesures de WORTHINGTON. Le relief du fond de l'Édouard était donc connu dans ses grandes lignes de façon suffisante, pour des recherches hydrobiologiques tout au moins. Aussi, étant donné le peu de sécurité des embarcations à notre disposition, nous nous sommes abstenus d'effectuer de nouveaux sondages méthodiques. Nous avons reporté avec tout le soin possible les sondages de WORTHINGTON sur le levé topographique du Colonel HACKARS. La carte ainsi composée est reproduite plus loin et servira d'illustration à ce travail (fig. 27).

#### CONDITIONS CLIMATÉRIQUES

La région du lac Édouard est actuellement complètement inhabitée, à l'exception des villages de Kayanza et de Katwe (Uganda). On comprend qu'il ne s'y trouve aucune station météorologique. Nous ne possédons donc pas de document analogue au travail de SCAETTA pour la région du Kivu. Cependant, l'Édouard étant au Sud de l'Équateur, comme le Kivu, les saisons s'y succèdent de la même façon. D'une manière générale, on peut dire que les pluies sont plus abondantes sur l'Édouard qu'au Kivu.

L'altitude de l'Édouard n'étant que de 916 mètres, la région est donc plus chaude que celle du Kivu. Au cours de nos séjours au bord du lac, nous avons fréquemment noté la température le matin et à midi. En général, elle était de 22° à 6 heures et de 30° à 12 heures.

## RECHERCHES HYDROGRAPHIQUES SUR LE LAC ÉDOUARD

### A. — THERMOMÉTRIE

Les résultats de nos mesurations de température sont réunies dans les annexes 14 à 19. L'annexe n° 14 contient les données relatives à des baies de faible profondeur. Dans les autres sont reportés les résultats totaux des stations hydrographiques (mesures thermiques et analyses chimiques) faites au pied de l'escarpement occidental, dans la fosse la plus profonde du lac.

#### 1. — MESURES DANS LES BAIES

En dépit de la faible profondeur, l'eau des baies est stratifiée. C'est ce qu'indique le tableau. Toutes les observations ont permis de constater une chute de la température de la surface vers le fond. Un thermocline très remarquable fut même observé le 30 janvier 1935, à 14 heures, à Kamande : 1° C. sur 25 cm. (26°7 C. à 2 m.; 25°7 C. à 2<sup>m</sup>25). Ce jour-là, entre 0 mètre et 3<sup>m</sup>25 (fond), la différence de température était de 1°7 C. Cette situation est évidemment le résultat d'un échauffement superficiel momentané, par une journée calme. Une observation faite 2 jours plus tard n'a fait constater entre la surface et le fond qu'une différence de 0°9 C.

L'eau des baies est donc rendue homogène très fréquemment. Le refroidissement nocturne, les vents doivent, vraisemblablement chaque jour, brasser entièrement ces régions du lac. Il en résulte une uniformisation des caractères chimiques et en particulier l'apport fréquent d'oxygène au contact du fond. On réalisera immédiatement toute l'importance de ce fait pour les organismes.

#### 2. — MESURES DANS LA RÉGION PROFONDE DU LAC

Les observations dans la région profonde du lac ont été effectuées au pied de l'escarpement occidental, à environ 2 kilomètres au Sud-Est de la rivière Mosenda. A cet endroit la profondeur atteignait 90 mètres, c'est-à-dire presque la profondeur maximum observée jusqu'à présent dans l'Édouard (117 m.).

Les stations hydrographiques ont été effectuées à six mois de distance. En mai 1935, la saison sèche commençait à se faire sentir. En novembre-décembre 1935, nous nous trouvions en saison des pluies.



Les mesures thermiques en eau profonde (fig. 28) indiquent toutes que la chute de la température depuis la surface jusqu'au fond est loin d'être uniforme. Toutes les courbes qui traduisent graphiquement nos résultats présentent une inflexion entre 20 et 50 mètres, inflexion dont le niveau exact varie avec la date de l'observation. Lors de nos stations hydrographiques, les eaux du lac étaient donc toujours divisées en trois couches : épilimnion, thermocline et hypolimnion.

Cette situation est particulièrement nette dans nos mesures du 15 mai. Immédiatement sous les eaux tout à fait superficielles, fortement échauffées

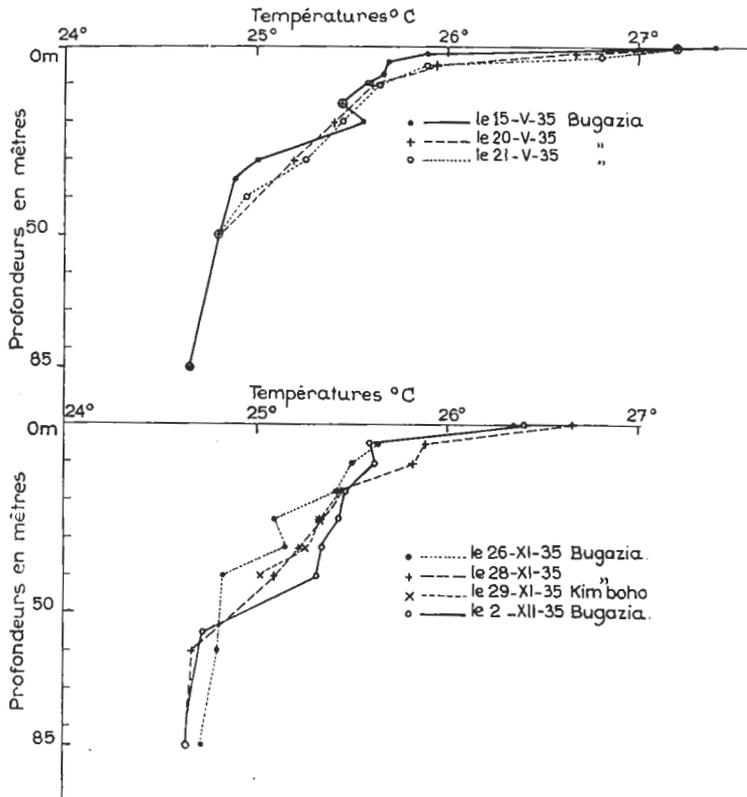


FIG. 28.

par le soleil (27°4 C. à 0 m.), vient une zone où la température est à peu près constante (25°89 C. à 4 m.; 25°55 C. à 20 m.). C'est l'épilimnion. Son homéothermie indique qu'il est soumis à un brassage journalier comme celui du lac Kivu. Nous renvoyons à ce propos à la discussion de ce phénomène (voir p. 46).

Entre 20 et 35 mètres existe un thermocline où la chute de la température n'est pas très importante (25°55 C. à 20 m., 24°88 C. à 35 m.). Dans l'hypolimnion, la température diminue très lentement. Au-dessus du fond elle est de 24°64 C.

L'allure de cette courbe est typique. Un petit minimum dans l'épilimnion, à 15 mètres, y dessine cependant une irrégularité. Cette anomalie traduit l'existence à ce niveau d'une couche froide intermédiaire. Les mesures suivantes indiquent que le lac venait d'être soumis à un refroidissement momentané et que la couche froide qui s'était formée en surface descendait lentement.

Quelques jours plus tard, en effet (20 mai), une courbe légèrement différente a été enregistrée et l'observation a été répétée le lendemain de façon tout à fait concordante. La chute de température est plus progressive que le 15 mai. Le thermocline ne sépare plus si nettement épi- et hypolimnion.

La différence entre les courbes du 15 et des 20 et 21 mai indique qu'entre ces dates la couche froide, située à 15 mètres de profondeur le 15 mai, est descendue sous le thermocline. Ce mouvement vertical des eaux a atténué la chute de température au niveau du thermocline et introduit de la chaleur dans les couches profondes.

Les observations de novembre et décembre 1935 ont donné des résultats analogues. La première série de mesures à cette époque (le 26 novembre) dessine une ligne extrêmement brisée (fig. 28), où il est cependant possible de trouver la trace de deux zones séparées au niveau de 40 mètres. La différence entre les deux couches est surtout marquée par la faiblesse de la chute de température dans l'hypolimnion ( $24^{\circ}81$  C. à 40 m.;  $24^{\circ}73$  C. à 85 m.), qui contraste avec la forte diminution dans les couches supérieures. Le thermocline n'existe pas en tant que zone nettement définie. Dans l'épilimnion, la température diminue assez progressivement. Mais la courbe présente une anomalie. A 25 mètres, un petit minimum local indique une couche légèrement plus froide que les eaux sus- et sous-jacentes. C'est une situation analogue à celle observée le 15 mai à 15 mètres de profondeur. De nouveau, l'existence d'une couche froide intermédiaire témoigne d'un mouvement vertical des eaux. En effet, les jours suivants, la température des couches de 25 à 40 mètres augmente dans chacune de nos stations. A cette époque, le lac accumulait de la chaleur et le thermocline s'abaissait. Le 2 décembre, il se trouvait entre 40 et 55 mètres de profondeur ( $25^{\circ}31$  C. à 40 m.;  $24^{\circ}72$  C. à 55 m.). Ces conclusions, amenées par la lecture des courbes de température, sont confirmées par les résultats de nos analyses chimiques, principalement par nos mesures d'oxygène dissous (voir p. 78).

Dans l'hypolimnion, nos mesures de novembre ne s'accordent pas bien entre elles. Le 28 et le 2 décembre, nous n'avons pas constaté la même température à 85 mètres que le 26 novembre. Les divergences entre les mesures sont cependant faibles :  $24^{\circ}73$  C. le 26;  $24^{\circ}64$  C. le 28 novembre et le 2 décembre). Nous attribuons l'anomalie de l'observation du 26 à une erreur de lecture. En effet, la température mesurée à 85 mètres le 28 novembre et le 2 décembre est identique à celle mesurée en mai. La permanence de ce chiffre indique qu'il exprime la température du refroidissement le plus intense du lac, et vraisemblablement la température moyenne atmosphérique de la région, comme dans tout lac à régime dit tropical.

#### Comparaison avec les résultats de Worthington et Beadle.

L'observation d'un thermocline dans les eaux du lac Édouard n'est pas chose nouvelle. Elle a été faite pour la première fois par la « Cambridge Expedition to the East African Lakes » et décrite par WORTHINGTON (1932), WORTHINGTON et BEADLE (1932) et BEADLE (1932*b*).

Voici, à ce propos, les conclusions de ce dernier auteur : (*loc. cit.*, p. 209): « The temperature curves given in text-fig. 7 show that there was a thermocline in the deep water of Lake Edward from 40 to 70 metres, which was therefore comparable with that found by RUTNER in lake Toba. It will also be seen that the upper limit of this thermocline did not mark the lower limit of the daily heating and cooling from above, which did not penetrate to a greater depth than 10 metres. As has been already suggested (WORTHINGTON and BEADLE 1932) this deep thermocline was possibly not a « temperature » thermocline, but a « salt » thermocline. It may have been produced by the entrance into the lake of water of a higher salinity than that of the surface-water, which, owing to its greater density, would have remained at the bottom, and would have not circulated with the upper layers. It will be remembered that the water of the river Ruchuru flowing into Lake Edward from the south was in 1926 of a higher alkalinity than that of the surface water of the lake (HURST 1927). It is not improbable, in view of the volcanic nature of the surrounding country, that water of high salinity is flowing into the lake from other sources. »

Du travail de BEADLE (*loc. cit.*) nous extrayons également les courbes mesurées par lui. Nous les reproduisons dans la figure 29, en y ajoutant deux de nos propres courbes, celles des 15 mai 1936 et 2 décembre 1935. Ces deux stations ont, en effet, fourni les deux courbes extrêmes entre lesquelles se placent toutes nos autres mesures. Dans la première, le thermocline est situé entre 20 et 30 mètres, dans la seconde entre 40 et 55 mètres.

La comparaison des courbes montre une grande concordance des observations. Relevons les points suivants :

1. Au moment de nos mesures, la température de l'hypolimnion était très légèrement inférieure à celle constatée par WORTHINGTON et BEADLE.

2. Dans l'épilimnion, les courbes de température des trois stations se superposent à peu près (19 juillet 1931, BEADLE; et 15 mai 1935, 2 décembre 1935, DAMAS). La courbe du 26 juin 1931 (BEADLE) témoigne qu'à cette époque l'épilimnion avait une température beaucoup plus élevée.

3. La différence principale entre les courbes réside dans la position du thermocline. Cette couche limite était située, lors des observations de BEADLE, entre 40 et 60 mètres. Lors de nos mesures, nous avons constaté sa présence tantôt entre 20 et 35 mètres, tantôt entre 40 et 55 mètres.

La variation dans la position du thermocline nous paraît fournir un éclaircissement sur l'origine de la stratification de l'Édouard.

En novembre, au cours de 5 journées, le thermocline s'est abaissé de plus de 10 mètres. La zone de contact entre deux couches de densités extrêmement différentes ne pourrait se déplacer de la sorte.

Lors de nos mesures, l'hypolimnion était légèrement plus froid que lors des observations de WORTHINGTON et BEADLE. Ce fait ne plaide pas en faveur d'une stagnation permanente des eaux du lac Édouard. Si cette

hypothèse était vraie, nous aurions dû observer les mêmes chiffres que les auteurs anglais.

La légère diminution de la température ne peut être que la conséquence d'un brassage total des eaux du lac, produit dans une période froide survenue entre 1931 et 1935.

Enfin, rien dans les analyses chimiques publiées par BEADLE ne permet d'attribuer une nature essentiellement différente aux eaux de l'hypolimnion. Nous examinerons plus spécialement ce point après avoir examiné nos propres résultats de dosages.

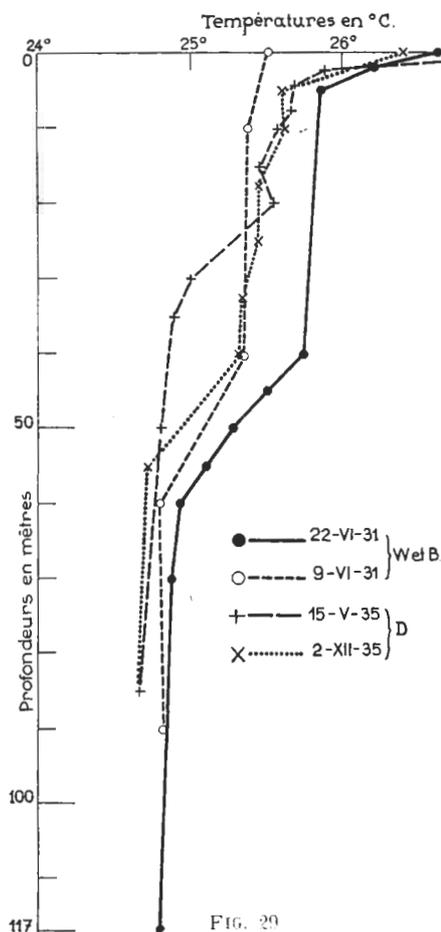


FIG. 29

**Stabilité des couches.**

Nous avons calculé la stabilité de la stratification du lac Édouard dans les deux courbes extrêmes : thermocline entre 20 et 30 mètres (15 mai 1935) et thermocline entre 40 et 55 mètres (2 décembre 1935). La valeur de la stabilité, calculée de la même manière que dans le lac Kivu, était, pour ces deux dates, respectivement 189,2 kgm. (15 mai) et 216,4 kgm. (2 décembre), chiffres très considérables.

En effet, dans un lac de région tempérée dont la stratification thermique se traduirait par une courbe de même forme que celle constatée le 2 décembre 1935 dans l'Édouard, il faudrait les températures suivantes pour obtenir la même valeur de la stabilité, en admettant 4° C. comme température de fond :

En surface .....	11°8	A 55 mètres .....	5°5
A 5 mètres .....	9°7	A 85 mètres .....	4°
A 40 mètres .....	8°6		

Soit une différence entre la surface et le fond de 7°8, et au niveau du thermocline de 3°1; contre, dans le cas de l'Édouard : 1°75 C. et 0°6 C., tant est grande la différence de densité provoquée par un léger échauffement aux environs de 25° C.

### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

1° L'eau des baies du lac Édouard est stratifiée, mais la moindre agitation suffit pour la mélanger jusqu'au fond.

2° L'eau du centre du lac est divisée fort nettement en épilimnion, thermocline et hypolimnion.

3° Au cours de nos mesures nous avons constaté le déplacement du thermocline de 20 à 45 mètres de profondeur, en 5 jours. Cette variation dans la position du thermocline nous empêche d'admettre l'hypothèse de WORTHINGTON et BEADLE (1932), suivant laquelle l'eau du fond de l'Édouard formerait une couche toujours stagnante.

## B. — CHIMIE

### 1. — OXYGÈNE

Les résultats des dosages d'oxygène dissous ont été traduits en graphiques et reproduits dans la figure 30 (1).

La première courbe se rapporte aux mesures du 15 mai 1935. Elle est extrêmement facile à interpréter. L'épilimnion (0 à 20 m.) contient des quantités très notables d'oxygène. La concentration en oxygène est maximale à 4 mètres et non pas en surface, situation qui indique que la photosynthèse atteint sa plus grande intensité à cette profondeur. Jusqu'à 10 mètres les eaux sont saturées d'oxygène. A 26° C. et 690 mm. de pression barométrique, le point de saturation est de 7,36 mgr./lit. Au niveau du thermocline, la concentration en oxygène diminue très fort (0,16 mgr./lit à 30 m.). L'hypolimnion est complètement dépourvu de ce gaz.

La courbe du 26 novembre 1935 a une allure un peu plus compliquée. Les quantités d'oxygène dissous diminuent très irrégulièrement, mais elles le font parallèlement à la chute de température. Même en surface, les quantités présentes n'atteignent pas le point de saturation. Par contre, on observe cette fois la présence de ce gaz à des profondeurs plus grandes qu'en mai. A 32<sup>m</sup>50, il y a 1,32 mgr./lit. Cette valeur constitue un petit maximum local, qui correspond d'ailleurs à un réchauffement léger de l'eau à ce niveau. Cette situation ne peut s'expliquer que par l'existence de courants remuant la masse de l'eau. Les mesures suivantes montrent que ces courants constituaient un phénomène de convection en cours à ce moment.

(1) Les résultats de tous les dosages sont reproduits dans les annexes 15 à 19.

En effet, les dosages effectués quelques jours plus tard montrent une augmentation régulière des quantités d'oxygène présentes dans les couches profondes (25 à 40 m.). La dernière série de mesures, celle du 2 décembre 1935, indique une forte augmentation de la concentration en oxygène dans tout l'épilimnion. En surface et à 5 mètres de profondeur, les valeurs

atteignent le point de saturation. A 32<sup>m</sup>50 il y avait encore 5,59 mgr./lit. (contre 1,22 mgr./lit. le 26 novembre); à 40 mètres 3,15 mgr./lit. (contre 1,07 le 28). L'apport d'O<sup>2</sup> dans les couches profondes ne peut s'expliquer que par un mouvement de convection. On se souvient que l'examen des courbes de température nous avait déjà amené à cette conclusion. L'existence de ce mouvement expliquerait parfaitement que lors de la première mesure les eaux de surface elles-mêmes n'étaient pas saturées d'oxygène: elles se déplaçaient lentement vers le bas, entraînant cet oxygène dans les couches plus profondes. Le mouvement s'accroissant, se produit la situation observée le 2 décembre: le volume de l'épilimnion a fortement augmenté; il contient dans toute sa hauteur des quantités considérables d'oxygène. Au niveau du thermocline, l'oxygène disparaît brusquement et l'hypolimnion est dépourvu de ce gaz.

Comparées avec les analyses de BEADLE (1932), nos mesures montrent une concordance parfaite. D'après les courbes qu'il publie, cet auteur a constaté environ 4 cm<sup>3</sup> d'O<sup>2</sup>/lit. (soit environ 6 mgr.) depuis la

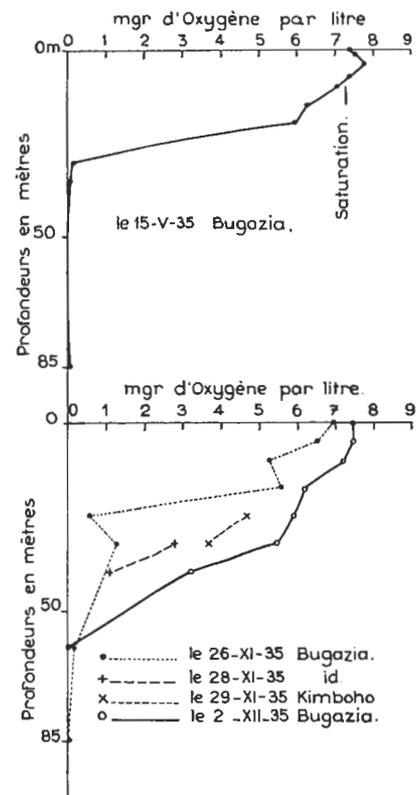


FIG. 30.

surface jusqu'à 20 mètres. A 50 mètres, l'eau du lac se trouvait, comme lors de nos mesures, pratiquement dépourvue d'oxygène.

## 2. — H<sup>2</sup>S

Lors de la station du 26 novembre 1935, l'hydrogène sulfuré a été dosé dans une série complète d'échantillons. Seules les eaux de 32<sup>m</sup>50, 60 et 85 mètres ont fourni un résultat positif. (Les valeurs observées sont reprises dans l'annexe 17.) Par conséquent ce gaz n'était présent que dans l'hypolimnion.

### 3. — ALCALINITÉ, DURETÉ RÉELLE, CO<sup>2</sup> LIBRE, pH

L'alcalinité des eaux du lac Édouard est très considérable, beaucoup moindre cependant que celle du Kivu (2/3). Elle varie très peu avec la profondeur. Les courbes ci-dessous (fig. 31) montrent cette variation.

Les valeurs mesurées le 15 mai 1935 sont d'interprétation simple. En surface, l'alcalinité est plus faible qu'ailleurs (9,01). Il s'agit, selon toute vraisemblance, d'eau surnageante provenant d'un affluent, la Mosenda, dont notre station n'était pas très éloignée. A partir de 4 mètres de profondeur, l'alcalinité est fixe dans l'épilimnion (9,75). Elle augmente légèrement au niveau du thermocline (9,81 à 30 m.; 9,89 à 50 m.). La courbe atteint

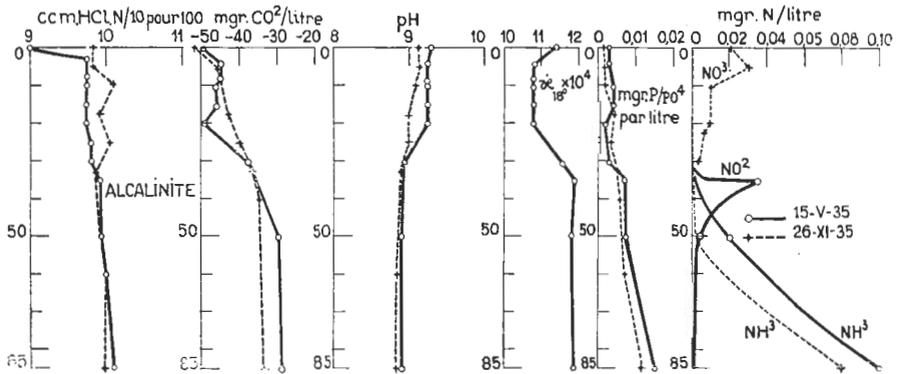


FIG. 31.

son maximum au niveau du fond : 10,08. La courbe que nous venons d'examiner est à peu près identique à celle observée par BEADLE (1932b).

Les mesures du 26 novembre 1935 dessinent une courbe différente. Sa caractéristique est de contenir des valeurs plus importantes dans tout l'épilimnion, valeurs qui se modifient très irrégulièrement avec la profondeur. Les irrégularités de la courbe de l'alcalinité dans l'épilimnion se situent aux mêmes niveaux que les anomalies des courbes de température et d'oxygène dissous. Cette concordance montre bien que ces anomalies ne sont pas des erreurs d'observation, mais expriment un phénomène réel. Ce dernier ne peut être, ainsi que nous l'avons exposé plus haut à propos des mesures de températures, que des courants verticaux, de convection.

Nous n'avons pas effectué de dosages de la dureté réelle, faute de réactifs appropriés. Mais, heureusement, nous pouvons nous baser sur le résultat d'analyses publiées par TRACEY PHILLIPS (in WORTHINGTON, 1932), qui indiquent : l'une, 2,8 (Ca) 3,0 (Mg) 9,9 (Na); la deuxième, 3,4 (Ca) 3,7 (Mg) 13,2 (Na); la troisième, 1,4 (Ca) 4,7 (Mg) 10,3 (Na) mgr./lit.

Il s'agit donc, comme dans le Kivu, d'une eau contenant une proportion importante de sels alcalins.

La présence de ces sels alcalins explique que ces eaux présentent un déficit considérable et permanent en acide carbonique. C'est le même phénomène que celui trouvé dans les eaux superficielles du Kivu.

Dans l'Édouard, les chiffres sont beaucoup moins élevés, la moitié environ en surface; mais les valeurs restent négatives jusqu'au-dessus du fond. Même l'eau de 85 mètres de profondeur est alcaline à la phénolphtaléine.

Le 15 mai, dans l'épilimnion, le déficit atteignait 44 à 49 mgr./lit., suivant la profondeur. Au niveau du thermocline, la diminution du déficit est très nette (—49 mgr./lit. à 20 m.; —37 mgr./litt. à 30 m.). Au-dessus du fond, l'eau pourrait encore absorber 28 mgr./lit. avant de neutraliser la phénolphtaléine.

Les dosages du 28 novembre ont fourni des résultats analogues; mais le déficit en acide carbonique des eaux de l'hypolimnion était à ce moment plus considérable qu'en mai (—33,4 mgr./lit. à 85 m., contre —28 mgr. à 85 m. en mai). Ceci ne peut s'expliquer que par un mélange avec les eaux sus-jacentes, mélange survenu entre les deux périodes d'observation.

Les courbes de pH montrent entre l'épi- et l'hypolimnion une différence assez nette. La chose est très visible dans les mesures du 15 mai 1935, alors que le thermocline se trouvait particulièrement marqué. L'épilimnion a un pH à peu près constant à 9,3, l'hypolimnion de même à 8,9. En novembre, la chute du pH à partir de la surface se fait dans une zone plus grande. Le fait est à mettre en rapport avec le peu de netteté du thermocline ce jour-là.

La réaction alcaline des eaux explique le déficit en acide carbonique des couches les plus profondes. Le pH étant jusqu'au contact du fond supérieur à 8,35, les eaux doivent contenir une proportion importante de carbonates.

#### 4. — CONCENTRATION TOTALE DES SELS

La conductibilité électrique a été mesurée une seule fois : le 15 mai 1935. Elle ne varie guère avec la profondeur (fig. 31). En surface elle est légèrement

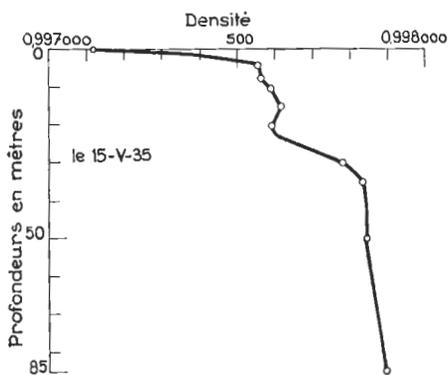


FIG. 32.

plus grande que dans le restant de l'épilimnion ( $11,4$ , contre  $10,8 \times 10^{-4}$ ). Ce fait s'explique certainement par l'influence de l'évaporation, qui a concentré légèrement la pellicule superficielle plus chaude. Dans le restant de l'épilimnion, elle est fixe à  $10,8 \times 10^{-4}$ . Au niveau du thermocline elle augmente (à 30 m.  $11,6$ ; à 35 m.  $11,9 \times 10^{-4}$ ) et reste ensuite fixe dans l'hypolimnion (85 m. :  $11,9 \times 10^{-4}$ ). On constate que la différence n'est pas très considérable. Nous sommes loin des modifications brutales constatées dans le lac Kivu.

Nous avons, comme pour le lac Kivu, calculé la densité de l'eau au diverses profondeurs, en tenant compte de la température observée et de la concentration saline indiquée par la conductibilité électrique. La courbe tracée de la sorte est reproduite dans la figure 32. Elle se présente comme le dessin renversé de la courbe des températures (comparer avec la fig. 28), ce qui démontre que la température est le facteur déterminant de la densité des eaux de l'Édouard.

Comme pour le lac Kivu, nous avons calculé quelle température devrait prendre l'eau de surface de l'Édouard pour acquérir une densité égale à celle constatée dans l'hypolimnion et par conséquent pour que se produise un brassage jusque dans cette zone.

En prenant comme base de calcul la courbe des densités du 15 mai 1935, on peut déterminer les valeurs suivantes :

Profondeurs atteintes par le brassage.	Températures nécessaires en surface.
30 mètres. . . . .	24°80
35 » . . . . .	24°60
50 » . . . . .	24°50
85 » . . . . .	24°40

Il suffit donc d'un refroidissement de l'épilimnion d'1° C. pour provoquer un brassage total des eaux du lac Édouard. Une période de nuits froides le provoque sans aucun doute.

##### 5. — NITRATES, NITRITES, AMMONIAQUE, PHOSPHATES

Lors de notre première station, nous n'avons pu réussir le dosage des nitrates, nos réactifs étant vraisemblablement abimés par le voyage. L'existence de nitrites en quantités appréciables (0,035 mgr./lit.) au niveau du thermocline, c'est-à-dire à l'endroit où, l'oxygène faisant défaut, les nitrates se transforment en nitrites, nous font concevoir qu'il en existait des quantités appréciables. On ne peut se servir des mesures de novembre pour imaginer quelles quantités devaient être présentes en mai, car les mouvements de convection que les autres caractères de l'eau ont décelés se marquent encore dans la courbe des substances azotées.

En novembre, en effet, nous avons observé la présence de nitrates dans tout l'épilimnion, en quantités variant entre 0,03 et 0,01 mgr./lit. Chose peu habituelle, les quantités présentes diminuent avec la profondeur. Nous chercherons l'origine de cette situation dans le mouvement de descente des eaux qui entraînait lentement ces nitrates plus profondément, les diluant par conséquent dans une masse plus grande.

L'ammoniaque n'a été observée que dans les couches tout à fait inférieures du lac, au contact du fond. Plus haut, il n'en existe que des traces. Les quantités présentes à 85 mètres sont très faibles (0,10 en mai, 0,08 en

novembre). La différence entre ces deux chiffres n'est pas supérieure à la sensibilité de la méthode utilisée. Nous reviendrons plus loin sur ce fait.

Les deux séries de dosages de phosphates ont fourni à peu près les mêmes résultats. En surface, nous en avons dosé 0,003 mgr./lit.  $P_2O_5$ . Les valeurs augmentent légèrement dans les premiers mètres de l'épilimnion et diminuent à la limite inférieure de cette zone. Le minimum constaté aux environs de 25 à 30 mètres doit être considéré comme le résultat de la photosynthèse. La coexistence, le 15 mai, d'une diminution sensible en phosphates et d'une augmentation du déficit en  $CO_2$ , à 20 mètres de profondeur, est un argument en ce sens.

Dans l'hypolimnion, la concentration en phosphates augmente légèrement. Mais les eaux profondes sont pauvres en phosphates comme en sels ammoniacaux (0,015 mgr./lit.  $P_2O_5$  à 85 m., le 15 mai 1935; 0,011 mgr./lit.  $P_2O_5$  à 85 m. le 28 novembre 1935). Ces chiffres sont vraiment minimes et indiquent que l'eau ne s'enrichit guère en produits organiques.

#### 6. — TRANSPARENCE DE L'EAU

La transparence de l'eau du lac Édouard est très faible. Dans l'eau des baies, peu profonde, surchargée de plancton, le disque de Secchi disparaissait déjà à 1<sup>m</sup>25, 1<sup>m</sup>40. Au large, il demeurait visible jusqu'à 2 mètres de profondeur.

Ces chiffres sont demeurés constants pendant tout notre séjour. Leur faible valeur témoigne de la richesse en plancton des eaux de l'Édouard.

#### 7. — NATURE DE L'EAU PROFONDE DU LAC ÉDOUARD

WORTHINGTON et BEADLE (1932) admettent que l'hypolimnion du lac Édouard constitue une couche complètement différente du restant des eaux. Déjà nos observations sur la température des eaux n'appuient nullement la thèse des auteurs anglais (voir p. 76). Cette thèse est également contredite par les résultats des analyses chimiques.

Dans une eau perpétuellement immobile, soustraite pour toujours à l'action de l'oxygène et à l'influence de la photosynthèse, la présence d'animaux, l'action des bactéries sur les cadavres doivent libérer, et libèrent en réalité, les produits ultimes du cycle de la matière vivante en quantités extrêmement considérables. S'y accumulent, entre autres : l'acide carbonique dégagé par la respiration, l'ammoniaque et les phosphates libérés par l'action des bactéries sur les cadavres et les substances de déchet.

Or, les eaux profondes du lac Édouard présentaient au moment de nos mesures un déficit notable en acide carbonique. Les sels ammoniacaux et les phosphates s'y trouvaient en quantités très faibles. Il est impossible de concilier ces deux faits avec l'hypothèse d'une stagnation permanente de l'hypolimnion.

Le calcul de la densité, basé sur les mesures de la conductibilité électrique, nous a d'ailleurs appris qu'il suffit d'un « refroidissement » des eaux de surface à 24°4 C. pour mélanger toute la masse de l'Édouard.

En réalité, la stratification du lac Édouard est d'un type tout à fait normal, analogue à celle présentée par tous les lacs des régions tempérées, analogue aussi à celle des 70 premiers mètres du lac Kivu.

Elle est soumise aux variations saisonnières habituelles. A certaines périodes de l'année, les eaux du fond sont amenées au contact de l'air. Les substances phosphorées et ammoniacales qui s'y étaient accumulées remontent dans la zone éclairée du lac et peuvent être utilisées par les plantes. L'importance de ce mouvement est énorme. Nous y reviendrons dans le chapitre final.

#### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

1° L'oxygène n'est présent que dans l'épilimnion.

2° L'hypolimnion contient un peu d'hydrogène sulfuré.

3° L'alcalinité de l'eau du lac Édouard varie de 9,75 à 10,1, mais cette variation ne semble pas en relation avec la position du thermocline.

L'eau de l'Édouard présente un déficit permanent en acide carbonique. Ce déficit est d'environ 50 mgr./lit. dans l'épilimnion. Au-dessus du fond il est encore d'environ 25 mgr./lit.

Le pH est de 9,3 dans l'épilimnion, de 8,9 dans l'hypolimnion.

4° La conductibilité électrique indique une concentration de l'eau voisine de 0,75 gr./lit. dans l'épilimnion et de 0,85 gr./lit. dans l'hypolimnion.

5° L'épilimnion contient assez de nitrates (0,03 mgr./lit.) et de phosphates (0,003 mgr. P/lit.). L'hypolimnion contient relativement peu d'ammoniaque (0,1 mgr. N/lit.) et de phosphates (0,015 mgr. P/lit.).

6° Les mesures de conductibilité électrique, les dosages de l'alcalinité, des phosphates et de l'ammoniaque indiquent que l'eau profonde du lac Édouard n'est pas une eau stagnante. La stratification du lac est donc du type tout à fait normal.

## CHAPITRE QUATRIEME

### LE LAC NDALAGA (Mokoto)

A 50 kilomètres au Nord-Ouest du lac Kivu, par delà le volcan Niamlagira et la chaîne du Bwito, se trouve la région montagneuse du Mushari, succession d'énormes collines, très abruptes, séparées par des ravins profonds. Cette région, peu hospitalière, est couverte de forêts et surtout de prairies immenses de « matétés ». De-ci, de-là, des villages indigènes, peu importants d'ailleurs, interrompent la monotonie de la brousse par leurs champs de patates douces et leurs bananeraies.

Au creux des vallées se cachent un certain nombre de lacs, dont les plus connus sont les Mokoto. Le Ndalaga, Lukulu, Bitu, Balukira sont de petites étendues d'eau aux formes sinueuses. Déjà le dessin de la carte (fig. 33), mais encore bien plus l'examen des lacs dans la nature suggère qu'ils ont été produits à la suite du barrage d'une ancienne vallée par une coulée de laves. En effet, ils se trouvent exactement en bordure de la plaine de laves des volcans Virunga. Leurs émissaires, au lieu de suivre un trajet bien défini, se perdent dans cette plaine.

A ce titre, les Mokoto appartiennent à une catégorie de lacs très répandue sur les flancs du Graben central africain. Il existe dans les provinces du Kivu, du Ruanda-Urundi, dans le territoire voisin de l'Uganda un grand nombre de vallées bloquées par l'activité volcanique, à une période plus ou moins récente. Les lacs Mohasi, Bugesera, dans le Ruanda-Urundi, le lac Bunyoni en Uganda en sont des exemples bien connus dans l'Est-Africain. Ils se sont rendus célèbres par le pittoresque de leur situation dans les montagnes et la beauté de leur forme. Ce sont des rubans glauques qui serpentent entre des parois très élevées, souvent abruptes, et qui, vus d'une colline voisine, apparaissent comme des lacs alpins transportés en Afrique.

On doit s'attendre à ce que ces pièces d'eau relativement petites présentent des conditions géographiques et biologiques essentiellement différentes de celles offertes par les mers intérieures qui occupent les Grabens. Jusqu'à présent, à notre connaissance, leur étude n'a guère été entamée. Seul WORTHINGTON (1932) a publié les résultats d'une enquête sur le lac Bunyoni. Les autres expéditions ont surtout abordé l'étude des lacs-cratères.

A cause de la fréquence de ces petits lacs de barrage, nous avons cru intéressant, à titre de comparaison, d'ajouter l'étude de l'un d'entre eux à notre enquête sur le Kivu et l'Édouard. Le Ndalaga est le plus proche de Rutshuru, station centrale du Parc National Albert; c'est pourquoi il fut choisi comme type.

Petit lac sinueux, tout en baies arrondies, en couloirs étroits, il semble avoir été placé entre les collines pour l'agrément du visiteur. Ses rives abruptes sont ornées d'une frange de papyrus et d'une ceinture de nénuphars dont les grandes fleurs violacées, les feuilles arrondies lui donnent l'aspect d'une pièce d'eau cultivée par un jardinier-paysagiste (Pl. VIII, fig. 2; Pl. IX, fig. 1 et 2).

Sur l'eau circulent des bandes de canards, de plongeurs, de cormorans. Entre les plantes se cachent un nombre incalculable d'animaux, insectes

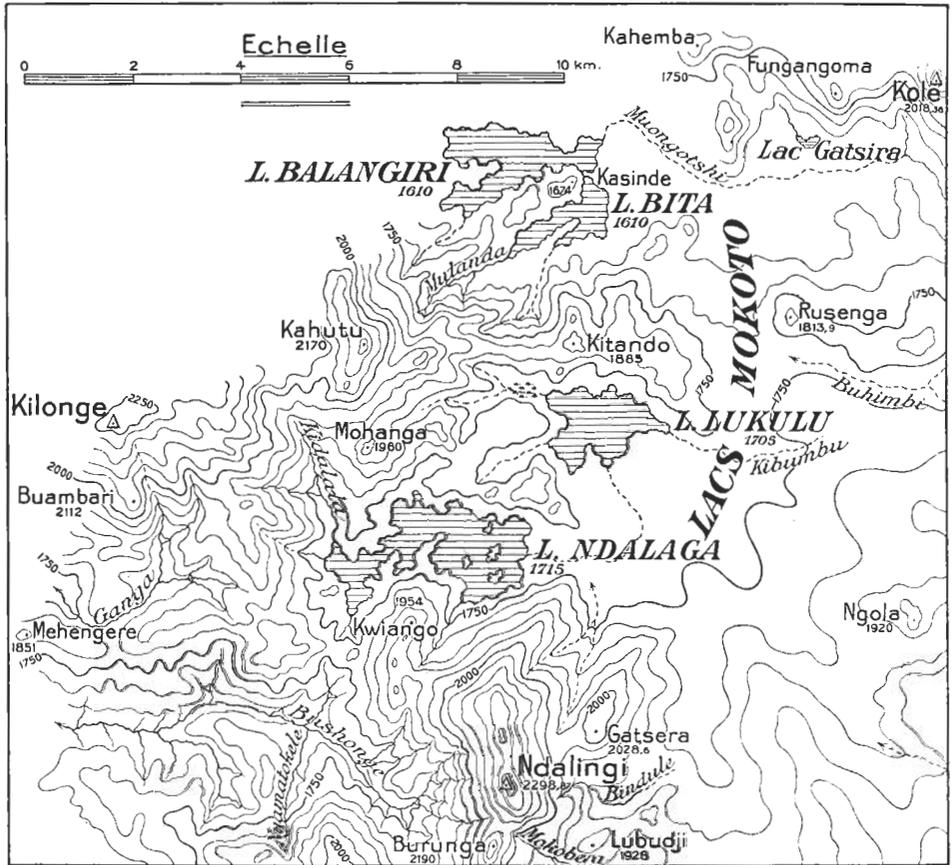


FIG. 33.

aquatiques, sangsues, mollusques et surtout grenouilles dont le concert cliquetant remplissait les nuits calmes.

Le Ndalaga, lac minuscule dont la superficie ne dépasse pas 320 hectares, est extraordinairement riche en vie. La faune aquatique y est beaucoup plus riche que dans les grands lacs du Graben. Proportionnellement, sa production en animaux et en plantes est encore plus importante que celle de l'Édouard lui-même.

## CARTE, PROFONDEUR

La carte publiée ci-contre (fig. 34), agrandissement d'une portion de la carte officielle, indique la forme du lac. C'est en réalité une série de petites vallées confluentes, se dirigeant vers l'Est, jusqu'au bord de la plaine de lave, où elles s'élargissent légèrement.

Le Ndalaga reçoit un certain nombre de petits ruisseaux dont trois seulement sont assez importants pour avoir été repris sur la carte. A son extrémité Nord-Est se trouve son exutoire, qui, habituellement, se perd dans la plaine de lave et, en temps de crues, se jette dans le lac Lukulu.

Au cours de trajets en pirogue sur le lac, nous avons effectué 110 sondages au moyen de la sonde à main. Ils sont reportés sur la carte et montrent

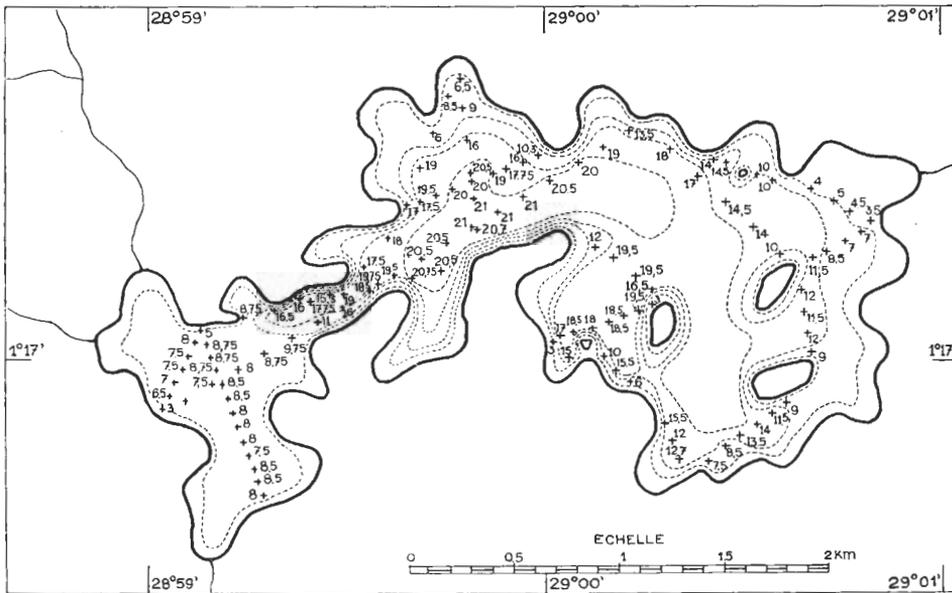


FIG. 34.

que le profil du fond est bien celui d'une vallée orientée de l'Ouest vers l'Est. Les parois du lac sont remarquablement abruptes. En s'écartant des rives de quelques mètres, on obtient immédiatement une profondeur à peu près égale à la profondeur maximum de ce bras du lac. Le fond est fort plat. C'est l'ancien lit de la vallée actuellement barrée.

Les isobathes ont été tracées sur notre carte de 5 en 5 mètres. Ils dessinent en réalité l'ancienne rivière et ses affluents.

Au centre du lac existe une région de 20 à 21 mètres de profondeur. Nos stations hydrographiques ont été effectuées en cet endroit. La récolte des échantillons d'eau se faisait en pirogue, à l'aide d'une bouteille à eau suspendue à un câble marqué de mètre en mètre, car la petitesse de l'embarcation interdisait l'emploi d'un cabestan.

## RECHERCHES HYDROGRAPHIQUES DANS LE LAC NDALAGA

### A. — THERMOMÉTRIE

Au moment de la première série de mesures, le 8 août 1935, l'eau du Ndalaga était peu stratifiée. Entre la surface et le fond la différence totale de température n'était que de 1°40 C. Cette chute avait presque entièrement lieu dans les deux premiers mètres (21°30 en surface, 20°30 C. à 1<sup>m</sup>70). Les valeurs mesurées entre 1<sup>m</sup>70 et 21 mètres dessinent une ligne extraordinairement régulière et progressive. Il n'est pas possible d'y trouver une division en épi- et hypolimnion (fig. 35).

Quelques jours plus tard, le 13 août 1935, nous avons observé des chiffres légèrement différents, indiquant que dans la période intermédiaire le lac

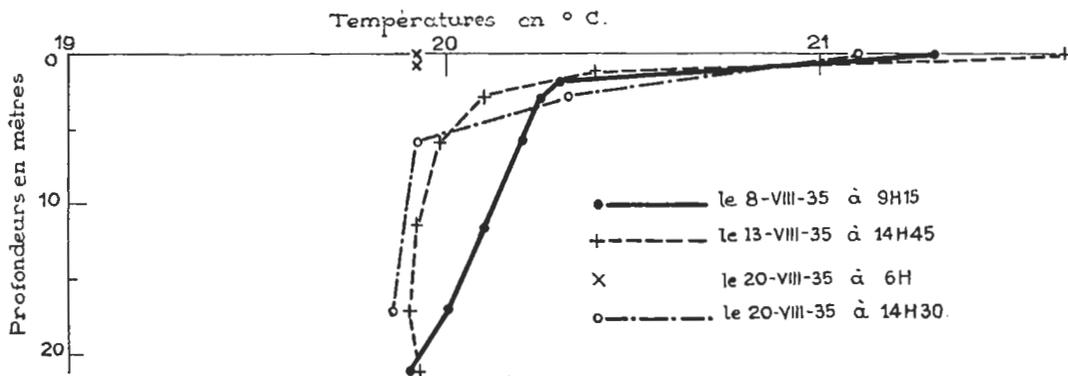


FIG. 35.

s'était un peu refroidi. A partir de 2<sup>m</sup>85 de profondeur, les valeurs mesurées sont 1 à 2 dixièmes de degré plus faibles.

Il est à noter que les deux stations hydrographiques ont été faites à des heures différentes, la première à 9 h. 15, la seconde à 14 h. 45. A 9 heures, le lac Ndalaga, à cette époque, se dégage à peine d'un brouillard intense qui le couvre toute la nuit, tandis que la seconde série d'observations a été exécutée après de nombreuses heures d'échauffement solaire. Malgré cela, la seconde série de mesures traduit une situation où le lac contenait moins de chaleur que la première.

Les mesures effectuées le 20 août, malheureusement interrompues par un accident arrivé à notre bouteille à eau, indiquent que le refroidissement du lac s'accroissait. Aux dernières heures de la nuit, la température observée en surface est la même que celle observée les autres jours au contact du fond. Une mesure à 11<sup>m</sup>50 de profondeur, à 14 h. 30, a indiqué une température plus basse encore que sept jours plus tôt.

Il nous est impossible, faute des documents, de comparer nos mesures

de température au climat de la région. Nous savons seulement que notre passage en cet endroit eut lieu en saison sèche. Les courbes de température examinées plus haut indiquent qu'au début de notre séjour, le lac Ndalaga conservait encore des traces de stratification et que, avec l'avancement de la saison, cette stratification a disparu, par refroidissement.

En discutant les résultats de nos mesures dans le lac Kivu, nous avons déjà conclu que la saison sèche, période de nuits froides, produit un renversement des couches. RUTTNER, dans son étude sur les lac de Java, Sumatra et Bali, est arrivé à la même déduction.

Il y a tout lieu de croire, par conséquent, que cette règle est générale dans les lacs équatoriaux.

### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

1° Au moment de nos mesures, l'eau du Ndalaga était faiblement stratifiée. Le lac se refroidissait chaque jour. Nous avons donc observé le Ndalaga en période de circulation.

2° Cette période de circulation a coïncidé avec la saison sèche.

## B. — CHIMIE

### 1. — OXYGÈNE

Les dosages d'oxygène dissous dans le lac Ndalaga (8 avril 1935) ont fourni des valeurs très faibles. En surface, nous n'avons trouvé que 5,1 mgr./lit., soit 65 % du point de saturation. Jusqu'à 5 mètres de profondeur, cette valeur reste à peu près fixe. A 11<sup>m</sup>40, il n'y en avait plus que 1,62 mgr./lit. A partir de 17 mètres, zéro.

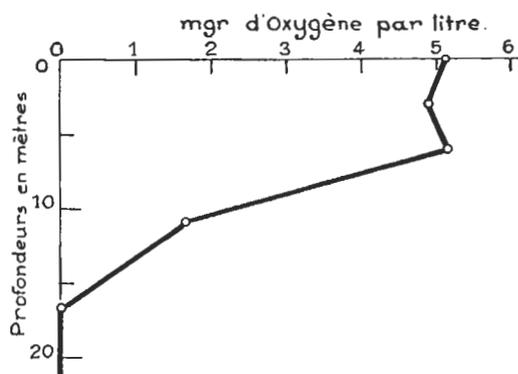


FIG. 36.

L'allure de la courbe de l'oxygène dissous (fig. 36) est la même que celle observée dans les autres lacs. Elle semble indiquer une division en épi- et hypolimnion, que n'indique pas la courbe des températures mesurée le même jour.

La faible quantité d'oxygène présente dans les couches superficielles ne peut s'expliquer que par le mélange avec des couches dépourvues d'oxygène, c'est-à-dire avec les couches profondes. C'est

donc le résultat du brassage des eaux, que les températures observées en même temps nous avaient déjà indiqué.

Ce mouvement des eaux n'avait pas encore atteint les couches les plus profondes. L'absence d'oxygène à partir de 17 mètres en témoigne.

2. — ALCALINITÉ, CO<sup>2</sup> LIBRE, pH

L'eau du lac Ndalaga n'est que faiblement tamponnée. Il suffit de 1,5 cm<sup>3</sup> de HCl N/10 pour la neutraliser en présence de méthylorange. L'alcalinité change très peu avec la profondeur. Nos mesures n'indiquent qu'une très légère augmentation au-dessus du fond (fig. 37).

L'alcalinité faible de ses eaux oppose le lac Ndalaga aux lacs Kivu et Édouard. A ce point de vue, il se rapproche beaucoup plus des lacs de Java et Sumatra, étudiés par RUTTNER, ainsi que de la plupart des lacs européens.

Lors de nos mesures, l'eau de surface du Ndalaga contenait 5,8 mgr./lit. d'acide carbonique libre. La concentration en CO<sup>2</sup> augmentait d'ailleurs

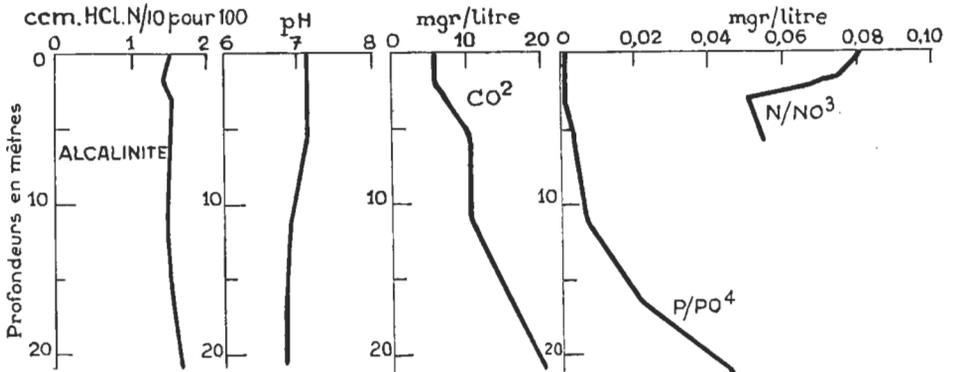


FIG. 37.

avec la profondeur (fig. 35), assez fortement entre 2 et 5 mètres, plus fortement à partir de 11 mètres. Au-dessus du fond il en existait plus de 20 mgr./lit.

Le lac Ndalaga est le seul où nous ayons eu l'occasion de constater la présence, *en surface*, d'acide carbonique libre. Ce gaz y existait même en quantité telle que nous devons le considérer comme acide carbonique agressif. En effet, d'après les tables de TILLMANS, une eau d'alcalinité égale à 1,5 (cas du Ndalaga) contient, lorsque l'équilibre est réalisé, environ 0,7 mgr. par litre d'acide carbonique libre. Par conséquent, au moment de nos mesures, il existait au moins 5 mgr. d'acide carbonique agressif par litre d'eau de surface du lac Ndalaga.

La présence de ce gaz dans les eaux superficielles, où la photosynthèse atteint sa plus grande intensité, où le CO<sup>2</sup> peut facilement diffuser dans l'air, n'est évidemment pas un phénomène normal. Elle ne peut s'expliquer que par un apport massif, vraisemblablement momentané.

D'après nous, cet apport est causé par le même phénomène qui a provoqué l'appauvrissement de l'épilimnion en oxygène (voir p. 89). C'est un résultat du mouvement de convection de l'eau, indiqué par les courbes de

température. Le refroidissement des couches superficielles a brassé l'eau et ramené vers la surface l'eau de l'hypolimnion fortement chargée d'acide carbonique et dépourvue d'oxygène.

Le même phénomène explique que le pH soit si faible : jusqu'à 5<sup>m</sup>70, 7,1; plus profondément, 6,9 ou 6,85. La variation dans la masse de l'eau est donc très faible et la réaction de l'eau fort voisine de la neutralité, voire un peu acide.

D'après les valeurs données par TILLMANS, une eau d'alcalinité égale à 1,5 doit avoir un pH de 8,2 environ, dans le cas très vraisemblable où l'alcalinité de l'eau serait due aux bicarbonates alcalino-terreux. L'abaissement du pH doit être attribué à l'action du CO<sup>2</sup> libre et par conséquent est un résultat des mouvements de convection de l'eau.

Il nous paraît extrêmement intéressant de rapprocher de ces résultats d'analyse les conclusions d'une enquête menée auprès des indigènes de la région. Au bord du lac Ndalaga se trouve un petit hameau de quelques huttes, Kalondo, habitées par une population mi-pastorale, mi-pêcheuse. Tout au moins, à en juger par le nombre extraordinaire de nasses que ces nègres possèdent, la pêche constitue une partie importante de leur activité. Lors de notre séjour à cet endroit, toutes les nasses se trouvaient tirées de l'eau, à quelques mètres de la rive. D'après les dires des indigènes, il existerait dans le lac Ndalaga trois espèces de petits poissons, mais uniquement pendant la saison des pluies. En saison sèche, par contre, il serait, d'après ces nègres, inutile de pêcher : les poissons sont absents du lac. De fait, tous les essais de pêche (nasses, lignes filets) que nous tentâmes malgré leur scepticisme restèrent infructueux.

L'absence de poissons en saison sèche peut aisément s'expliquer par la nature particulière des eaux en ce moment : faible quantité d'oxygène, même dans l'épilimnion, et, par contre, grandes quantités d'acide carbonique agressif, jusqu'en surface, par suite du mélange des couches.

Il est très vraisemblable qu'en saison des pluies l'eau se stratifie assez fortement et que l'épilimnion devient habitable pour les poissons. En saison sèche, le refroidissement des eaux provoque un mélange de la zone habitable avec l'hypolimnion chargé de produits résultant de la désintégration de la matière organique (CO<sup>2</sup>, NH<sup>3</sup>, H<sup>2</sup>S, etc.). Ce mélange rend momentanément le lac inhabitable pour les poissons. Meurent-ils tous? S'enfuient-ils dans les affluents ou par l'exutoire? Nous n'avons aucun document à ce sujet <sup>(1)</sup>.

---

(1) Il est très vraisemblable qu'une cause analogue explique les échecs des essais d'introduction de poissons dans le lac Bunyoni. Ce lac, situé près de Kabale, Uganda, est également un lac de barrage, résultat de la fermeture d'une longue vallée par une coulée de laves. D'après Worthington (1932), des essais nombreux ont été faits pour introduire dans ce lac des poissons comestibles, spécialement *Tilapia nilotica*. Jusqu'en 1930, ces essais ont échoué. Mais un autre poisson, introduit involontairement,

### 3. — CONCENTRATION TOTALE DES SELS

La conductibilité électrique de l'eau de surface du Ndalaga est très faible ( $2,5 \cdot 10^{-4}$ ) (1), ce qui indique une concentration minimale : 185 mgr./lit. environ, d'après le coefficient de KOLRAUSCH. Il s'agit donc d'une eau remarquablement douce.

### 4. — NITRATES, NITRITES ET PHOSPHATES

Dans la zone des 5 premiers mètres, seule région oxygénée du lac, la concentration en nitrates ne varie pas très fort. Les eaux plus profondes, non oxygénées, sont complètement dépourvues de nitrates. En surface nous en avons mesuré 0,08 mgr./lit., soit une quantité déjà notable, à mettre en rapport avec l'abondance du phytoplancton dans le Ndalaga.

Des traces de nitrites existent dans l'eau à partir de 2 mètres. Au contact du fond nous en avons observé une quantité dosable, mais très faible.

Le dosage de l'ammoniaque n'a malheureusement pas pu être exécuté, nos réactifs ayant été abîmés par le transport.

La concentration en phosphates des eaux superficielles est extrêmement faible. Elle augmente un peu dans les couches sous-jacentes. A 5 mètres il en existait 0,003 mgr./lit. P/PO<sup>4</sup>. Dans le fond : 0,046 mgr./lit. P/PO<sup>4</sup>. On peut s'étonner de la pauvreté des eaux de surface en phosphates, étant donnée l'abondance du phytoplancton.

Mais le Ndalaga est si petit que, sans aucun doute, l'apport de phosphates par les affluents et les eaux de ruissellement était continuellement suffisant à compenser cette déficience.

### 5. — TRANSPARENCE DE L'EAU

Dans l'eau du Ndalaga, le disque de Secchi disparaît déjà à 1<sup>m</sup>20 de profondeur. C'est la transparence la plus faible que nous ayons eu l'occa-

semble-t-il, au cours des essais, le *Clarias carsonii* BLGR., s'est fortement développé et sert maintenant de base à une pêche assez prospère.

D'après Worthington (*loc. cit.*), l'alcalinité des eaux du Bunyoni est assez faible (0,00215 N). A ce titre, il est assez comparable au Ndalaga. La description donnée par cet auteur du Bunyoni et de sa faune pourrait tout à fait s'appliquer au Ndalaga, avec cette restriction que le Ndalaga est beaucoup plus petit. Rien n'empêcherait, semble-t-il, que des phénomènes analogues à ceux que nous avons observés se produisent à certaines époques de l'année, également dans le Bunyoni.

Nous voyons un argument en ce sens dans le fait que le seul poisson dont l'introduction ait réussi dans le Bunyoni est le Nzonzi (*Clarias carsonii* BLGR.), qui appartient à un genre de poisson assez bien adapté à la respiration aérienne.

(1) L'usure de notre batterie électrique a rendu cette mesure très difficile et nous a empêché d'effectuer la mesure de la conductibilité de l'eau profonde. Le brassage de l'eau à cette période de l'année nous fait penser que la conductibilité électrique, comme l'alcalinité, devait être à peu près identique sur toute la hauteur de l'eau.

sion de mesurer pendant notre séjour. Même l'eau des baies du lac Édouard est plus transparente que celle du Ndalaga. Ce fait témoigne de l'extraordinaire richesse de la vie dans le lac. Les eaux sont, en réalité, surchargées de plancton.

#### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

1° Au moment de nos mesures, les eaux du Ndalaga contenaient très peu d'oxygène : en surface 65 % du point de saturation.

2° L'eau du Ndalaga est très douce. Nous y avons constaté la présence, même en surface, d'acide carbonique agressif. Le pH est très voisin de 7 dans toute la masse de l'eau.

3° La conductibilité électrique est très faible, indiquant une concentration en sels très faible : environ 0,185 gr./lit.

4° Les nitrates étaient abondants dans les 5 premiers mètres. Les phosphates, très peu abondants en surface, atteignaient dans le fond 0,046 mgr. P/lit.

5° L'eau est très peu transparente, à cause de l'abondance du plancton.

6° La réduction de la concentration de l'oxygène ainsi que l'abondance de l'acide carbonique en surface sont dues au mouvement de convection de l'eau. L'état anormal de l'eau à la suite de ce brassage est responsable de la disparition des poissons pendant la saison sèche.

---

## CHAPITRE CINQUIEME

### INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

---

#### IMPORTANCE DE QUELQUES FACTEURS HYDROLOGIQUES POUR LA PRODUCTIVITÉ DE LACS ÉQUATORIAUX

Après l'exposé analytique de nos résultats, il reste à en prendre une vue d'ensemble et particulièrement à les comparer, les ordonner et les interpréter. Les analyses chimiques, les mesures physiques nous renseignent sur les caractères de l'eau. Quels éclaircissements apportent-elles sur les conditions écologiques présentées par ce milieu? Quelles causes indiquent-elles qui puissent favoriser ou inhiber la production biologique dans les trois lacs soumis à notre étude?

Pour élucider l'influence d'un facteur hydrologique, il semblerait nécessaire, à première vue, d'effectuer de nombreuses études physiologiques où ce caractère varierait dans les limites connues. Mais on peut aussi considérer que chaque lac constitue une immense expérience où les divers facteurs pouvant influencer la production biologique ont été introduits par la nature dans des proportions particulières, différentes de partout ailleurs. L'abondance de la vie dans le lac nous indique le résultat, favorable ou non, de l'expérience. Notre étude a précisément pour but d'établir comment ces caractères hydrologiques varient dans les trois lacs que nous avons visités.

Le Kivu, toujours très pauvre, l'Édouard, en toutes saisons extraordinairement riche, et le Ndalaga, tantôt saturé d'organismes, tantôt brusquement appauvri, représentent trois types très différents. Les envisageant comme des expériences naturelles, nous nous proposons de comparer leurs caractères particuliers et leur productivité. Nous mettrons ainsi en évidence, dans la mesure des connaissances actuelles tout au moins, le mode d'action et l'influence des facteurs chimiques et physiques.

Pour la clarté de l'exposé, nous réunissons en un tableau les résultats principaux de nos mesures.

Nous avons donc comme termes de comparaison deux énormes lacs, aux eaux fort alcalines, et un grand étang aux eaux très douces.

L'examen parallèle des deux lacs les plus semblables démontre qu'ils diffèrent surtout par la profondeur atteinte par le brassage de l'eau. Dans le Kivu, les courants verticaux produits par le refroidissement nocturne, le jeu des saisons, l'influence des vagues et du vent ne remuent l'eau que

jusqu'à 65 mètres de profondeur. Au centre du lac, plus de 400 mètres de hauteur d'eau demeurent toujours immobiles. Dans l'Édouard, les mêmes mouvements atteignent le fond du lac. Nous démontrons que la stagnation des eaux profondes cause la pauvreté du Kivu, tandis que le brassage des eaux favorise la richesse de l'Édouard. Examinant ensuite le cas du Ndalaga, nous exposerons l'influence double de mélanges périodiques : favorable pour la flore, parfois néfaste pour la faune.

	Lac Kivu.	Lac Edouard.	Lac Ndalaga.
Superficie. . . . .	+ de 2.300 km <sup>2</sup>	2.250 km <sup>2</sup> environ.	320 hectares.
Profondeur maximum. .	478 m.	117 m.	21 <sup>m</sup> 50
Épaisseur de l'épilimnion	25 m.	25-40 m.	?
Limite inférieure des brassages périodiques .	65 m. en 1935.	fond du lac.	fond du lac.
Transparence de l'eau. .	varie de 1 <sup>m</sup> 75 à 6 <sup>m</sup> 70.	1 <sup>m</sup> 25 d <sup>s</sup> les baies. 1 <sup>m</sup> 75 au large.	1 <sup>m</sup> 20
pH. en surface . . . . .	9,45	9,30	7,10
pH. au fond . . . . .	6,85	8,90	6,85
Alcalinité en surface . .	16,25 en moyenne.	9,75 en moyenne.	1,57
Acide carbonique :			
a) en surface. . . p. litre	négatif — 100 mgr.	négatif —50 mgr.	positif + 5,8 mgr.
b) au fond. . . . p. litre	positif +1698 mgr. à 375 m.	négatif —30 mgr.	positif +20,2 mgr.
Conductibilité électrique à 18° × 10 <sup>4</sup> :			
a) en surface. . . . .	13,3	10,8	2,5
b) au fond. . . . .	38,5 à 275 m.	11,9 à 85 m.	?
Oxygène :			
est présent. . . . .	dans l'épilimnion et un peu dans l'hypolimnion en saison sèche.	dans l'épilimnion seulement.	d <sup>s</sup> l'épilimnion seulement
est absent . . . . .	de la couche stagnante.		
Nitrates (dans épilimnion)	0,02 mgr. N/lit.	0,02 mgr. N/lit.	0,08 mgr. N/lit.
Ammoniaque (au-dessus du fond). . . . .	quantités énormes 56 mgr. N/l. à 375 m.	0,1 mgr. N/lit.	?
Phosphates :			
a) dans l'épilimnion. . .	mgr. par litre moins de 0,001.	mgr. par litre 0,004	mgr. par litre 0,003
b) au fond. . . . .	quantités énormes jusqu'à 1-3 mgr.	0,015	0,046
			mesuré au début d'une période de circulation.

### 1. — IMPORTANCE DU BRASSAGE DE L'EAU

L'étude du tableau donné plus haut permet de constater que les autres caractères hydrologiques interviennent dans le Kivu et l'Édouard avec une intensité tout à fait analogue et ne peuvent par conséquent expliquer leur productivité si différente. Éliminons-les rapidement.

Le pH atteint à peu près la même valeur dans les eaux superficielles colonisables par les organismes : 9,45 dans le Kivu, 9,3 dans l'Édouard. Il ne peut donc jouer le rôle de facteur limite.

De même, si la concentration des eaux, décelée par la conductibilité électrique, est légèrement plus forte dans le Kivu que dans l'Édouard, les chiffres se maintiennent dans des limites où ils sont certainement sans influence marquée sur les organismes. Quel rôle décisif pourrait avoir une concentration totale d'un gramme par litre dans un cas, de 0,75 gramme par litre dans l'autre ?

Nous devons encore éliminer la différence d'alcalinité des deux eaux. Évidemment, les eaux de surface du Kivu sont 1,5 fois plus alcalines que les eaux de l'Édouard. Mais d'autres lacs africains possèdent une alcalinité bien plus grande encore et supportent cependant une production intense. BEADLE (1932*b*), discutant l'effet de l'alcalinité sur la flore lacustre africaine, admet que sa valeur limite, pour la plupart des algues, est égale à 0,023 N. L'alcalinité des eaux du Kivu, égale à 0,016 N., demeure donc inférieure à cette limite. Elle ne joue certainement pas, par conséquent, le rôle de facteur inhibant la productivité du lac.

La teneur des eaux en phosphates, substances nécessaires au développement du phytoplancton, constitue la première différence notable entre les deux lacs. Elle est la plus forte dans les eaux de surface de l'Édouard, où la vie se développe avec une intensité telle que fréquemment le phytoplancton lui donne une teinte verte. Cette pullulation des organismes végétaux suppose une consommation continue de phosphates. Ceux-ci sont maintenus à la concentration de 0,004 mgr./lit., grâce au brassage fréquent et aux apports par les eaux de ruissellement.

Dans l'épilimnion du Kivu, les phosphates sont en quantité trop faible pour être décelés. Les eaux sont très transparentes. L'hypolimnion en recèle une faible quantité, qui, en période de stratification, n'est point disponible pour les organismes de surface. Mais en période de circulation, en saison sèche, ces sels sont ramenés dans l'épilimnion. Ils provoquent une prolifération du phytoplancton qui se témoigne par une diminution de la transparence de l'eau (voir p. 68). Si cette circulation affectait les couches « mortes », elle enrichirait la surface de quantités beaucoup plus importantes de phosphates, car l'eau du fond en contient jusqu'à 3 mgr./litre. Mais cette réserve est pratiquement inutilisable, à cause de la stagnation permanente des eaux profondes.

Ceci nous ramène à l'examen du caractère différentiel le plus important

entre les deux lacs : la profondeur atteinte par le brassage de l'eau, facteur décisif pour tout le cycle de production.

En effet, toutes les substances de déchet, les dépouilles, les débris végétaux, etc., s'accumulent toujours finalement dans les couches les plus profondes, où ils sont détruits par les bactéries et remis en solution sous forme de corps chimiques relativement simples. Le phénomène se passe dans l'Édouard et le Kivu comme dans tout autre lac.

Dans l'Édouard, à certaines périodes de l'année du moins, les eaux sont entièrement mélangées. En beaucoup d'endroits, d'ailleurs, la profondeur du lac est inférieure au niveau du thermocline et le mélange est permanent. Les substances ainsi libérées dans les eaux profondes sont ramenées fréquemment dans l'épilimnion et remises à la disposition du phytoplancton, qui l'utilise pour bâtir à nouveau de la substance vivante. Le cycle est complet et perpétuel.

Dans le Kivu, au contraire, les mêmes substances s'accumulent sans fin dans les eaux immobiles. La grande quantité de phosphates et de sels ammoniacaux présents dans la couche « morte » en est une preuve. Ces substances sont définitivement perdues. Elles ne rentreront jamais dans le cycle général de la matière vivante du lac. Il y a ainsi appauvrissement continu en substances organiques des eaux superficielles productrices, au profit des eaux profondes, stagnantes et mortes. Il en résulte une stérilisation relative du lac.

De ce qui précède il ne faudrait pas conclure cependant qu'un brassage total du Kivu provoquerait un enrichissement massif du lac. Certes, il en résulterait un apport considérable de substances azotées et phosphorées dans la zone trophogène et ce phénomène augmenterait la productivité du lac en phytoplancton. Mais en même temps pénétreraient dans la zone habitée des substances nuisibles accumulées dans le fond du lac par suite des mêmes processus : principalement l'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré. Le premier serait-il absorbé par le pouvoir tampon des eaux superficielles? C'est peu probable, tant il est abondant dans les couches profondes. Quant à l'hydrogène sulfuré, il détruirait complètement, pour un temps du moins, l'oxygène présent dans l'épilimnion. Il en résulterait une mort presque certaine de la faune du lac.

Un brassage total du Kivu aurait donc comme conséquence une augmentation de la productivité totale en phytoplancton et une destruction, au moins momentanée, des animaux.

C'est un phénomène de ce genre que nous avons constaté dans le Ndalaga. Ce lac paraît à première vue un milieu extrêmement favorable pour le développement de la faune et de la flore. A en juger par la couleur verte, la faible transparence de ses eaux, le phytoplancton y abonde. Mais l'examen du lac en période de circulation nous a permis de constater une pauvreté remarquable de l'eau en oxygène et la présence, même en surface, d'acide carbonique agressif. Cette situation est causée par l'apport dans les

couches superficielles d'eau de l'hypolimnion, à la suite du brassage des eaux. Le résultat biologique se manifeste très clairement dans la disparition des poissons pendant la saison sèche.

## 2. — MODE D'ACTION DE L'ALCALINITÉ

La comparaison du lac Ndalaga et de l'Édouard met en évidence l'importance de l'alcalinité dans les eaux africaines et le mode d'action de ce facteur.

Dans l'hypolimnion du lac Édouard il se forme de l'acide carbonique, par suite des combustions organiques. Mais cet acide carbonique ne se manifeste pas, parce que, grâce à leur grande alcalinité, les eaux de l'Édouard l'absorbent et le neutralisent entièrement. L'eau du Ndalaga, peu alcaline, constitue un mélange à faible pouvoir tampon. Il suffit d'une très minime production d'acide carbonique pour modifier complètement la réaction de l'eau. Durant une période de stagnation, il s'en accumule dans l'hypolimnion des quantités si considérables, que, lors du mélange des eaux en période de circulation, le  $\text{CO}_2$  se manifeste même en surface comme acide agressif.

Cet exemple du lac Ndalaga indique que l'alcalinité de l'eau influence la productivité d'un lac de deux manières. En premier lieu, elle détermine le pouvoir tampon de l'eau, les limites où varie la réaction de l'eau, son pH. A ce titre, l'augmentation de l'alcalinité semble un facteur favorable.

D'autre part, l'alcalinité influence la composition qualitative de la faune et de la flore lacustres. Nous avons signalé plus haut ce point qui ressort des recherches de BEADLE (1932*b*). L'augmentation de l'alcalinité au-dessus de certaines limites (= 0,023 N) empêche le développement de la majorité des constituants du plancton végétal et est donc néfaste. Il existe donc, dans les eaux équatoriales du moins, une valeur optimale de l'alcalinité de l'eau.

## 3. — INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE

Le même exemple du lac Ndalaga nous permet d'insister sur un autre phénomène. Nous avons, à plusieurs reprises déjà, exprimé l'avis qu'un renversement subit de la stratification d'un lac équatorial, un brassage total des eaux, peut amener dans l'épilimnion une quantité d'hydrogène sulfuré et d'acide carbonique telle qu'elle provoque la disparition, peut-être la mort, de la faune lacustre. On peut s'en étonner et objecter que dans les lacs tempérés le brassage annuel ne provoque pas de phénomènes semblables.

C'est un fait cependant que dans nombre de lacs équatoriaux ont été signalées des morts catastrophiques de poissons en des moments où l'eau du lac dégageait une odeur nette d'hydrogène sulfuré. Généralement, ces phénomènes sont attribués à des éruptions volcaniques sous-lacustres. Mais

ils s'expliquent beaucoup plus aisément et plus simplement par un brassage total du lac.

La différence à ce point de vue entre les lacs équatoriaux et les lacs tempérés doit être recherchée dans la température de l'hypolimnion. RUTNER (1931) a déjà attiré l'attention sur ce facteur. Nous nous permettons d'insister à nouveau sur ce point, dont les conséquences, sous tous rapports, sont énormes.

Un lac, quelle que soit sa situation géographique, est divisé, pendant la majeure partie de l'année, en deux masses séparées par un thermocline. Dans l'épilimnion, le phytoplancton se trouve dans les conditions optimales pour la photosynthèse. C'est la couche trophogène de THIENEMANN (1928). L'hypolimnion fait généralement partie de la couche dite tropholytique du lac, c'est-à-dire de la région où les processus de consommation par les animaux, de destruction par les bactéries l'emportent en intensité sur l'activité constructive des plantes. Les échanges entre ces deux régions du lac ne peuvent se faire qu'à certaines périodes de l'année, au moment où le lac est soumis à un brassage total.

Dans les régions tempérées, pendant la période de stratification estivale, soit plus de la moitié de l'année, l'épilimnion et, avec lui, la région productrice se trouvent à une température élevée (20 à 25°); la production y est intensive, tandis que l'hypolimnion et par conséquent la couche tropholytique conservent la température de 4° C. environ, c'est-à-dire des conditions glaciaires. Les destructions y sont ralenties. Sous l'équateur, le lac tout entier possède une température voisine de 25° C. La différence est essentielle. Les processus de destruction se produisent dans le fond d'un lac équatorial à une température supérieure de 20° environ de celle dont ils jouissent dans nos régions. On conçoit immédiatement l'influence de ce facteur sur l'activité des bactéries, par exemple, et sur l'intensité des combustions organiques en général. Suivant la loi de VAN 'T HOF, applicable aux phénomènes biologiques comme aux réactions chimiques, les processus tropholytiques doivent se produire dans les eaux équatoriales avec une intensité plus que quintuplée. Il s'accumule donc dans l'hypolimnion des lacs équatoriaux des quantités beaucoup plus considérables de substances de déchets que dans un lac situé dans nos régions.

Le fait est certainement très important pour la biologie lacustre équatoriale. Mais il a peut-être une portée plus générale encore. Le climat perpétuellement uniforme, perpétuellement chaud de l'équateur est considéré généralement comme favorable à un développement intense de la vie et par conséquent à une forte production biologique. Cette conception est exacte, mais doit cependant être complétée et en partie corrigée. Si la production se fait à un rythme accéléré, les destructions sont aussi plus rapides. Le résultat final n'est pas nécessairement meilleur que dans les régions tempérées.

#### 4. — ESSAI DE CLASSIFICATION DES EAUX ÉQUATORIALES

L'étude biologique des eaux équatoriales n'est qu'à ses débuts. Les renseignements positifs manquent à peu près totalement sur les conditions écologiques que présentent la plupart des lacs. Nous voulons cependant, à la lumière des faits actuellement connus, essayer d'établir les bases d'une classification biologique de ces eaux. Nous ne nous illusionnons pas sur le caractère provisoire de cette tentative. Nous croyons cependant apercevoir dès maintenant quelques-uns des principes qui guideront l'établissement d'un groupement définitif. Nous espérons qu'un essai de ce genre pourra servir de point de départ à des recherches futures.

Dans les paragraphes précédents, grâce à l'exemple extrême du Kivu, nous avons indiqué l'influence décisive de la circulation des eaux sur le cycle productif du lac. L'intensité et la fréquence des brassages totaux devront donc servir de base à cette classification. Il existe, en effet, trois types de lacs équatoriaux, suivant que leurs eaux sont entièrement mélangées chaque jour, ou seulement à des périodes intermittentes, ou jamais.

Le premier cas est celui de lacs trop peu profonds pour qu'il s'y développe un thermocline. C'est la situation la plus favorable. Nous en avons un exemple dans les baies et les régions peu profondes du lac Édouard. La circulation nocturne uniformise continuellement toute la masse. Elle ramène en surface les substances de déchet qui peuvent s'être formées dans le fond, sans leur donner le temps de s'y accumuler en quantités suffisantes pour devenir nuisibles. En même temps, elle remet à la disposition du phytoplancton les phosphates et les sels ammoniacaux qui ont été libérés par désintégration bactérienne. Par là elle favorise le développement des végétaux.

Dans le second cas, dont nous avons des exemples dans le Ndalaga et dans la région profonde du lac Édouard, l'eau est divisée en deux masses séparées par le thermocline. Pendant toute la période de stratification il peut s'accumuler dans l'hypolimnion des substances phosphorées et azotées qui sont ainsi momentanément soustraites du rayon d'action des organismes végétaux. La production en est d'autant diminuée. D'autre part, ainsi que nous l'avons exposé plus haut, il s'amasse également dans l'hypolimnion des substances-déchets dont la libération brutale en période de circulation peut être très néfaste pour la faune lacustre. Le lac est donc sujet à des fluctuations un peu analogues aux variations saisonnières de nos eaux tempérées. En période de stagnation il s'appauvrit progressivement. Un mouvement de circulation totale des eaux est suivi d'une pullulation des organismes végétaux, mais aussi d'une disparition momentanée d'une partie au moins de la faune.

Enfin, la troisième catégorie comprend les lacs à stagnation durable, à couche profonde « morte », dont le Kivu est le type. Leurs eaux de surface s'appauvrissent continuellement en substances organiques, au profit de la

couche stagnante. Si l'apport de substances nouvelles par les eaux de ruissellement n'est pas suffisant pour compenser cette perte, la production biologique doit être très pauvre.

Les deux premiers types que nous avons ainsi séparés se caractérisent donc par l'existence ou l'absence d'un thermocline. Or, la position du thermocline dans un lac équatorial est fonction de sa taille et de l'emprise du vent sur l'eau. Plus la superficie du lac est grande, plus le vent aura d'action sur lui et plus le thermocline sera profondément situé. Ceci a été démontré par RUTNER (1931) dans son mémoire sur les lacs de Java, Sumatra et Bali. Nos mesures indiquent que, sous ce rapport, les lacs africains sont comparables à ceux de l'archipel de la Sonde, ainsi qu'on pouvait s'y attendre d'ailleurs. En effet, les thermoclines du Kivu et de l'Édouard sont situés à 25 mètres dans un cas, à 40 dans l'autre. Dans ces mers intérieures le thermocline est beaucoup plus profondément situé que dans le petit Ndalaga, où il devait se trouver entre 5 et 10 mètres.

Deux lacs de profondeur égale, mais de superficie différente, rentreront donc dans la première ou la seconde catégorie, suivant leur grandeur. Nous en trouvons un exemple immédiat en comparant le Ndalaga et les baies du Victoria, sur lesquelles GRAHAM (1929) et WORTHINGTON (1930) nous donnent des renseignements très complets. Les deux eaux ont approximativement la même alcalinité : 0,0017 N dans le Victoria et 0,0021 N dans le Ndalaga, et la même profondeur : un peu plus de 20 mètres. Mais les énormes baies du Victoria sont soumises à un brassage journalier. Pendant la nuit, le pH et vraisemblablement tous les caractères de l'eau s'uniformisent dans toute la masse. C'est que, grâce à l'immensité du lac, le thermocline est situé plus profondément que 20 mètres et que toute l'eau des baies fait partie de l'épilimnion.

Dans le Ndalaga, par contre, où les dosages d'oxygène dissous indiquent que le thermocline, en période de stratification, devrait être situé à une profondeur inférieure à 10 mètres, l'hypolimnion comprend une partie importante du lac, vraisemblablement environ la moitié du volume des eaux. Aussi, il s'y était accumulé une quantité d'acide carbonique suffisante pour modifier complètement la réaction de l'eau de tout le lac, en période de circulation, et abaisser son pH aux environs de 7. Le même phénomène de brassage avait réduit considérablement la concentration en oxygène des eaux de surface par le mélange subit avec une masse dépourvue de ce gaz.

De la différence de grandeur des deux lacs découle la différence dans la position du thermocline, avec toutes ses conséquences sur le cycle de production biologique. Il s'ensuit, par exemple, que les baies du Victoria abritent une population permanente de poissons, tandis que le Ndalaga ne les accueille qu'en saison de pluies.

Par conséquent, la grandeur d'un lac équatorial, ou, plus exactement, le rapport entre sa superficie et sa profondeur joue un rôle primordial dans son cycle biologique. On sait que THIENEMANN (1928) a montré que, dans les régions tempérées, la profondeur moyenne d'un lac décide de sa capacité

de production. Pour les régions équatoriales, nous arrivons donc à une conclusion analogue, quoique légèrement différente, puisque nous invoquons aussi comme un des facteurs principaux la forme de la cuvette lacustre.

Par conséquent, le schéma que nous proposons réunit dans une même catégorie des lacs de superficies très diverses. Or, un lac de faible superficie reçoit proportionnellement beaucoup plus de substances organiques et minérales par les eaux de ruissellement et les affluents qu'un lac de taille plus forte. Cet apport de substances étrangères augmente sa capacité de production. De plus, l'influence de la végétation littorale devient évidemment d'autant plus sensible dans la production totale du lac, que les rives sont plus étendues proportionnellement à la surface du lac. Nous devons donc diviser les trois grands groupes que nous avons établis, suivant la superficie de l'eau : en grands et petits lacs.

Sur cette première division des lacs équatoriaux, basée en réalité sur la forme de la cuvette lacustre et sa grandeur, sur des caractères géographiques, par conséquent, doit se greffer une seconde division basée sur les propriétés de l'eau. Sur ce point, il faut avouer qu'à l'heure actuelle il reste beaucoup à apprendre. Trop peu de lacs africains ont été étudiés de façon suffisante pour qu'on puisse déterminer le mode d'action et l'influence exacte des divers facteurs chimiques.

Le seul caractère de l'eau, dont nous commençons à connaître l'effet, est l'alcalinité. C'est d'ailleurs certainement un des plus importants. Une eau trop faiblement alcaline est mal tamponnée. Sa réaction variera dans de grandes limites, suivant l'activité des organismes végétaux et animaux. Trop fortement alcaline, elle devient un milieu non colonisable par la plupart des êtres vivants. Le cas le plus favorable sera évidemment l'eau de type intermédiaire, avec un pouvoir tampon assez considérable, sans que l'alcalinité devienne nocive aux habitants du lac.

Partant de ces principes nous avons établi le tableau suivant, qui forme le schéma de notre essai de classification. Nous y avons distribué les lacs équatoriaux d'Afrique pour lesquels existent quelques renseignements positifs.

Évidemment, un grand nombre de cases de ce tableau restent vides. Il est très possible d'ailleurs que certains types n'existent pas dans la nature. Seule une exploration progressive des lacs africains pourra nous renseigner sur ce point.

Ce groupement des lacs africains nous paraît répondre assez exactement aux conditions réelles. Les catégories qu'il établit représentent en effet des types très différents de productivité lacustre. Les conditions sont certainement mauvaises dans deux cas : les lacs à couche « morte », qui forment le type des lacs pauvres, et ensuite les lacs à eau très alcaline, quelle que soit d'ailleurs leur stratification, car ils ne peuvent être colonisés que par des organismes spécialistes.

Par contre, la production sera intensive dans les lacs sans thermocline, à eau faiblement et moyennement alcaline. Parmi ceux-ci, les plus productifs

seront certainement les petits lacs, dans lesquels l'apport de substances étrangères est proportionnellement plus grand.

Les eaux divisées par un thermocline seront en général moins productives, quoique la population, principalement la population végétale, puisse être très abondante dans les petits lacs de ce groupe.

Nous pouvons également envisager ce tableau à un autre point de vue, celui de la colonisation des eaux par des organismes particulièrement inté-

Alcalinité de l'eau.		Faible.	Moyenne.	Forte.
Lacs	Superficie :			
	Faible.	Naivasha.	Baringo.	
Sans thermocline	Grande.	George. Baies du Victoria. Moëro?	Édouard (région peu profonde). Albert? Rodolphe?	
	Faible.	Ndalaga. Bunyonî.		Lac-cratère de Naivasha.
Avec thermocline	Grande.	Victoria (centre du lac).	Édouard (centre du lac). Tanganika?	
	Faible.			
A couche «morte»	Grande.		Kivu.	

ressants pour l'homme, les poissons. Dans ce cas, nous devons affirmer que les seuls lacs véritablement favorables sont les lacs sans thermocline. Qu'on nous comprenne bien : nous ne voulons absolument pas dire que la vie des poissons soit impossible dans les autres. Loin de là. Mais les poissons s'y trouveront toujours sous la menace d'un apport brutal de substances nocives qui pourrait supprimer toute la population. Dans le Victoria, dans l'Édouard, dans le Kivu, dans le Tanganika existent évidemment des poissons; mais n'oublions pas que dans ces lacs, les baies, les régions peu profondes constituent des réserves abritées contre les effets nocifs d'un brassage

des eaux et d'où peut repartir une nouvelle colonisation après un phénomène destructif de cet ordre. Par contre, des lacs du type du Bunyoni, du Ndalaga, à parois tellement accores que la section du lac ne diminue guère avec la profondeur, ne possèdent pas de région protectrice. Les poissons sont détruits en période de circulation des eaux, sauf probablement les espèces plus ou moins adaptées à la respiration aérienne. On peut en tirer une conséquence pratique : un essai d'introduction de poissons comestibles dans des eaux de ce genre est voué à un échec, sauf si l'on utilise des formes capables de supporter l'effet néfaste du brassage, telles que le Protoptère et certains Clarias.

#### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

1° La stagnation permanente des couches profondes diminue la productivité du Kivu. Elle appauvrit continuellement en substances organiques les couches superficielles, les seules productrices, au profit de la couche « morte » profonde.

2° La productivité de l'Édouard est favorisée par le brassage fréquent de l'eau, qui empêche l'accumulation dans les couches profondes de substances utilisables par le phytoplancton, ainsi que de produits susceptibles de détruire la faune, s'ils sont brusquement répandus dans le restant du lac.

3° Dans le Ndalaga, les brassages totaux sont périodiques. Il en résulte une forte productivité, mais aussi une disparition d'une partie de la faune, en période de circulation des eaux.

4° Il existe dans les eaux équatoriales une valeur optimale de l'alcalinité. Trop faible, elle n'assure pas à l'eau un pouvoir tampon suffisant. Trop forte, elle empêche le développement de certaines espèces animales et végétales.

5° La différence de température entre la zone équatoriale et les régions tempérées se marque, dans les lacs, surtout dans l'hypolimnion. La haute température de cette région influence donc proportionnellement plus les processus tropholytiques. Il ne résulte donc pas nécessairement de la température constamment élevée de l'équateur une augmentation de la capacité de production biologique.

6° La classification biologique des lacs équatoriaux devra être basée sur la fréquence des brassages totaux et sur l'alcalinité de l'eau. Nous proposons un schéma de classification en fonction de ces deux facteurs.

## INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- ALSTERBERG, G. (1926), Die Winckler'sche Bestimmungsmethode für in Wasser gelösten, elementären Sauerstoff, sowie ihre Anwendung in Anwesenheit oxydierbarer Substanzen. (*Biochem. Zeitschr.*, CLXX.)
- BEADLE, L. C. (1932a), Observations on the bionomics of some East African Swamps. (*Journ. of the Linnean Soc. Zoology*, XXXVIII.)
- (1932b), The waters of some East African Lakes in relation to their fauna and flora. (*Journ. Lin. Soc. Zool.*, XXXVIII.)
- BOURCART, F. E. (1906), *Les lacs alpins suisses. Etude chimique et physique*. Genève.
- BREHM, V. (1912), Die Cladoceren. (*Wiss. Erg. d. Deut. Zentr. Afriku Exp.*, 1907-1908, III.)
- BOUTAKOFF, N. (1933), Une nouvelle considération confirmant l'écoulement primitif du lac Kivu vers le Nord. (*Bull. Soc. belge de Géol., Paléont. et Hydrol.*, XLIII.)
- COLLET, L. W. (1925), *Les lacs. Leur mode de formation, leurs eaux, leur destin*. Paris.
- CUNNINGTON, W. A. (1920), The fauna of the African Lakes. (*Proc. Zool. Soc. London.*)
- × × DAHL, K. (1930), A Study on the supplies of fish-food organisms in norwegian Lakes. (*Norsk. Vidensk. Akad. Oslo Mat. Naturv. Klasse.*)
- DELEBEQUE, A. (1898), *Les lacs français*. Paris.
- × × DELHAYE, F. et SALÉE, A. (1923), Le Graben central africain entre le lac Tanganika et le lac Albert-Edouard. (*C. R. Ac. Sc.*, Paris, CLXXVI.)
- FINDENEGG, I. (1933), Alpenseen ohne Volzkirkulation. (*Intern. Rev. d. ges. Hydr. u. Hydr.*, XXVIII.)
- (1934), Zur Frage der Entstehung pseudoeutropher Schichtungsverhältnisse in den Seen. (*Arch. f. Hydroh.*, XXVII.)
- (1935), Limnologische Untersuchungen im Kärnter Seengebiete. (*Int. Rev. d. ges. Hydr. u. Hydr.*, XXXII.)
- × × GRAHAM, M. (1929), The Victoria Nyanza and its Fisheries. (*Crown Agents for the Colonies*, London.)
- GRAN, R. H. (1933), Studies on the biology and chemistry of the Gulf of Maine. (*Biol. Bull.*, LXIV.)
- GREGORY, J. W. (1921), *Rift valleys and geology of East-Africa*. London.
- GOOR, G. (1918), *Carte de navigation du lac Kivu*. Bruxelles.
- × × JENKIN, P. M. (1932), Reports on the Percy Sladen Expedition to some Rift-Valley Lakes in Kenya in 1929. I. (*Ann. and Mag. Nat. Hist.* [10], IX.)
- × JUDAY, C. (1915), Limnol. studies on some lakes in Central-America. (*Trans. Wisconsin Acad. Sc.*, XVIII.)
- (1928), Phosphorus content of lake waters of Northern Wisconsin. (*Trans. Wisconsin Acad. Sc.*, XXVIII.)
- KOLRAUSCH und HOLLBORN (1916), *Das Leitvermögen der Electrolyte*. 2<sup>e</sup> éd., Berlin.
- MAUCHA, R. (1930), Hydrochemische Methoden in der Limnologie. (*Die Binnengewässer*, XII, Stuttgart.)
- MOORE, J. E. S. (1903), *The Tanganyika Problem*. London.
- MULLER, H. (1933), Limnologische Feldmethoden. (*Int. Rev. d. ges. Hydr. u. Hydr.*, XXVIII.)
- OHLE, W. (1936), Zur Vervollkommung der Hydrochemischen Analyse. I. (*Angewandte Chemie*, XLIX.)

- PELSENEER, P. (1906), Halolimnic fauna and the Tanganyika Problem. (*Report British Association.*)
- RAKESTRAW, N. W. (1933), Studies on the biology and chemistry of the gulf of Maine. (*Biol. Bull.*, LXIV.)
- RUTNER, F. (1931), Hydrochemische und Hydrographische Beobachtungen auf Java, Sumatra und Bali. (*Arch. f. Hydrob.*, Suppl. VIII. *Tropische Binnengewässer.*)
- (1933), Untersuchungen über die biochemische Schichtung in einige Seen der Ostalpen. (*Geogr. Jahr. Osterreich*, XVI.)
- SALEE, A. (1927), Le détournement du lac Tanganika. (*Ann. Soc. Sc. Bruxelles*, XLVII.)
- (1928), Constitution géologique du Ruanda Oriental. (*Mém. Inst. Géol. Univ. de Louvain*, V, 2.)
- SCAËTTA, H. (1933), Les précipitations dans le bassin du Kivu et dans les zones limitrophes du fossé tectonique. (*Mém. Inst. Roy. Col. Belge*, in-4°, II, 2.)
- (1934), Le climat écologique de la dorsale Congo-Nil. (*Mém. Inst. Roy. Col. Belge*, in-4°, III.)
- SCHMIDT, W. (1915), Ueber die Energiegehalt der Seen. (*Int. Rev. d. ges. Hydr. u. Hydr.*, Hydr. Supp. 2, VI.)
- (1928), Ueber Temperatur und Stabilitätsverhältnisse von Seen. (*Geographiska Annaler*, CII.)
- × SMITH, F. A. (1881), On a collection of shells from lake Tanganyika and Nyassa and other localities in East Africa. (*Proc. Zool. Soc. London.*)
- × STAPPERS, L. (1913), Sondages dans le lac Tanganika. (*Revue congolaise.*)
- (1914), Recherches bathymétriques sur les lacs Moëro et Tanganika. (*Ann. Biol. lacustre*, VII.) p 53
- — (1915), Composition chimique des eaux de surface des lacs Moëro et Tanganika. (*Renseignements de l'Office Colonial*, Bruxelles.) p 179
- THIEMEYER, A. (1913), Physikalische und chemische Untersuchungen in den Maaren der Eifel. I. (*Verh. d. naturh. Ver. d. preuss. Rheinlande und Westfalens*, LXX.)
- (1928), Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen Seen. (*Binnengewässer*, IV, Stuttgart.)
- (1930), Trophische Binnengewässer, supplément à *Arch. f. Hydrob.*
- TREADWELL (1923), Kurses Lehrbuch d. analytischen Chemie. (*Deutsche WIEN.*)
- TILLMANS, J. (1919), Ueber die quantitative Bestimmung der Reaktion in natürlichen Wässern. (*Zeits. f. Unters. d. Nahrungs- u. Genussmittel*, XXXVIII.)
- WORTHINGTON, E. B. (1929), Report on the fishing survey of Lakes Albert and Kioga. (*Crown Agents for the Colonies*, London.)
- (1930), Observations on the temperature, Hydrogen-ion concentration and other physical conditions of the Victoria and Albert Nyanzas. (*Int. Rev. d. ges. Hydr. u. Hydr.*, XXV.)
- (1932), A report on the Fisheries of Uganda. (*Crown Agents f. the Colonies*, London.)
- WORTHINGTON, E. B. and BEADLE, L. C. (1932), Thermoclines in Tropical Lakes. (*Nature*, CXXIX.)
- WORTHINGTON, S. and E. B. (1933), *Inland Water of Africa*. London.
- YOSHIMURA, S. (1933), Limnology of three Crater lakes of Oga Peninsula, Akita Prefecture. (*Proc. Imp. Acad.*, Tokyo, IX.)
- Ministère des Colonies*, Bruxelles. Carte au 1/100.000<sup>e</sup> du Kivu et du Ruanda-Urundi, feuilles nos 1a, 2a, 1, 2, 5, 9, 11, 10, 15 et 19.
- Uganda-Congo Boundary Commission of 1906-1908*. Map of Lake Albert-Edward.

## ANNEXE N° 1

## FRAGMENT DU JOURNAL DE BORD

Trajet 30 : N'Goma-Rubaba. — Date : 3-II-36.

Embarcation : baleinière à moteur.

Horaire	Durée		OBSERVATIONS	Profondeur	Distances		REMARQUES
	du trajet	des arrêts			mesurées	calculées	
14 h. 23	—	—	Départ d'NGoma : ancien camp de la mission cartographique.	mètres	mètres	mètres	1 sondage toutes les 5 minutes. Direction : Cap Rubaba.
14 h. 24	5'	—	Arrêt. <i>Sondage 122</i> . . . . .	180	—	775	
14 h. 28	—	44'	Mise en marche.				
14 h. 47	40'	—	Arrêt. <i>Sondage 123</i> . . . . .	170	—	1.550	
15 h. 12	—	25'	Mise en marche.				
15 h. 17	15'	—	Arrêt. <i>Sondage 124</i> . . . . .	168	—	2.325	
15 h. 32	—	15'	Mise en marche.				
15 h. 37	20'	—	Arrivée au cap Rubaba . .	—	3.100	—	Vitesse moyenne : 9 <sup>km</sup> 300.
1 h. 14	20'	54'					

Trajet 31a : Kisenyi-Wahu. — Date : 6-II-36.

Embarcation : S.S. *Bata*.

Horaire	Durée		OBSERVATIONS	Profondeur	Distances		REMARQUES
	du trajet	des arrêts			calculées	mesurées	
6 h. 24	—	—	Départ de Kisenyi (port).	mètres	mètres	mètres	Direction : He Wahu.
6 h. 30	6'	—	Alignement : Nzulu-côte N. Keshero . . . . .	—	1.000	—	Vitesse moyenne : 10 km.
6 h. 39	15'	—	Alignement : NGoma $\Delta$ -Rushayo $\odot$ . . . . .	—	2.700	—	
6 h. 40	16'	—	Arrêt. <i>Sondage 125</i> . . . . .	302	—	2.900	
6 h. 49	—	9'	Mise en marche.				
7 h. 04	31'	—	Arrêt. <i>Sondage 126</i> . . . . .	338	—	5.700	
7 h. 14	—	10'	Mise en marche.				
7 h. 22	39'	—	Alignement : Ngoma sommet $\Delta$ - bord E. cratère Niamlagira . . . . .	—	7.100	—	Vitesse moyenne : 10 <sup>km</sup> 775.
	—	41'					

## ANNEXE N° 1 (SUITE)

Horaire	Durée		OBSERVATIONS	Profondeur	Distances		REMARQUES
	du trajet	des arrêts			mesurées	calculées	
7 h. 30	47'	—	Arrêt. <i>Sondage 127</i> . . . . .	mètres 437	mètres	mètres 8.600	
7 h. 41	—	41'	Mise en marche.				
7 h. 56	62'	—	Arrêt. <i>Sondage 128</i> . . . . .	445	—	11.300	
8 h. 08	—	42'	Mise en marche.				
8 h. 12	66'	—	Alignement : Ngoma sommet $\Delta$ - bord W. cratère Niamlagira . . . . .	—	12.000	—	Vitesse moyenne : 10 <sup>km</sup> 800.
8 h. 24	78'	—	Arrêt. <i>Sondage 129</i> . . . . .	453		14.100	
8 h. 35	—	41'	Mise en marche.				
8 h. 50	93'	—	Arrêt. <i>Sondage 130</i> . . . . .	451	—	16.900	
9 h. 01	—	41'	Mise en marche.				
9 h. 16	108'	—	Arrêt. <i>Sondage 131</i> . . . . .	439	—	19.600	
9 h. 28	—	12'	Mise en marche.				
9 h. 35	115'	—	Alignement : S. ile Kitanga - N. ile Idjwi . . . . .	—	20.800	—	Vitesse moyenne : 10 <sup>km</sup> 800.
9 h. 43	123'	—	Arrêt dans l'alignement : S. Kitanga-sommet S. Mukondo. <i>Sondage 132</i> . . . . .	372	22.300	—	Vitesse moyenne : 10 <sup>km</sup> 800.
9 h. 54	—	41'	Mise en marche.				
10 h. 09	138'	—	Arrêt. <i>Sondage 133</i> . . . . .	45	—	25.000	
10 h. 41	—	2'	Mise en marche.				
10 h. 49	146'	—	Arrivée à 100 m. de la rive Nord de l'île Wahu . . . . .	—	26.400	—	Vitesse moyenne : 10 <sup>km</sup> 850.
3 h. 55	146'	89'					

Trajet 31b : Wahu-Bunyunu. — Date : 6-II-36.

Horaire	Durée		OBSERVATIONS	Profondeur	Distances		REMARQUES
	du trajet	des arrêts			mesurées	calculées	
10 h. 19	—	—	Départ de Wahu (extrémité du trajet 31 <sup>a</sup> ).	mètres	mètres	mètres	Direction : Ile Bunyunu.
10 h. 34	45'	—	Arrêt. <i>Sondage 134</i> . . . . .	208	—	3.050	
10 h. 41	—	7'	Mise en marche.				
10 h. 52	26'	—	Arrivée devant la rive N. de l'île Bunyunu . . . . .	—	5.300	—	Vitesse moyenne : 12 <sup>km</sup> 225.
33'	26'	7'					

## ANNEXE N° 1 (SUITE)

Trajet 31c : Bunyunyu-Tshegera. — Date : 6-II-36.

Horaire	Durée		OBSERVATIONS	Profondeur	Distances		REMARQUES
	du trajet	des arrêts			mesurées	calculées	
10 h. 52	—	—	Départ de Bunyunyu (extrémité du trajet 31 <sup>b</sup> ).	mètres	mètres	mètres	Direction : ile Tshegera.
11 h. 07	15'	—	Arrêt. <i>Sondage 135</i> . . . . .	386	—	2.950	
11 h. 18	—	11'	Mise en marche.				
11 h. 34	31'	—	Arrêt dans l'alignement : Kasongolele ☉ -Sekere ☉ . <i>Sondage 136</i> . . . . .	462	6.400	—	Vitesse moyenne : 11 <sup>km</sup> 800.
11 h. 47	—	13'	Mise en marche.				
12 h. 02	46'	—	Arrêt. <i>Sondage 137</i> . . . . .	473	—	9.050	
12 h. 16	—	14'	Mise en marche.				
12 h. 31	61'	—	Arrêt. <i>Sondage 138</i> . . . . .	474	—	12.000	Tempête venant du Sud.
12 h. 47	—	16'	Mise en marche.				Travail abandonné.
14 h. 14	148'	—	Arrivée à l'intérieur de la baie de l'ile Tshegera.				
3 h. 22	148'	54'					

Trajet 34 : Ngoma (ancien camp de la mission cartographique) vers Wahu.

Date : 14-II-36.

Embarcation : balcinère à moteur.

Horaire	Durée		OBSERVATIONS	Profond.	Distances calculées	REMARQUES
	du trajet	de l'arrêt				
13 h. 01	—	—	Départ de la rive de Ngoma.			Direction : ile Wahu.
13 h. 02 1/2	1 1/2'	—	Arrêt. <i>Sondage 159</i> . . . . .	166 m.	232 m. 5	
13 h. 07 1/2	—	5'	Mise en marche.			Trajet effectué avec le même bateau que le trajet n° 30. La vitesse constatée ce jour-là a été admise :
13 h. 09	3'	—	Arrêt. <i>Sondage 160</i> . . . . .	245 m.	465 m.	9 <sup>km</sup> 300.
13 h. 16	—	7'	Mise en marche.			
13 h. 17 1/2	4'	—	Arrêt. <i>Sondage 161</i> . . . . .	287 m.	697 m. 50	
13 h. 26 1/2	—	9'	Mise en marche.			
13 h. 28	6'	—	Arrêt. <i>Sondage 162</i> . . . . .	308 m.	930 m.	
13 h. 38	—	10'	Mise en marche.			Retour en 6 minutes.
37'	6'	31'				

## ANNEXE N° 1 (SUITE)

**Trajet 35 :** Ngoma (camp mission cartographique) vers Wahu. — Date : 15-II-36.

Embarcation : baleinière à moteur.

Horaire	Durée		OBSERVATIONS	Profondeur	Distances calculées	REMARQUES
	du trajet	de l'arrêt				
9 h.27	—	—	Départ de la rive Ngoma (camp).			Direction : sommet Wahu. Vitesse appréciée comme la précédente.
9 h.32	5'	—	Arrêt. <i>Sondage 163</i> . . . . .	297 m.	775 m.	
9 h.43	—	11'	Mise en marche.			
9 h.48	10'	—	Arrêt. <i>Sondage 164</i> . . . . .	349 m.	1.550 m.	
9 h.59	—	11'	Mise en marche.			
10 h.04	15'	—	Arrêt. <i>Sondage 165</i> . . . . .	386 m.	2.325 m.	Retour vers Kisenyi.
37'	15'	22'				

**Trajet 36 :** Ngoma (camp mission cartographique) vers Wahu. — Date : 15-II-36.

Embarcation : pirogue.

OBSERVATIONS	Profondeurs.	Distances.	REMARQUES
<i>Sondage 166</i> . . .	35 m.	45 m.	Série de sondages effectués en pirogue, à la sonde à main. Un sondage a eu lieu tous les 20 coups de pagaie, ce qui équi- vaut à un déplacé- ment de 45 m. (mesu- ré le long de la côte).
<i>Sondage 167</i> . . .	59 m.	90 m.	
<i>Sondage 168</i> . . .	95 m.	135 m.	
<i>Sondage 169</i> . . .	124 m.	180 m.	
<i>Sondage 170</i> . . .	156 m.	225 m.	
<i>Sondage 171</i> . . .	173 m.	270 m.	

## ANNEXE N° 2

## LISTE ET SITUATION DES SONDAGES DANS LE LAC KIVU

N°	Prof.	Long. Est	Lat. Sud	N°	Prof.	Long. Est	Lat. Sud
1	260 m.	29° 13' 27"	1° 42' 15"	28	113 m.	28° 55' 35"	1° 59' 35"
2	300 m.	29 12 43	1 42 00	29	212 m.	28 56 34	1 59 01
3	210 m.	29 09 33	1 39 37	30	346 m.	28 57 38	1 58 16
4	250 m.	29 09 03	1 39 43	31	215 m.	28 57 45	2 00 54
5	296 m.	29 13 00	1 42 12	32	264 m.	28 58 27	2 01 18
6	352 m.	29 03 36	1 46 46	33	117 m.	28 59 12	2 02 12
7	245 m.	29 00 49	1 50 36	34	208 m.	28 57 52	2 04 24
8	221 m.	29 00 25	1 52 17	35	233 m.	28 57 07	2 05 10
9	368 m.	29 01 21	1 52 36	36	213 m.	28 56 33	2 06 03
10	342 m.	29 02 16	1 52 56	37	71 m.	28 54 09	2 07 30
11	237 m.	29 03 19	1 52 53	38	67 m.	28 54 36	2 08 31
12	347 m.	29 04 20	1 53 07	39	117 m.	28 55 07	2 09 29
13	125 m.	29 05 28	1 55 13	40	192 m.	28 55 18	2 10 34
14	156 m.	29 06 13	1 56 20	41	53 m.	28 52 37	2 13 21
15	247 m.	29 07 09	1 55 56	42	120 m.	28 53 18	2 12 56
16	98 m.	29 04 46	1 55 08	43	108 m.	28 54 55	2 11 25
17	223 m.	29 04 20	1 54 37	44	191 m.	28 56 03	2 09 43
18	162 m.	29 02 03	1 57 37	45	203 m.	28 56 52	2 09 02
19	213 m.	29 01 04	1 57 58	46	206 m.	28 57 50	2 08 17
20	362 m.	29 00 10	1 58 19	47	181 m.	28 58 45	2 07 34
21	362 m.	28 59 29	1 58 36	48	142 m.	28 59 34	2 06 51
22	361 m.	28 58 28	1 59 00	49	49 m.	29 00 25	2 03 12
23	337 m.	28 57 17	1 59 24	50	116 m.	29 01 10	2 06 23
24	32 m.	28 54 41	2 02 48	51	103 m.	29 00 53	2 07 08
25	24 m.	28 54 32	2 02 36	52	91 m.	29 00 35	2 07 53
26	90 m.	28 54 42	2 01 20	53	72 m.	29 00 17	2 08 24
27	91 m.	28 54 56	2 00 27	54	75 m.	28 59 54	2 09 33

## ANNEXE N° 2 (SUITE)

N°	Prof.	Long. Est	Lat. Sud	N°	Prof.	Long. Est	Lat. Sud
55	82 m.	28°59' 31"	2°10' 30"	83	163 m.	29°01' 18"	2°17' 10"
56	72 m.	28 58 56	2 13 18	84	146 m.	29 02 07	2 17 42
57	70 m.	28 59 25	2 13 35	85	228 m.	29 04 48	1 17 20
58	4,5m.	28 58 57	2 13 57	86	237 m.	29 02 58	2 17 21
59	154 m.	28 58 41	2 15 04	87	110 m.	29 03 07	2 18 18
60	57 m.	28 58 03	2 15 11	88	169 m.	29 04 02	2 18 57
61	39 m.	28 58 49	2 15 12	89	191 m.	29 03 22	2 19 47
62	83 m.	28 59 18	2 17 32	90	153 m.	29 03 32	2 21 14
63	79 m.	28 58 32	2 18 29	91	91 m.	29 03 30	2 22 32
64	54 m.	28 58 27	2 19 01	92	62 m.	29 03 21	2 23 11
65	70 m.	28 58 17	2 19 28	93	51 m.	29 02 45	2 23 59
66	65 m.	28 57 28	2 20 20	94	136 m.	29 02 39	2 17 30
67	75 m.	28 57 57	2 20 49	95	285 m.	29 04 45	2 17 34
68	69 m.	28 58 44	2 20 49	96	199 m.	29 05 43	2 17 37
69	41 m.	28 59 40	2 20 49	97	107 m.	29 06 38	2 17 39
70	30 m.	28 59 52	2 19 33	98	60 m.	29 07 37	2 17 17
71	149 m.	28 59 53	2 18 18	99	43 m.	29 08 07	2 17 30
72	161 m.	28 59 54	2 17 25	100	42 m.	29 07 57	2 16 10
73	121 m.	28 59 29	2 16 39	101	117 m.	29 07 52	2 15 08
74	42 m.	28 56 57	2 20 20	102	320 m.	29 08 51	2 14 30
75	56 m.	28 56 12	2 20 25	103	185 m.	29 09 44	2 13 56
76	56 m.	28 55 07	2 20 49	104	91 m.	29 10 06	2 12 42
77	58 m.	28 54 33	2 21 08	105	261 m.	29 08 48	2 12 23
78	130 m.	28 59 02	2 19 39	106	362 m.	29 07 46	2 12 10
79	154 m.	28 59 31	2 19 05	107	250 m.	29 06 49	2 11 49
80	95 m.	29 00 16	2 18 48	108	245 m.	29 06 00	2 11 39
81	149 m.	29 00 42	2 17 28	109	249 m.	29 07 10	2 09 28
82	163 m.	29 00 48	2 17 07	110	339 m.	29 08 13	2 09 26

## ANNEXE N° 2 (SUITE)

N°	Prof.	Long. Est	Lat. Sud	N°	Prof.	Long. Est	Lat. Sud
111	352 m.	29°09' 18"	2°09' 22"	138	474 m.	29°00' 48"	1°47' 04'
112	297 m.	29 10 11	2 10 09	139	394 m.	29 12 25	1 42 29
113	172 m.	29 14 22	2 07 30	140	436 m.	29 11 09	1 43 03
114	234 m.	29 16 14	2 04 27	141	454 m.	29 09 44	1 43 23
115	252 m.	29 16 50	2 03 30	142	454 m.	29 08 20	1 43 40
116	262 m.	29 18 04	2 03 21	143	435 m.	29 06 29	1 44 05
117	47 m.	29 20 16	2 03 15	144	336 m.	29 04 37	1 41 34
118	71 m.	29 19 46	2 03 04	145	475 m.	29 06 21	1 46 32
119	131 m.	29 18 45	2 02 18	146	474 m.	29 08 01	1 47 23
120	267 m.	29 19 42	2 01 36	147	464 m.	29 09 40	1 48 44
121	326 m.	29 16 35	2 00 55	148	461 m.	29 11 17	1 49 04
122	180 m.	29 14 37	1 42 23	149	444 m.	29 12 56	1 49 55
123	170 m.	29 14 45	1 42 46	150	395 m.	29 14 36	1 50 49
124	168 m.	29 14 56	1 43 11	151	306 m.	29 14 43	1 53 19
125	302 m.	29 14 38	1 43 32	152	395 m.	29 13 05	1 54 14
126	338 m.	29 13 56	1 44 55	153	434 m.	29 11 19	1 55 40
127	437 m.	29 13 15	1 46 23	154	181 m.	29 09 36	1 56 06
128	455 m.	29 12 38	1 47 44	155	385 m.	29 08 50	1 58 31
129	453 m.	29 11 55	1 49 03	156	405 m.	29 10 56	1 59 04
130	451 m.	29 11 19	1 50 27	157	404 m.	29 13 59	1 59 36
131	439 m.	29 10 38	1 51 46	158	377 m.	29 15 10	2 00 11
132	372 m.	29 10 03	1 53 06	159	466 m.	de 232,50 m. en 232,50 m. à partir de la rive sur une	
133	45 m.	29 09 23	1 54 24	160	245 m.	ligne joignant l'ancien	
134	208 m.	29 07 39	1 54 17	161	287 m.	camp de la mission carto-	
135	386 m.	29 06 43	1 52 01	162	308 m.	graphique à Ngoma, au	
136	462 m.	29 06 44	1 50 17	163	297 m.	sommet de l'île Wahu.	
137	473 m.	29 06 45	1 48 41	164	349 m.	29°14' 20"	1°42' 24"
						29 14 13	1 42 48

## ANNEXE N° 2 (SUITE)

N°	Prof.	Long. Est	Lat. Sud	N°	Prof.	Long. Est	Lat. Sud
165	386 m.	29°14' 02''	1°43' 12''	184	478 m.	29°06' 51''	1°44' 39''
166	35 m.			185	333 m.	29 05 11	1 43 23
167	59 m.	de 45 m. en 45 m. à partir de la rive sur une ligne joi- gnant l'ancien camp de la mission cartographique à Ngoma, au sommet de l'île Wahu.		186	131 m.	29 02 37	1 35 36
168	95 m.			187	121 m.	29 01 18	1 36 12
169	124 m.			188	61 m.	29 05 00	1 36 49
170	156 m.			189	16 m.	29 05 17	1 37 04
171	173 m.			190	16 m.	29 05 23	1 37 14
172	384 m.	29°13' 32''	1°42' 30''	191	17 m.	29 05 32	1 37 16
173	286 m.	29 12 30	1 41 40	192	75 m.	29 05 43	1 37 16
174	375 m.	19 11 39	1 41 02	193	92 m.	29 03 30	1 37 29
175	330 m.	29 10 51	1 40 21	191	65 m.	29 02 46	1 36 53
176	266 m.	29 08 55	1 39 58	195	140 m.	29 03 31	1 36 39
177	286 m.	29 07 41	1 40 10	196	75 m.	29 02 55	1 37 48
178	305 m.	29 06 23	1 40 19	197	61 m.	29 02 25	1 38 59
179	128 m.	29 06 35	1 38 45	198	42 m.	29 01 50	1 40 14
180	20 m.	29 07 00	1 38 44	199	23 m.	29 01 18	1 41 23
181	290 m.	29 07 02	1 40 03	200	137 m.	19 03 47	1 36 05
182	327 m.	29 06 59	1 41 12	201	102 m.	29 06 30	1 36 05
183	437 m.	29 06 56	1 42 21	202	123 m.	20 07 40	1 38 38

## ANNEXE N° 3

## LAC KIVU. — TEMPÉRATURE DE L'EAU DE SURFACE

LOCALITÉ	Date	Heure	Temp. eau	Temp. air	ETAT DU CIEL ET DU LAC
	1935				
Ngoma (port) . . . . .	8-IV	11.	24.3	—	
Ngoma (sond. 1) . . . .	10-IV	11.	24.1	—	Soleil, vagues, ciel $\frac{1}{2}$ couvert.
Ngoma (sond. 2) . . . .	15-IV	12	25.1	—	Soleil, vagues, ciel $\frac{1}{2}$ couvert.
Ngoma (port) . . . . .	19-IV	7.	23.4	—	Ciel $\frac{1}{4}$ couvert, tempête.
	—	8.	23.6	—	Ciel $\frac{1}{4}$ couvert, soleil, tempête.
	—	9.	23.8	—	Ciel $\frac{3}{4}$ couvert, tempête.
	—	10.	24.3	—	Ciel $\frac{3}{4}$ couvert, tempête.
	—	11.	24.5	—	Ciel $\frac{1}{4}$ couvert, soleil, tempête.
	—	12.	25.6	—	Ciel $\frac{3}{4}$ couvert, tempête.
	—	13.	26.1	—	Ciel $\frac{1}{2}$ couvert, soleil, tempête.
	—	14.	26	—	Ciel $\frac{1}{2}$ couvert, soleil, tempête.
	—	15.	25.8	—	Ciel $\frac{1}{2}$ couvert, soleil, tempête.
	—	16.	25.4	—	Ciel $\frac{1}{2}$ couvert, soleil, tempête.
	—	17.	25.3	—	Ciel $\frac{1}{2}$ couvert, soleil, tempête.
Ngoma (sond. 5) . . . .	13-IX	9.	23.20	—	Ciel $\frac{1}{2}$ couvert, soleil, vagues.
	—	11.15'	23.7	—	Ciel $\frac{1}{2}$ couvert, soleil, vagues.
Ngoma (sond. 5) . . . .	17-IX	10.30'	23.15	—	Ciel $\frac{1}{2}$ couvert, soleil, vagues.
Béra (sond. 17) . . . . .	26-IX	11.	24.3	—	Ciel dégagé, soleil, calme plat.
Nyamirundi (sond. 86).	13-X	10.	23.4	—	Ciel $\frac{1}{2}$ couvert, vagues, soleil.
	1936				
Ngoma (sond. 165) . . . .	11-II	10.15'	24.75	—	Ciel $\frac{1}{2}$ couvert, vagues, soleil.
Ngoma (sond. 165) . . . .	13-II	10.30'	24.95	—	Ciel $\frac{1}{2}$ couvert, vagues, soleil.
Machusa (rive) . . . . .	20-II	14.	23.85	21.2	Ciel couvert.
	—	15.	23.65	18.5	Pluie.
	—	16.	23.25	17.9	Pluie fine.
	—	17.	23.15	19.5	Ciel couvert.
	—	18.	23.10	19.5	Ciel couvert.

## ANNEXE N° 3 (SUITE)

LOCALITÉ	Date	Heure	Temp. eau	Temp. air	ETAT DU CIEL ET DU LAG
Machusa (rive) . . . . .	1936				
	20-II	19.	23°	18°2	Nuit.
	—	20.	23	17 7	
Machusa (rive) . . . . .	—	21.	22 95	17 7	
	21-II	6.	22 75	16 75	Ciel couvert.
Route Machusa-Bobandana . . . . .	—	7.	22 75	17 2	Ciel couvert.
	—	8.	22 75	17 5	Ciel couvert.
	—	9.	23 27	19 5	Ciel couvert.
Bobandana (port) . . . . .	—	10.	22 9	20 2	Ciel couvert.
	—	11.	23 05	21 2	Ciel couvert.
	—	12.	23 25	22 9	Ciel couvert.
	—	13.30'	23 75	23 8	Ciel couvert.
	—	14.	23 6	22 1	Ciel couvert, vagues, vent, pluie à 14 h. 15.
	—	15.	23 15	17 5	Pluie et vagues.
	—	16.	23 05	17 0	Fin de la pluie.
Baie Kabuno (sond. 200) . . . . .	—	17.	22 95	17 0	Ciel couvert.
	—	18.	22 80	16 8	Ciel couvert.
Baie Kabuno (sond. 200) . . . . .	22-II	11.	23	—	Ciel couvert.
Ngoma (port) . . . . .	29-II	6.	22 75	16 8	

## ANNEXE N° 4

## LAG KIVU

## Station hydrographique 1. — Ngoma (baie de l'ancien port).

Le 8-IV-35. Ciel dégagé, soleil, longues vagues du S.S.E.

Transparence : 6 m. 40 (11 h.); couleur de l'eau = VI.

Profondeur.	Température ° C.	pH.	O <sup>2</sup> mgr./lit.	Alcalinité cc. HCl N/10 %
20 m.	23°87		7,41	
50 m.	22°32	8,9	0,65	17,00
100 m.	22°32	7,3	0	26,09; odeur H <sup>2</sup> S; bulles de gaz.
134 m.	Fond.			

## ANNEXE N° 5

## LAG KIVU

Station hydrographique 2. — Ngoma, le 10-IV-35, sondage n° 1.

Ciel dégagé, soleil, longues vagues du S.S.E.

Transparence : 5 m. 60 (11 h.); couleur = VI.

Profond.	Tempér. °C.	CO <sub>2</sub> mgr./lit.	H <sub>2</sub> S	pH.	Σ18° ×10 <sup>4</sup>	Alcalinité cc. HCl N/10, %	Dégage- ment gazeux
0 m.	24°1	7,88 A	—	9,45	13,3	—	—
2	24 04	8,37 A	—	9,45	13,3	—	—
5	23 89	8,17 A	—	9,45	13,3	—	—
10	23 83	9,03 A	—	9,45	—	—	—
15	23 83	8,43 A	—	9,45	13,3	—	—
20	23 26	7,26 W	—	9,4	13,6	—	—
50	22 32	1,84 A	odeur	9,1	13,6	—	—
100	22 40	0,48 A	"	7,45	21,1	—	+
200	22 87	0,15 A 0,00 W	"	6,85	25,2	33,72	++
250	23 41	0,00 A	"	6,75	27,7	39,66	+++
260	Fond.						

## ANNEXE N° 6

## LAG KIVU

Station hydrographique 3. — Ngoma, le 15-IV-35, sondage n° 2.

Ciel à demi couvert, soleil, longues vagues du S.S.E.

Profondeur.	Température °C.	Alcalinité cc. HCl N/10 %	CO <sub>2</sub> mgr./lit.	H <sub>2</sub> S	Dégagement gazeux.
	12 h.				
0 m.	25°10	16,01	— 98,8		
2 m.	23°92	16,28	— 93,4		
5 m.	23°81	16,26	—102,4		
10 m.	23°75	16,27	— 90,8		
15 m.	23°77	16,26			
20 m.	23°75	16,11	— 93,0		
25 m.	23°10	16,26			
50 m.	22°32	16,94	— 70,4		
75 m.	22°28	23,47	+ 32,6	Odeur.	+
100 m.	22°42	28,34	+114,8	Odeur.	+
200 m.	22°81	32,75	+341,0	Odeur.	++
290 m.	24°66	41,72	+603,4	Odeur.	++
300 m.	Fond.				



## ANNEXE N° 9

## LAG KIVU

Station hydrographique 6. — Béra, le 26-IX-35, sondage n° 17.

Ciel clair, soleil, lac calme.

Transparence : 1 m. 75; couleur de l'eau = XV? (teinte blanche supplémentaire).

Prof.	Température °C.	O <sub>2</sub> mgr./lit.	pH.	Alcalinité cc. HCl N. 10, ‰	CO <sub>2</sub> mgr./lit.	H <sub>2</sub> S	Déga- gement gazeux
0 m.	24°3 (11 h.)	8,19 W	9,35	44,03	-103,0	—	—
2.5	23 94	8,20 W	9,35	16,73	-94,0	—	—
6	23 80	8,06 W	9,35	16,54	-93,4	—	—
10	23 31	8,04 W	9,3	16,27	-93,8	—	—
15	23 00	7,55 W	9,3	16,25	-91,8	—	—
25	22 40	3,44 W	9,25	16,23	-92,8	—	—
40	22 34	2,65 W	9,15	16,37	-79,6	—	—
65	22 27	0,00 W	8,5	19,29	-69,2	odeur	—
100	22 45	0,00 W	7,2	27,57	+175,4	"	+
215	23 33	0,00 W	6,75	36,05	+582,0	"	++
223	Fond.						

## ANNEXE N° 10

## LAG KIVU

Station hydrographique 7. — Nyamirundi, le 13-X-35, sondage n° 86.

Ciel à demi couvert, soleil, lac calme, vagues courtes.

Transparence : 1 m. 75; couleur de l'eau = XII? (teinte blanche supplémentaire)

Profondeur.	Température °C.	pH.	H <sub>2</sub> S	Dégagement gazeux.
	10 h.			
0 m.	23°40	9,35		
2 m. 50	23°41	9,35		
6 m.	23°22	9,35		
10 m.	23°08	9,3		
15 m.	22°86	9,25		
25 m.	22°49	9,25		
40 m.	22°25	9,15		
65 m.	22°22	8,5	Odeur.	
115 m.	22°60	7,35	Odeur.	+
225 m.	23°26	6,8	Odeur.	++
237 m.	Fond			

## ANNEXE N° 11

## LAC KIVU

Station hydrographique 8. — Ngoma, le 11-II-36, sondage n° 165.

Ciel dégagé, soleil, lac calme.

Transparence : 4 m. 75; couleur = IX-X?

Prof.	Températ. °C.	pH.	CO <sub>2</sub> mgr./lit.	Alcalinité cc. HCl N/10, ‰	Dureté réelle cc. palmitate de K.N. 10, ‰	H <sub>2</sub> S mgr./lit.	Déga- gement gazeux
	10 h. 15						
0 m.	24°75	9,3	-92,4	16,23	9,9	—	—
5	23 78	9,2	-94,2	17,03	9,6	—	—
10	23 84	9,3	-86,2	15,99	8,8	—	—
17.50	23 84	—	-92,0	—	—	—	—
30	22 49	9,0	-77,0	16,05	10,4	—	—
50	22 25	—	-60,0	—	—	0,00	—
55	22 27	—	-58,0	—	—	0,00	—
60	22 26	—	-55,8	17,49	10,9	1,00	—
65	22 30	—	-16,0	—	—	1,27	—
70	22 27	8,1	+38,0	23,35	13,9	3,19	—
75	22 40	—	+48,0	—	—	3,23	—
100	22 47	7,35	+174,0	28,87	18,7	2,79	+
200	22 96	—	+470,0	—	—	3,36	++
375	25 25	6,9	+1092,0	66,87	42,1	6,34	++
386	Fond.	(*)				(**)	

(\*) = les colorants pour le pH étaient légèrement abimés.

(\*\*) = d'après la méthode d'Ohle.

## ANNEXE N° 12

## LAG KIVU

Station hydrographique 9. — Ngoma, le 13-II-36, sondage n° 165.

Ciel dégagé, soleil, lac calme.

Transparence : 4 m. 55; couleur de l'eau = IX.

Profond.	Températ. °C.	O <sup>2</sup> mgr./lit.	N H <sup>3</sup>	NO <sup>2</sup>	NO <sup>3</sup>	PO <sup>4</sup> mgr. P/lit.	H <sup>2</sup> S	Déga- gement gazeux
	10 h. 30							
0 m.	24°95	7,32 W	0	0	0,02	traces	—	—
5	23 67	7,37 W	0	0	0,03	"	—	—
10	23 64	7,03 W	0	0	0,04	"	—	—
15	23 61	7,15 W	0	0	0,04	—	—	—
20	23 63	6,93 W	0	0	0,06	—	—	—
25	23 42	6,66 W	0	0	0,05	—	—	—
30	22 50	0,10 W	0	0	0,05	"	—	—
35	22 32	0,10 W	0	0	0,08	—	—	—
40	22 29	0,06 W	0	0,001	0,20	—	—	—
45	22 26	0,03 W	traces	0	0,07	—	—	—
50	22 28	0,00 W	"	0	0	0,024	—	—
55	22 28	0,00 W	"	0	0	—	—	—
60	22 27	0,00 W	0,03	0	0	0,028	odeur	—
65	22 28	0,00 W	0,38	0	0	—	"	—
70	22 30	0,00 W	0,375	0	0	—	"	—
75	22 37	0,00 W	1,70	0	0	0,135	"	—
100	22 46	0,00 W	(3,20)	0	0	(0,280)	"	+
200	22 97	0,00 W	(7,50)	0	0	(0,520)	"	++
375	25 26	0,00 W	(56,00)	0	0	(1,000)	"	+++
386	Fond.							

## ANNEXE N° 13

## LAC KIVU

Station hydrographique 10. — Baie de Kabuno-Kashanga, le 22-II-36,  
sondage n° 200.

Le 22-II-36, ciel couvert, pluie.

Profondeur.	Température.	H <sup>2</sup> S	Dégagement gazeux.	Profondeur.	Température.	H <sup>2</sup> S	Dégagement gazeux.
	10 h.				10 h.		
0 m.	23°0			35 m.	21°97		
5 m.	22°82			40 m.	22°18		
10 m.	22°81			45 m.	22°23		
15 m.	21°91			50 m.	22°23	Odeur faible.	+
20 m.	21°49			75 m.	22°87	Odeur forte	++
25 m.	21°59			100 m.	23°37	Odeur forte.	++
30 m.	21°78			130 m.	23°76	Odeur forte.	++

## ANNEXE N° 14

## LAC ÉDOUARD

Stations hydrographiques 1 à 5.

Localité:	Baie de Kamande.			Baie de Kaniamulina.	Kamande.
	Date: Heure:	29-I-35 9 h. 30	30-I-35 14 h.	1-II-35 15 h.	4-II-35 10 h.
Profondeur.	2 m. 25	3 m. 35	4 m.	11 m. 30	3 m.
0 m.	26°00	27°20	26°90	25°70	26°20
0 m. 50	25°90	27°10	26°80	25°60	26°12
1 m.	25°90	27°10	26°80	25°60	25°30
1 m. 50	25°90	26°90	26°80	25°50	
1 m. 75	25°90				
2 m.	25°85	26°70	26°80	25°45	25°03
2 m. 25	25°80	25°70	26°80		
2 m. 50		25°70		25°45	25°01
3 m.		25°50	26°40	25°40	
3 m. 35		25°50			
3 m. 50			26°10		
4 m.			26°00		
5 m.				25°35	
7 m. 50				25°30	
10 m.				25°10	
11 m. 30				25°10	

## ANNEXE N° 15

## LAG ÉDOUARD

Station hydrographique 6. — Bugazia, le 15-V-35.

Transparence : 2 m. (11 h.); couleur de l'eau = XIII.

Prof.	Temp. °C.	O <sub>2</sub> mgr./lit.	pH.	Alcalinité cc. HCl N/10 %	CO <sub>2</sub> mgr./lit.	Ca <sup>180</sup> × 10 <sup>4</sup>	NO <sub>2</sub> mgr. N/lit.	NH <sub>3</sub> mgr. P/lit.	PO <sub>4</sub> mgr. P/lit.
0 m.	27°4	7,27 W	9,3	9,01	-49,0	11,4	0	0	0,003
2	25 89	7,57 W	—	—	—	—	—	—	—
4	25 68	7,74 W	9,25	9,75	-44,6	10,8	0	0	0,003
7,50	25 66	7,38 W	9,25	9,75	-44,6	10,8	0	0	0,004
10	25 57	7,04 W	9,25	9,74	-46,0	10,8	0	traces	0,004
15	25 45	6,21 W	9,25	9,73	-45,8	10,8	0	"	0,005
20	25 55	5,92 W	9,25	9,73	-49,0	10,8	0	"	0,002
30	25 00	0,16 W	8,95	9,81	-37,6	11,6	0	"	0,003
35	24 88	0,06 W	8,9	9,89	-38,6	11,9	0,035	"	0,007
50	24 80	—	8,9	9,91	-29,8	11,8	0,002	0,02	0,007
85	24 64	0,00 W	9,9	10,08	-28,6	11,9	traces	0,10	0,015

## ANNEXE N° 16

## LAG ÉDOUARD

Stations hydrographiques 7 et 8. — Bugazia, les 20 et 21-V-35.

Date : Heure :	STATION 7	STATION 8
	20-V-35. 11 h. 15.	21-V-35. 15 h. 30.
Profondeur.	90 m.	90 m.
	Temp. en °C.	Temp. en °C.
0 m.	27°20	27°20
2 m.	26°67	
2 m. 50		26°80
5 m.	25°95	25°89
10 m.	25°60	25°64
15 m.	25°44	25°44
20 m.	25°40	25°44
30 m.	25°19	25°25
40 m.		24°94
50 m.	24°80	24°80
85 m.	24°65	24°64

## ANNEXE N° 17

## LAC ÉDOUARD

Station hydrographique 9. — Bugazia, le 26-XI-35, à 11 h.

Transparence de l'eau : 2 m.; couleur = XIII.

Profondeur.	Température ° C.	O <sup>2</sup> mgr./lit.	pH.	Alcalinité cc. HCl N/10 %	HFS mgr./lit.
0 m.	26°35	6,93 W	9,15	9,84	
5 m.	25°63	6,54 W	9,15	9,82	
10 m.	25°50	5,26 W	9,10	10,10	
17 m. 50	25°42	5,58 W	9,00	9,90	
25 m.	25°09	0,55 W	9,00	10,04	
32 m. 50	25°15	1,22 W	8,90	9,86	0,7
40 m.	24°82				
60 m.	24°79	0,13 W	8,85	9,98	0,34
85 m.	24°73	0,00 W	8,85	9,98	1,95

## ANNEXE N° 18

## LAC ÉDOUARD

Station hydrographique 10. — Bugazia, le 28-XI-35, à 11 h.

Profond.	Températ. °C.	O <sup>2</sup> mgr./lit.	CO <sup>2</sup> mgr./lit.	NO <sup>3</sup> mgr. N lit.	NO <sup>2</sup> mgr. N/lit.	NH <sup>3</sup> mgr. N lit.	PO <sup>4</sup> mgr. P/lit.
0 m.	25°65	—	-51,4	0,02	0	traces	0,002
5	25 88	—	-45,8	0,03	0	"	0,002
10	25 82	—	—	0,01	0	"	0,002
17.50	25 43	—	-42,8	0,01	0	"	0,004
25	25 34	—	-39,4	traces	traces	"	0,003
32.50	25 23	2,77 W	-36,2	"	"	"	0,005
40	25 09	1,07 W	-34,8	0	0	"	0,006
60	24 66	—	-34,8	0	0	"	0,007
85	24 64	—	-33,4	0	0	0,08	0,011

## ANNEXE N° 19

## LAC ÉDOUARD

Station hydrographique 11. — Kimboho, le 29-XI-35.

Station hydrographique 12. — Bugazia, le 2-XII-35.

Profondeur.	Station 11: Kimboho, 29-XI-35. 14 h.		Station 12: Bugazia, 2-XII-35. 11 h.	
	Température ° C.	O <sup>2</sup> mgr./lit.	Température ° C.	O <sup>2</sup> mgr./lit.
0 m.			26°40	7,46 W
5 m.			25°59	7,44 W
10 m.			25°61	7,17 W
17 m. 50	25°45		25°46	6,19 W
25 m.	25°34	4,56 W	25°43	5,89 W
32 m. 50	25°25	3,61 W	25°34	5,49 W
40 m.	25°02		25°31	3,15 W
55 m.			24°72	0,00 W
85 m.			24°64	0,00 W

## ANNEXE N° 20

## LAC NDALAGA (MOKOTO)

Station hydrographique 1. — Le 8-VIII-35, à 9 h. 15.

Transparence de l'eau : 1 m. 20 (11 h. 30); couleur = XVI.

Prof.	Temp. ° C.	O <sup>2</sup> mgr./lit.	pH	Alcalinité cc. HCl N, 10 %	CO <sup>2</sup> mgr./lit.	NO <sup>3</sup> mgr. N/lit.	NO <sup>2</sup> mgr. N/lit.	PO <sup>4</sup> mgr. P <sub>i</sub> /lit.
0 m.	21°30	5,10 W	7,1	1,57	+ 5,8	0,08	0	traces
1.70	20 30	5,02 W	7,1	1,49	+ 5,8	0,07	traces	"
2.85	20 25	4,95 W	7,1	1,54	+ 6,6	0,05	"	"
5.70	20 20	5,12 W	7,1	1,53	+10,2	0,06	"	0,003
11.40	20 10	1,62 W	6,90	1,50	+10,4	0	"	0,007
17.10	20 00	0 W	6,85	1,57	+15,4	0	"	0,024
21.50	19 90	0 W	6,85	1,61	+20,2	0	0,006	0,046

## ANNEXE N° 21

## LAC NDALAGA (MOKOTO)

## Stations hydrographiques 2, 3 et 4.

Dates :	STATION 2	STATION 3	STATION 4
Heures :	13-VIII-35.	20-VIII-35.	20-VIII-35.
	14 h. 45.	6 h.	14 h. 30.
Profondeur.	Temp. °C.	Temp. °C.	Temp. °C.
0 m.	21°65	19°92	21°10
1 m. 14	20°40	19°92	
2 m. 85	20°10		20°32
5 m. 70	19°98		19°92
11 m. 40	19°92		19°85
17 m. 10	19°30		
21 m. 50	19°92 au contact du sol.		

## TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
INTRODUCTION. ....	3
CHAPITRE PREMIER. — <i>Instruments et Méthodes</i> ....	9
I. Instruments et Appareils. ....	10
II. Méthodes ....	14
CHAPITRE SECOND. — <i>Le lac Kivu</i> ....	18
I. Sondages dans le lac Kivu ....	20
Matériel nautique ....	21
Détermination du point ....	21
Carte ....	23
Liste des sondages ....	23
Allure générale de la envette du Kivu... ..	23
A. Au Nord d'Idjwi ....	23
B. A l'Est et à l'Ouest d'Idjwi ....	27
C. Au Sud d'Idjwi ....	31
D. La baie de Kabuno-Kashanga ....	32
Profil longitudinal du lac ....	32
Relations du lac Kivu avec les lacs voisins : Tanganika et Edouard ....	35
Résumé et conclusions ....	37
II. Recherches hydrographiques dans le lac Kivu ....	37
Le problème thermique et chimique du lac Kivu ....	37
Position des stations hydrographiques... ..	38
Date des stations hydrographiques ....	39
A. Thermométrie ....	40
I. Exposé des observations ....	40
II. Discussion ....	44
1. Zone des températures décroissantes ....	44
Epilimnion. ....	45
Hypolimnion ....	47
Dans la baie Kabuno-Kashanga ....	48
Stabilité de la stratification dans les 70 premiers mètres ....	48
2. Zone des températures croissantes ....	50
Résumé et conclusions ....	55
B. Chimie. ....	56
1. Oxygène ....	56
2. Hydrogène sulfuré ....	58
3. Alcalinité, dureté réelle, CO <sup>2</sup> libre, pH ....	60
4. Concentration totale des sels... ..	63
5. Nitrates, nitrites, ammoniacque, phosphates. ....	66

	Pages.
6. Transparence de l'eau ... ..	68
7. Origine du dégagement gazeux dans les échantillons d'eau profonde ...	68
Résumé et conclusions ... ..	69
CHAPITRE TROISIÈME. — <i>Le lac Édouard</i> ... ..	70
Situation géographique, carte, profondeur ... ..	70
Conditions climatiques... ..	71
Recherches hydrographiques dans le lac Édouard ... ..	72
A. Thermométrie ... ..	72
1. Mesures dans les baies ... ..	72
2. Mesures dans la région profonde du lac ... ..	72
Comparaison avec les résultats de Worthington et Beadle ... ..	76
Stabilité des couches ... ..	77
Résumé et conclusions ... ..	78
B. Chimie. ... ..	78
1. Oxygène ... ..	78
2. Hydrogène sulfuré ... ..	79
3. Alcalinité, dureté réelle, CO <sup>2</sup> libre, pH ... ..	80
4. Concentration totale des sels... ..	81
5. Nitrates, nitrites, ammoniacque, phosphates. ... ..	82
6. Transparence de l'eau ... ..	83
7. Nature de l'eau profonde du lac Édouard ... ..	83
Résumé et conclusions ... ..	84
CHAPITRE QUATRIÈME. — <i>Le lac Ndalaga (Mokoto)</i> ... ..	85
Carte, profondeur ... ..	87
Recherches hydrographiques dans le lac Ndalaga ... ..	88
A. Thermométrie ... ..	88
Résumé et conclusions ... ..	89
B. Chimie. ... ..	89
1. Oxygène ... ..	89
2. Alcalinité, CO <sup>2</sup> libre, pH... ..	90
3. Concentration totale des sels ... ..	92
4. Nitrates, nitrites et phosphates ... ..	92
5. Transparence de l'eau ... ..	92
Résumé et conclusions ... ..	93
CHAPITRE CINQUIÈME. — <i>Interprétation des résultats. Importance de quelques facteurs hydrologiques pour la production biologique des lacs équatoriaux</i> ... ..	94
1. Importance du brassage de l'eau... ..	96
2. Mode d'action de l'alcalinité... ..	98
3. Influence de la température... ..	98
4. Essai de classification des eaux équatoriales ... ..	100
Résumé et conclusions ... ..	104
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE... ..	105
ANNEXES... ..	107
TABLE DES MATIÈRES ... ..	127



1. — Sonde à main, d'après Konuth DAHL.

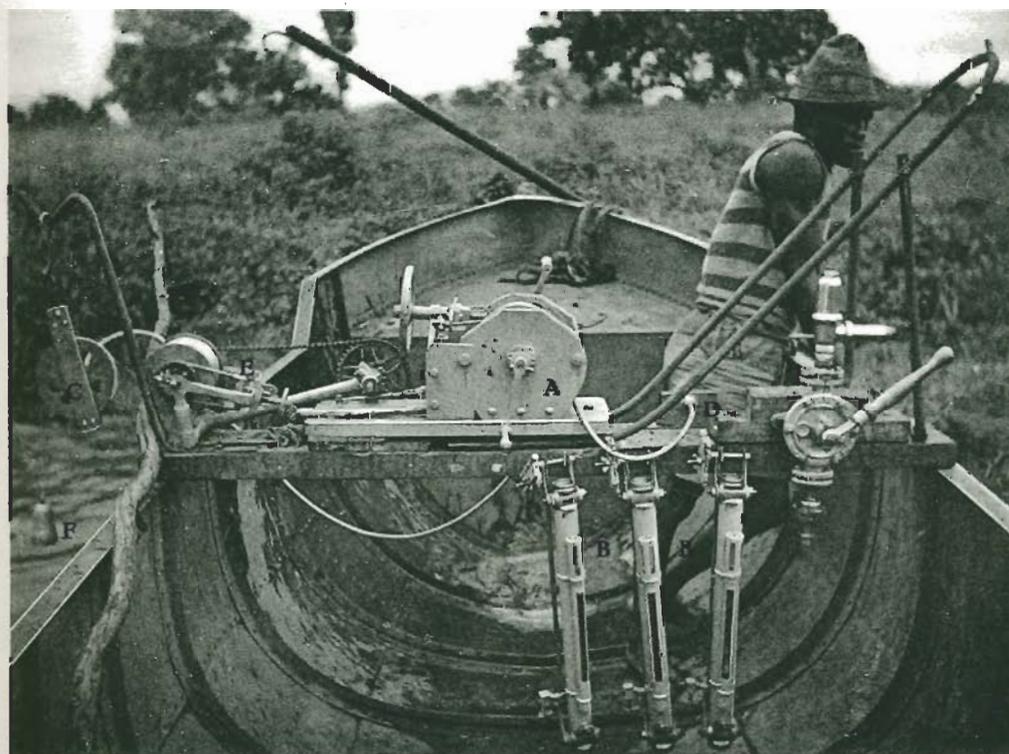


2. — Bouteilles à eau.



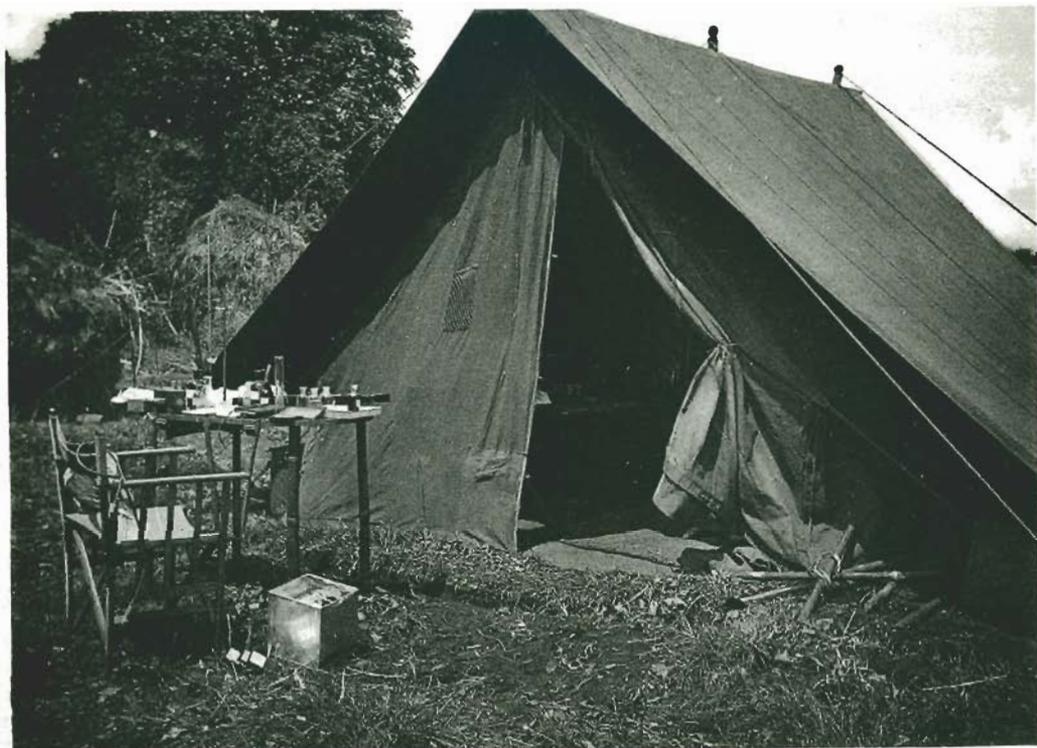
1. — Baleinière employée sur le Lac Edouard.

Disposition des instruments : A) cabestan, B) bouteilles à eau ; C) poulie mesureuse, D) compte-tours.



2. — Baleinière employée sur le Lac Kivu.

Disposition des instruments : A) cabestan, B) bouteilles à eau ; C) poulie mesureuse ;  
D) compte-tours, E) machine à sonder, F) plomb de sonde.



1. — Notre laboratoire de chimie



2. — Rive nord du Lac Kivu. Bate de Ngoma.  
Exemple d'une bate - ancien cratère.



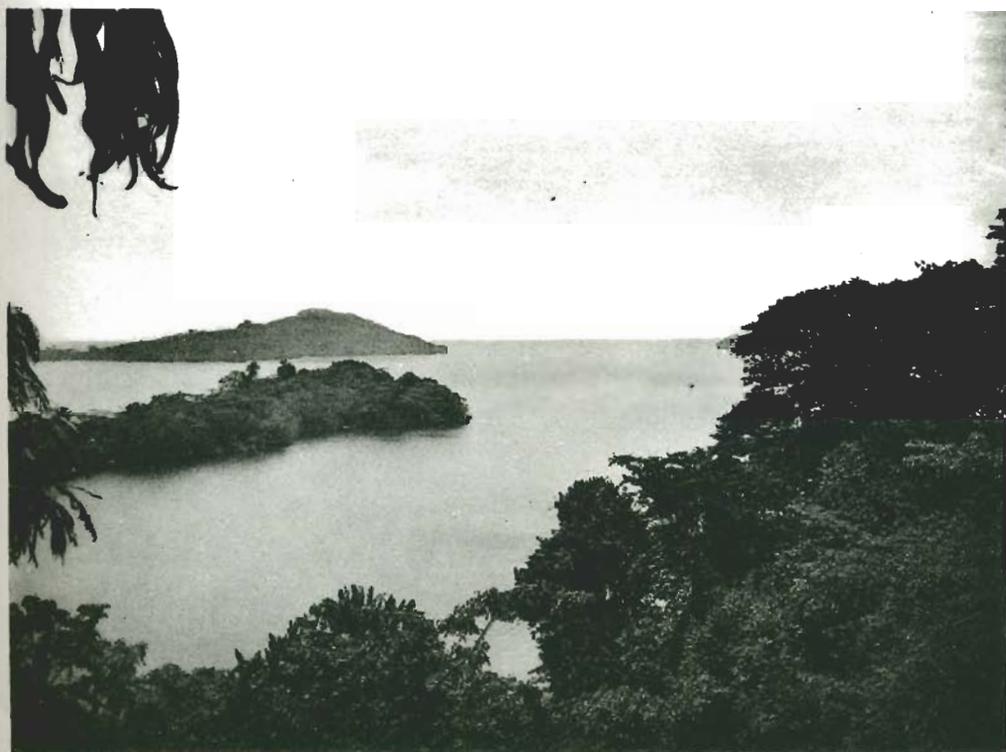
1. — Rive nord du Lac Kivu. Nzulu.  
Type de plaine de laves récentes (éruption de 1912).



2. — Lac Kivu. Baie de Nungero.  
Exemple des grandes baies ouvertes de la rive occidentale.



1. — Lac Kivu, Ile Bugarura.  
Montrant la ligne blanche de tuf calcaro-magnésien qui marque la rive.



2. — Lac Kivu, vu de Béra (Ile Idjwi).  
Aspect de la région des îles.



1. — Lac Kivu. Baie de Bitare.  
Type de baie en fjord.



2. — Lac Edouard. Baie de Kamande.  
Type de rive marécageuse. Sur l'eau : Péllicans.



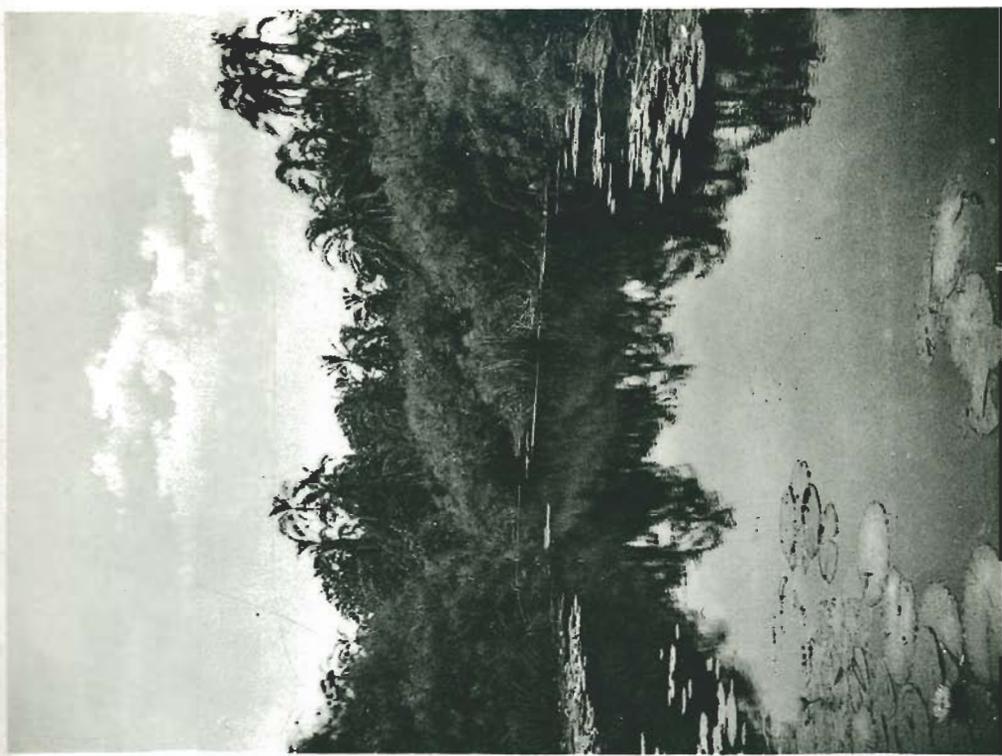
1. — Lac Edouard. Embouchure de la Rwindi.  
Rive Sud du lac, basse et fangeuse.



2. — Lac Edouard. Bugazia  
Côte occidentale, montagneuse et boisée.



1. — Lac Edouard, Hangi.  
Côte occidentale. Rive sablonneuse.



2. — Lac Ndalaga.  
Ekutoire du lac vers la plaine de laves.



1. — Lac Ndalaga. Kalondo.  
Exemple de bates arrondies à parois accotées.



2. — Lac Ndalaga.  
Végétation de la rive. Papyrus et Nymphéa.