

Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 28 (1975)
Heft: 1

Artikel: Apports en nutriments au lac Léman pour la période 1963-1972 (II)
Autor: Haubert, Michel / Siwertz, Erik / Chassaing, Bernard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-739786>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

APPORTS EN NUTRIENTS AU LAC LÉMAN POUR LA PÉRIODE 1963-1972 (II)

PAR

**HAUBERT Michel, SIWERTZ Erik, CHASSAING Bernard,
OLIVE Philippe ¹**

I. INTRODUCTION

La première partie de ce travail a été consacrée au bilan hydrologique du lac Léman pour la période 1963-1972 [1]. Nous présentons ici l'étude des apports en nutriments. Enfin, dans une troisième note, le rôle de ces apports sur l'état biogéochimique du lac sera envisagé.

Si presque tous les éléments chimiques sont présents dans la matière vivante, cinq d'entre eux sont caractéristiques et abondants: C, H, O, N et P. Dans le Léman, le carbone est abondant et provient du CO_2 dissous en équilibre avec le CO_2 de l'air (0,1 à 1 mg C/l) et les bicarbonates (15 à 25 mg C/l). Ces trois premiers éléments (C,H,O) ne posent donc pas de problèmes, aussi seuls l'azote et le phosphore ont été étudiés.

Les analyses ont été faites sur des échantillons d'eau filtrée à 0,45 micron. On a dosé l'azote minéral total (N) qui comprend l'ensemble NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+ et le phosphore total (P) qui comprend le phosphore minéral et organique. La précision sur ces mesures est de l'ordre de 5%. Les concentrations sont exprimées en ppb, c'est-à-dire en mg/m³.

L'azote organique n'est dosé systématiquement dans certains affluents du Léman que depuis 1971. Sur le tableau 1 figurent les résultats pour trois de ces affluents et les parts respectives d'azote minéral et organique [2]. On a en moyenne 55% d'azote minéral et 45% d'azote organique. Dans une étude récente [3] la proportion d'azote organique dans la Dranse, estimée à partir de la concentration en protéines, est similaire.

II. LES APPORTS ATMOSPHERIQUES

La mesure systématique de la concentration en azote minéral total et en phosphore dans les précipitations à Thonon et à Genève n'est effectuée que depuis 1972. Les concentrations moyennes peuvent être évaluées pour l'année 1972 à 3530 ppb de N et 60 ppb de P [2].

¹ Centre de Recherches Géodynamiques — 74203 Thonon-les Bains

Pour les années antérieures à 1972, on peut tenter d'évaluer les apports atmosphériques à partir de mesures réalisées en Europe Occidentale [4] et aux Etats-Unis [4, 5, 6]. Les résultats diffèrent sensiblement si on fait intervenir ou non dans les

TABLEAU 1
*Concentrations en ppb et pourcentages respectifs d'azote minéral total (N. min.)
et d'azote organique (N. org.) dans trois affluents du Léman (2)*

		1971		1972		1973	
		ppb	%	ppb	%	ppb	%
Morges à Saint-Gingolph (0,6 m ³ /s)	N. min.	326	—	419	50	329	46
	N. org.	—	—	418	50	391	54
Canal Stockalper (5,8 m ³ /s)	N. min.	801	—	890	60	709	46
	N. org.	—	—	589	40	834	54
Dranse (15 m ³ /s)	N. min.	706	67	760	—	840	70
	N. org.	342	33	—	—	350	30

apports, les retombées sèches. Ainsi sur le lac Mendota [5] les pluies ont une concentration de 630 ppb de N alors que les retombées sèches ont une concentration de 1240 ppb de N.

La comparaison des concentrations mesurées dans les pluies prélevées averse par averse à Thonon et dans un échantillon global des précipitations, montre que les valeurs sont en moyenne du même ordre pour le phosphore, mais 7 fois plus élevées dans l'échantillon global pour l'azote: tableau 2.

TABLEAU 2
*Apports atmosphériques en 1972 à Thonon en azote minéral total (N)
et en phosphore total (P) exprimés en ppb et en t/km²/an*

	N		P	
	ppb	t/km ² /an	ppb	t/km ² /an
Echantillons moyens mensuels	3530	2,5	61	0,04
Averse par averse	530	0,38	68	0,05

L'ensemble des résultats dont nous disposons permet d'évaluer les concentrations en azote minéral et en phosphore dans les précipitations à 2500 ± 1000 ppb de N et 60 ± 20 ppb de P. Nous supposons cette valeur constante depuis 1963.

Les précipitations moyennes sur le Léman étant de 1000 mm/an [1], l'apport moyen annuel de 1963 à 1972 est donc de 1455 t de N et 35 t de P. Les apports annuels qui figurent sur le tableau 5 ne sont donnés qu'à titre indicatif, les variations étant dues à la différence de pluviométrie d'une année à l'autre.

III. APPORTS PAR LES AFFLUENTS

Chaque valeur moyenne de N et P représente, pour la période 1963-1972, la moyenne d'environ 500 valeurs pour le Rhône et 2400 valeurs pour les petits affluents: tableau 3. Ces résultats proviennent des travaux de la Commission Inter-

TABLEAU 3

*Concentrations moyennes en azote minéral total (N) et en phosphore total (P)
exprimés en ppb*

		1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1963-1972
Rhône du Valais (176 m ³ /s)	N	403	582	399	236	370	591	623	739	756	772	537
	P	50	40	77	132	69	72	67	168	149	132	97
Petits affluents (50 m ³ /s)	N	825	1068	1197	(868)	847	1326	1448	1573	1802	1992	1252
	P	109	263	246	(324)	611	371	341	375	532	445	345

nationale pour la Protection des eaux du lac Léman et du Rhône contre la Pollution [2] à laquelle participe notre laboratoire [7,8].

La moyenne calculée pour l'ensemble des petits affluents a été pondérée par le débit moyen annuel des affluents jaugés. Sous l'appellation Rhône du Valais sont inclus les deux canaux latéraux du Rhône (Grand Canal et Canal Stockalper).

On constate une augmentation significative des concentrations au cours de ces dix années. Ce phénomène est particulièrement net pour les petits affluents où les teneurs en P ont été multipliées par 5 tandis qu'elles n'ont que doublé dans le Rhône.

Cette augmentation est alarmante si on compare ces teneurs à celles citées par Vollenweider [9] comme seuils critiques à ne pas dépasser dans les eaux fluviales: 1100 à 1500 ppb de N et 50 à 100 ppb de P. Les petits affluents ont largement dépassé ces seuils et le Rhône est en voie de les atteindre.

TABLEAU 4

Bilans hydrologiques annuels du lac Léman en 10⁶ m³ (1)

	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
Précipitations	628	448	781	615	593	722	498	658	420	440
Rhône du Valais	5755	4598	5320	6405	6105	5338	5569	6790	5024	4472
Petits affluents	1845	839	2062	2025	1381	1936	1457	2242	902	1020
<i>Total des entrées</i>	8228	5885	8163	9045	8079	7996	7524	9690	6346	5932
Evaporation	296	357	316	351	328	304	306	313	280	308
Rhône à Genève	7789	5267	7726	8389	7821	7569	7127	8988	5929	5298
Variation du niveau du lac	- 58	+ 174	- 116	+ 232	- 58	+ 116	+ 174	+ 58	- 290	+ 406
<i>Total des sorties</i>	8027	5798	7926	8972	8091	7989	7607	9359	5919	6012

A l'aide du bilan hydrologique, précédemment établi [1] et reporté sur le tableau 4, il est possible de calculer les apports en nutriments au Léman: tableau 5. Comme l'augmentation des concentrations le laisse prévoir on constate une augmentation constante des apports. Cependant les faibles écoulements de 1971 et de 1972 équilibrent en quelque sorte l'augmentation des teneurs ces mêmes années. Cette observation montre qu'il y aura lieu d'être prudent dans la détermination du rôle joué par les stations d'épuration. D'autant plus, qu'à l'inverse, la reprise d'un écoulement normal (1965) ou excédentaire (1970) semble remobiliser une importante fraction d'azote et de phosphore stockés sur le bassin versant lors des sécheresses relatives précédentes. De même un enneigement exceptionnel (hiver 1969-1970) peut être à l'origine d'un apport supplémentaire en nutriments [10].

TABLEAU 6

*Pourcentage des apports en eau et en nutriments
en provenance du bassin versant du Léman*

Période 1963-1972	eau	azote	phosphore
Rhône du Valais (5220 km ²)	78	59	49
Petits affluents (2200 km ²)	22	41	51

TABLEAU 5
*Apports en tonnes d'azote minéral total (N) et de phosphore total (P) au Léman.
 (De 1963 à 1972 les apports dans les précipitations ont été calculés à partir d'une teneur de 2500 ppb de N et 60 ppb de P)*

	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1963-1972
Précipitations	N 1575 ± 628 38 ± 12	1125 ± 448 27 ± 9	1958 ± 781 47 ± 15	1542 ± 615 37 ± 12	1488 ± 593 36 ± 12	1811 ± 722 43 ± 14	1248 ± 498 30 ± 10	1650 ± 658 40 ± 13	1053 ± 420 25 ± 8	1104 ± 440 27 ± 9	1455 ± 580 35 ± 11
Rhône du Valais	N 2224 ± 345 276 ± 45	2569 ± 400 177 ± 27	2026 ± 305 391 ± 58	1451 ± 211 812 ± 134	2170 ± 337 405 ± 58	3131 ± 478 381 ± 56	3320 ± 509 357 ± 55	4824 ± 744 1097 ± 184	3624 ± 564 714 ± 117	3237 ± 509 554 ± 92	2858 ± 484 516 ± 83
Petits affluents	N 1522 ± 228 201 ± 30	896 ± 134 221 ± 33	2468 ± 370 507 ± 76	1758 ± 264 656 ± 98	1170 ± 175 844 ± 127	1567 ± 385 718 ± 107	2110 ± 316 497 ± 74	3527 ± 529 841 ± 126	1625 ± 240 480 ± 72	2032 ± 300 454 ± 68	1967 ± 295 542 ± 80
Total	N 5321 515	4590 425	6452 945	4751 1505	4828 1285	7509 1142	6678 884	10001 1978	6302 1219	6373 1035	6280 1093

Quoi qu'il en soit un calcul simple montre que si l'augmentation des concentrations se poursuit au rythme enregistré lors de ces dernières années les apports en 1975 seront deux fois ce qu'ils ont été en 1972.

L'examen des pourcentages des apports en nutriments, suivant leurs origines (tableau 6), montre l'importance relative du bassin des petits affluents. C'est donc là que doit porter l'effort d'assainissement.

IV. LES SOURCES POSSIBLES DE NUTRIENTS DANS LE BASSIN LEMANIQUE

La valeur élevée des apports en provenance des petits affluents traduit une activité humaine plus développée. Faire la part de cette activité revient à rechercher un niveau « naturel » des apports c'est-à-dire tels qu'ils seraient sans l'intervention humaine. Afin de comparer les diverses sources entre elles leur participation a été exprimée en apport spécifique, c'est-à-dire rapportée à la superficie du bassin versant : t/km²/an.

1. NIVEAU « NATUREL » DES APPORTS

a) *Zones rocheuses dépourvues de végétation.*

Les analyses effectuées sur les eaux circulant en profondeur dans le massif granitique du Mont-Blanc [11] permettent de chiffrer les apports en azote minéral total à 0,05 t/km²/an et en phosphore total à 0,02 t/km²/an.

b) *Zones de forêts et pâturages*

Pour déterminer ce seuil, on a utilisé les résultats obtenus à la sortie de bassins peu exploités du point de vue agricole: Morge de Saint-Gingolph et sous bassins du Rhône valaisan [2]. Les apports spécifiques mesurés sur ces bassins peuvent être comparés avec les résultats obtenus à partir d'expériences lysimétriques [12 et 13]. Il convient également de citer les données réunies par Vollenweider [9] et par Gächter [14] pour les régions faiblement agricoles des Alpes suisses.

De ces résultats, reportés sur le tableau 7, il ressort que les charges « naturelles » en provenance des forêts et alpages dans le bassin du Léman peuvent être évaluées à $0,3 \pm 0,1$ t/km²/an de N et $0,035 \pm 0,010$ t/km²/an de P.

2. APPORTS DES ZONES CULTIVÉES

Le bassin versant du Léman est situé entre 370 m et 4600 m d'altitude. L'utilisation du sol étant très différente suivant l'altitude, il n'est pas raisonnable de répartir les apports en N et P sur l'ensemble du bassin et notamment sur les zones de haute

montagne. Ainsi, pour la vallée du Rhône valaisan, il faut tenir compte d'une agriculture intensive sur 820 km² (jusqu'à 1000 m d'altitude), de 2400 km² de forêts et pâturages (de 1000 à 2500 m) et de 2000 km² de zones rocheuses et de glaciers (au-dessus de 2500 m).

TABLEAU 7

*Niveau « naturel » des charges spécifiques en azote minéral total (N)
et phosphore total (P) exprimées en t/km²/an*

	Utilisation du sol	Période d'étude nombre d'analyses	N	P
Lysimètre à Thonon-C.R.G.	Prairie	1971-1973 100 analyses	0,35	—
Lysimètre aux Pays-Bas (13)	Prairie	1970	—	0,020
Europe (13)	Prairies ou forêts		0,27	0,060
Europe (9)	Forêts		0,10	0,010
	Prairies et pâturages		0,50	0,010
Alpes suisses (14)	Prairies		0,20	0,035
Bassin de la Morge à St-Gingolph (2)	Prairies, pâturages et forêts	1963-1972 80 analyses	0,33	0,060
Affluents du Rhône valaisan (2)	Pâturages et forêts	1972 20 analyses	—	0,043
Valeurs adoptées			0,3 ± 0,1	0,035 ± 0,010

Pour le type de cultures réalisées dans la vallée du Rhône (céréales et vignes) l'apport d'engrais est de l'ordre de 6 t/km²/an de N et 2 t/km²/an de P [13]. Les pertes par lessivage de ces terrains seraient, suivant diverses estimations [13, 14, 15], de 1,4 t/km²/an de N et de 0,06 t/km²/an de P.

3. APPORTS DES EAUX USÉES DOMESTIQUES

Il est admis maintenant [13] que chaque habitant est à l'origine de 4,4 kg de N/an et de 0,950 kg de P/an, dont 0,4 kg/an dû aux détergents.

4. RÉPARTITION DES APPORTS SUR LE BASSIN DU RHÔNE VALAISAN

En fonction de l'utilisation du sol, il est possible de calculer les apports théoriques en azote minéral et en phosphore. La comparaison entre les apports calculés et mesurés permet de vérifier la validité des données théoriques et expérimentales citées plus haut.

TABLEAU 8

Apports en azote minéral (N) et en phosphore total (P) exprimés en t/km²/an et en t/an, pour la période 1963-1972, dans le bassin du Rhône valaisan

		N		P	
		t/km ² /an	t/an	t/km ² /an	t/an
Au-dessus de 2500 m (2000 km ²)	Rochers et glaciers	0,05	100	0,02	40
Entre 1000 et 2500 m (2400 km ²)	Forêts et pâturages	0,3	720	0,035	84
Au-dessous de 1000 m d'altitude (820 km ²)	Agriculture	1,4	1150	0,060	50
Population (250 000 habitants)		0,21	1100	0,045	235
Total des apports calculés			2970		409
Apports mesurés			2858 ± 484		516 ± 83

Sur le tableau 8 figure ce calcul pour la période 1963-1972. La différence entre les valeurs calculées et mesurées est tout à fait acceptable. Le léger excédent en phosphore mesuré est sans doute lié au cheptel dont il n'a pas été tenu compte dans l'évaluation des apports théoriques. En effet les mesures réalisées [16] sur le bassin de la Dranse du Chablais (495 km² et 20 000 habitants) où le cheptel est estimé à 10 000 bovidés et où l'emploi d'engrais artificiels est négligeable, montrent que les charges mesurées à l'exutoire du bassin sont proches du niveau naturel: 0,35 t/km²/an de N et 0,04 t/km²/an de P. En admettant [9] que les rejets naturels d'un bovidé sont l'équivalent de ceux de 15 habitants, les 10000 têtes du bassin de la Dranse équivalent à une charge de 1,3 t/km²/an de N et 0,16 t/km²/an de P. Le fait que ces charges supplémentaires ne se retrouvent pas à l'exutoire met en évidence le rôle épurateur du sol [12]. Ce dernier constitue un excellent filtre fixant les apports dus aux excréments du cheptel et aux précipitations. C'est pour cette raison que les charges dues au cheptel n'apparaissent pas sur le tableau 8. Malgré tout dans la mesure où une partie de cet apport est évacuée directement dans la rivière, elle peut être à l'origine de la légère différence entre les apports mesurés et calculés.

Sur le tableau 9, nous avons reporté sur la ligne I, les charges spécifiques mesurées sur l'ensemble du bassin versant de 7420 km². Ces valeurs sont tirées du tableau 5. Sur la ligne II sont indiquées les charges spécifiques « naturelles » issues du tableau 7. La différence (ligne III) est représentative des charges dues à l'activité humaine prise dans son sens large: eaux usées domestiques + agriculture + industries. Enfin, sur la ligne IV est reportée la charge due aux seules eaux usées domestiques calculée sur la base d'une population de 425 000 habitants en 1963 et 500 000 habitants en 1972 et d'un apport de 0,95 kg de P/an et 4,4 kg de N/an.

TABLEAU 9
*Charges spécifiques en t/km²/an d'azote minéral total (N)
et de phosphore total (P) du bassin lémanique*

	1963-1965		1970-1972	
	N	P	N	P
I: charges mesurées	0,53	0,080	0,85	0,190
II: charges « naturelles »	0,30	0,035	0,30	0,035
III = I — II: activité humaine globale	0,23	0,045	0,55	0,155
IV: eaux usées domestiques (calculée)	0,25	0,055	0,30	0,065

Pour les années 1963-1965, l'apport des eaux usées domestiques explique bien l'activité humaine au sens large; par contre pour la période 1970-1972, il ne rend plus compte que de la moitié de cette activité. De plus, ces valeurs doivent être considérées comme des maxima car elles impliquent que les eaux usées domestiques de l'ensemble du bassin versant atteignent directement le lac sans avoir été retenues soit par le sol, soit par les stations d'épuration. D'après une étude récente sur un bassin témoin de la rive suisse du lac [17], l'apport en phosphore dû aux habitants ne serait que de 0,65 kg/h/an.

Près de la moitié de la charge en nutriments, liée à l'activité humaine, apportée au Léman (45 % de l'azote et 58 % du phosphore) provient donc actuellement de l'agriculture (emploi intensif des engrais) et/ou de l'industrie (détergents...). Ce phénomène est d'ailleurs assez général [18, 19]. La zone proportionnellement la plus polluante du Léman est constituée par les bassins des petits affluents (2200 km²) avec pour la période 1970-1972 une charge moyenne mesurée de 1,1 t/km²/an de N et 0,27 t/km²/an de P.

V. CONCLUSIONS

1) Ce bilan des apports en nutriments au lac Léman, réalisé sur les dix dernières années, présente quelques lacunes. Ainsi il y aurait lieu de mieux connaître le *débit des petits affluents* car c'est de leurs bassins versants que provient une part importante des apports. La mesure systématique des teneurs dans les *précipitations*, qui a débuté en 1972, permettra d'améliorer le bilan. Enfin, il faut rappeler que l'apport en *azote organique* est loin d'être négligeable. Les premières mesures semblent montrer qu'il arrive environ autant d'azote organique que d'azote minéral. D'autres auteurs [5] arrivent à des conclusions analogues. Une étude systématique de l'azote organique s'impose donc.

2) Quoiqu'il en soit il ressort très clairement de ce bilan que les apports en nutriments sont maintenant trop importants. *De 5200 tonnes d'azote minéral et 935 tonnes de phosphore en moyenne de 1963 à 1967, ils sont passés à 7400 tonnes d'azote minéral et 1250 tonnes de phosphore en moyenne de 1968 à 1972.* En 1973 [2] ils ont été de 5050 tonnes d'azote minéral et 1025 tonnes de phosphore malgré un écoulement encore déficitaire (80 % de la moyenne 1963-1972). Si l'on répartit ces apports sur la superficie du lac, comme le propose Vollenweider [9], on constate que le seuil critique est maintenant dépassé pour le phosphore et proche d'être atteint pour l'azote (tableau 10):

TABLEAU 10

*Charges en azote minéral total (N) et phosphore total (P)
par unité de surface lacustre exprimées en g/m²/an*

	N	P
Seuil critique (9)	15	1,0
1970-1972	11	2,4
1963-1965	9,4	1,1
1959-1961 (9)	9,5	0,7

3) Dans l'ensemble des apports, *les eaux usées domestiques* ne représentent que 35%: figure 1. Or c'est justement cet apport qui est susceptible d'être traité efficacement par le 3^e stade des stations d'épuration. *Si les mesures curatives sont donc d'une portée limitée*, il est nécessaire de développer des *mesures préventives* en réduisant au minimum les apports en substances nutritives provenant des foyers

diffus, et par là impossibles à relier pratiquement à des stations d'épuration. Ceci nécessite de réaliser d'abord un *inventaire soigné*, sur l'ensemble du bassin versant et notamment sur les petits affluents de toutes les sources d'apports nutritifs.

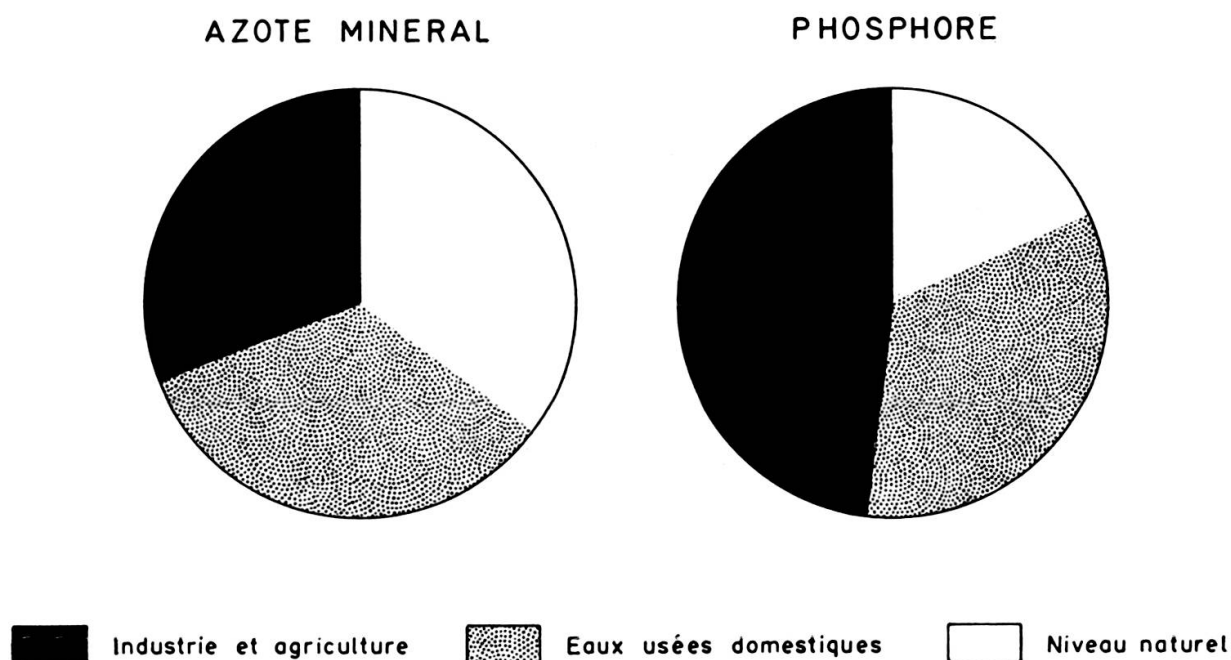


FIG. 1. — Les apports au Léman (1970-1972)

REMERCIEMENTS

Nous remercions Michel Meybeck, Assistant à l'Université Pierre et Marie Curie, pour les critiques et les suggestions qu'il a bien voulu faire à propos de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] SIWERTZ E., B. CHASSAING, M. HAUBERT et Ph. OLIVE (1974). Bilan hydrologique du lac Léman pour la période 1963-1972 (I). *Archives des Sciences, Genève*. Fasc. 1, vol. 27, 49-66.
- [2] Rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique par la Commission internationale pour la protection des eaux du lac Léman et du Rhône contre la pollution. (Secrétariat: 23 avenue de Chailly, 1012 Lausanne).
- [3] LUGRIN M. (1974). Premières données sur les composés organiques dissous dans le bassin du lac Léman. Thèse, Paris, 217 p.
- [4] GRANAT L. (1972). On the relation between pH and the chemical composition in atmospheric precipitation. *Tellus* 24, 6, 550-560.
- [5] SONZOGNI W. C., G. F. LEE (1972). Nutrients sources for Lake Mendota. Water Chemistry Program Report. Madison, Wisconsin, 49 p.
- [6] BREZONIK P. L. (1972). Nitrogen: sources and transformations in natural waters in: *Nutrients in Natural Waters*. Wiley and sons, New-York, 1-50.

- [7] SIWERTZ E., P. BLANC, M. MEYBECK et Ph. OLIVE (1971). Etude de la variabilité des éléments nutritifs dans les rivières. Exemple de la Dranse du Chablais (Haute-Savoie). *Archives des Sciences*, Genève, 24, 299-304.
- [8] MEYBECK M. (1972). Bilan hydrochimique et géochimique du lac Léman. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 18, 442-453.
- [9] VOLLENWEIDER R. A. (1968). Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation. Rapport OCDE, D.A.S., C.S.L., 68, 27, 182 p.
- [10] BARICA J. et F. A. J. ARMSTRONG (1971). Contribution by snow to the nutrient budget of small northwest Ontario Lakes. *Limnology and Oceanography*, 16, 6, 891-899.
- [11] JAMIER D. (1974). Relation entre la fissuration et l'hydrogéologie des massifs du Mont-Blanc et de l'Arpille. Thèse, Neuchâtel. (A paraître).
- [12] SIWERTZ E. et J. VIEILLEFON (1972). Conséquences d'un double mécanisme de l'infiltration sur la minéralisation et la pollution éventuelle des eaux souterraines. Colloque sur la pollution et la protection des eaux de la région Rhône-Alpes, Lyon. (A paraître).
- [13] GROUPE SECTORIEL DE LA GESTION DE L'EAU (1972). Rapport du groupe d'experts sur les engrais et pollutions agricoles. Rapport OCDE, NR. ENV. 72-25, 77 p.
- [14] GACHTER R. (1973). Phosphorus losses from the soil and the implications for water pollution control. EAWAG News, Zürich, 1.
- [15] HOBBIÉ J. E., G. E. LIKENS (1973). Output of phosphorus, dissolved organic carbon, and fine particulate carbon from Hubbard Brook watersheds. *Limnology and Oceanography*, 18, 5, 734-742.
- [16] HAUBERT M. (1975). Bilan hydrochimique d'un bassin versant de moyenne montagne: la Dranse de Bellevaux (ou Brévon). Haute-Savoie. Thèse, Paris, 330 p.
- [17] ROD M. (1974). Risques de pollution des lacs et des cours d'eaux par l'utilisation excessive des engrais dans l'agriculture. *Bull. Ass. Romande pour la Protection des Eaux*, 62, 21-44.
- [18] ROHLICH G. A. et P. D. UTTORMARK (1972). Waste water treatment and eutrophication. Nutrients and eutrophication. *Amer. Soc. Limn. Oceano. Special Symposia*, 1, 231-245.
- [19] BRUNSKILL G. J. (1973). Rates of supply of nitrogen and phosphorus to lake Winnipeg, Manitoba, Canada. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 18, 1755-1759.

Manuscrit reçu le 24 juin 1974.