

S O M M A I R E

RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

9

1.	METEOROLOGIE	17
1.	Introduction	17
2.	Température de l'air	17
3.	Pluviométrie	19
4.	Insolation	20
5.	Rayonnement	21
6.	Vent	22
7.	Conclusions	23
2.	EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU LEMAN	25
1.	Méthodes	25
2.	Régime thermique et influence sur la stratification ou le mélange des eaux	27
3.	Evolution saisonnière dans les couches superficielles	29
4.	Evolution saisonnière dans les couches profondes	36
5.	Evolution interannuelle des principaux éléments	41
6.	Conclusions	46
-	Bibliographie	46
3.	RECHERCHE DE METAUX DANS L'EAU DU LEMAN	47
1.	Introduction	47
2.	Echantillonnage	47
3.	Principe des méthodes analytiques	47
4.	Résultats	48
5.	Conclusions	48
-	Bibliographie	49
4.	EVOLUTION DU PLANCTON DU LEMAN	53
1.	Introduction	53
2.	Méthodes	54
2.1	Phytoplancton	54
2.2	Transparence	54
2.3	Chlorophylle et production primaire	54
2.4	Zooplancton	54
3.	Phytoplancton	55
3.1	Fréquence des espèces	55
3.2	Variations dans les principaux groupes	55
3.3	Evolution de la biomasse	58
4.	Chlorophylle	60
5.	Production primaire	63
5.1	Variations saisonnières	63
5.2	Production primaire annuelle	63
6.	Zooplancton	67
6.1	Biovolume sédimenté	67
6.2	Rotifères	67
6.3	Entomostracés	70
6.4	Remarques générales sur le zooplancton en 1987	75
7.	Conclusions	75
-	Bibliographie	75

5.	LE BACTERIOPLANCTON	77
1.	Méthodes	77
2.	Résultats	78
	2.1 Evolutions saisonnières et répartitions verticales	78
	2.2 Les relations trophiques à l'échelle annuelle	79
3.	Conclusions	79
-	Bibliographie	83
6.	ETUDE DE LA VARIATION SAISONNIERE DES PHENOMENES DE MELANGE DANS L'HYPOLIMNION DU LEMAN	85
1.	Introduction	85
2.	Mesures	86
3.	Développement de la distribution des températures	86
4.	Coefficients de diffusion thermique verticaux	90
	4.1 Calcul à l'aide de la méthode du gradient de flux	90
	4.2 Calcul à l'aide de l'équation de diffusion	91
5.	Conclusions	91
-	Bibliographie	91
7.	DETERMINATION DES FLUX DE NUTRIMENTS SOUS FORME PARTICULAIRE DANS LE LEMAN A L'AIDE DE TRAPPES A SEDIMENTS	97
1.	Introduction	97
2.	Méthodologie	99
3.	Etude des flux de nutriments	100
	3.1 Flux du phosphore	100
	3.2 Taux d'azote total	103
	3.3 Flux de carbone organique	104
	3.4 Flux de calcite	104
	3.5 Flux de carbone total	105
	3.6 Taux de sédimentation	106
4.	Conclusions	107
-	Bibliographie	108
8.	LES POLYCHLOROBIPHENILES	119
A.	DANS LES POISSONS DU LEMAN	
B.	DETERMINATION DE LEUR FLUX DANS LE LAC A L'AIDE DE TRAPPES A SEDIMENTS	
1.	Introduction	119
2.	Etudes antérieures	120
	2.1 Rappel bibliographique	120
	2.2 Contamination des poissons par les PCB	120
3.	Les PCB dans les poissons du Léman	120
	3.1 Echantillonnage	120
	3.2 Méthode	123
	3.3 Résultats	123
4.	Détermination des flux des PCB dans le lac à l'aide de trappes à sédiments	127
	4.1 Méthodologie	127
	4.2 Résultats	127
5.	Conclusions	131
-	Bibliographie	132
9.	POLLUANTS METALLIQUES DANS LA FAUNE PISCICOLE	133
1.	Introduction	133
2.	Echantillonnage et méthodes	133
3.	Résultats	134
	3.1 Mercure	134
	3.2 Plomb	137
	3.3 Cadmium	137
	3.4 Chrome et zinc	139
4.	Conclusions	140
-	Bibliographie	140

10.	ETUDE DES AFFLUENTS DU LEMAN ET DE SON EMISSAIRE	141
1.	Généralités	141
2.	Débits des affluents et de l'émissaire	142
3.	Apports annuels et composition de l'eau des affluents	143
3.1	Azote minéral et organique	143
3.2	Orthophosphates et phosphore total	146
3.3	Chlorures	149
3.4	Potassium	150
3.5	Carbone organique	150
3.6	Silice	151
3.7	Sulfates	152
3.8	Calcium	152
3.9	Magnésium	153
3.10	Sodium	153
3.11	Cuivre, zinc et plomb	153
4.	Conclusions	154
11.	FLUX PARTICULAIRES DE QUELQUES NUTRIMENTS ET METAUX DANS LES SUSPENSIONS DE QUATRE AFFLUENTS DU LEMAN	155
A.	RHONE A LA PORTE DU SCEX	155
1.	Introduction	156
2.	Méthodologie	156
3.	Résultats	158
3.1	Phosphore	158
3.2	Carbone et azote organiques	158
3.3	Mercuré, cadmium et autres métaux lourds	158
4.	Conclusions	162
-	Bibliographie	162
B.	VENOGE, AUBONNE ET PROMENTHOUSE	163
1.	Avant-propos	163
2.	Introduction	164
3.	Méthodes	165
4.	Hydrologie	166
5.	Représentativité de l'échantillonnage	168
6.	Discussion des résultats	168
6.1	Ensemble des éléments	168
6.2	Phosphore	168
7.	Conclusions	174
-	Bibliographie	175
12.	CONTROLES DES STATIONS D'EPURATION	177
1.	Avant-propos	178
2.	Introduction	178
3.	Population raccordée, capacité des stations d'épuration et fréquence des contrôles par bassin versant	179
3.1	Capacité et population annoncée	179
3.2	Fréquence des contrôles	180
4.	Normes de rejet et rendement d'épuration. Résultats par bassin versant	182
4.1	Demande biologique en oxygène (DBO ₅)	182
4.2	Phosphore total	184
5.	Flux de pollution et apports au Léman par les STEP et leurs réseaux	187
5.1	Matières organiques	187
5.2	Phosphore total	187
5.3	Apports directs au lac des six principales STEP du bassin hydrographique du lac Léman	188
6.	Charges spécifiques journalières	190
6.1	Charge hydraulique	190
6.2	Charges en matières organiques et en phosphore total	190
7.	Evolution des charges en phosphore à l'entrée des STEP suite à l'interdiction des phosphates dans les produits de lavage textiles en Suisse	191
8.	Conclusions	192
-	Bibliographie	194

13.	APPORTS POLLUANTS AU LAC LEMAN EN PROVENANCE DES DEVERSOIRS D'ORAGE	195
1.	Préambule	195
2.	Introduction	196
3.	Brève description des réseaux	197
3.1	Lausanne	197
3.2	Vevey-Montreux	197
3.3	Morges	197
3.4	Pully	197
4.	Approche	198
4.1	Méthode "a" défaut par rapport à un flux temps sec	198
4.2	Méthode "b" défaut par rapport à la population raccordée annoncée	200
5.	Résultats	200
5.1	Charges en phosphore déversées selon méthode "a"	200
5.2	Charges déversées selon méthode "b"	205
6.	Conclusions	211
6.1	Conclusions quant à la méthodologie	211
6.2	Conclusions générales	211
-	Bibliographie	214
14.	APPORTS AU LEMAN DES FORMES DISPONIBLES DU PHOSPHORE	215
1.	Introduction	215
2.	Méthode	215
3.	Résultats	216
4.	Conclusions	222
-	Bibliographie	223
15.	MICROPOLLUANTS ORGANIQUES DANS LES EFFLUENTS DE STEP, LES EAUX DU RHONE ET LES EAUX DU LEMAN	225
1.	Introduction	225
2.	Echantillonnage	225
2.1	Eaux du Léman	225
2.2	Effluents de stations d'épuration	226
2.3	Eaux du Rhône	226
3.	Principe des méthodes analytiques	226
3.1	PCB et PAH	226
3.2	Chlorophénols et esters phosphoriques	226
3.3	Atrazine et NTA	226
4.	Résultats	227
4.1	Eaux du Léman	227
4.2	Les des eaux des stations d'épuration et du Rhône (Porte du Scex)	229
5.	Conclusions	234
-	Bibliographie	234
16.	RECHERCHE DE NTA ET D'EDTA DANS L'EAU DU LEMAN	235
1.	Introduction	235
2.	Echantillonnage	236
3.	Méthode	236
4.	Résultats et discussion	237
5.	Conclusions	237
-	Bibliographie	241
17.	ANALYSES COMPARATIVES INTERLABORATOIRES	243
1.	Analyses comparatives d'eau	243
2.	Analyses comparatives de métaux lourds et de NTA	259
3.	Conclusions	264
-	ADRESSES DES AUTEURS DES RAPPORTS	265

RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

Campagne 1987

PAR

GRUPE DE TRAVAIL PROGRAMME QUINQUENNAL ET RAPPORTS

COMPORTEMENT DU LAC EN 1987

L'année 1987 a été marquée par un hiver relativement doux avec seulement une courte période de froid en janvier. Cette situation n'a pas permis l'homogénéisation thermique de l'ensemble des eaux du lac et la circulation des eaux n'a pas atteint 200 mètres de profondeur. En conséquence, à la fin de l'hiver, la réoxygénation des eaux profondes a été incomplète et les concentrations en oxygène sont tombées en dessous de 4 mg/l dès le mois de septembre (minimum : 2.5 mg/l le 5 octobre). Le brassage ne s'est pas produit non plus pendant l'hiver 1987-1988. Il faut donc s'attendre à des conditions d'oxygénation très mauvaises à fin 1988.

La croissance des algues a débuté de façon précoce (mi-avril) en 1987; cette biomasse algale est due à du nanoplancton constitué principalement de diatomées. Après une phase des eaux claires, brève mais bien marquée, observée à fin juin (période durant laquelle le zooplancton très abondant broute le phytoplancton), se développent des algues de grande taille fortement dominées par *Ceratium* espèce qui présente une biomasse importante en août. La succession des espèces du phytoplancton et du zooplancton est comparable à celle des années précédant 1986. On ne retrouve pas la dominance des chlorelles, espèce nanoplanctonique, qui avait marqué l'année 1986.

Mise à part la brève période des eaux claires, la production algale s'est maintenue à un niveau remarquablement élevé d'avril à septembre du fait de l'instabilité des couches superficielles, provoquée par la fréquence des vents, qui a favorisé l'approvisionnement en nutriments à partir des couches sous-jacentes. En conséquence, la production annuelle nette atteint en 1987 une valeur record de près de 300 g C/m².an, bien que l'on ait noté la plus faible insolation de ces dix-sept dernières années. La production algale de ces deux dernières années montre que le Léman peut se comporter comme un lac franchement eutrophe.

A l'échelle annuelle, un tiers de l'activité du bactérioplancton a lieu dans la couche 0-20 mètres. Sur l'ensemble de la colonne d'eau, environ 30 % de la production primaire phytoplanctonique passe au travers du compartiment bactérioplanctonique dont la production a atteint 93 g C/m².an. En se basant sur l'abondance du bactérioplancton, le Léman se classe à la limite entre les lacs méso-eutrophes et eutrophes.

L'importance de la biomasse algale produite entraîne une forte consommation d'oxygène dans les couches profondes du lac lors de la minéralisation (destruction) de cette matière organique. Contrairement aux observations antérieures, les mauvaises conditions d'oxygénation du fond dès l'automne n'y ont pas été accompagnées d'augmentation des teneurs en phosphore, en fer et en manganèse.

Pour la première fois, un programme d'échantillonnage par trappes à sédiments a été entrepris sur deux ans (1986-1987) dans le Léman. Les trente campagnes de prélèvements ont permis de mesurer les flux particuliers à travers la masse d'eau à trois niveaux différents (60, 200 et 300 mètres de profondeur). Ces données seront utilisées pour la mise au point d'un modèle dynamique du cycle du phosphore. Les variations mensuelles des flux sont en relation directe avec la production algale et la précipitation du carbonate de calcium (calcite). L'augmentation des flux avec la profondeur mesurée les deux années, met en évidence des apports latéraux provenant probablement du Rhône et éventuellement de la Dranse.

LES APPORTS AU LAC ET LEUR EVOLUTION (figure 1)

- Les apports hydriques (236 m³/s) sont en augmentation par rapport à 1986 (+ 3 %), 1985 (+ 12 %) et 1984 (+ 24 %). Comme en 1986, il a été observé en 1987 de fortes crues pendant la période d'été. Il faut relever la crue exceptionnelle du 25 août sur le Rhône avec un débit de 1'010 m³/s; le maximum mesuré jusqu'à ce jour est de 1'100 m³/s en 1947. Ces crues ont entraîné de fortes quantités de matières particulaires en suspension.
- Les apports en azote minéral sont en augmentation de 13 % par rapport à 1986 pour les quatre affluents principaux et représentent les apports annuels les plus élevés depuis 1980.
- Pour le phosphore particulaire, les apports sont en très nette augmentation (+ 20 % par rapport à 1986); comparés à 1984, année sèche, ils sont 2.8 fois plus important. Cette évolution est due à l'érosion; en effet, les apports hydriques ont augmenté de 24 % entre 1984 et 1987 pour les rivières alpines (Rhône et Dranse). Ces apports supplémentaires sont dus à quelques crues.
- Les apports de phosphore dissous (PO₄) par les quatre principaux affluents, forme du phosphore directement disponible pour les algues, ont considérablement diminué ces dernières années. Cette baisse pour les cinq dernières années est de plus de 30 %. La part du phosphore dissous dans le phosphore total ne représente cette année que 7 %, alors qu'elle était de 22 % en 1984. Cette diminution des apports en phosphore dissous est en relation directe avec les efforts d'assainissement dans le bassin versant et, dès 1986, avec la mesure d'interdiction des phosphates dans les produits de lavage textiles en Suisse.
- Le bilan des apports en phosphore durant l'année 1987 se présente comme suit :

	Phosphore dissous (PO ₄) directement disponible (tonnes)	PO ₄ +PINA+POP potentielle-ment ** disponible (tonnes)	Phosphore total (tonnes)
. Apports par les quatre affluents principaux* (Rhône + Dranse + Aubonne + Venoge)	89	390	1'390
. Apports par les affluents secondaires (estimation à partir d'une régression établie entre les valeurs de ces affluents et celles de l'Aubonne + Venoge en 1972-1980)	26	58	85
. Apports par les stations d'épuration rejetant leurs eaux traitées directement au lac ou dans des rivières non prises en compte	}	41	50
	}		
	31		
. Déversoirs d'orage directs au lac ou dans des rivières non prises en compte	}	37	45
	}		
. Apports atmosphériques	~ 10	10 < ? < 50	50
	156	526 < ? < 576	1'620

* Dans les apports des quatre affluents principaux, environ 37 tonnes de phosphore dissous et 116 tonnes de phosphore total sont dus aux déversoirs d'orage et aux STEP rejetant dans ces bassins versants.

** PINA = phosphore particulaire inorganique non apatitique
POP = phosphore particulaire organique

Pour les chlorures, les apports en 1987 sont égaux à ceux de 1986. Les concentrations moyennes annuelles pondérées sont légèrement inférieures à celles de l'année 1986 pour l'Aubonne et la Venoge.

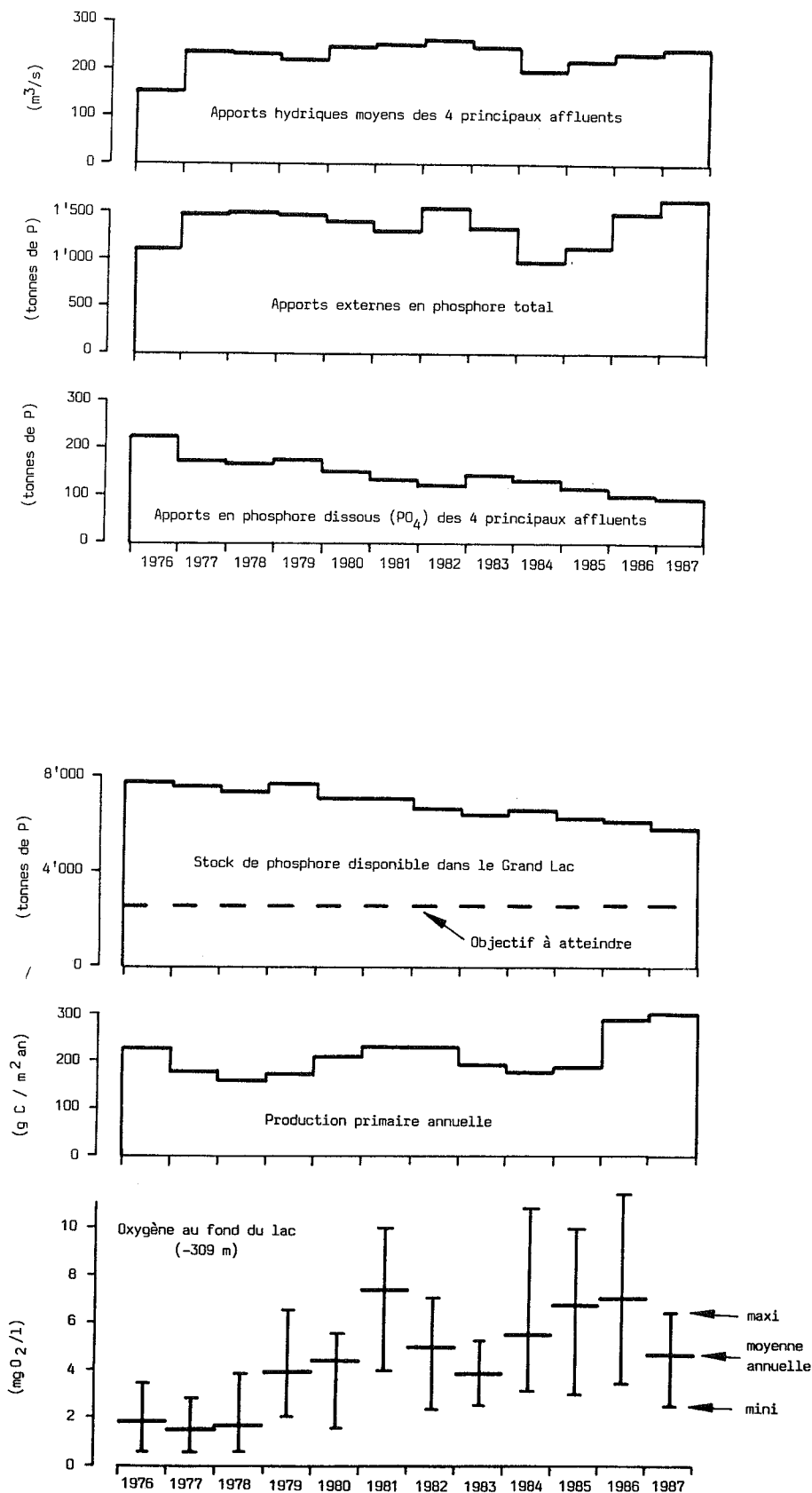


FIGURE 1 : EVOLUTION DE QUELQUES PARAMETRES DANS LE LEMAN ET SON BASSIN VERSANT (1976-1987)

EVOLUTION INTERANNUELLE DES PRINCIPAUX ELEMENTS DANS LE LAC (figure 1)

- Comme nous l'avions signalé dans le rapport sur la campagne 1986, l'absence de brassage complet des eaux pendant l'hiver 1986-1987 n'a pas permis une réoxygénation totale des eaux du fond (début avril 1987 : 6.45 mg O₂/l) et dès l'automne les teneurs en oxygène dans les fonds sont devenues mauvaises (début octobre 1987 : 2.5 mg O₂/l). Durant l'hiver 1987-1988, ce brassage n'a eu lieu que dans les 100 premiers mètres et les teneurs en oxygène au fond étaient à fin mars 1988 de 5.4 mg O₂/l.
- Pour le phosphore total qui est dans le lac à 88 % du phosphore dissous (PO₄) donc totalement biodisponible, les stocks ou les concentrations sont marqués par une évolution nette à la baisse (- 1'870 tonnes ou - 21.8 µg/l depuis 1979). Par rapport à 1986, la diminution a atteint 6 % en 1987. La concentration moyenne pondérée est de 67.7 µg/l de phosphore total en 1987, ce qui représente 5'800 tonnes pour le Grand Lac.
- Paradoxalement, la production primaire annuelle des algues atteint en 1987 le maximum mesuré jusqu'à ce jour, alors que les teneurs en phosphore dans le lac diminuent sensiblement. Ce phénomène montre bien que le stock de nutriments contenu dans le lac représente encore un potentiel de productivité beaucoup trop important et une très forte croissance des algues peut se manifester lorsque les conditions climatiques sont favorables à la croissance du phytoplancton. Ce fut le cas en 1987, où les conditions hydrodynamiques ont permis l'approvisionnement en nutriments des couches superficielles à partir des zones sous-jacentes.
- Pour l'azote nitrique ou l'azote total, on relève une tendance à la stabilisation des concentrations dans le lac depuis 1984.
- Concernant les chlorures, la concentration moyenne pondérée est de 5.4 mg/l en 1987, soit une augmentation de 1.9 % par rapport à 1986. On doit s'attendre à ce que cette hausse, continue depuis 1971 (année du début des mesures de cet élément dans le lac), se stabilise et que la concentration atteigne des valeurs voisines de celles observées dans les apports, soit environ 7 mg/l, pour autant que ces apports restent stables.

MICROPOLLUANTS

- Les teneurs en micropolluants métalliques (métaux lourds) dans les perches et les lottes du lac demeurent basses et bien inférieures aux exigences requises pour les denrées alimentaires.
L'amélioration observée ces dernières années, corroborée par la diminution de la contamination des sédiments, se confirme : les teneurs en plomb et cadmium approchent actuellement la limite de détection et la teneur en mercure des perches s'approche d'une teneur qui pourrait être attribuée à l'impact du mercure d'origine naturelle.
- La contamination par les polychlorobiphényles (PCB) des perches et des lottes du lac diminue nettement de 1984 à 1987, ce qui découle probablement de l'interdiction d'emploi de ces produits dès 1972 et des efforts entrepris pour l'épuration des eaux.
- Les eaux du Léman, au centre du lac, ne présentent pas de concentrations sensibles en polychlorobiphényles (PCB), hydrocarbures polycycliques aromatiques (PAH) et chlorophénols. Le tributylétain (TBT) n'a pas été décelé. Par contre, les teneurs en esters phosphoriques - triéthylphosphate (TEP) et en atrazine (herbicide) peuvent être qualifiées d'importantes. En ce qui concerne les sources de micropolluants organiques dans le lac, il est à noter que les apports de PCB dus au Rhône sont importants et que les stations d'épuration étudiées rejettent des quantités élevées de chlorophénols et d'esters phosphoriques. Il paraît nécessaire de se préoccuper de ces problèmes et de contrôler désormais avec attention les apports de ces diverses substances.

FONCTIONNEMENT DES STATIONS D'EPURATION (STEP) ET DE LEURS RESEAUX

- En 1987, six nouvelles stations d'épuration (STEP) ont été mises en service sur l'ensemble du bassin (Léman + Rhône aval) qui en comprend actuellement 192. La population ainsi raccordée (le contrôle des raccordements effectifs n'est pas systématique) s'élève à 1'704'564 habitants.
- Sur les 136 STEP du bassin hydrographique du lac Léman, 99 sont équipées pour la déphosphatation, traitant les eaux mixtes (eaux usées + eaux parasites) d'une population raccordée annoncée de 1'095'202 habitants.
- Il est à signaler une augmentation de la fréquence des contrôles, permettant de mieux cerner le fonctionnement des STEP.
- Pour les matières organiques rejetées, les normes (20 mg O₂/l et 85 % d'élimination) sont respectées en moyenne pour les bassins du Rhône amont, du "Léman" (rejets directs au lac + petits sous-bassins), de la Venoge et de l'Aubonne. Par contre, pour les bassins de la Dranse et du Rhône aval, en moyenne elles ne le sont pas (en partie peut-être en raison d'une législation différente).
- Pour le phosphore, le rendement d'élimination de 80 % est en moyenne respecté pour tous les bassins (excepté Rhône aval, bassin pour lequel la déphosphatation des eaux usées n'est pas exigée). Les charges rejetées traitées sont en baisse de 22 % par rapport à 1986. Une diminution de 39 % de ces mêmes charges est observée par rapport à 1985, suite à l'interdiction des phosphates dans les produits de lavage textiles en Suisse, effective au 1er juillet 1986.
- L'étude détaillée des charges mensuelles arrivant dans quatre stations d'épuration suisses (Lausanne + Montreux + Vevey + Morges) et dans une station française (Thonon) montre que la diminution des charges d'entrée en phosphore est proche de 50 % en 1987 par rapport à 1985 (figure 2) pour les quatre stations suisses, alors qu'une stabilité de tendance est obtenue à Thonon. Pour l'ensemble de la partie suisse du bassin lémanique, cette mesure d'interdiction des phosphates a conduit à réduire de 42 % les charges rejetées après traitement.

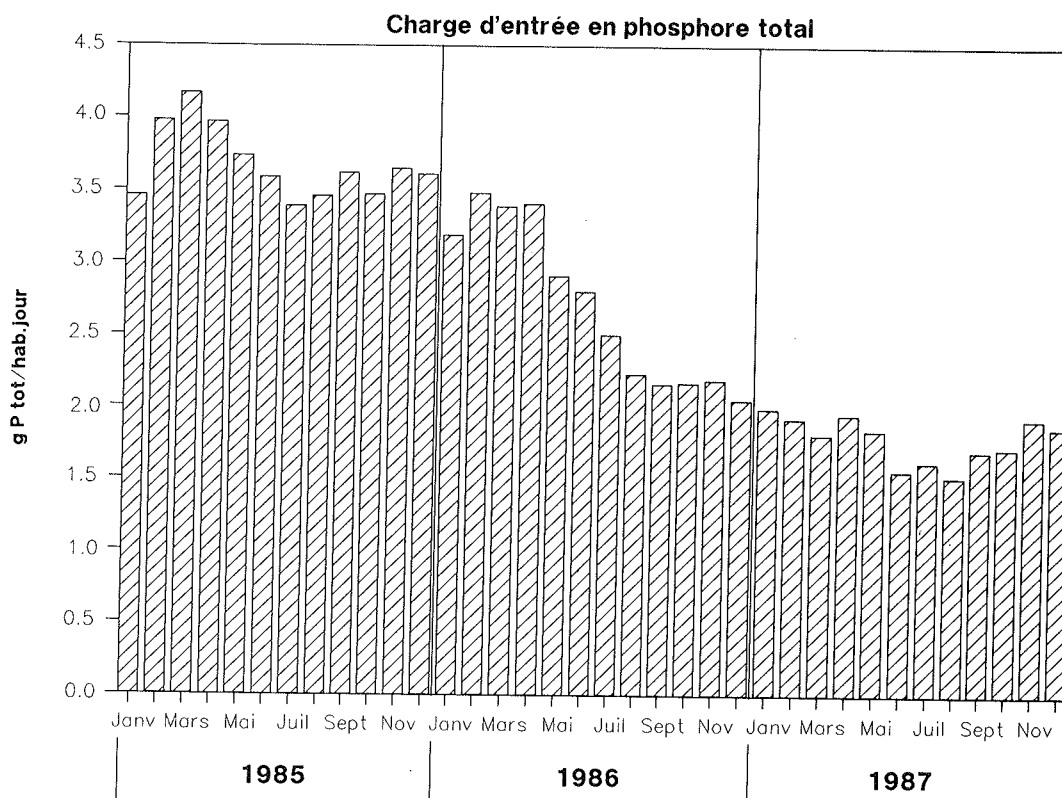


FIGURE 2 : MOYENNE DES CHARGES D'ENTREE EN PHOSPHORE TOTAL DE QUATRE STATIONS D'EPURATION SUISSES (LAUSANNE, MONTREUX, MORGES ET VEVEY)

Pour l'ensemble du bassin versant lémanique, l'interdiction des phosphates dans les produits de lavage textiles a permis de réduire d'au moins 120 tonnes les rejets de phosphore disponible ou potentiellement disponible. Cette diminution se marque de façon très nette dans les apports de phosphore dissous (PO_4) par les quatre affluents principaux (figure 3) :

- baisse entre 1985 et 1987 dans les rivières du bassin versant suisse (Rhône - Venoge - Aubonne)
- légère augmentation dans la Dranse

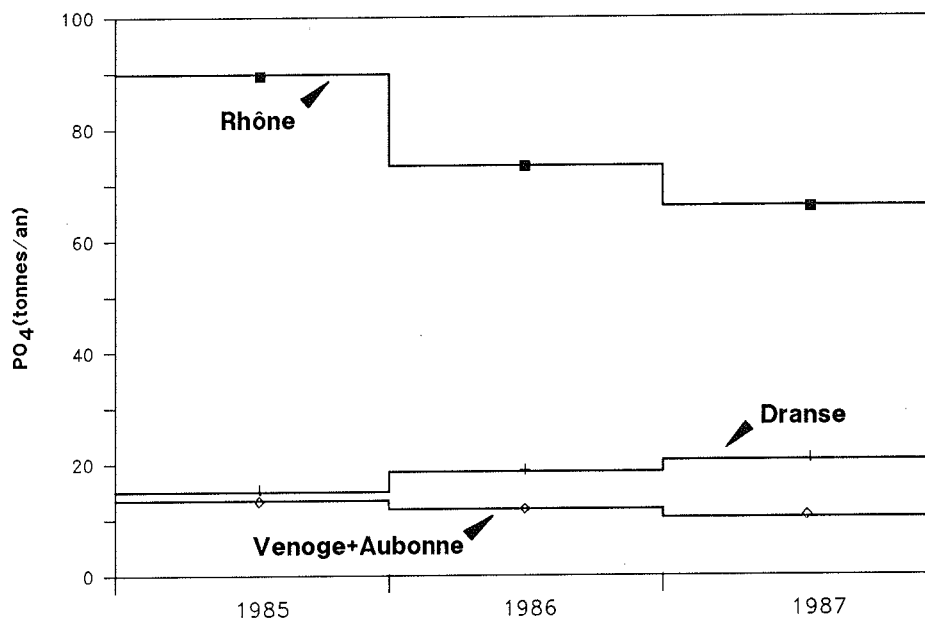


FIGURE 3 : APPORTS EN PHOSPHORE DISSOUS (PO_4) AU LEMAN PAR LES QUATRE AFFLUENTS PRINCIPAUX (PHOSPHORE DIRECTEMENT DISPONIBLE)

L'ensemble des mesures préconisées pour améliorer les rendements d'assainissement sont décrites dans les conclusions du rapport sur le contrôle des stations d'épuration.

Concernant l'acide nitrilotriacétique (NTA), l'un des substituts possibles des polyphosphates, l'interdiction des phosphates dans les produits de lavage textiles n'a eu aucun effet sur sa concentration dans les eaux du Léman. En effet, plusieurs études ont montré sa grande biodégradabilité et cet élément ne se retrouve, comme avant 1986, que dans l'épilimnion et à des concentrations très faibles ($\leq 0.7 \mu g/l$).

CONCLUSIONS

Les teneurs actuelles en phosphore dans le lac, élément limitant pour la croissance des algues, sont encore largement suffisantes pour que la production de matière organique par les algues soit très forte lorsque les conditions climatiques sont favorables au développement du phytoplancton. Cette situation est caractéristique d'un lac eutrophe.

La dégradation d'une telle quantité de matière organique entraîne une forte consommation d'oxygène dans les eaux du fond, qui peut amener dans ces zones des conditions d'oxygénation critiques lorsque le brassage complet ne se produit pas chaque année. Pendant les hivers 1986-1987 et 1987-1988, le brassage complet n'a pas eu lieu dans le Léman.

Les réactions du lac montrent qu'il est indispensable de poursuivre les efforts pour diminuer encore les apports en phosphore :

- mise en service de la déphosphatation dans toutes les stations d'épuration et contrôle permanent de son efficacité
- élimination des eaux claires parasites dans les réseaux arrivant aux stations d'épuration
- vérifier les raccordements et assainissement des réseaux de canalisation
- réduction maximale du phosphore à la source (produits de lavage des textiles, de vaisselle et de nettoyage, rejets industriels)
- création ou adaptation des fosses à purin et lisiers
- lutte contre l'érosion des sols.