

# Le milieu lacustre

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Archives des sciences [1948-1980]**

Band (Jahr): **22 (1969)**

Heft 1

PDF erstellt am: **13.09.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## DEUXIÈME PARTIE

### LE MILIEU LACUSTRE

#### *Caractères généraux du lac*

Le lac Léman s'étend entre les coordonnées suivantes:

46° 31' 03" lat. N — 6° 09' 06" long. E

46° 12' 27" lat. N — 6° 55' 56" long. E

Ses principales autres caractéristiques sont les suivantes:

Altitude du plan d'eau:	+372 m
Longueur:	72 km
Largeur maximum:	13,8 km de Morges à Amphion
Largeur moyenne:	8,1 km
Surface:	582,0 km <sup>2</sup>
Profondeur maximum:	309,7 m
Profondeur moyenne:	152,7 m
Volume:	89000.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

## CHAPITRE PREMIER

### LES CARACTÈRES PHYSIQUES

#### A. *Transparence et photométrie*

La transparence, mesurée au disque de Secchi, atteint 15 m en hiver et décroît vers 3 m en avril-mai. En juin et juillet, elle croît à nouveau vers 8 m pour diminuer une seconde fois en août-septembre vers 6 m.

Pendant toute l'année, la transparence est plus grande dans la zone pélagique que vers les rivages. De plus, la rive sud offre une transparence moyenne plus élevée que la rive nord; ceci est à mettre en relation avec une densité démographique plus basse. Les maxima de transparence sont obtenus dans la zone SE du lac, les minima dans les régions NE.

La valeur moyenne de la transparence a diminué de 2 m environ depuis 1900.

Pendant dix-huit mois, la transmission de la lumière dans les eaux lacustres a pu être suivie grâce à des cellules photoélectriques au sélénium immergeables. Ce matériel de mesure est identique à celui qui a été décrit par BROUARDEL et RINCK (1963).

Les mesures effectuées sont des mesures relatives de luminosité et sont exprimées en pourcentages de l'éclairement superficiel grâce à un étalonnage préalable de la cellule. La valeur correspondant au 1% de l'éclairement de surface a été atteinte à 14,5 m en avril 1965, 13,5 m en mai 1965, 21 m en juin 1965, 25,5 m en juillet 1965, 19,5 m en août 1965, 33,5 m en janvier 1966, et 30 m en février 1966.

En février 1966, les mesures ont été effectuées avec un filtre vert puis un filtre bleu. A 30 m, l'éclairement relatif est de 0,51% avec la cellule nue, de 0,55% avec la cellule munie du filtre bleu, et 0,71% avec la cellule munie du filtre vert. De plus, les courbes montrent que l'absorption dans les couches supérieures est beaucoup plus importante en lumière naturelle qu'en lumière bleue ou verte: les fortes longueurs d'onde sont absorbées presque intégralement dans les couches superficielles et au-dessous seule la lumière bleu-verte se transmet.

### B. La température

En surface, la température de l'eau varie dans de larges limites: 4° en janvier, 23° en juillet-août. En profondeur, la température varie rapidement dans les vingt

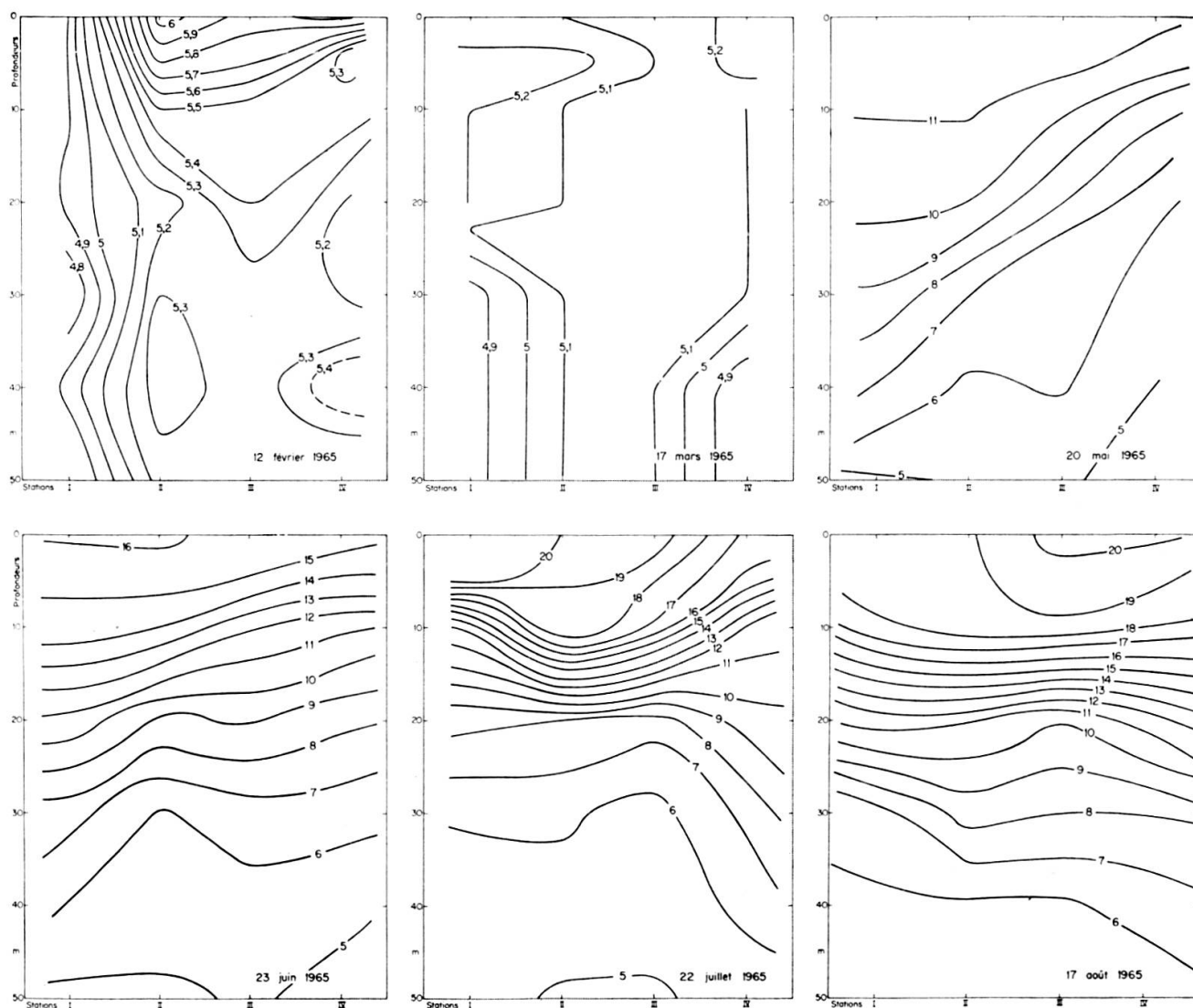


FIG. 3. — Courbes de température sur la transversale Thonon-Rolle pour l'année 1965.

premiers mètres. Au delà, les variations sont plus faibles et dans les grands fonds, la température est toute l'année voisine de  $4,5^{\circ}$ .

L'examen de l'évolution des plans isothermes dans l'espace et dans le temps pendant les années 1963-64-65 montre la présence d'une masse anormalement froide vers 20 m en juillet, puis entre 25 à 50 m en août-septembre, dans les stations de la côte française de la région de Thonon ayant de 50 à 150 m de fond. Cette anomalie est également observée dans la région d'Evian mais là, elle survient dès le mois de mai. Au contraire, la côte suisse, pendant ces mêmes périodes est le siège d'un courant relativement chaud. Il existe donc très fréquemment au cours de l'année un déséquilibre très marqué des plans isothermes (fig. 3).

Les échanges thermiques entre le lac et l'atmosphère varient avec les saisons: en février-mars, l'eau a de  $2$  à  $4^{\circ}$  de plus que l'air; en septembre, l'eau arrive à avoir jusqu'à  $9^{\circ}$  de plus que l'air. En juin-juillet, ces écarts tendent vers zéro.

## CHAPITRE II

### LES CARACTÈRES CHIMIQUES

#### A. *Substances minérales*

Les eaux du Léman sont essentiellement carbonatées calciques. Elles sont très peu chargées puisque le résidu sec total est de 210 mg/l. Il est intéressant de noter que les eaux lacustres ont une salinité moyenne inférieure de 30 à 40 mg/l à celles des eaux du Rhône valaisan.

A part une légère augmentation du calcium avec la profondeur, les eaux lacustres sont assez homogènes et comprennent: 43 à 49 mg/l de Ca, 5 à 6 mg/l de Mg, 2,1 à 2,4 mg/l de Na, 1,5 mg/l K, 90 à 110 mg  $\text{CO}_3\text{H}$ , 0 à 10 mg/l  $\text{CO}_3$ , 47 à 53 mg/l de  $\text{SO}_4$ , 2,5 mg/l de Cl. Le Fer dissous est de l'ordre de 0,02 mg/l. La silice augmente régulièrement avec la profondeur passant de 0,14 mg/l en surface à 3,05 mg/l par 300 m de fond.

#### B. *Les gaz dissous*

La teneur de l'eau en gaz dissous est beaucoup plus variable que sa composition chimique fondamentale. L'étude des variations des gaz dissous est essentielle pour comprendre le dynamisme des premières transformations du sédiment.

##### 1) *L'Oxygène dissous*

Les dosages ont été faits par la méthode de Winkler et l'oxygène dissous a été exprimé en mg/l et en taux de saturation, c'est à dire le pourcentage entre la concen-

tration de l'eau en oxygène et sa concentration théorique maximum à la température considérée.

Les taux de saturation ont été portés sur des graphiques analogues à ceux des températures et dessinent des courbes d'égal pourcentage de saturation en fonction de la profondeur.

La transversale Thonon-Rolle \* (stations CRG 1, 2, 3 et 4) a été étudiée en détails: nous représentons seulement les variations du taux de saturation de la station 2 de cette transversale pendant l'année 1965 (fig. 4).

CRG 1: Février présente le taux de saturation maximum pour l'année qu'on prendra comme référence. Voisin de 105%, il est constant sur toute la verticale. En mars, la désaturation commence. En mai, la sursaturation de surface due à l'activité photosynthétique du phyto-plancton autotrophe devient importante et s'étend jusqu'à 30 m de profondeur. Par contre, le fond (50 m) présente déjà une désaturation de 20% par rapport à février. Ces phénomènes s'accroissent en juin et en juillet où la sursaturation atteint son maximum: 131%. En août, un phénomène curieux se produit: à partir de 15 m la décroissance du taux de saturation est très rapide; mais celui-ci de 81,9% à 25 m croît à nouveau vers le fond. En août, un phénomène particulier, consommateur d'oxygène, se produit donc vers 25 m de fond.

CRG 2 et 3: Ces deux profils sont très semblables. Les sursaturations de surface en mai d'une part, en août d'autre part, sont très accusées. En août se produit le même phénomène qu'à CRG 1: il est situé ici à 20 m et le taux de saturation tombe à 83% puis il croît à nouveau et diminue vers le fond qui présente en juillet et août les valeurs minima pour l'année.

CRG 4: L'allure générale des courbes est la même. Cependant, les sursaturations superficielles sont moins accentuées. Il est aussi remarquable que les taux de saturation de la couche profonde sont plus élevés que celle de CRG 1 bien qu'à CRG 4 la bathymétrie soit plus grande. Pour comprendre cette dernière observation, il n'est pas inutile de regarder les profils thermiques de ces deux points pendant la même période. On constate que les températures, en mai et juin, sont inférieures de 2 à 4° à CRG 4. Il est donc probable que la rive suisse a, pendant cette période, reçu des eaux froides riches en oxygène.

### *Conclusions*

Ce bref examen fait ressortir:

- 1° La plus grande teneur en oxygène des fonds de faible bathymétrie;
- 2° La sursaturation superficielle en oxygène correspondant aux maxima d'activité photosynthétique;

\* Les stations mentionnées sont portées sur la carte de la figure 7.

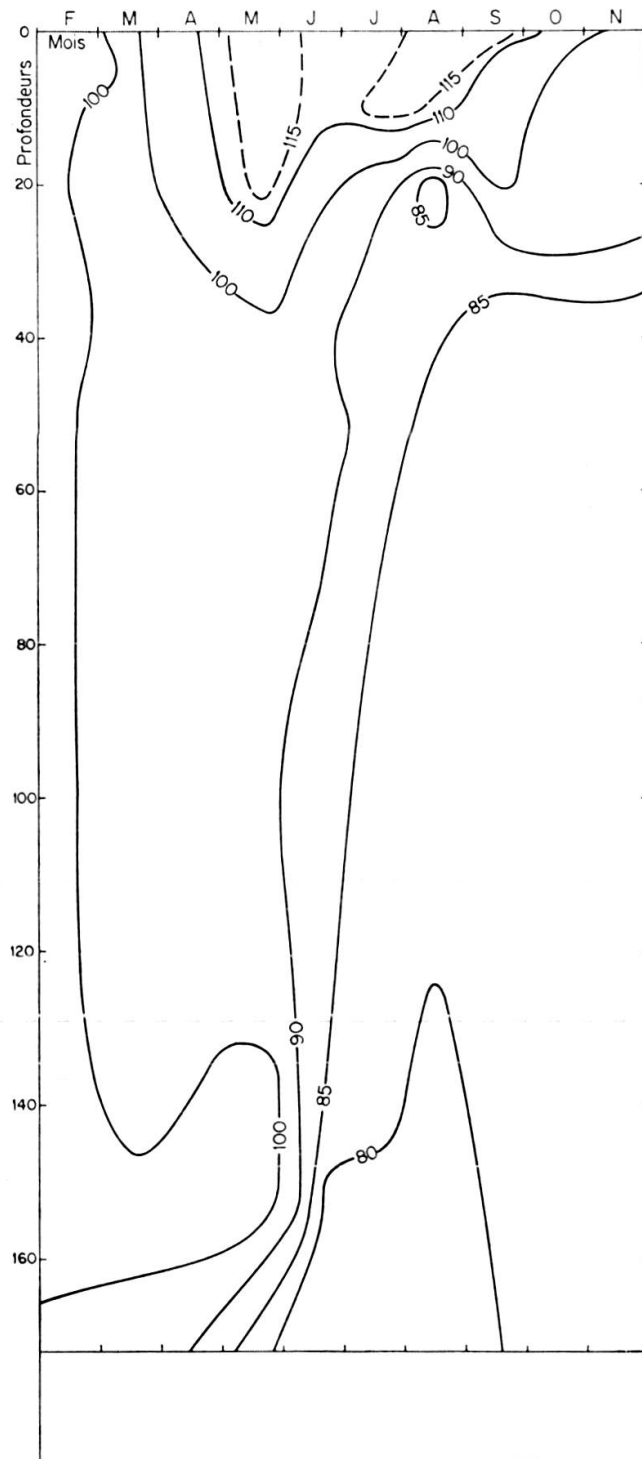


FIG. 4. — Courbes du taux de saturation en Oxygène. Station CRG 2 — Année 1965.  
Les courbes sont exprimées en pourcentage du taux de saturation.

3° Un phénomène consommateur d'oxygène se produisant en août entre 20 et 25 m. Celui-ci pourrait s'interpréter comme une zone d'oxydation importante du plancton mort provenant de la poussée d'été. Ceci semble être confirmé par la richesse de ce niveau en  $\text{CO}_2$  et en bactéries comme nous le verrons plus loin ainsi que par la présence d'abondants nitrates et phosphates, etc.... Mais alors se pose une question: pourquoi ce déficit important n'apparaît-il qu'en août, puisque déjà en avril-mai a lieu une première poussée planctonique ? La stabilité des masses d'eau entre probablement en ligne de compte. En avril-mai les mouvements de l'eau sont encore importants et contribuent à faire pénétrer en profondeur les taux élevés de la surface. Au contraire, en août, les sursaturations restent très superficielles. La relative stabilité des masses d'eau est beaucoup plus favorable au développement de colonies bactériennes dégradant le plancton mort tombant des zones supérieures. Les produits de dégradation sont immédiatement recyclés dans de nouvelles synthèses. Ce phénomène est peut-être une des causes du second maximum annuel en septembre-octobre.

Il résulte de tout cela *l'ébauche d'un mécanisme possible de l'eutrophisation* dont les principales étapes seraient les suivantes:

augmentation de matières nutritives venant des rivages,  
 augmentation de la productivité primaire,  
 augmentation des particules en suspension dans l'eau,  
 diminution de la transparence, réchauffement d'une tranche d'eau plus mince,  
 assimilation réduite à des zones de plus en plus superficielles, grande stabilité estivale des eaux,  
 naissance de zones de dégradation localisées sous la zone d'assimilation remettant en circulation du  $\text{CO}_2$ , des nitrates phosphates, etc. ...,  
 recyclage des matières libérées.

On a alors affaire à un mécanisme auto-entretenu qui va accentuer peu à peu ses caractéristiques: transparence de plus en plus faible, zones inférieures ne se réchauffant pas en été et se désaturant de plus en plus en oxygène, etc. ...

Pour preuve de cette théorie, nous apporterons deux autres faits:

dans les mesures anciennes d'oxygène et de température que nous avons exprimées en taux de saturation, on ne rencontre à aucun moment de l'année ce déficit en oxygène du thermocline, par exemple les mesures de P. Vivier en 1933, le lac de Nantua qui se trouve dans un état eutrophe très avancé, présente une zone identique très gravement déficitaire en été et durant tout l'automne: ainsi en 1965, à une station située en plein lac (40 m de profondeur) les études de S. Serruya donnent les valeurs suivantes:

Juillet . . . . .	0 à 5 m	200%	de saturation en oxygène
	10	55%	
	15	76%	



Août . . . . .	0 à 5 m	120 à 170%
	10	22%
	15	45%
Septembre . . . . .	0 à 5 m	120 à 150%
	10	26%
	15	40%

La décroissance du taux de saturation vers le fond est ensuite rapide et atteint 0% au niveau de celui-ci. De plus, les courbes isothermiques nous montrent un thermocline très superficiel situé à moins de 5 m de la surface.

Les limnologues ont depuis longtemps observé ces phénomènes dans certains lacs. E. A. BIRGE et C. JUDAY, 1911, mettent en relation ce minimum d'oxygène avec une accumulation de plancton mort. L. MINDER, 1922, et G. S. ANTONESCU, 1931, en rendent responsables la respiration du zooplancton. G. ALSTERBERG, 1927, croit y voir un manque de circulation des eaux. S. I. KUSNETZOV, 1939, 1952, explique ce déficit par la présence de nombreuses bactéries. E. A. THOMAS signale également ce phénomène dans le lac de Zurich (1955). Plus récemment, B. CZECZUGA (1959) dénonce toutes ces théories et nie en particulier le fait que ce déficit en oxygène est lié au thermocline. Il a montré que la consommation d'oxygène est maximum dans l'épilimnion mais qu'elle est compensée par la photosynthèse alors que dans le métalimnion cette compensation n'a plus lieu. Il donne l'exemple de lacs où le minimum d'oxygène n'est pas situé dans la zone thermoclinale.

Il semble, en accord, avec B. CZECZUGA qu'il est juste de considérer que la teneur en oxygène d'une tranche d'eau superficielle est un bilan entre les activités d'assimilation et les activités de dégradations. Il est également vrai que la zone déficitaire en oxygène n'est pas absolument liée au thermocline puisque nous remarquons qu'à Nantua la zone déficitaire en oxygène se situe vers 8-10 m alors que le thermocline est vers 5-6 m. La théorie de B. CZECZUGA nous paraît cependant en défaut lorsqu'elle réfute l'opinion de S. I. KUSNETSOV selon laquelle le déficit en oxygène est lié à une grande abondance de bactéries.

	Juin 1937	Septembre 1937	Septembre 1938	Juillet 1957
En surface . . . . .	1020	652	1676	74
5 m . . . . .	40	344	100	1100
10 m . . . . .	88	36	188	1460
20 m . . . . .	148	272	672	1580
30 m . . . . .	92	48	272	290
40 m . . . . .	16	60	32	440
50 m . . . . .	—	276	184	300



Les études bactériologiques qui ont été faites sur le Léman sont en accord avec les opinions de S. I. KUSNETSOV.

E. NOVEL a donné en 1941 et en 1960 les résultats de comptages effectués sur des échantillons prélevés dans le Petit Lac.

Par contre, en 1958 et 1959, ce phénomène n'a pas été constaté aussi clairement.

Nous voyons que la zone de 20 m est caractérisée dans ces 3 prélèvements par une augmentation nette du nombre de bactéries.

En 1964, J. SHAPIRO trouva dans le lac Washington une corrélation très stricte entre ce minimum d'oxygène et des populations importantes de copépodes vivants.

La zone déficitaire en oxygène, se situant vers 20 m dans le Léman, (zone thermoclinale) vers 8 m à Nantua donc sous le thermocline, n'est pas seulement le résultat négatif d'un bilan photosynthèse-dégradation. Il semble qu'il y ait, du moins dans certains lacs, une activité bactérienne spéciale dans la zone pauvre en oxygène. La profondeur de cette zone déficitaire en oxygène est déterminée par la transparence qui est elle-même liée à l'intensité de la productivité primaire. Jusqu'ici les travaux sur cette question sont trop fragmentaires pour proposer une théorie générale qui ne pourra être élaborée que par la comparaison de nombreux lacs.

## 2) *Le gaz carbonique* et son équilibre avec les carbonates et les bicarbonates (tableaux I)

Méthodes de dosage :

Les prélèvements sont faits dans des flacons spécialement jaugés et conservés dans des boîtes calorifugées jusqu'au moment du dosage. Celui-ci se fait dans le flacon même. Si l'addition de phénolphtaléine provoque une coloration rose, on est en présence de carbonates et d'alcalis libres. On effectue une acidimétrie à l'acide sulfurique. Si on ne note aucune coloration rose, il y a présence de  $\text{CO}_2$  libre qu'on titre par alcalimétrie. Pour le virage des bicarbonates on ajoute un indicateur mixte à base de rouge de méthyl et de vert de bromocrésol et on titre à l'acide sulfurique.

Bien que le dosage de  $\text{CO}_2$  par cette méthode soit assez peu précis, des dosages simultanés par la méthode de Van Slikke, ont donné des résultats très comparables.

Les prélèvements relatifs aux dosages de  $\text{CO}_2$  ont été faits en deux points situés au large de Thonon: A par 20 m de fond et B par 100 m de fond. Ces deux stations sont portées sur la fig. 7.

Les analyses portées sur le tableau n° 1 rendent compte des mesures effectuées en 1965 au point B. Nous voyons très clairement l'homogénéité de concentration en  $\text{CO}_2$  et en bicarbonates pendant l'hiver (décembre 1965, janvier et février 1966) ainsi que la rapide disparition du  $\text{CO}_2$  jusqu'à 20 m dès que la température se réchauffe. L'équilibre  $\text{CO}_3\text{H}-\text{CO}_3$  est alors déplacé d'où la présence de carbonates dans ces 20 premiers mètres. Le gaz carbonique augmente vers le fond, d'une part à cause de la baisse de température, d'autre part à cause des oxydations et fermentations de la vase. Presque toute l'année, la zone supérieure du lac jusqu'à 20 m apparaît

TABLEAU 1

*Les teneurs en CO<sup>2</sup> au cours de l'année*

Point B. Profondeur: 100 m

Unités = mg/l

Date	30 avril 1965			25 mai 1965			9 juin 1965			25 juin 1965		
Profondeur	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> N	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H
0 m	0	4,8	102,5	0	8,4	92,7		6,6	101,2	0	7,2	98,8
5	0	4,8	100,0	0	6,0	99,4		6,0	102,5	0	—	
10	0	6,0	—	0	4,8	101,2		6,0	102,5	0	3,6	106,1
15	0	3,6	104,9	0	5,7	100,6		5,4	103,7	0	—	
20	0		113,2	0	4,2	103,0		4,8	104,9	0	1,8	109,8
25	0		113,2	0		112,0			—	0	0	112,2
30	0		113,2	0		111,6	0,44		115,9	0,9	0	112,2
40	0		114,7	0,88		111,6	1,32		113,4	1,8	0	112,2
50	0		113,2	1,32		111,0	1,76		113,4	1,8	0	112,2
75	0		114,7	2,42		112,0	2,64		104,9	1,8	0	113,5
100	0		114,7			114,0			117,1	1,8	0	117,2

entièrement dépourvue de CO<sup>2</sup> et la réserve de bicarbonates y est également très déficitaire.

Des analyses semblables effectuées au point A montrent des phénomènes analogues, en particulier l'épuisement de l'eau en CO<sup>2</sup> libre pendant l'été à l'exception de la zone qui est en contact avec la vase.

L'étude des gaz dissous nous montre que la zone côtière du Léman occupe, du point de vue de la physiologie du sédiment, une position très particulière: par suite d'une transparence encore assez importante, la photosynthèse s'y produit presque jusqu'au contact de la vase, amenant à celle-ci une quantité d'oxygène non négligeable pour sa minéralisation.

TABLEAU 1 (suite)

Date	2 juillet 1965			16 juillet 1965			14 septembre 1965			7 octobre 1965		
Profondeur	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H
0 m	0	4,8	104,9	0	9,0	93,9		4,2	95,2		10,2	84,2
5	0	—		0	—	—		—	—		—	—
10	0	4,2	106,1	0	5,4	102,5		3,0	100,8		8,4	89,1
15	0	—		0							—	—
20	0	1,2	111,0	0							3,0	104,9
25	0		112,2	0		112,2						
30	0,4		113,5	0,9		112,2	1,1		112,2	0,9		113,5
40			113,5	0,9		113,5	1,6		112,2	1,8		113,5
50	1,3		113,5	1,8		112,2	1,3		112,2	1,8		114,7
75	1,3		113,5	0,9		112,2	1,3			2,2		114,7
100	1,3		113,5	2,2		114,7	1,8			3,1		115,9

Date	8 décembre 1965			21 janvier 1966			16 février 1966			5 avril 1966		
Profondeur	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H
0 m	0,9		107,8	2,2		112,2	0,9		113,5	0	6	101,3
5	1,3		106,4	1,9		114,7	0,9		113,5	0	4,8	104,9
10	1,3		106,1	1,8		113,5	0,9		113,5	0	0	114,7
20	1,3		105,6	1,8		108,6	0,9		113,5	0	0	113,5
30	1,8		106,4	1,6		113,5	0,9		113,5	0,9	0	113,5
40	1,8		105,4	1,9		114,7	0,9		113,5	0,9	0	114,7
50	1,8		102,5	1,8		114,7	—		—	1,8	0	113,5
75	1,8		105,9				—		—	1,8	0	114,7
100	1,8		105,4				—		—	2,6	0	114,7

## CHAPITRE III

## CARACTÈRES BIOLOGIQUES: LA PRODUCTIVITÉ PRIMAIRE

La matière organique joue un rôle considérable dans l'évolution du sédiment. Elle rend possible le développement de colonies bactériennes dont l'activité réagit sur l'orientation du sédiment vers un certain faciès.

Or, une grande partie de cette matière organique est représentée par le plancton autotrophe qui représente le maillon primordial dans la chaîne des prédateurs.

Il apparaît donc fondamental de pouvoir mesurer la quantité de phytoplancton qui est annuellement synthétisée c'est à dire la productivité primaire organique.

*A. Méthode de mesure :*

En 1952, STEEMAN NIELSEN mit au point une méthode de mesure directe de la productivité à l'aide de l'isotope radioactif du Carbone, le  $C^{14}$ . On fournit au phytoplancton, pour ses synthèses glucidiques, du Carbone radioactif; le plancton qui en résulte est lui-même radioactif et son activité est proportionnelle à la quantité de matière organique synthétisée pendant le temps considéré.

Pratiquement, on expose, le long d'une ligne immergée, des flacons remplis d'eau prélevée aux différentes profondeurs d'exposition et injectés d'une certaine quantité d'une solution de bicarbonate de Na radioactif. La ligne reste exposée une demi-journée solaire; elle est ensuite relevée et l'eau des flacons est filtrée sur millipores. La radioactivité des filtres est alors déterminée et la quantité de matière organique synthétisée établie (BROUARDEL et RINCK 1963).

*B. Résultats :*

Les expériences de productivité que nous avons réalisées dans le Léman couvrent la période d'avril 1965 à septembre 1966. Les résultats que nous présentons ici concernent un cycle limnologique complet d'avril 1965 à avril 1966 et sont contenus dans le tableau n° II. Chaque niveau faisant l'objet de deux prélèvements les nombres donnés correspondent à la moyenne des deux mesures. Lorsqu'une case renferme deux nombres, le nombre inférieur représente l'absorption obscure obtenue par le comptage des filtres provenant des expériences faites à l'obscurité.

*1° Productivité en fonction de la profondeur*

Ces résultats exprimés en mg/l/jour correspondent à la productivité nette apparente et sont représentés dans la figure 5a.

Ces graphiques nous permettent de faire un certain nombre d'observations:

TABLEAU II

*La productivité primaire organique en fonction de la profondeur*  
Station B, 100 m fond

	En $10^{-3}$ mg/l/jC								En mg/m <sup>2</sup> /jC
	0 m	1 m	2,5 m	5 m	10 m	20 m	30 m	40 m	
<i>1965</i>									
6 avril . . . .	36,3 0,5	14,5 2,4	114,6	98,4	21,3	6,2	5,0		1000
29 avril . . . .	72,1 1,0	123 1,2	139		81,6	4,5	2,2		1470
25 mai . . . . .	83,5 1,8		130,8	77,8	13,1	0,8	0,4	0,3	800
3 juin . . . . .	26,2 0,6		45,8	36,1	179	1,1	0,3	0,3	400
25 juin . . . . .	9,3 5,6	41	72,1	43	20	5,8	0,8	0,3	530
16 juillet . . . .	21,9 1,4	15,4	20	21,1	18,2	4,4	3,6	3,5	300
19 août . . . . .	56,7 1,4	108,6	93,6	83	22,9	1,5	0,5	0,5	730
14 septembre . .	31,3 0,5		100	69,4	22,6	3,5	3,2	1,8	800
7 octobre . . . .	136,5 1,0		148,5	110,5	28	2,7	0,7	0,3	1130
15 décembre . .	8,9 1,0	8,8	22,7	14,2	11,0	1,7	0,2	0,2	210
22 décembre . .	14,8 0,2	15,3 0,3	21,3 0,2	23,9 0,2	10,2 0,2	2,4 0,2			250
<i>1966</i>									
21 janvier . . . .	7,4 0,1	6,8 0,2	7,2 0,2	7,7 0,2	4 0,2	1,1 0,2	0,3 2,1	0,1 0,1	75
16 février . . . .	19,3 1,8	37,7 0,7	54,2 0,.	45,3	16,4 0,5	2,7 0,1	0,3 0,1	0,1 0,1	440
5 avril . . . . .	33,5 0,8	60,8 4,0	188,9 3,3	179,7	64,3 0,8	4,2	0,5	0,3 0,3	1600

Obscur: *Chiffre italique*

a) *La zone euphotique est dans le Léman restreinte aux 10 premiers mètres. Entre 10 et 20 m la décroissance de la productivité est très rapide. Au-delà de 20 m, elle est généralement négligeable.*

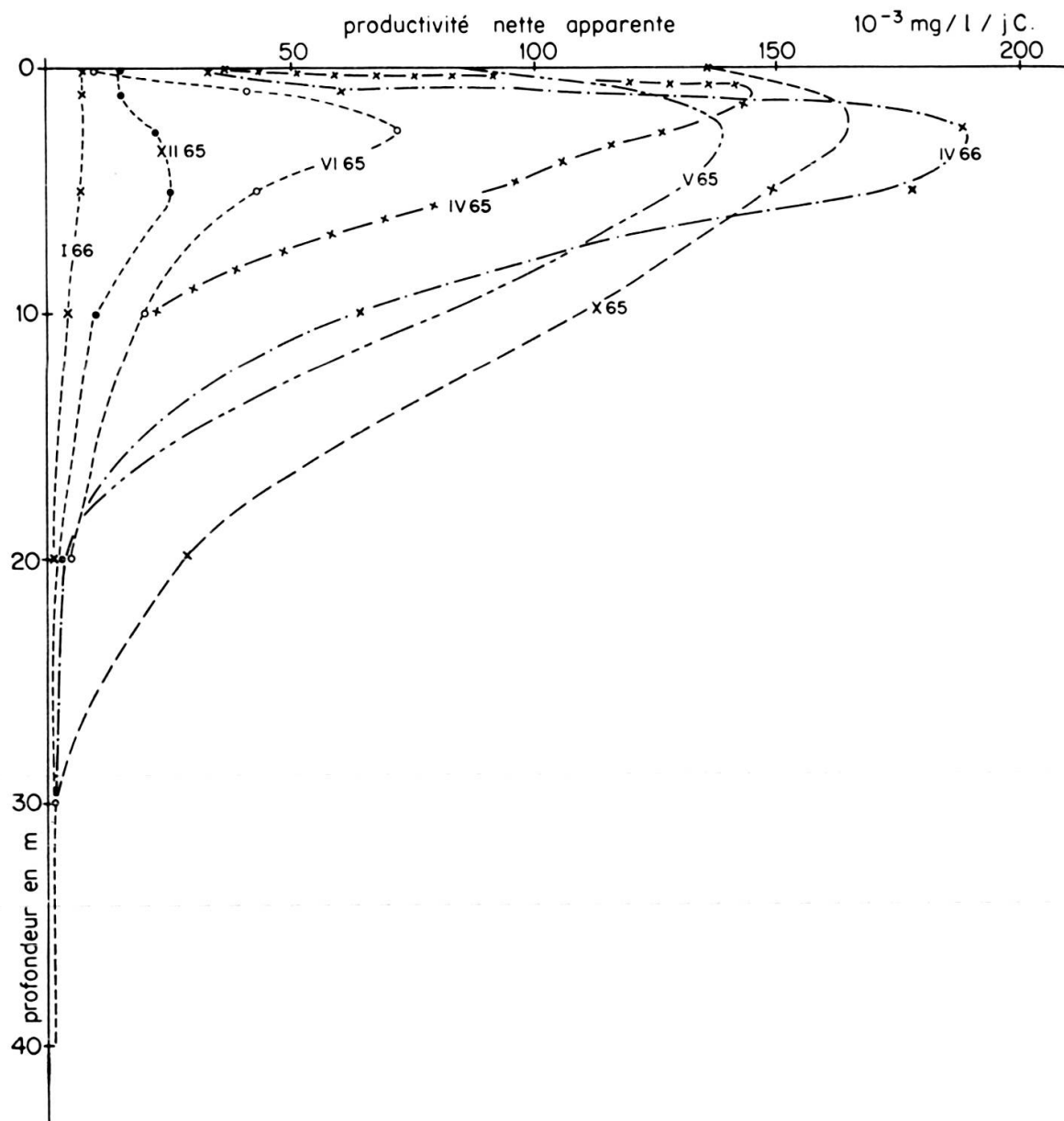


FIG. 5a. — Courbes de la productivité primaire en fonction de la profondeur. Les nombres sur les courbes indiquent la date de l'expérience.

b) *Le maximum de synthèse chlorophyllienne n'a pas lieu en surface mais généralement vers 2,5 m.*

c) *Les valeurs absolues de la productivité sont élevées. La colonne figurant à droite du tableau représente la productivité nette apparente en  $\text{mg/m}^2/\text{jour}$  obtenue par planimétrie des courbes précédentes. Pour avoir la productivité primaire brute,*

il faudrait augmenter encore ces valeurs de 10%, pour tenir compte de la respiration diurne et de l'assimilation plus lente de  $C^{14}$  par rapport au  $C^{12}$ .

Le maximum obtenu en avril 1966 est de  $1600\text{mg/m}^2/\text{jour}$ . Or en Méditerranée, le maximum mesuré pour la baie de Villefranche est de  $331\text{mg/m}^2/\text{jour}$  (mai 1960) et pour la station de Cap Martin (avril 1960) de  $161\text{mg/m}^2/\text{jour}$ . On a donc des productivités qui sont cinq à dix fois plus fortes que celles de la mer Méditerranée.

## 2° Variations de la productivité au cours de l'année

Le graphique de la figure n° 5b établie à partir des valeurs de la productivité en  $\text{mg/m}^2/\text{j}$  montre l'évolution du phénomène au cours de l'année. Un trait nous

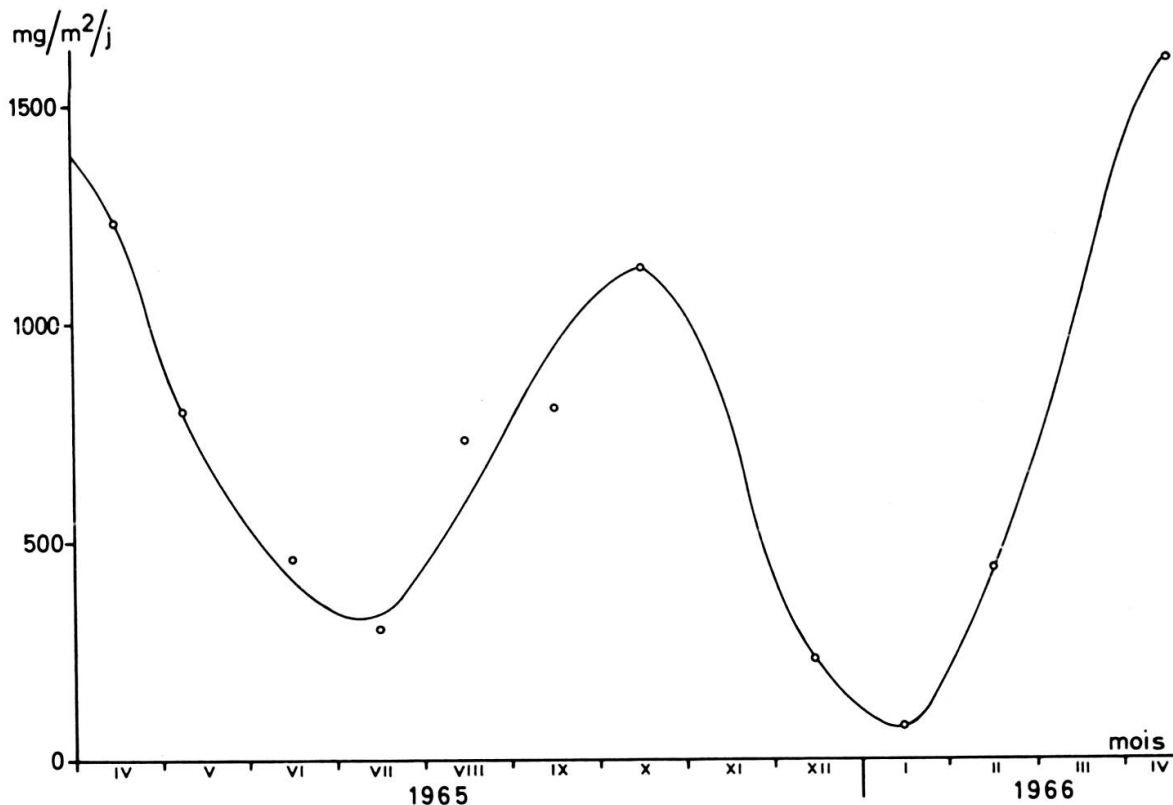


FIG. 5b. — Variations de la productivité primaire au cours de l'année.

frappe immédiatement: la courbe présente deux maxima dans l'année, l'un en avril, l'autre en octobre. Or, ceci n'est rigoureusement jamais le cas en mer. Nous avons déjà signalé l'existence actuelle de deux périodes de valeurs minima de la transparence alors que F. FOREL, en 1892, n'en signalait qu'un seul comme c'est aussi le cas en mer. Les courbes de productivité confirment que cette anomalie est bien due à deux « explosions » planctoniques.

Deux raisons peuvent être invoquées pour expliquer cette observation:

a) *Un changement a eu lieu dans les espèces planctoniques peuplant le lac.* L'augmentation croissante de la productivité depuis l'époque de FOREL a pu induire



une pareille modification. Les deux maxima correspondraient aux périodes de reproduction de deux espèces différentes dont l'une serait dominante en avril, l'autre en octobre. Cette hypothèse ne rend cependant pas compte des très faibles valeurs de juin et juillet et des valeurs tout à fait moyennes de mai et d'août.

b) *En décembre et janvier* la productivité décroît à cause des basses températures et du faible éclaircissement. L'augmentation de ces facteurs à partir de mars est responsable du premier maximum. A partir de mai et jusqu'en septembre, deux phénomènes se produisent dans la masse d'eau du lac :

la stratification thermique  
un débit important du Rhône

Or, c'est aussi exactement la période de faible productivité estivale.

La stratification a pour effet de couper l'épilimnion euphotique des zones profondes où s'effectue la minéralisation des vases et où s'accumulent le  $\text{CO}_2$ , les nitrates, les phosphates et les éléments traces, absolument nécessaires au plancton comme le Molybdène (C. R. GOLDMAN 1960, 1964). Le milieu de synthèse s'appauvrit donc continuellement. Le minimum estival a lieu à la période d'optimum thermique et d'éclaircissement maximum. Il est dû, contrairement au minimum hivernal, à l'apparition de facteurs limitants d'ordre chimique.

L'augmentation simultanée des eaux du Rhône, moins riches en éléments nutritifs que les eaux du fond du lac, accentue cet appauvrissement. I. FINDENEGG (1965) a signalé un phénomène analogue dans le lac de Constance où, à l'époque des hautes eaux du Rhin Alpin, le bassin du lac où se jette le Rhin a une productivité beaucoup plus faible que celui qui en est le plus éloigné.

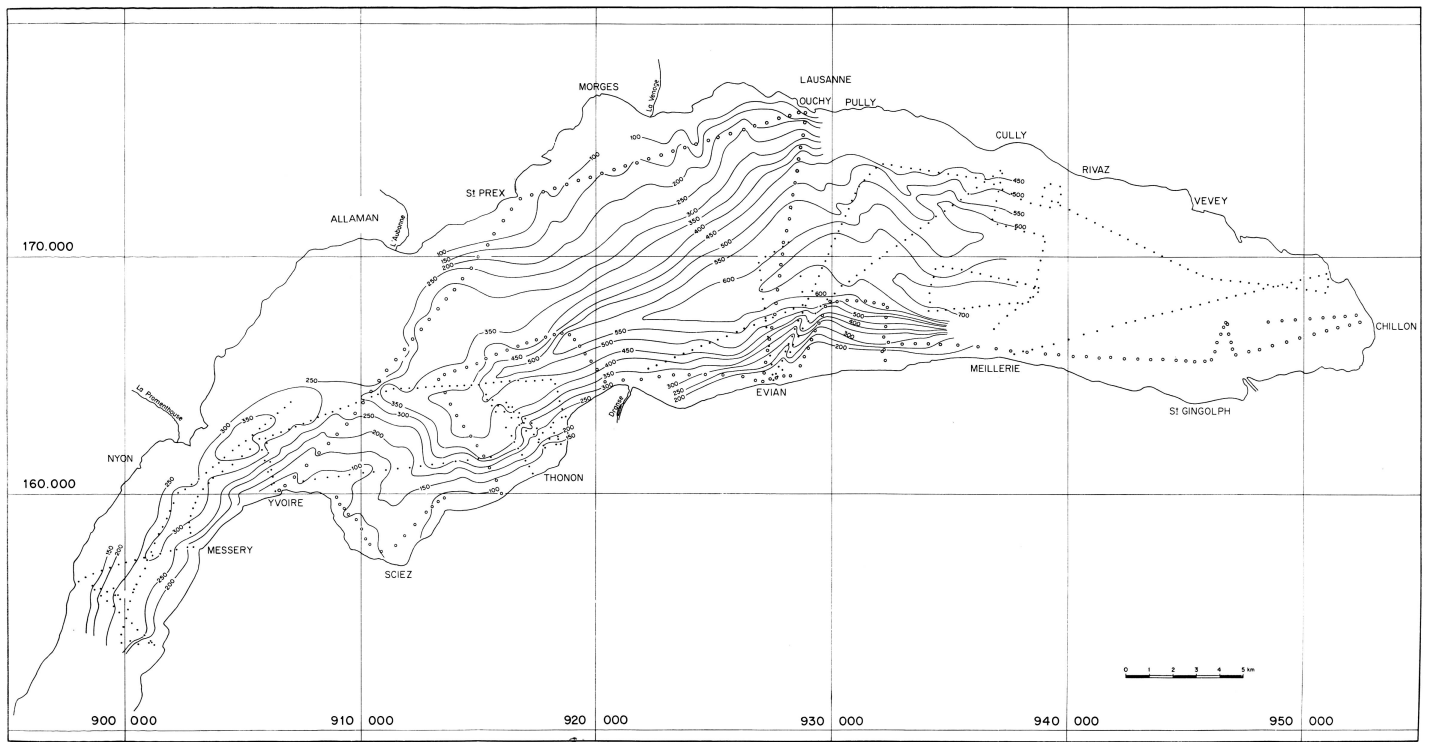
Au mois de Septembre-Octobre la température de surface diminue et le thermocline devient labile. Une faible bise réussit à remuer toute la masse d'eau et à amener en surface les éléments nutritifs accumulés au fond. C'est ainsi que le maximum automnal de productivité correspond aux premiers « turn-over ».

Ce phénomène représente un signe très grave d'eutrophication; il prouve:

que la stratification est plus longue et beaucoup plus efficace qu'au temps de FOREL,

que la productivité a notablement augmenté puisque les synthèses autotrophes arrivent à épuiser totalement le milieu par ailleurs bien plus riche en matières nutritives qu'au début du siècle.

Mais le minimum estival signifie aussi l'existence de phénomènes d'auto-limitation qui ont pour résultat la décroissance des synthèses par épuisement du milieu. La solution aux phénomènes de pollution organique consisterait peut-être à accentuer de telles réactions ou à les provoquer.



### 3° *Production globale pour l'ensemble du lac Léman (Année 1965/1966)*

La planimétrie de la courbe de la figure 5b donne une surface de 157 cm<sup>2</sup> pour 12 mois. Pour l'échelle choisie, 1 cm<sup>2</sup> représente :

$$100 \text{ mg/m}^2/\text{j} \times 15 \text{ j} = 1500 \text{ mg/m}^2/15 \text{ j}$$

La productivité annuelle est donc de :

$$1500 \text{ mg/m}^2/15 \text{ j} \times 157 = 236 \text{ g/m}^2/\text{an}$$

En moyenne, chaque colonne d'eau lacustre de 1 m<sup>2</sup> de section produit annuellement 236 g. A titre de comparaison la Baie de Villefranche très polluée a une productivité annuelle de 58 g/m<sup>2</sup>.

La surface du lac est de 582 km<sup>2</sup>, la productivité annuelle totale du Léman est donc en gros de: 137.350 tonnes. Cette valeur est à majorer de 10% pour tenir compte de l'absorption obscure de la respiration et des différences entre l'assimilation du <sup>14</sup>C et du <sup>12</sup>C. On obtient la valeur globale de 151.000 T/an.

En tenant compte d'une correction de 40% correspondant à la consommation globale de carbone par respiration, la quantité de carbone réellement mise à la disposition des prédateurs est de 90.000 tonnes environ par an pour l'ensemble du Lac.

### 4° *Comparaison avec les productivités observées par d'autres auteurs dans les lacs*

En France, à notre connaissance, aucune mesure annuelle directe de la productivité dans les lacs n'a encore été faite. Il nous faut donc comparer nos résultats avec les données qui ont été obtenues sur les lacs américains et canadiens, les lacs de montagne en Autriche et les lacs suédois et danois.

Les courbes de productivité ont à peu près la même allure et les taux de productivité maximum se situent, comme les nôtres, un peu au-dessous de la surface de l'eau (W. RODHE 1958, E. STEEMAN NIELSEN 1959).

La profondeur à laquelle la productivité devient négligeable est très différente suivant les lacs et dépend de la transparence de leur eau.

Bien que peu d'auteurs aient suivi régulièrement pendant au moins une année les variations de la productivité, il semble que les deux maxima de printemps et d'automne, que nous observons dans le Léman, aient déjà été observés dans les lacs (C. R. GOLDMAN et R. G. WETZEL 1963).

La gamme de variations de la productivité, en valeur absolue, semble se situer entre 80 et 1130 mg/m<sup>2</sup>/jour. (G. NYGAARD 1955). Nos mesures se situent entre ces valeurs extrêmes.

I. FINDENEG (1965) a mesuré, en juin et en septembre, la productivité des deux bassins du lac de Constance. Ses résultats indiquent, dans les premiers mètres, des productivités nettement plus élevées que les nôtres mais négligeables au-delà de 20 mètres. Considérées globalement, les surfaces de ses courbes sont voisines des nôtres.