

Influence des grands froids de l'hiver 1962-1963 sur l'état sanitaire du Lac Léman

Autor(en): **Monod, René**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **69 (1965-1967)**

Heft 318

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-275791>

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.

Influence des grands froids de l'hiver 1962-1963 sur l'état sanitaire du lac Léman

PAR

RENÉ MONOD

Bien que la thermique des lacs ait été étudiée depuis fort longtemps, et que l'étude du lac Léman ait permis à F.-A. FOREL d'énoncer à la fin du siècle passé sa magistrale théorie générale de la thermique d'un lac et par suite sa classification des lacs, bien des phénomènes restent encore mal connus. Le fait est que jusqu'il y a peu d'années, le Léman n'était étudié que sporadiquement, parfois avec intensité pendant quelques années, puis plus du tout pendant quelques autres. Il en est résulté que certains phénomènes liés aux conditions météorologiques ont souvent échappé au chercheur. En particulier, nous manquons de données sur les variations périodiques de la température de l'eau, et sur leurs effets sur la vie du lac. L'existence d'un cycle plus ou moins régulier, dont tout le monde parle, n'a jamais été mise en évidence de façon certaine jusqu'à présent.

Grâce à la somme de matériaux scientifiques accumulés ces dernières années par des chercheurs individuels ou par la sous-commission technique de la commission internationale pour la protection du lac Léman et du Rhône contre la pollution, nous pouvons y voir maintenant plus clair. A l'avenir l'extension des recherches, pendant la décennie hydrologique mondiale en particulier, va permettre une étude plus systématique encore des phénomènes.

Ainsi, par exemple, l'effet de conditions météorologiques exceptionnelles telles que les grands froids de l'hiver 1962-1963 sur la thermique du lac n'avait jusqu'à maintenant pu être étudié en détail, malgré l'importance que la thermique joue dans l'évolution du cycle de l'oxygène. Nous connaissons dans ces soixante dernières années d'autres hivers rigoureux, par exemple les hivers 1929, ou 1956, d'autres encore, mais nous ne disposons pas de mesures de température faites à ces époques, et devons remonter jusqu'à FOREL pour trouver traces de mesures effectuées au cours de l'hiver froid de 1891.

Aussi les mesures systématiques effectuées à la fin de la période estivale de 1962, en septembre et novembre, et à la fin de la période

hivernale, au mois de mars 1963, sur l'ensemble du lac et à toute profondeur permettent-elles de se rendre compte de l'ampleur du phénomène, comparé aux années précédentes, dont nous connaissons l'évolution sans discontinuer depuis 1957.

CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES DE L'HIVER 1962-1963

Les températures mensuelles moyennes de l'air, relevées au Champ-de-l'Air, sont données dans le tableau I. Nous avons porté en regard la norme de température, calculée sur plusieurs décennies, et l'excès ou le déficit par rapport à la norme.

TABLEAU I

TEMPÉRATURE MENSUELLE MOYENNE DE L'AIR RELEVÉE AU CHAMP-DE-L'AIR

Mois	Années	Moyenne	Norme	Excès ou déficit
Août	1962	20°8	17°8	Excès 3°0
Septembre	1962	15°2	14°6	Excès 0°6
Octobre	1962	10°6	9°55	Excès 1°05
Novembre	1962	3°1	4°7	Déficit 1°6
Décembre	1962	-1°6	+1°6	Déficit 3°2
Janvier	1963	-4°65	+0°35	Déficit 5°0
Février	1963	-2°7	+1°35	Déficit 4°05
Mars	1963	3°9	5°15	Déficit 1°25

Un simple coup d'œil au tableau montre que la température de l'air a été sans cesse en déficit par rapport à la norme, à partir du mois de novembre, et que ce déficit a crû jusqu'à fin janvier, mois auquel il atteignait la valeur considérable de 5°C. Ce déficit a du reste été remarquable en février, et encore notable en mars.

Il faut noter par ailleurs que l'hiver a été très précoce, le gel ayant débuté vers la mi-novembre. La neige est apparue vers la fin de novembre et a subsisté, contrairement aux années précédentes, jusqu'au printemps.

Quant au régime des vents, il y a eu au cours de cet hiver d'assez longs régimes de vents froids du nord-est ou du nord-ouest, dominants en novembre, en décembre, pendant toute la seconde partie de janvier, moins réguliers en février, mais pendant la moitié du mois cependant, laissant place en mars seulement à des vents du sud ou de l'ouest.

De plus, le mois de novembre a été très nébuleux ; il y a eu 19 jours sans soleil en décembre, quinze jours en janvier, onze en février, seulement six en mars.

Le thermomètre n'est pas descendu très bas : minimum -3°2 en novembre, -14°5 en décembre, -16°5 en janvier, -13°4 en février, 6°7 en mars ; mais les périodes de basse température ont été relativement longues.

Ainsi, l'hiver 1962-1963 s'est montré rigoureux non par des conditions atmosphériques exceptionnelles, mais par la constance de conditions légèrement plus rigoureuses que la moyenne.

VARIATION DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU
TEMPÉRATURE DE LA SURFACE DE L'EAU

La température moyenne de l'eau à la surface du Léman, pour les mois ayant fait l'objet d'observations de 1957 à 1963, est donnée dans le tableau II.

TABLEAU II

LAC LÉMAN — TEMPÉRATURE MOYENNE DE L'EAU À LA SURFACE DU LAC

Année	Mars	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Nov.	Moy.
1957	—	12°50	18°45	18°19	—	17°01	10°50	15°33
1958	5°23	14°64	17°85	20°52	—	20°02	9°85	14°68
1959	6°67	16°12	15°79	21°82	19°37	19°30	10°20	15°61
1960	6°79	15°45	18°08	19°39	18°23	15°26	10°71	14°84
1961	8°57	13°57	15°83	16°89	19°14	21°06	10°49	15°08
1962	5°43	10°71	15°89	17°66	20°78	17°76	10°51	14°11
1963	4°80	11°81	17°46	21°41	17°23	18°80	10°97	14°64

On y notera en particulier que la température de mars s'est élevée de 1958 à 1961, puis qu'elle était basse en 1962, et très basse en 1963 : 4°8 C, environ 0°6 de moins que l'année précédente à pareille époque. Les autres mois, pour la plupart des mois d'été, il y a de grosses variations d'une année à l'autre, suivant les conditions atmosphériques. En moyenne annuelle, du reste, les variations ne sont guère caractéristiques, si l'on tient compte du fait que les valeurs mensuelles ne sont pas les moyennes de mesures effectuées chaque jour du mois, mais les moyennes d'un certain nombre de mesures effectuées quasi simultanément au milieu de chaque mois.

TEMPÉRATURE DU FOND DE L'EAU

Beaucoup plus intéressantes sont les mesures effectuées au fond du lac (tableau III), mesures qui ne sont pas sous l'influence directe de l'atmosphère.

TABLEAU III

TEMPÉRATURE MOYENNE DE L'EAU AU FOND DU LAC

Année	Mars	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Nov.	Moy.
1957	—	4°60	4°80	4°70	—	4°70	4°80	4°72
1958	4°90	4°90	4°85	5°00	—	4°95	4°90	4°92
1959	4°95	5°00	5°00	5°05	5°10	5°10	5°10	5°04
1960	5°08	5°10	5°13	5°10	5°13	5°13	5°20	5°12
1961	5°20	5°20	5°30	5°40	5°40	5°30	5°20	5°28
1962	5°20	5°30	5°60	5°60	5°40	5°50	5°40	5°43
1963	4°23	4°43	4°50	4°50	4°50	4°60	4°53	4°47

On peut y constater d'une part que la température de l'eau à 300 m de profondeur n'est pas si stable qu'on le croirait, et d'autre part qu'il y a des variations saisonnières, et des variations que nous qualifierons provisoirement de cycliques.

Dans le courant d'une année, les échanges thermiques avec la surface ne sont pas négligeables, puisque la température au cours de la saison d'été peut s'élever de plusieurs dixièmes de degré. Ainsi en 1962, la température de l'eau qui était de $5^{\circ}2$ au mois de mars, a passé à $5^{\circ}6$ en juin et juillet, pour redescendre à $5^{\circ}4$ au mois de novembre.

Mais, ce qui est beaucoup plus important, c'est le fait que la température de l'eau s'est élevée régulièrement chaque année, de 1957 à 1962, pratiquement pour chaque mois pris en considération. En moyenne annuelle, la température de l'eau du lac a passé de $4^{\circ}72$ à $5^{\circ}43$ en 1962, soit une augmentation en valeur absolue de $0^{\circ}71$ en l'espace de six ans. En mars 1963, par suite du froid de l'hiver précédent, la température de l'eau au fond du lac était de $0^{\circ}97$ inférieure à celle du mois de mars 1962.

En moyenne annuelle, il y a eu une baisse quasi identique.

La température de l'eau du lac n'est du reste pas uniforme. En mars 1963, alors qu'elle s'est abaissée à $4^{\circ}3$, $4^{\circ}1$, en surface suivant les endroits du Grand Lac, et $4^{\circ}23$ en profondeur, elle a atteint $3^{\circ}6$ dans le Petit Lac et $1^{\circ}6$ à la rade de Genève, qui était partiellement gelée. Le Léman est du reste un des rares lacs suisses qui n'ait pas gelé au cours de cet hiver.

Ces phénomènes sont déjà décrits par FOREL (t. II, p. 356) : « Les allures de la variation sont étranges. Pendant une série d'années, on voit la température des couches profondes se relever lentement, sans interruption, sans retour en arrière. Ainsi de 1880 à 1885, la température monte de $4^{\circ}4$ à $5^{\circ}6$; de 1891 à 1894 de $4^{\circ}0$ à $4^{\circ}6$. Pendant ces séries d'années, il y a réchauffement continu à raison de $0^{\circ}1$, de $0^{\circ}2$ ou de $0^{\circ}3$ par an.

Puis subitement, dans le courant d'un hiver, nous voyons la température s'abaisser, parfois considérablement :

dans l'hiver de 1879 à 1880, elle passe de $5^{\circ}2$ à $4^{\circ}4$,

dans l'hiver de 1890 à 1891, elle passe de $4^{\circ}9$ à $4^{\circ}0$.

Il y a échauffement progressif et continu dans les années ordinaires, refroidissement subit dans les grands hivers. »

TEMPÉRATURE MOYENNE DE L'EAU DU LAC

On se rend mieux compte encore de l'ampleur des phénomènes de réchauffement ou de refroidissement du lac si l'on calcule la température moyenne de l'ensemble de sa masse ; ce calcul est relativement aisé si l'on connaît la topographie générale du lac. Il a déjà été fait pour le

Léman par HUBAULT et par DUSSART. Deux exemples de calcul sont donnés plus loin.

Les résultats de nos calculs pour les mesures effectuées de 1957 à 1963 sont reportés dans le tableau IV.

TABLEAU IV

LAC LÉMAN. — TEMPÉRATURE MOYENNE DE L'EAU DU LAC

Années	Mars	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Nov.	Moy.
1957	—	6°18	6°78	7°07	—	7°19	6°55	6°75
1958	5°15	6°35	6°79	7°29	—	7°33	6°65	6°59
1959	5°41	6°67	6°95	7°42	7°64	7°71	6°75	6°93
1960	5°58	6°77	7°10	7°50	7°73	7°26	7°01	6°99
1961	6°00	6°99	7°19	7°69	7°80	8°02	6°86	7°22
1962	5°38	6°18	7°09	7°51	7°97	8°21	7°22	7°08
1963	4°56	5°52	6°00	6°64	6°58	6°69	6°21	6°03

On y observe que la température moyenne de la masse lacustre a été au maximum de 8°21 en septembre 1962, et au minimum de 4°56 en mars 1963, soit une amplitude de 3°65 pendant l'hiver 1962-1963 alors qu'elle avait été respectivement de :

hiver 1957 à 1958	2°04
hiver 1958 - 1959	1°92
hiver 1959 - 1960	2°13
hiver 1960 - 1961	1°26
hiver 1961 - 1962	2°64

en moyenne des cinq hivers : 2°00

Ces observations montrent que le lac Léman, s'il peut être considéré comme un lac tropical ou chaud, selon FOREL, puisque sa température ne descend pas au-dessous de 4°C (sauf dans le Petit-Lac, qui mène une vie séparée à bien des égards), a cependant une température moyenne basse, puisqu'elle ne s'élève guère au-dessus de 8°C, et ceci seulement à la suite de plusieurs années d'échauffement.

FOREL s'exprime ainsi à ce sujet (t. II, p. 344) : « ... Le Léman est donc à l'extrême limite des lacs tropicaux et même, sans changement notable du climat, il pourrait, dans certaines circonstances favorables (succession de plusieurs hivers rigoureux) arriver à la classe des lacs tempérés... »

Les calculs de température moyenne du lac permettent d'établir le bilan thermique du lac, le gain estival et la perte hivernale. Deux exemples sont donnés dans les tableaux V et VI, le premier pour un hiver moyen, le second pour un hiver froid.

TABLEAU V
LAC LÉMAN — CALCUL DE LA PERTE HIVERNALE DE CHALEUR
HIVER 1959-1960

Prof.	Volumes % par 20 m	Septembre 1959		Mars 1960	
		t°	Produit (2) × (3)	t°	Produit (2) × (5)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Surface					
	0,126	17°45	2,199	6°32	0,797
20 m	0,115	10°38	1,194	5°85	0,673
40 m	0,104	6°98	0,726	5°71	0,594
60 m	0,091	6°23	0,567	5°63	0,512
80 m	0,083	5°71	0,474	5°55	0,461
100 m	0,076	5°44	0,413	5°47	0,416
120 m	0,069	5°42	0,374	5°39	0,372
140 m	0,063	5°39	0,340	5°31	0,335
160 m	0,058	5°32	0,309	5°28	0,306
180 m	0,052	5°24	0,272	5°25	0,273
200 m	0,046	5°19	0,239	5°22	0,240
220 m	0,039	5°17	0,202	5°19	0,202
240 m	0,032	5°15	0,165	5°15	0,165
260 m	0,025	5°13	0,128	5°12	0,128
280 m	0,019	5°11	0,097	5°09	0,097
300 m	0,002	5°10	0,010	5°08	0,010
fond			7,709		5,581

$$7,709 - 5,581 = 2,128 \times 15\,269 = 32\,500 \text{ calories.}$$

TABLEAU VI
LAC LÉMAN — CALCUL DE LA PERTE HIVERNALE DE CHALEUR
HIVER 1962-1963

Prof.	Volumes % par 20 m	Septembre 1962		Mars 1963	
		t°	Produit (2) × (3)	t°	Produit (2) × (5)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Surface	0,126	16°62	2,094	4°70	0,593
20 m	0,115	10°56	1,215	4°60	0,530
40 m	0,104	9°92	1,031	4°60	0,478
60 m	0,091	6°76	0,615	4°59	0,417
80 m	0,083	6°25	0,519	4°58	0,380
100 m	0,076	5°93	0,451	4°57	0,347
120 m	0,069	5°79	0,400	4°55	0,314
140 m	0,063	5°67	0,357	4°53	0,285
160 m	0,058	5°63	0,327	4°51	0,262
180 m	0,052	5°61	0,292	4°50	0,234
200 m	0,046	5°60	0,258	4°47	0,206
220 m	0,039	5°60	0,218	4°44	0,173
240 m	0,032	5°59	0,179	4°39	0,141
260 m	0,025	5°56	0,139	4°33	0,108
280 m	0,019	5°52	0,105	4°26	0,081
300 m	0,002	5°50	0,011	4°23	0,008
fond			8,211		4,557

$$8,211 - 4,557 = 3,654 \times 15\,269 = 55\,800 \text{ calories.}$$

Dans la colonne 1 sont reportées les diverses profondeurs du lac, en tranches de 20 mètres d'épaisseur.

Dans la colonne 2 sont donnés les rapports du volume d'une tranche d'eau de 20 mètres d'épaisseur au volume total.

Par exemple le volume de la couche d'eau de la surface à 20 mètres de profondeur occupe le 12,6 % du volume total du lac.

Dans les colonnes 3 et 5 figurent les températures moyennes de chaque tranche, calculées ou extrapolées, pour les mois considérés.

La différence entre les températures moyennes des deux mois considérés est multipliée par le facteur 15 269, qui est la profondeur moyenne du lac, calculée en cm.

La perte hivernale de chaleur est donc exprimée en calories par cm².

TABLEAU VII
LAC LÉMAN — PERTE DE CALORIES PENDANT L'HIVER

Années	Septembre- Novembre	Novembre- Mars	Septembre- Mars	Perte de l'ensemble du lac Cal × 10 ⁹
	cal/cm ²	cal/cm ²	cal/cm ²	
1957-1958	9 850	21 350	31 200	181 500
1958-1959	10 450	18 950	29 400	170 900
1959-1960	14 700	17 800	32 500	189 100
1960-1961	3 800	15 400	19 200	111 300
1961-1962	17 700	22 600	40 300	234 500
Moyenne				
1957-1962	11 300	19 200	30 500	177 500
1962-1963	15 100	40 700	55 800	324 700

Le tableau VII donne les pertes de calories pendant les divers hivers étudiés. On y constate que la perte moyenne de calories est de 30 000 par cm² environ, dont environ un tiers de septembre à novembre et deux tiers de novembre à mars. Pendant l'hiver 1962-1963, la perte de calories a été de 56 000, soit presque le double d'un hiver normal.

Les chiffres ci-dessus concordent bien avec les données de HUBAULT et celles de DUSSART qui ont calculé le bilan thermique au réchauffement du lac : on a les résultats suivants :

1880 : 39 000 calories
1930 : 37 000 calories
1950 : 35 000 calories
1952 : 30 000 calories

EFFET DU REFROIDISSEMENT DE L'EAU SUR SA TRANSPARENCE

Le refroidissement du lac a eu pour effet que la transparence de l'eau, mesurée au disque de Secchi, a été fortement augmentée, ainsi qu'en témoigne le tableau suivant :

TABLEAU VIII

LAC LÉMAN — TRANSPARENCE DE L'EAU, STATION VD₂ - VD₃

Mois	Années	Transparence
Septembre	1962	2,9 m
Octobre	1962	4,9 m
Novembre	1962	8,6 m
Décembre	1962	9,4 m
Janvier	1963	14,7 m
Février	1963	20,0 m
Mars	1963	15,8 m
Avril	1963	3,5 m
Mai	1963	2,3 m

Les mesures ont été effectuées dans le Haut-Lac, près des rives de la région veveysanne, donc dans une région relativement polluée.

La transparence de l'eau s'est considérablement accrue au cours de la période hivernale. Elle a atteint en février le chiffre record de 20 mètres qui n'avait pas été signalé depuis bien longtemps, rarement depuis FOREL.

Dans un hiver normal, la transparence de l'eau ne dépasse guère actuellement une douzaine de mètres.

Cet effet n'a malheureusement été que passager. En effet, la transparence était encore supérieure à la normale au mois de mars, mais en avril et mai, les fortes poussées de plancton végétal la réduisaient à quelques mètres seulement, battant également un record, mais celui des faibles transparences.

EFFETS DU FROID SUR LE RENOUVELLEMENT DE LA PROVISION D'OXYGÈNE DU LAC

Le Léman constitue sa provision d'oxygène au cours de la période de circulation hivernale. Pendant l'été, période de stagnation, l'échange air-eau ne concerne que les couches superficielles.

Il en est de même pour l'oxygène produit en fortes quantités par des phénomènes photosynthétiques. Il s'ensuit que les couches profondes du lac, qui en constituent en réalité la plus grande partie, vivent en été sur leurs réserves.

Si l'on considère la concentration moyenne de l'oxygène, calculée selon la méthode des bilans thermiques, telle qu'elle est donnée dans le tableau IX, on constate qu'en 1963, après les grands froids, le lac n'est globalement pas plus oxygéné que l'année précédente. Il l'est même légèrement moins si l'on considère le tableau X concernant le taux de saturation, c'est-à-dire le rapport, exprimé en %, entre l'oxygène dosé et l'oxygène théorique à la saturation.

TABLEAU IX

LAC LÉMAN — OXYGÈNE DISSOUS mg O₂/l
Concentration moyenne dans l'ensemble du lac

Années	Mars	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Nov.	Moy.
1957	—	10,19	10,11	9,86	—	8,26	9,24	9,53
1958	11,01	10,58	10,40	10,05	—	9,42	9,44	10,15
1959	9,71	10,33	9,75	9,72	9,48	9,20	8,16	9,48
1960	10,23	10,20	9,49	9,47	8,98	9,00	8,96	9,47
1961	10,46	10,06	9,58	9,46	9,07	9,00	8,96	9,51
1962	10,43	11,06	10,79	10,31	9,92	9,84	9,82	10,31
1963	10,92	11,07	10,37	10,12	9,86	9,96	9,77	10,30

TABLEAU X

LAC LÉMAN — TAUX DE SATURATION EN OXYGÈNE — %
Moyennes mensuelles pour l'ensemble du lac

Années	Mars	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Nov.	Moy.
1957	—	88,9	88,7	87,9	—	74,1	82,05	84,3
1958	93,4	92,2	92,2	89,7	—	84,6	83,3	89,2
1959	84,55	92,1	87,5	85,05	82,6	79,75	72,4	83,4
1960	87,7	90,5	84,7	85,5	81,4	80,6	79,8	84,3
1961	86,4	85,7	84,3	86,1	82,7	80,95	78,35	83,5
1962	88,8	96,2	96,0	92,65	90,5	89,45	87,0	91,5
1963	90,7	94,7	88,8	89,2	87,4	87,3	85,0	89,0

Les deux années 1962-1963 sont très semblables au point de vue de l'oxygène global, légèrement plus oxygénées que les années précédentes, sans plus.

Mais il ne faut pas en déduire que les grands froids n'ont eu guère d'influence sur l'enrichissement en oxygène du lac.

Si l'on considère la répartition de l'oxygène selon la profondeur, le phénomène apparaît sous un tout autre jour.

Les moyennes annuelles par profondeur pour l'oxygène et son taux de saturation sont données dans les tableaux XI et XII.

TABLEAU XI

LAC LÉMAN — CONCENTRATION EN OXYGÈNE mg O₂/l
Moyennes annuelles par profondeur

	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963
0 m	10,56	10,93	10,48	10,41	11,20	11,24	10,97
5 m	10,74	11,34	10,76	10,50	11,14	11,17	11,04
10 m	10,45	11,07	10,64	10,54	10,90	11,11	10,79
20 m	9,95	10,45	10,14	10,34	10,33	10,73	10,32
30 m	9,56	10,48	10,03	10,31	10,12	10,59	10,25
40 m	9,58	10,45	9,99	10,27	10,07	10,55	10,35
50 m	9,54	10,44	9,94	10,15	10,12	10,57	10,35
100 m	9,70	10,60	9,80	10,00	9,86	11,14	10,32
150 m	9,21	10,05	9,35	9,25	8,90	10,56	10,17
200 m	9,28	9,63	9,13	8,52	8,19	10,08	10,31
250 m	8,84	8,78	8,36	7,07	6,63	7,61	10,16
300 m	8,05	6,62	6,78	5,77	4,97	5,45	9,70

TABLEAU XII

LAC LÉMAN — TAUX DE SATURATION EN OXYGÈNE — %
Moyennes annuelles par profondeur

	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963
0 m	113,3	115,0	115,3	109,9	118,4	117,2	115,2
5 m	112,1	116,9	114,7	109,0	116,1	113,9	113,5
10 m	106,4	110,3	109,9	106,5	111,0	110,3	106,6
20 m	96,2	97,9	98,1	98,3	99,2	101,2	95,4
30 m	88,2	94,1	92,6	94,2	93,3	96,8	90,1
40 m	85,6	91,9	89,4	91,9	90,2	94,8	88,6
50 m	83,7	90,6	87,6	89,5	89,9	93,2	87,9
100 m	82,5	90,2	85,3	86,2	85,2	95,6	86,6
150 m	76,9	85,2	77,5	78,9	76,4	90,4	85,0
200 m	77,9	81,5	73,9	72,4	69,9	86,2	86,0
250 m	74,4	74,2	63,4	59,9	56,5	65,1	84,6
300 m	67,4	56,0	45,3	48,8	42,2	46,3	80,7

Il y a plusieurs faits très caractéristiques :

1. La teneur moyenne en oxygène pour les couches superficielles, de 0 à 20 m en particulier, est inférieure en 1963 à celles des deux années précédentes. La surproduction d'oxygène croissante observée les années précédentes est partiellement stoppée.

2. Alors qu'il y avait généralement, et en moyenne, déséquilibre des concentrations entre la surface et le fond, on observe au contraire une remarquable constance entre la surface et le fond. En effet, alors qu'il y a, en 1963, 10,32 mg/l d'oxygène à 20 m de profondeur (95,4 % de la saturation), on en trouve encore 10,16 à 250 m (84,6 % de la saturation) et 9,70 près du fond (80,7 % de la saturation).

Il y a donc une homogénéisation de la teneur en oxygène.

3. Si l'on considère la couche profonde (300 m), on constate qu'elle s'appauvriissait en oxygène d'année en année. La provision d'oxygène était descendue, en moyenne annuelle, à 4,97 mg/l (42,2 %) en 1961 ; elle était légèrement remontée à 5,45 mg/l en 1962 ; elle a passé à 9,70 mg/l (80,7 %) en 1963, soit plus haut encore qu'en 1957, la première année des investigations systématiques.

Ces observations sont mieux mises en évidence encore dans la figure 1 (courbes isobathes), où l'augmentation de la teneur en oxygène et son homogénéisation à toutes profondeurs sont frappantes.

VARIATIONS DE LA CONCENTRATION EN OXYGÈNE AU FOND DU LAC

TABLEAU XIII

LAC LÉMAN — OXYGÈNE DISSOUS mg O₂/l
Concentration au fond du lac (300 m)

Années	Mars	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Nov.	Moy.
1957	—	11,20	8,60	7,60	—	7,52	5,35	8,05
1958	9,75	7,80	6,95	6,60	—	4,50	4,10	6,62
1959	5,96	6,34	6,34	6,98	7,48	7,71	3,65	6,78
1960	7,44	7,12	6,29	5,35	4,32	5,19	4,66	5,77
1961	4,85	5,75	4,24	4,58	5,16	4,86	5,33	4,97
1962	4,99	6,32	5,81	5,74	4,88	4,62	5,77	5,45
1963	10,78	10,47	10,14	9,69	9,36	8,85	8,21	9,70

TABLEAU XIV

LAC LÉMAN — TAUX DE SATURATION EN OXYGÈNE — %
Profondeur : 300 m

Années	Mars	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Nov.	Moy.
1957	—	93,2	—	64,0	—	63,0	45,0	67,4
1958	82,0	66,0	59,0	56,0	—	38,0	35,0	56,0
1959	50,2	53,5	53,5	46,2	42,3	40,2	30,9	45,3
1960	62,9	60,2	53,2	45,2	36,6	43,9	39,5	48,8
1961	41,1	48,8	36,1	39,0	44,0	41,3	45,2	42,2
1962	42,3	53,7	49,8	48,2	41,6	39,5	49,1	46,3
1963	89,1	87,0	84,4	80,6	77,9	73,9	68,4	80,7

Les tableaux XIII et XIV nous renseignent de manière plus précise sur la façon dont les phénomènes se passent au fond du lac. Nous les avons du reste déjà décrits précédemment (1963).

La teneur en oxygène est maximale en mars et mai, c'est-à-dire à la fin de la période de circulation hivernale.

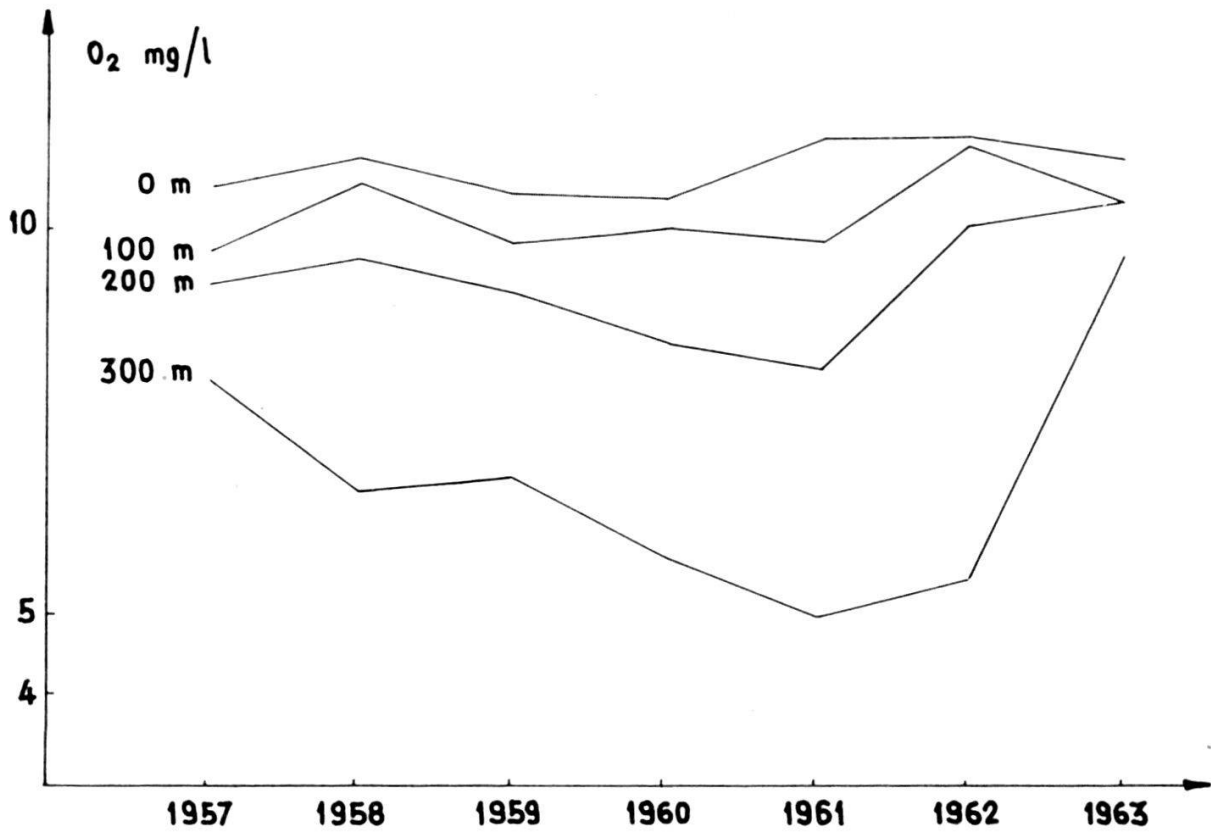


Fig. 1

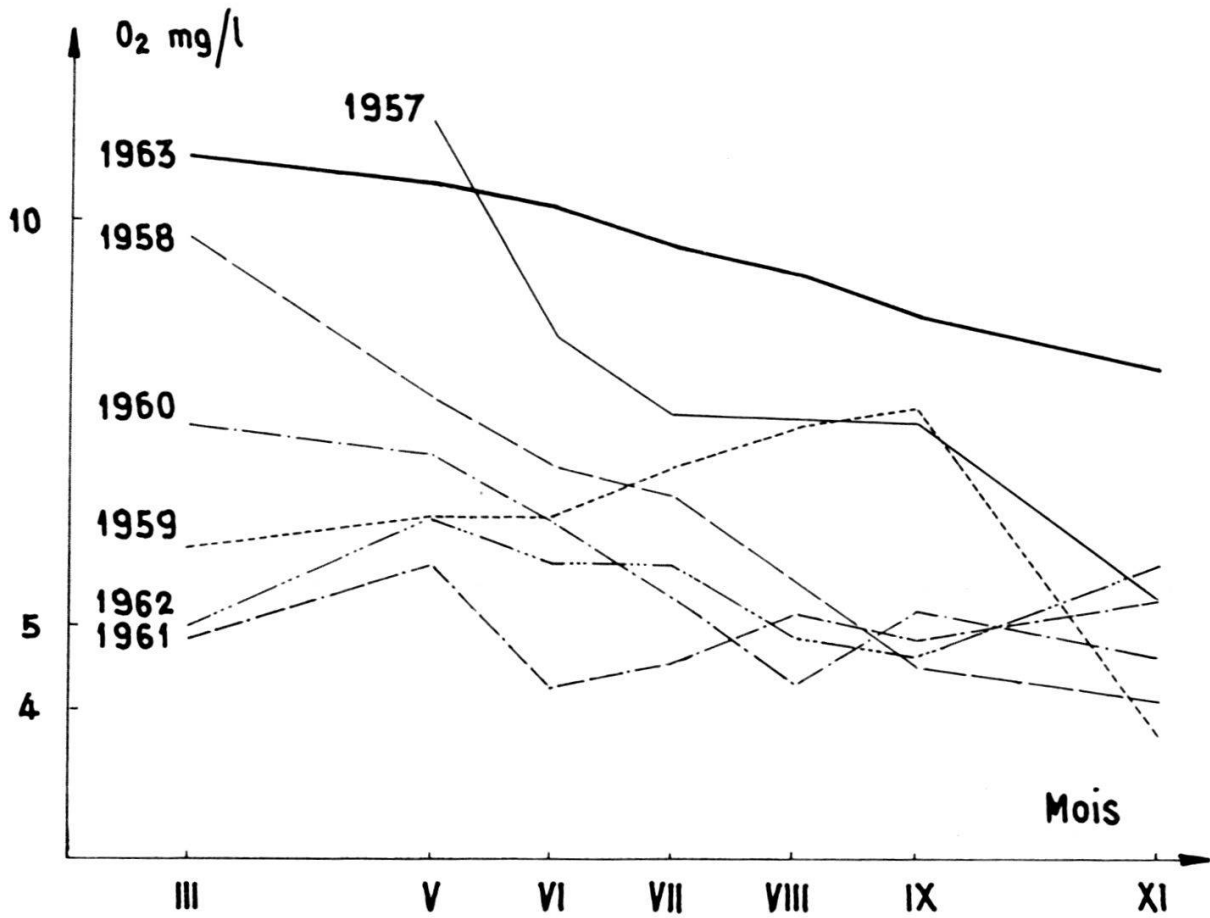


Fig. 2

Elle baisse ensuite régulièrement au cours de l'année, jusqu'à la période de circulation suivante.

Mais les tableaux montrent bien que le réapprovisionnement hivernal ne se faisait plus de manière satisfaisante. En effet, on ne trouvait plus que 5,75 mg/l (48,8 %) en mai 1961, et 6,32 mg/l (53,7 %) en mai 1962.

La teneur minimale avait été observée en novembre 1959 (3,65 mg/l, soit 30,9 %). Depuis, la concentration, à la fin de la période de stagnation, n'avait plus dépassé 5,77 mg/l, soit environ 50 %.

En 1963, par contre, la teneur en oxygène a été très forte dès le début de la saison et s'est maintenue plus élevée pendant toute la saison, malgré une baisse saisonnière relativement forte. En fait, les concentrations en oxygène au fond du lac ont été pendant toute l'année 1963 plus élevées que les six années précédentes.

La figure 2 montre bien cet état de fait.

CONCLUSIONS

L'hiver 1962-1963 a été très froid, la température de l'eau du lac a approché de très près le chiffre de 4°C, ce qui n'arrive que rarement.

Les grands froids ont eu un effet bénéfique sur l'état sanitaire du Léman. Ils ont permis une reconstitution très satisfaisante de la provision en oxygène des couches profondes et atténué fortement, pour quelques années tout au moins, le déséquilibre qui s'était établi entre la surface et le fond. La couche d'eau stagnante qui avait tendance à se créer au fond du lac n'existe plus et ce danger est provisoirement écarté.

Par ailleurs, les grands froids ont favorisé la décantation de l'eau, ce qui s'est traduit par une grande transparence de l'eau, éphémère malheureusement.

D'autres effets, positifs ou négatifs, doivent encore être étudiés.

BIBLIOGRAPHIE

- DUSSART, B. 1954. — Température et mouvements des eaux dans les lacs. *Ann. Stat. Centr. Hydrol. appl.* V.
- FOREL, F. A. 1895. — Le Léman, Monographie limnologique. Lausanne, 1895-1904.
- HUBAULT, E. 1947. — Etudes thermiques, chimiques et biologiques des eaux des lacs de l'Est de la France (Vosges, Jura, Alpes de Savoie). *Ann. Ec. Nat. Eaux et For.* 10, n° 2, 116-260.
- MONOD, R. 1963. — Evolution du cycle de l'oxygène dans le Léman. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, V. 68, fasc. 5, 225-229.