MESURE DE LA PRODUCTION ORGANIQUE DANS LE LAC DE NANTUA A L'AIDE DU ^{14}C

par J. BROUARDEL et S. SERRUYA.

Dans une publication précédente¹, nous avons exposé les résultats de recherches faites en 1965-66 sur la productivité primaire du lac Léman. Au cours de ces années, nous avons également fait une étude de la productivité du lac de Nantua. Ce lac occupe une cluse NW-SE du Jura. Son plan d'eau, de 2,5 km de long sur 0,6 km de large, est à une altitude de 375 m; sa plus grande profondeur est de 42 m.

La méthode employée, dite du ^{14}C , est identique à celle qui nous a servi pour l'étude du Léman et dont nous avons donné tous les détails. Nous ne reviendrons donc pas sur cette technique et nous nous limiterons à exposer les résultats obtenus.

Rappelons que la formule qui permet de calculer la productivité de l'eau nécessite la connaissance de la teneur en CO_2 total de celle-ci, or cette teneur, pour le lac de Nantua, est extrêmement variable.

Suivant la saison, la teneur en CO_2 total de l'eau de surface, d'une valeur moyenne d'environ 120 mg/l (donc beaucoup plus élevée que celle du Léman qui était de l'ordre de 77 mg) a présenté en 1965 un minimum de 81 mg/l en août et un maximum de 153 mg/l en novembre.

Avec la profondeur, la teneur en CO_2 croît et cela plus ou moins rapidement suivant la saison. Le maximum de cette variation a atteint 52 % entre 0 et 10 m lors d'une expérience faite en septembre.

Dans ces conditions, il n'est pas possible d'adopter pour le calcul des productivités une valeur moyenne; aussi avons-nous déterminé pour chaque expérience, la teneur en CO_2 de chaque échantillon.

1. *Annls Limnol.*, 1967, 3 (2) : 299-330. Les rectifications suivantes doivent être apportées à cette publication :

- p. 307, ligne 14 : au lieu de $10\mu\text{C/l}$, lire $10\mu\text{gC/l}$,
- p. 309, ligne 26 : au lieu de 10^3mgCj , c'est-à-dire en microgrammes de carbonate par litre et par jour, lire 10^{-3}mgC/l.j. , c'est-à-dire en microgrammes de carbone par litre et par jour.
- p. 320, ligne 2 : au lieu de 100 m/l, lire 100 ml,
- p. 326, ligne 35 : au lieu de 40.10^3mgC/l.j. , lire $40.10^{-3}\text{mgC/l.j.}$

TABLEAU I. — Production nette apparente de carbone. — Lac de Nantua.

Date	En 10 ⁻³ mg par litre et par jour								En mg par m ² et jour
	0 m	2 m 50	5 m	7 m 50	10 m	20 m	30 m	40 m	
1965									
31 mars	73 ⁷ 73 Obs. 6	121 ⁹ 91 62 ¹	54 ⁵ 59 65 ¹	6 ⁷ 7 8 ¹	14 ¹ 14 14 ¹	0,7 ⁰ 0,5 0,4 ¹	4 ⁴ 4 4 ¹	5 ⁵ 5 5 ¹	570
14 avril	79 ⁹ 91 103 ¹ Obs. 23	95 ⁹ 95 95 ¹	22 ² 22 22 ¹ Obs. 12	17 ¹ 17 17 ¹	17 ¹ 18 19 ¹	1,3 ¹ 1,7 2,1 ¹	1,1 ¹ 1 0,9 ¹	1,6 ¹ 1,3 1 ¹ Obs. 1,2	500
4 mai	280 ² 280 Obs. 8,5	34 ³ 34	4,8 ⁵ 5,7 6,6 ¹	4,8 ⁴ 4 3,2 ¹	0,8 ⁰ 0,9 1 ¹	0,6 ⁰ 0,6 0,5 ¹	0,7 ⁰ 0,7 0,7 ¹	0,9 ⁰ 0,9 0,9 ¹ Obs. 0,9	630
3 juin	159 ¹ 168 177 ¹ Obs. 4,3	95 ⁹ 99 104 ¹	16 ² 20 24 ¹	5 ⁵ 5	1 ¹ 1	0,6 ⁰ 0,5 0,4 ¹	0,4 ⁰ 0,4 0,4 ¹	4,3 ⁴ 4,3 4,3 ¹ Obs. 4	500
15 juin	88 ¹ 110 132 ¹ Obs. 3,3	95 ⁹ 118 141 ¹	42 ³ 37 32 ¹	9 ⁹ 10 11 ¹	1 ¹ 1 1 ¹	0,4 ⁰ 0,4 0,4 ¹	0,4 ⁰ 0,3 0,2 ¹		430
7 juillet	97 ⁹ 97 Obs. 7,7	82 ⁷ 77 73 ¹	54 ⁴ 46 38 ¹ Obs. 5,9	38 ³ 37 36 ¹	2,2 ² 2,1 2 ¹	0,6 ⁰ 0,6 0,5 ¹	0,6 ⁰ 0,6 0,5 ¹	4,4 ⁴ 4,8 5,3 ¹ Obs. 3,9	470
28 juillet	281 ² 286 291 ¹ Obs. 27		281 ² 281 Obs. 24	10 ¹ 13 16 ¹	2,6 ² 2,6 2,6 ¹	1,1 ¹ 0,9 0,7 ¹	0,8 ¹ 0,9 1 ¹	4,4 ⁴ 4,8 5,3 ¹ Obs. 4,2	1500 ?
10 août	552 ⁴ 443 333 ¹ Obs. 13		33 ³ 22 12 ¹	3 ³ 3	1,4 ¹ 1,3 1,2 ¹	3 ³ 3 3 ¹ Obs. 3			1200 ?
25 août	177 ² 255 333 ¹ Obs. 5		5 ⁵ 6 7 ¹ Obs. 5	2 ² 5 8 ¹	37 ³ 37 Obs. 29	38 ³ 38 Obs. 38			440 ?
21 septembre	485 ³ 325 165 ¹	77 ⁹ 95 113 ¹	3 ³ 3,5 4 ¹ Obs. 1,2	0,6 ⁰ 0,6 0,6 ¹	0,6 ⁰ 0,6 0,6 ¹ Obs. 0,6	0,5 ⁰ 0,4 0,3 ¹	0,3 ⁰ 0,2 0,1 ¹	2,2 ² 2,2 Obs. 2,5	600
12 octobre	344 ² 276 209 ¹ Obs. 4	239 ² 261 283 ¹	19 ² 22 25 ¹ Obs. 5,3	23 ² 15 8 ¹	5,6 ³ 3,4 1,1 ¹ Obs. 1,4	0,5 ⁰ 3,9 7,2 ¹	3 ³ 2,5 1,9 ¹	25 ² 28 21 ¹ Obs. 26	900
26 octobre	341 ² 298 256 ¹ Obs. 5,4	127 ¹ 137 147 ¹	13,6 ¹ 14,5 15,4 ¹	4,2 ² 4,2 4,2 ¹	3,3 ³ 3,3 3,3 ¹ Obs. 3,3	0,3 ⁰ 0,4 0,5 ¹	2,5 ² 2,9 3,4 ¹	26 ² 22 18 ¹ Obs. 25	700
12 novembre	150 ¹ 150 Obs. 8	142 ¹ 137 184 ¹	28 ² 26 24 ¹ Obs. 0,5	9 ⁹ 8 7 ¹		3,3 ³ 2,8 2,3 ¹	2 ² 2 2 ¹		650
15 décembre	35 ³ 34 33 ¹ Obs. 2,6	24 ² 25 26 ¹	4,8 ⁵ 5,4 6,1 ¹ Obs. 0,4	2,3 ² 2,2 2,1 ¹	0,8 ⁰ 0,8 0,8 ¹ Obs. 0,5	0,2 ⁰ 0,3 0,4 ¹	0,5 ⁰ 0,6 0,7 ¹	6,3 ⁶ 6,3 Obs. 6,3	130

TABLEAU II. — Production nette apparente de carbone. — Lac de Nantua.

Date	En 10-3 mg par litre et jour									En mg par m ² et jour
	0 m	1 m 25	2 m 50	3 m 75	5 m	7 m 50	10 m	15 m	40 m	
1966										
25 janv.	21 $\left\{ \begin{array}{l} 19 \\ 17 \end{array} \right\}$ Obs. 1,3	19 $\left\{ \begin{array}{l} 22 \\ 25 \end{array} \right\}$	14 $\left\{ \begin{array}{l} 14 \\ 13 \end{array} \right\}$ Obs. 0,5	14 $\left\{ \begin{array}{l} 13 \\ 12 \end{array} \right\}$	13 $\left\{ \begin{array}{l} 11 \\ 9 \end{array} \right\}$	4 $\left\{ \begin{array}{l} 4 \\ 4 \end{array} \right\}$	1,6 $\left\{ \begin{array}{l} 1,6 \\ 1,6 \end{array} \right\}$ Obs. 0,2	0,3 $\left\{ \begin{array}{l} 0,3 \\ 0,3 \end{array} \right\}$ Obs. 0,2		95
1 ^{er} mars	50 $\left\{ \begin{array}{l} 45 \\ 40 \end{array} \right\}$ Obs. 5	37 $\left\{ \begin{array}{l} 47 \\ 57 \end{array} \right\}$	50 $\left\{ \begin{array}{l} 49 \\ 48 \end{array} \right\}$ Obs. 3	33 $\left\{ \begin{array}{l} 43 \\ 54 \end{array} \right\}$	32 $\left\{ \begin{array}{l} 30 \\ 29 \end{array} \right\}$	11 $\left\{ \begin{array}{l} 11 \\ 11 \end{array} \right\}$	3 $\left\{ \begin{array}{l} 3 \\ 3 \end{array} \right\}$ Obs. 0,6	0,6 $\left\{ \begin{array}{l} 0,6 \\ 0,6 \end{array} \right\}$ Obs. 0,3	0,3 $\left\{ \begin{array}{l} 0,3 \\ 0,3 \end{array} \right\}$ Obs. 0,3	280
16 mars	29 $\left\{ \begin{array}{l} 33 \\ 37 \end{array} \right\}$ Obs. 8	47 $\left\{ \begin{array}{l} 47 \\ 47 \end{array} \right\}$	74 $\left\{ \begin{array}{l} 79 \\ 84 \end{array} \right\}$ Obs. 5	53 $\left\{ \begin{array}{l} 64 \\ 75 \end{array} \right\}$	75 $\left\{ \begin{array}{l} 55 \\ 36 \end{array} \right\}$	30 $\left\{ \begin{array}{l} 29 \\ 28 \end{array} \right\}$	8 $\left\{ \begin{array}{l} 8 \\ 8 \end{array} \right\}$ Obs. 1,2	1,2 $\left\{ \begin{array}{l} 1,4 \\ 1,6 \end{array} \right\}$ Obs. 0,5	1,2 $\left\{ \begin{array}{l} 1,1 \\ 1 \end{array} \right\}$ Obs. 1	465
20 avril		137 $\left\{ \begin{array}{l} 147 \\ 155 \end{array} \right\}$	33 $\left\{ \begin{array}{l} 33 \\ 33 \end{array} \right\}$ Obs. 5	11,7 $\left\{ \begin{array}{l} 11,3 \\ 10,9 \end{array} \right\}$	8 $\left\{ \begin{array}{l} 7,5 \\ 7 \end{array} \right\}$	4 $\left\{ \begin{array}{l} 3 \\ 2 \end{array} \right\}$	1,3 $\left\{ \begin{array}{l} 1,2 \\ 1,2 \end{array} \right\}$ Obs. 0,4	0,6 $\left\{ \begin{array}{l} 0,8 \\ 0,9 \end{array} \right\}$ Obs. 0,5	0,3 $\left\{ \begin{array}{l} 0,3 \\ 0,3 \end{array} \right\}$ Obs. 0,3	430
4 mai	166 $\left\{ \begin{array}{l} 140 \\ 114 \end{array} \right\}$ Obs. 18	142 $\left\{ \begin{array}{l} 176 \\ 211 \end{array} \right\}$	180 $\left\{ \begin{array}{l} 164 \\ 148 \end{array} \right\}$	63 $\left\{ \begin{array}{l} 65 \\ 68 \end{array} \right\}$	10 $\left\{ \begin{array}{l} 12 \\ 14 \end{array} \right\}$ Obs. 2,5	3 $\left\{ \begin{array}{l} 3 \\ 3 \end{array} \right\}$	1,7 $\left\{ \begin{array}{l} 1,7 \\ 1,7 \end{array} \right\}$ Obs. 0,45	0,4 $\left\{ \begin{array}{l} 0,4 \\ 0,4 \end{array} \right\}$ Obs. 0,4	1,5 $\left\{ \begin{array}{l} 2,1 \\ 2,7 \end{array} \right\}$ Obs. 2,1	610
25 mai	315 $\left\{ \begin{array}{l} 330 \\ 345 \end{array} \right\}$ Obs. 26	422 $\left\{ \begin{array}{l} 423 \\ 422 \end{array} \right\}$	95 $\left\{ \begin{array}{l} 105 \\ 115 \end{array} \right\}$	28 $\left\{ \begin{array}{l} 28 \\ 28 \end{array} \right\}$	13 $\left\{ \begin{array}{l} 9 \\ 6 \end{array} \right\}$	0,9 $\left\{ \begin{array}{l} 0,8 \\ 0,8 \end{array} \right\}$	0,4 $\left\{ \begin{array}{l} 0,4 \\ 0,4 \end{array} \right\}$ Obs. 0,4	0,4 $\left\{ \begin{array}{l} 0,4 \\ 0,4 \end{array} \right\}$ Obs. 0,4		900
15 juin	101 $\left\{ \begin{array}{l} 112 \\ 123 \end{array} \right\}$	303 $\left\{ \begin{array}{l} 292 \\ 281 \end{array} \right\}$	365 $\left\{ \begin{array}{l} 354 \\ 343 \end{array} \right\}$	115 $\left\{ \begin{array}{l} 116 \\ 117 \end{array} \right\}$	36 $\left\{ \begin{array}{l} 39 \\ 42 \end{array} \right\}$	3 $\left\{ \begin{array}{l} 3 \\ 3 \end{array} \right\}$	1,2 $\left\{ \begin{array}{l} 1,2 \\ 1,2 \end{array} \right\}$	0,7 $\left\{ \begin{array}{l} 0,6 \\ 0,5 \end{array} \right\}$ Obs. 0,6	0,9 $\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1 \end{array} \right\}$ Obs. 1	960
5 juil.	182 $\left\{ \begin{array}{l} 230 \\ 278 \end{array} \right\}$ Obs. 26	282 $\left\{ \begin{array}{l} 280 \\ 281 \end{array} \right\}$	218 $\left\{ \begin{array}{l} 212 \\ 206 \end{array} \right\}$	77 $\left\{ \begin{array}{l} 67 \\ 57 \end{array} \right\}$	27 $\left\{ \begin{array}{l} 24 \\ 21 \end{array} \right\}$	1,8 $\left\{ \begin{array}{l} 1,3 \\ 0,8 \end{array} \right\}$	0,5 $\left\{ \begin{array}{l} 0,5 \\ 0,5 \end{array} \right\}$	0,4 $\left\{ \begin{array}{l} 0,5 \\ 0,7 \end{array} \right\}$ Obs. 0,5	5,8 $\left\{ \begin{array}{l} 7,8 \\ 9,8 \end{array} \right\}$ Obs. 8	1040

Ce sont ces valeurs, fournies par l'analyse, que nous avons utilisées dans les calculs en arrondissant cependant celles-ci au multiple de 5 le plus voisin.

Pour une première série d'expérience de productivité faite au cours de l'année 1965, les profondeurs de prélèvements ont été les suivantes :

0 m — 2,5 m — 5 m — 7,5 m — 10 m — 20 m — 30 m — 40 m.

Puis, tenant compte des résultats obtenus, nous avons, pour les expériences de 1966, modifié ces profondeurs et choisi celles-ci :

0 m — 1,25 m — 2,5 m — 3,75 m — 5 m — 10 m — 15 m — 40 m.

Ces profondeurs permettaient en effet de faire des prélèvements à des distances plus rapprochées les unes des autres dans la couche d'eau de plus forte productivité dont les expériences de 1965 nous avaient permis de déterminer l'épaisseur.

Le tableau I résume les résultats obtenus au cours de l'année 1965. Le tableau II, ceux ayant trait à l'année 1966.

Les résultats sont exprimés ici en 10^{-3} mg C/l. j., c'est-à-dire en microgramme de carbone par litre et par jour, quantités déduites du nombre de coups/minute diminué du « Background », compte tenu de l'activité de la solution de $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ utilisée. Comme pour le Léman, cette activité, d'abord de $6,5 \mu \text{ Ci/ml}$, a été réduite de moitié.

Dans les tableaux, pour chaque profondeur, figurent deux nombres qui correspondent aux résultats obtenus à partir des prélèvements faits par les tubes jumelés d'une bouteille de prélèvements identique à celle employée pour le Léman, puis leur moyenne. Les nombres précédés de l'indication « obs. » correspondent aux échantillons maintenus à l'obscurité. Dans la dernière colonne figure enfin la productivité exprimée en mg de carbone par m^2 de surface du plan d'eau.

Ces résultats permettent de construire les courbes de productivité, figures 1, 2, 3, ayant trait à l'année 1965, et 4, 5, 6 à 1966.

Pour résumer les graphiques nous avons groupé les courbes suivant les saisons et lorsqu'il y a plusieurs expériences le même mois nous avons fait figurer la courbe moyenne.

1. — Variation en fonction de la profondeur.

Les courbes montrent que, quelle que soit la saison, le maximum de productivité s'observe un peu au-dessous de la surface, entre 1 m et 2 m. Ce fait qui n'apparaît pas sur les courbes relatives à l'année 1965 ressort nettement des courbes de 1966. En effet, en 1965, les prélèvements insuffisamment rapprochés les uns des autres dans les premiers mètres laissaient échapper la véritable

FIG. 1. — Courbes de productivité. Printemps 1965 : mars (●), avril (+), mai (×), juin (○).

FIG. 2. — Courbes de productivité. Été 1965 : juillet (●), août (+), septembre (○).

FIG. 3. — Courbes de productivité. Automne 1965 : octobre (●), novembre (+), décembre (○).

FIG. 4. — Courbes de productivité. Hiver 1966 : janvier (●), mars (+).

FIG. 5. — Courbes de productivité. Printemps 1966 : avril (●), mai (+), juin (○).

FIG. 6. — Courbe de productivité du 5 juillet 1966.

position du maximum. Puis, avec la profondeur, les productivités décroissent et atteignent des valeurs pratiquement nulles aux environs de 5 à 10 m suivant la saison. Cette limite varie parallèlement à la transparence du lac. En effet, quelques mesures photométriques faites avec la cellule employée pour le Léman, ont montré que le niveau auquel se situe le 1 % de la luminosité de surface, de position différente suivant les saisons, varie de 2 à 9 m; les plus faibles transparences se situant en été. Ainsi donc, comme pour le Léman, la productivité devient négligeable aux environs, mais un peu au-delà, de la profondeur à partir de laquelle l'éclairement ne représente plus que 1 % de l'intensité lumineuse à la surface de l'eau.

2. — Variation suivant la saison.

La variation de la productivité au cours des mois est représentée figure 7. Sur cette figure nous avons porté en ordonnées les productivités exprimées en mg de carbone par m² du plan d'eau.

Cette courbe, mal définie pendant une partie de 1965, probablement en raison du fait signalé ci-dessus, semble indiquer cependant un maximum d'automne, puis, en 1966, un net minimum qui se situe vers janvier, enfin une croissance régulière jusqu'à un maximum très élevé d'été. Les deux points de fin juillet et d'août 1965 ne seraient pas aberrants et correspondraient à ce maximum. Une expérience faite le 28 juillet 1965, mais en un autre point du lac, semble d'ailleurs bien le confirmer en donnant la productivité très élevée de 1 400 mg C par m².

FIG. 7. — Variation, au cours des mois, de la productivité exprimée en mg de carbone par m² de surface du plan d'eau et par jour.

Pour une période d'une année s'étendant du 1^{er} avril 1965 au 1^{er} avril 1966 (période pour laquelle nous avons déterminé la productivité du Léman) la productivité moyenne, par jour, par m², est ici d'environ 600 mg de carbone, donc de 219 gr pour l'année. Ce qui en tenant compte de la respiration nocturne représente 130 gr de carbone mis directement à la disposition des herbivores.

3. — Comparaison des résultats obtenus en parallèle.

Nous avons vu que l'appareil de prélèvement utilisé permettait par son jumelage de bouteilles de faire à chaque profondeur deux prélèvements et donc d'avoir deux résultats parallèles. Ces deux résultats qui figurent dans les tableaux permettent, par comparaison, de se faire une idée de la répartition du phytoplancton dans la masse d'eau où les deux tubes ont fait simultanément les prélèvements.

Nous avons calculé, à partir de ces résultats, les différences en % obtenues à partir des deux échantillons parallèles. De grandes différences (100 %) sont parfois, mais assez rarement constatées, ceci quelles que soient la saison et la profondeur. Leur moyenne, dans la zone de plus grande productivité, ici de 0 à 5 m, est d'environ 20 % soit du même ordre de grandeur que celle observée pour le Léman. Il semble donc, ici encore, que la répartition du phytoplancton obéisse à la loi de probabilité que nous avons antérieurement mise en évidence.

4. — Fixation du CO_2 à l'obscurité.

La fixation du CO_2 à l'obscurité n'est pas due uniquement au phytoplancton mais à tous les organismes présents dans le milieu et probablement surtout aux bactéries. Pour en tenir compte il est nécessaire de procéder à des essais à l'obscurité parallèlement aux expériences de photosynthèse.

Lors de chaque expérience de productivité nous avons maintenu à l'obscurité, dans des flacons opaques, des échantillons d'eau de surface. Les nombres précédés de l'indication « obs. » qui figurent dans les tableaux, donnent le résultat de leurs comptages. Signalons que pour 1966, chacun de ces nombres correspond à la moyenne de deux expériences.

Par ailleurs, à quelques époques, nous avons procédé à des essais à l'obscurité à d'autres profondeurs. Comme pour les expériences de photosynthèse, les flacons étaient réimmergés pendant la durée de l'expérience aux profondeurs de prélèvements afin qu'ils soient dans les mêmes conditions de température.

4.1. — VARIATION SAISONNIÈRE.

— *Échantillons de surface.* — Pour chaque expérience nous avons calculé en pour cent le taux de fixation des échantillons maintenus à l'obscurité par rapport à la productivité des échantillons soumis aux conditions normales d'éclairement. Ces pourcentages figurent au tableau III.

TABLEAU III

Année 1965

Époque : 31/III - 14/IV - 4/V - 3/VI - 15/VI - 7/VII - 28/VII - 10/VIII.

% : 8,2 25 3 2,5 3 8 9,5 3

Époque : 25/VIII - 21/IX - 12/X - 26/X - 12/XI - 15/XII.

% : 2 1,5 1,4 1,8 5,3 7,6

Année 1966

Époque : 25/I - 1/III - 16/III - 4/V - 25/V - 5/VII.

% : 6,9 11 24 13 7,9 11,5

Pour l'ensemble des expériences, la moyenne de ces pourcentages, ici très élevée, est de 7,8 %. Pour la période s'étendant du 1^{er} avril 1965 au 1^{er} avril 1966, elle est de 6 %.

Nous avons reporté graphiquement, figure 8, les valeurs des pourcentages au cours des saisons.

La grande dispersion des points ne permet pas de construire de courbe. Leur position indique cependant que l'importance relative

FIG. 8. — Variation, en surface, suivant la saison, du taux de fixation à l'obscurité par rapport à la productivité.

de la fixation à l'obscurité est très variable suivant la saison. Faible (de l'ordre de 2 %) en fin d'été et en automne elle peut atteindre au cours du printemps des valeurs très élevées (25 %). Des valeurs intermédiaires s'observent en été et hiver.

4.2. — VARIATION SUIVANT LA PROFONDEUR.

— *Dans la zone euphotique.* — En plus des déterminations de la fixation à l'obscurité faites régulièrement sur des échantillons d'eau de surface, nous avons fait un certain nombre de mesures de celle-ci sur des échantillons prélevés à différentes profondeurs. Leurs valeurs¹ qui figurent dans les tableaux I et II présentent une moyenne de 7 μ g à 5 m, de 1 μ g à 10 m et de 0,5 μ g à 15 m. En surface, pour les époques correspondant à ces expériences, la valeur moyenne de la fixation à l'obscurité était de 9 μ g.

Ainsi donc, en valeur absolue, la fixation à l'obscurité, comme la productivité décroît avec la profondeur.

Considérons maintenant l'importance relative de la fixation à l'obscurité par rapport à la production photosynthétique aux différentes profondeurs.

1. Pour faciliter la comparaison avec les productivités, nous avons, comme pour celles-ci exprimé les résultats en microgrammes de carbone par litre et par jour.

A 5 m, la valeur moyenne de celle-ci, pour les 9 expériences faites en 1965, est de 22 %, alors que pour les expériences faites aux mêmes dates en surface, elle était de 7,2 %.

A 10 m, pour les 10 expériences de 1965 et 1966, cette moyenne est de 50 %, pour un pourcentage correspondant à l'eau de surface encore égal à 7,2 %. Remarquons cependant que cette valeur moyenne de 50 % oscille entre 12 % en janvier et 100 % en octobre, soit à des époques qui correspondent à des conditions opposées de transparence du lac. En janvier, où l'eau est la plus transparente, la productivité photosynthétique, bien qu'extrêmement faible en valeur absolue, est cependant plus grande que la fixation à l'obscurité, alors qu'en octobre la fixation à l'obscurité représente la totalité de la production observée.

A 15 m, la fixation à l'obscurité représente, dans la plupart des cas, la totalité de la production observée; cependant en hiver on observe encore une très légère productivité. Remarquons cependant que compte tenu des variations du « Background » au cours des comptages et de leur grande importance relative en raison de la faible radioactivité des filtres dans ce cas, les différences sont peu significatives.

— *Au-delà de la zone euphotique.* — Nous avons vu qu'en 1965 les profondeurs choisies pour les prélèvements s'échelonnaient de la surface jusqu'à 40 m, cette dernière profondeur se situant près du fond du lac qui, ainsi que nous l'avons dit, est à 42 m.

Aux profondeurs de prélèvement de 20, 30, 40 m, quelle que soit la saison, la lumière ne pénètre plus, il n'y a plus de photosynthèse, et les résultats obtenus à ces profondeurs correspondent uniquement à la fixation à l'obscurité.

Sur les dix expériences faites en 1965, pour lesquelles nous avons tous les résultats correspondant à 20, 30, 40 m, on constate qu'à 20 m la fixation à l'obscurité est en moyenne, par jour, de $0,98 \mu\text{g C}$ par litre d'eau, de 1,4 à 30 m et de 7,9 à 40 m. Cette moyenne de $7,9 \mu\text{g C/l}$ à 40 m varie considérablement suivant la saison, ainsi, en avril-mai, elle est d'environ $1 \mu\text{g}$ alors qu'elle est de $25 \mu\text{g}$ en octobre, donc cinq fois plus élevée que la fixation obtenue en surface à cette époque.

Les expériences de 1966 (tableau II) confirment l'existence de cette fixation au fond du lac.

Ainsi donc, dans les limites de la zone euphotique, on constatait en valeur absolue une décroissance de la fixation à l'obscurité avec la profondeur, alors qu'on constate au contraire ici, au-delà de cette zone, sa croissance.

Ce phénomène, qui ne semble encore jamais avoir été signalé, est probablement d'origine bactérienne.

En résumé, en valeur absolue, la fixation à l'obscurité décroît avec la profondeur pour atteindre aux environs de 10 m, comme la productivité, une valeur pratiquement nulle, puis elle se met à croître jusqu'à proximité du fond du lac.

En valeur relative, elle croît avec la profondeur et en moyenne, vers 10 m, constitue à elle seule la totalité de la productivité décelable.

5. — Comparaison entre le lac de Nantua et le Léman.

Nous avons dit qu'au cours des années 1965-66 nous avons mené parallèlement des recherches sur la productivité du lac de Nantua et du Léman.

C'est une comparaison entre les résultats obtenus dans ces deux lacs que nous allons faire maintenant.

Si dans les deux cas les courbes de productivité ont même allure, elles traduisent cependant des différences importantes de sa valeur.

1° Les productivités observées en surface et à son proche voisinage sont beaucoup plus élevées pour Nantua. Au cours d'une année s'étendant du 1^{er} avril 1965 au 1^{er} avril 1966, la productivité moyenne par jour, en surface, a été de 182 μ g C/l pour Nantua et de 41 μ g C/l pour le Léman. Quantité variant suivant la saison de 19 à 443 μ g C/l pour le premier lac, de 7 à 136 μ g C/l pour le second.

2° La profondeur à partir de laquelle la productivité devient négligeable est différente. Pour le lac de Nantua elle se situe aux environs de 10 m, pour le Léman à 20 m. Ce qui s'explique par la différence de transparence de l'eau des deux lacs.

FIG. 9. — Courbes moyennes de productivité dans le lac de Nantua (●) et le Léman (×).

Pour illustrer ces comparaisons nous avons tracé, figure 9, les courbes moyennes des résultats obtenus du 1^{er} avril 1965 au 1^{er} avril 1966 pour les deux lacs.

Suivant la saison la productivité varie différemment dans les deux lacs. On observe bien, pour tous deux, un minimum d'hiver aux environs de décembre-janvier, puis un maximum qui, lui, se situe différemment : au printemps, vers avril-mai, pour le Léman, beaucoup plus tard pour Nantua, au cours de l'été. Un second maximum, en automne, beaucoup plus faible d'ailleurs, très net pour le Léman, existe peut-être aussi, en octobre, pour Nantua.

Si nous considérons maintenant les productivités rapportées non plus à des volumes d'eau mais au mètre carré du plan d'eau, on constate que dans les deux lacs, celles-ci sont sensiblement les mêmes (593 mg C/m².j. pour Nantua, 650 pour le Léman). Ce qui s'explique par le fait que si dans le lac de Nantua la productivité est beaucoup plus élevée en surface, celle-ci est très vite limitée, en profondeur, par l'opacité de l'eau. Au contraire dans le Léman dont la productivité de surface est bien moindre, sa plus grande transparence lui permet de la poursuivre plus profondément.

En somme, par un jeu de compensation, la productivité annuelle par unité de surface est la même pour les deux lacs.

En ce qui concerne la fixation à l'obscurité, les résultats sont très différents dans les deux lacs.

En surface elle est beaucoup plus élevée pour Nantua, avec une moyenne journalière d'environ 9 μ g C/l contre 1,2 pour le Léman. Mais si on considère la valeur relative de cette fixation par rapport à la productivité, la différence entre les deux lacs est faible (cette importance relative étant de l'ordre de 6 % pour Nantua et de 4 % pour le Léman), ce qui s'explique par la très grande productivité de surface du lac de Nantua.

Suivant la saison, l'importance de cette fixation est différente pour les deux lacs, son maximum se situe au printemps pour Nantua, en juillet pour le Léman, elle atteint alors des valeurs extrêmement élevées, de 20 à 25 % dans les deux cas.

En valeur absolue, la fixation à l'obscurité décroît avec la profondeur pour atteindre une valeur pratiquement nulle à la limite de la zone euphotique dont le niveau est très différent dans les deux lacs. A ce niveau, en valeur relative, la fixation à l'obscurité constitue à elle seule la totalité de la productivité décelable.

Au-delà de la zone euphotique, pour le lac de Nantua, la fixation à l'obscurité croît jusqu'à proximité des sédiments. Sur ce point nous n'avons malheureusement pas d'éléments de comparaison avec le Léman.

RÉSUMÉ

Une étude de la productivité du lac de Nantua a été poursuivie pendant 17 mois en un point situé au-dessus de son plus grand fond (42 m).

En fonction de la profondeur, quelle que soit la saison, la productivité la plus grande s'observe un peu au-dessous de la surface, entre 1 à 2 m, puis elle décroît pour atteindre des valeurs qui deviennent négligeables vers 10 m, niveau auquel l'éclairement ne représente plus qu'environ 1 % de la lumière de surface.

Au cours des saisons, la variation de productivité montre en été l'existence d'un maximum très élevé (1 000 à 1 500 mg C/m². j.) et peut être d'un autre maximum, plus faible en automne. Un minimum de très faible valeur (de l'ordre de 50 mg) s'observe en hiver.

Pour l'ensemble de l'année, la quantité de carbone élaborée mise à la disposition des herbivores a été d'environ 130 gr.

Parallèlement aux expériences de photosynthèse nous avons fait des déterminations de la fixation du carbone à l'obscurité par le plancton. Celle-ci varie considérablement suivant la saison. En surface, elle ne représente pendant la majeure partie de l'année qu'un assez faible pourcentage de la productivité photosynthétique, mais elle peut atteindre des valeurs très élevées (25 %) au cours du printemps. Ce pourcentage augmente avec la profondeur et représente à partir de la limite de la zone euphotique, ici aux environs de 10 m, la totalité de la production mesurable.

En valeur absolue, cette fixation décroît avec la profondeur jusqu'à la limite de la zone euphotique, puis se met à croître jusqu'au fond du lac.

Une comparaison entre le lac de Nantua et le Léman a montré essentiellement, que s'il existe de très grandes différences dans la répartition de la productivité dans ces lacs, suivant la profondeur et la saison, celles-ci se compensent et que finalement la productivité annuelle considérée par unité de surface, dans les deux lacs, est sensiblement la même.

THE MEASUREMENT OF ORGANIC PRODUCTION IN THE LAKE OF NANTUA WITH ¹⁴C

A study of the productivity of the Lake of Nantua was made over a period of 17 months at a point located above the lake's greatest depth (42 m).

In the terms of depth and whatever the season, the greatest productivity was observed a little below the surface between 1 and 2 meters, after which it decreased to a negligible value around 10 m at which level the light intensity represents no more than about 1 % of surface light.

In the course of the season, productivity varies, rising in the summer to a very high maximum (1 000 to 15 000 mgC/m²/day). Another, though lower, maximum is probably reached in the autumn. A very low minimal value (about 50 mg) is observed in the winter. The quantity of synthesised carbon throughout the whole year was about 130 gr/m².

Parallel to the experiments in photosynthesis, we determined the quantity of carbon fixation by plankton in the dark. This varies appreciably according to the season. On the surface this value represents about 2 % of the total photosynthetic activity at the end of the summer-autumn period, but the value may reach 25 % of the activity during

spring. The percentage value increases with depth and represents the total measurable productivity within the limit of the euphotic zone which is about 10 m here.

In absolute value this carbon fixation decreases with depth up to the limit of the euphotic zone, after which it grows somewhat until the bottom of the lake.

A comparison with Lake Lemman has shown above all that if a very large difference in productivity exists between various regions of these lakes according to depth and season, this difference is compensated. It shows also that general measured productivity per unit of surface in the two lakes is largely the same throughout the year.

MESSUNG DER ORGANISCHEN PRODUKTION IM NANTUA SEE MIT HILFE DER ^{14}C METHODE

Während der Dauer von 17 Monaten ist die Produktivität des Nantuasees, in einem Punkt der sich über seiner grössten Tiefe (42 m) befindet, regelmässig verfolgt worden.

Unabhängig von der Jahreszeit, und in Funktion von der Tiefe beobachtet man die grösste Produktivität ein wenig unterhalb des Wasserspiegels, zwischen 1 und 2 Meter. Ausschliessend nimmt sie regelmässig ab und erreicht gegen 10 meter Werte, die man unberücksichtigt lassen kann. Die Helligkeit in diese Tiefe stellt nur noch ungefähr 1 % der Lichtintensität an der Oberfläche dar.

Im Laufe der Jahreszeiten besitzen die Produktivitätsschwankungen im Sommer ein sehr hohes Maximum (1 000 à 1 500 mgC/m² pro Tag) und vielleicht ein weiteres, schwächeres Maximum im Herbst. Im Winter beobachtet man ein Minimum von sehr geringem Wert (in der Grössenordnung von 50 mg).

Die verarbeitete Kohlenstoffmenge, die den Pflanzen-fressern zur Verfügung steht, beträgt im Jahresmittel ungefähr 230 g.

Neben den Untersuchungen über die Photosynthese wurde gleichzeitig die Kohlenstoffanreicherung durch Plankton im Dunkeln bestimmt.

Diese unterliegt je nach Jahreszeit beträchtlichen Schwankungen. An der Oberfläche stellt sie während des grössten Teiles des Jahres nur einen ziemlich schwachen Prozentsatz der Photosynthetischen Produktivität dar, aber im Frühling kann sie auch sehr hohe Werte (25 %) erreichen.

Dieser Prozentsatz nimmt mit der Tiefe zu, und unterhalb der Grenze der euphotischen Zone, hier bei ca 10 m, liefert sie die Gesamtheit der messbaren Produktion an C.

Wenn man die Absolutwerte betrachtet, so wird diese Anreicherung mit der Tiefe immer geringer bis zur Grenze der euphotischen Zone; von der ab nimmt Sie dann wieder regelmässig zu, was bis zum Grund des Sees aushält.

Im Vergleich zwischen dem Nantuasee und dem Genfersee kann man hauptsächlich herausstellen dass, wenn auch sehr grosse Unterschiede in der Verteilung der Produktivität in diesen beiden Seen bezüglich der Tiefe und der Jahreszeiten bestehen, dieser, sich doch gegenseitig aufheben und dass letzten Endes, wenn man die jährliche Produktivität pro Oberflächeneinheit in Erwägung zieht, diese in den beiden Seen doch merklich die gleiche ist.

*(Institut océanographique,
195, rue Saint-Jacques, Paris V^e.)*