

# S O M M A I R E

RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES	9
<b>1. METEOROLOGIE</b>	15
1. Introduction	15
2. Température de l'air	15
3. Pluviométrie	17
4. Insolation	18
5. Rayonnement	19
6. Vent	20
7. Conclusions	21
<b>2. EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU LEMAN</b>	23
1. Méthodes	24
2. Régime thermique et influence sur la stratification ou le mélange des eaux	24
3. Evolution saisonnière dans les couches superficielles	25
4. Evolution saisonnière dans les couches profondes	35
5. Evolution interannuelle des principaux éléments	38
6. Conclusions	43
- Bibliographie	43
<b>3. RECHERCHE DE METAUX ET DE QUELQUES MICROPOLLUANTS ORGANIQUES DANS L'EAU DU LEMAN</b>	45
1. Introduction	45
2. Echantillonnage	45
3. Méthodologie	46
4. Résultats	46
5. Conclusions	47
- Bibliographie	50
<b>4. EVOLUTION DU PLANCTON DU LEMAN</b>	51
1. Introduction	51
2. Méthodes	52
2.1 Phytoplancton	52
2.2 Transparence	52
2.3 Chlorophylle et production primaire	52
2.4 Zooplancton	52
3. Phytoplancton	52
3.1 Fréquence des espèces	52
3.2 Variations dans les principaux groupes	53
3.3 Evolution de la biomasse	55
4. Chlorophylle	59
5. Production primaire	60
6. Zooplancton	62
6.1 Biovolume sédimenté	62
6.2 Rotifères	63
6.3 Entomostracés	64
6.4 Remarques générales sur le zooplancton en 1988	70
7. Conclusions	70
- Bibliographie	70

<b>5.</b>	<b>LE BACTERIOPLANCTON DU LEMAN</b>	<b>71</b>
1.	Méthodes	71
2.	Résultats	72
	2.1 Evolutions saisonnières et répartitions verticales	72
	2.2 Les relations trophiques à l'échelle annuelle	75
3.	Conclusions	75
-	Bibliographie	77
<b>6.</b>	<b>LA PECHE ET LES RECHERCHES PISCICOLES</b>	<b>79</b>
-	Avant-propos	79
-	Introduction	79
1.	Les captures	80
	1.1 Pêche professionnelle	80
	1.2 Pêche amateur à la traîne	80
	1.3 Evolutions mensuelles en 1988	82
	1.4 Répartition des captures entre types de pêches	82
2.	Evolutions des captures par espèce	82
	2.1 L'omble	82
	2.2 La truite	82
	2.3 Le corégone	84
	2.4 La perche	84
	2.5 Autres espèces	85
3.	Conclusions	86
-	Bibliographie	87
<b>7.</b>	<b>ETUDE DE LA VARIATION SAISONNIERE DES PHENOMENES DE MELANGE DANS L'HYPOLIMNION DU LEMAN</b>	<b>89</b>
1.	Introduction	89
2.	Développement de la température moyenne	90
3.	Variation de la quantité de chaleur du Léman durant les trois dernières années	92
4.	Profil de température dans l'hypolimnion	94
5.	Processus advectifs dans l'hypolimnion	99
6.	Conclusions	105
-	Bibliographie	105
<b>8.</b>	<b>MODELISATION DU CYCLE DU PHOSPHORE</b>	<b>107</b>
1.	Introduction	107
	1.1 L'hypothèse d'unidimensionalité (1-D)	108
2.	Le modèle "REEL"	110
	2.1 Hypothèses hydrodynamiques	110
	2.2 Sédimentation	111
	2.3 Minéralisation et respiration	111
	2.4 Relargage d'orthophosphates du sédiment	111
	2.5 Oxygène	111
	2.6 Production primaire	112
	2.7 Stochasticité	113
3.	Données disponibles	113
4.	Simulations déterministes	114
5.	Analyse de sensibilité	115
6.	Simulations stochastiques	121
7.	Discussion	128
8.	Développements possibles du modèle	128
-	Bibliographie	129
-	Annexe I	133
-	Annexe II	135
-	Annexe III	138

<b>9.</b>	<b>ETUDE GENERALE DE LA POLLUTION PAR LES METAUX ET REPARTITION DES NUTRIMENTS DANS LES SEDIMENTS DU LEMAN</b>	<b>139</b>
-	Introduction	139
1.	Méthodologie	140
2.	Support sédimentaire	141
	2.1 Granulométrie des sédiments	141
	2.2 Les teneurs en eau	143
	2.3 Le soufre	144
	2.4 Les carbonates	145
3.	Les contaminants	146
	3.1 Le mercure	146
	3.2 Le cadmium	146
	3.3 Le zinc	146
	3.4 Le plomb	146
	3.5 Le cuivre	146
	3.6 L'argent	146
4.	Evolution générale de la pollution de 1978 à 1988	156
	4.1 Evolution des stocks	156
	4.2 Evolution spatiale	159
5.	Les nutriments	159
	5.1 L'azote total	159
	5.2 Le carbone organique	159
	5.3 Le phosphore	164
5.	Conclusions	171
-	Bibliographie	172
<b>10.</b>	<b>APPORTS AU LEMAN PAR DEPOSITION ATMOSPHERIQUE</b>	<b>173</b>
1.	Introduction	173
2.	Méthodologie	173
3.	Résultats et discussion	175
4.	Conclusions	175
-	Bibliographie	175
<b>11.</b>	<b>ETUDE DES AFFLUENTS DU LEMAN ET DE SON EMISSAIRE</b>	<b>183</b>
1.	Généralités	183
2.	Débits des affluents et de l'émissaire	184
3.	Apports annuels et composition de l'eau des affluents	185
	3.1 Azote minéral et organique	185
	3.2 Phosphore total et orthophosphates	187
	3.3 Chlorures	190
	3.4 Potassium	192
	3.5 Carbone organique	192
	3.6 Silice dissoute	192
	3.7 Sulfates	193
	3.8 Calcium	194
	3.9 Magnésium	194
	3.10 Sodium	194
	3.11 Cuivre, zinc et plomb	195
4.	Etude des affluents secondaires	196
	4.1 Azote minéral total	196
	4.2 Phosphore dissous et phosphore total	196
	4.3 Chlorures	197
	4.4 Sulfates	197
	4.5 Silice dissoute	197
5.	Conclusions	198
-	Bibliographie	199

<b>12.</b>	<b>FLUX PARTICULAIRES DE QUELQUES NUTRIMENTS ET METAUX DANS LES SUSPENSIONS DU RHONE PRES DE SON EMBOUCHURE DANS LE LEMAN</b>	<b>201</b>
1.	Introduction	201
2.	Méthodologie	202
3.	Résultats	205
	3.1 Matière particulaire	206
	3.2 Phosphore	206
	3.3 Carbone et azote organiques	206
	3.4 Mercure et cadmium	206
4.	Conclusions	208
-	Bibliographie	208
<b>13.</b>	<b>METAUX LOURDS DANS LES SEDIMENTS DES AFFLUENTS VAUDOIS DU LEMAN</b>	<b>209</b>
1.	Introduction	209
2.	Echantillonnage	210
3.	Résultats	210
4.	Conclusions	217
-	Bibliographie	217
<b>14.</b>	<b>METAUX LOURDS DANS LES SEDIMENTS DU RHONE EN AMONT DU LEMAN</b>	<b>219</b>
1.	Introduction	219
2.	Méthodes	219
3.	Résultats	221
4.	Conclusions	228
-	Bibliographie	228
<b>15.</b>	<b>CONTROLES DES STATIONS D'EPURATION</b>	<b>229</b>
1.	Introduction	229
2.	Population raccordée, capacité des STEP et fréquence des contrôles	230
	2.1 Capacité et population raccordée annoncée	230
	2.2 Fréquence des contrôles	231
3.	Normes de rejet et rendement d'épuration	232
	3.1 Demande biologique en oxygène - DBO <sub>5</sub>	232
	3.2 Phosphore total	234
4.	Flux de pollution et apports au Léman par les STEP et leurs réseaux	236
	4.1 Matières organiques DBO <sub>5</sub>	236
	4.2 Phosphore total	237
	4.3 Azote minéral total	237
	4.4 Apports directs au lac des 5 principales STEP du bassin hydrographique du lac Léman	238
5.	Charges spécifiques journalières	239
	5.1 Charges hydrauliques	239
	5.2 Charges en matière organique et en phosphore	239
6.	Evolution des charges en phosphore à l'entrée des STEP suite à l'interdiction des phosphates dans les produits de lavage textiles en Suisse	241
7.	Conclusions	242
-	Bibliographie	243
.	<b>LISTE DES AUTEURS</b>	<b>245</b>

## RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

### Campagne 1988

PAR

GROUPE DE TRAVAIL PROGRAMME QUINQUENNAL ET RAPPORTS

#### COMPORTEMENT DU LAC EN 1988

L'année 1988 est caractérisée par un hiver et un printemps plutôt doux. La moyenne des températures de l'air des cinq premiers mois est de 2.7 °C plus élevée que la moyenne correspondante de 1987. Pour l'ensemble de la masse d'eau, la température moyenne annuelle pondérée s'est élevée de 0.4 °C par rapport à 1987. Cet hiver doux n'a pas permis une homogénéisation thermique de l'ensemble des eaux du lac et la circulation hivernale des eaux n'a pas atteint deux cents mètres de profondeur; par conséquent, la réoxygénation des eaux profondes n'a pas été réalisée.

On peut noter en 1988 l'établissement précoce d'une thermocline dès le début avril. La stratification restera très stable pendant toute la période estivale.

L'absence de brassage, conjuguée à l'importante quantité de matière organique dégradable produite par les algues, a entraîné rapidement une chute des teneurs en oxygène, en dessous de 4 mg/l, dans les eaux du fond. Le 17 octobre 1988, cette concentration est la plus faible (2.06 mg/l) mesurée depuis 1980. On relève également une augmentation des teneurs en phosphore et en manganèse près du fond.

La croissance des algues a débuté encore plus tôt (début avril) qu'en 1987. Cette poussée algale printanière est due à du microplancton constitué principalement de diatomées coloniales, elle a entraîné une diminution rapide des nutriments dans les couches superficielles. De mai à octobre, on constate une consommation totale du phosphore dissous et de la silice dissoute dans les cinq premiers mètres.

La phase des eaux claires a été plus précoce qu'en 1987 et a persisté sur plusieurs semaines. Parallèlement, on observe un développement du zooplancton herbivore qui "broute" le phytoplancton.

Immédiatement après la phase des eaux claires, dès mi-juillet, se développe une chryso-phycée capable de se multiplier lorsque les teneurs en phosphore dans les eaux sont faibles. Il faut relever qu'il n'y a pas eu en 1988 de développement d'algues pouvant colorer les eaux en rouge (algues du type *Oscillatoria rubescens* ou *Ceratium*).

La production algale annuelle reste très élevée (295 g C/m<sup>2</sup>), équivalente à celle des années précédentes.

L'activité du bactérioplancton suit les variations de la production du phytoplancton avec un décalage de quinze jours à un mois. Cette année, la biomasse et surtout l'activité du bactérioplancton sont concentrées dans les cinq premiers mètres. Cette particularité pourrait être liée aux températures de surface plus élevées au printemps, lors des premières proliférations du phytoplancton.

## EVOLUTION DES CONCENTRATIONS MOYENNES DANS LE LAC ET DANS LES SEDIMENTS (figure 1)

La concentration moyenne pondérée en **oxygène** est en nette décroissance pour la deuxième année consécutive. Ce phénomène est dû aux brassages incomplets des eaux durant les hivers 1986-1987 et 1987-1988 et à la production algale beaucoup trop importante.

La baisse continue des concentrations moyennes en **phosphore**, amorcée dès 1980, se poursuit avec une diminution de 9 % en 1988. Les concentrations en moyennes annuelles sont en 1988 de 61.7 µg P/l pour le phosphore total et de 54.5 µg P/l pour le phosphore dissous, ce qui correspond à une quantité de phosphore total contenu dans le Grand Lac de 5'290 tonnes (soit une baisse de 510 tonnes par rapport à 1987). La diminution continue depuis 1980 est due aux efforts de déphosphatation dans les stations d'épuration. L'accélération de la décroissance dès 1987 est le reflet de l'efficacité de la mesure d'interdiction des phosphates dans les produits de lessive.

Les observations faites sur les lacs ayant été soumis à des mesures de réhabilitation, par diminution des apports en phosphore, ont montré qu'il n'était possible de limiter la production algale que si les concentrations en phosphore dans le lac étaient abaissées en dessous de 20 à 30 µg P/l. Avec l'état de l'assainissement actuel du bassin versant du Léman, un essai de modélisation du cycle du phosphore (FAHRNI et RAPIN, 1986) a prévu qu'avec l'interdiction des phosphates dans les produits de lavage des textiles, on atteindrait des concentrations en phosphore dans le lac de l'ordre de 40 à 50 µg P/l en 1995, baisse qui n'est donc pas suffisante pour limiter la croissance des algues.

La concentration en **azote nitrique** continue d'augmenter. Le stock qui était de 48'530 tonnes en 1987 a passé à 50'350 tonnes en 1988, soit une augmentation de 1'820 tonnes (+ 4 %). L'azote total quant à lui est relativement stable et a passé de 61'130 tonnes à 60'750 tonnes.

On constate d'année en année une augmentation régulière de la concentration en **chlorures**. En 1988 cette concentration était de 5.6 mg/l, alors qu'elle n'était que de 2.7 mg en 1971. En 1988, l'augmentation a été de 3.7 %. On peut toutefois s'attendre à ce que cette hausse se stabilise lorsque les concentrations dans le lac seront voisines de celles observées dans les apports soit environ 7 à 8 mg/l en moyenne pondérée, mais à condition que les apports en chlorures restent stables.

Les teneurs en **métaux lourds toxiques des eaux** du Léman restent bien inférieures aux exigences requises pour les eaux de boisson.

Le remplacement des phosphates par le **NTA** (nitrilotriacétate) ne pose toujours pas de problèmes au niveau du lac. On ne note aucune évolution vers une augmentation des teneurs. La teneur moyenne dans les eaux superficielles était de 0.57 µg/l en octobre 1988. On peut relever qu'elle atteignait 0.76 µg/l en août 1984.

Il y a persistance en 1988 des teneurs en **atrazine** (herbicide) observées en 1987 (~ 0.04 µg/l).

Concernant les **métaux lourds dans les sédiments**, on constate une forte diminution des teneurs entre 1978 et 1983. Les résultats de 1988 montrent une stabilité ou une diminution légère de la contamination par rapport à 1983, à l'exception du cadmium. La zone la plus contaminée en éléments métalliques est toujours le secteur de Vidy-Lausanne.

Pour le **phosphore contenu dans les sédiments superficiels**, on note une légère augmentation entre 1978 et 1988. Cette augmentation est due à la forme potentiellement disponible du phosphore et ne provient vraisemblablement pas d'une augmentation des apports, mais semble être en relation directe avec l'évolution de la concentration en oxygène dissous au fond du lac. En effet, dans les années précédant 1978, les eaux du fond du lac étaient quasi anoxiques (sans oxygène) ce qui n'a pas permis la fixation de cette forme de phosphore dans les sédiments. Par contre, dans la première moitié des années 80 les conditions d'oxygénation au fond du lac étaient bien meilleures du fait de la succession de plusieurs brassages complets des eaux et ce phosphore, potentiellement disponible, a pu se stocker dans les sédiments.

## LES APPORTS AU LAC ET LEUR EVOLUTION (figure 1)

- Les **apports hydriques** (241 m<sup>3</sup>/s) sont en constante augmentation depuis 1985 (+ 26 %). Il n'a pas été relevé en 1988 de très fortes crues pendant la période d'été comme en 1986 et 1987, ce qui entraîne une diminution nette des apports en **phosphore particulaire**.
- Les apports en **phosphore dissous** (orthophosphates - PO<sub>4</sub>) par les quatre affluents principaux, forme du phosphore directement disponible pour les algues, sont en constante baisse ces dernières années (- 38 % depuis 1984 - 20 % depuis 1986). 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.

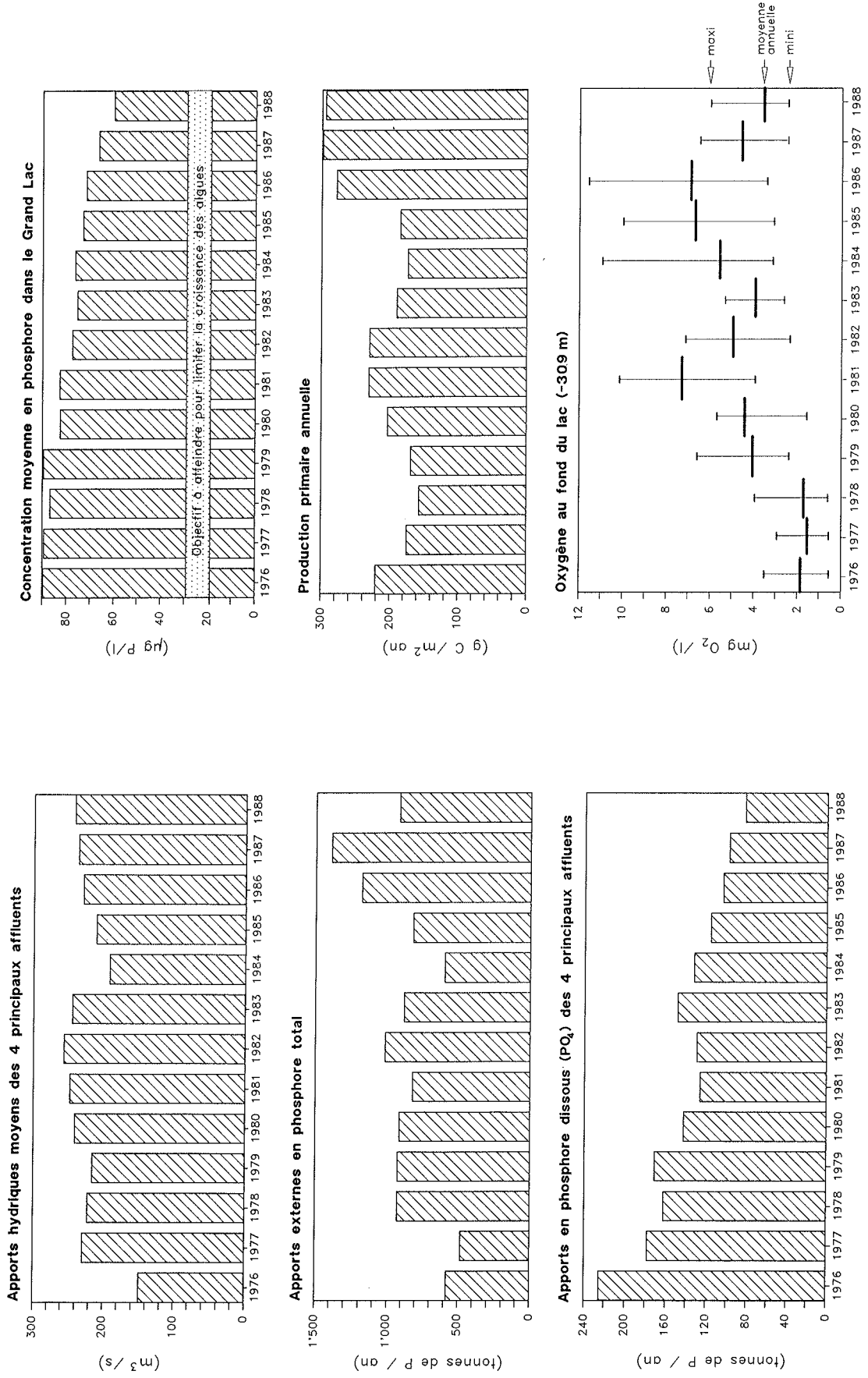


FIGURE 1

Le bilan des apports en phosphore durant l'année 1988 se présente comme suit :

	Phosphore dissous (PO <sub>4</sub> ) directement disponible (tonnes)	PO <sub>4</sub> +PINA+POP directement et potentiel- lement ** disponible (tonnes)	Phosphore total (tonnes)
. Apports par les quatre affluents principaux* (Rhône + Dranse + Aubonne + Venoge)	82	257	920
. Estimation des apports par les affluents secondaires	22	49	72
. Apports par les stations d'épuration rejetant leurs eaux traitées directement au lac ou dans des rivières non prises en compte	27	29	35
. Estimation des apports par les déversoirs d'orage directs au lac ou dans des rivières non prises en compte		38	47
. Apports atmosphériques	15	15 < ? < 32	32
	<b>146</b>	<b>388 &lt; ? &lt; 405</b>	<b>1'106</b>

\* Dans les apports des quatre affluents principaux, environ 26 tonnes de phosphore dissous et 81 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

- . Les apports en azote minéral sont en augmentation depuis 1985 (+ 16 %) et atteignent les valeurs de 1984.
- . pour les chlorures, on relève une nette augmentation par rapport à 1987 (+ 8 %).

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

Quatre nouvelles stations d'épuration (STEP) ont été mises en service sur l'ensemble du bassin (Léman + Rhône aval), portant le total de celles-ci à 196. La population ainsi raccordée annoncée s'élève à 2'176'633 équivalents-habitants, soit environ 85 % des équivalents-habitants totaux.

Sur les 137 STEP du bassin hydrographique du lac Léman (qui selon la législation doivent éliminer le phosphore) 97 sont équipées pour la déphosphatation et traitent les eaux mixtes d'une population raccordée annoncée de 1'306'485 équivalents-habitants.

En ce qui concerne les matières organiques, les normes de rejet (20 mg O<sub>2</sub>/l et 85 % d'élimination) sur les eaux traitées sont respectées dans les bassins de l'Aubonne, du "Léman" (rejets directs au lac + petites rivières), du Rhône amont et de la Venoge. Par contre, pour les bassins de la Dranse et du Rhône aval, elles ne le sont pas. De même pour le phosphore, le rendement d'élimination de 80 % est respecté en moyenne sur les eaux traitées, Rhône aval excepté (bassin non tenu de déphosphater).

Respectivement 26 et 72 tonnes d'azote minéral total sont rejetées par les STEP des bassins versants de l'Aubonne et de la Venoge, représentant environ 10 % des flux véhiculés au lac par ces rivières.

Les flux de matières organiques rejetées après traitement (2'525 tonnes/an) sont en baisse (- 576 tonnes; - 19 %) par rapport à 1987. Pour le phosphore, les charges rejetées après traitement des eaux (77 tonnes/an) sont en baisse de 29 % par rapport à 1987. La conjonction de la mise en place en 1986 d'une réglementation interdisant en Suisse les phosphates dans les produits lessiviels (à la source) ainsi qu'une optimisation du rendement d'élimination du phosphore expliquent ce constat réjouissant.

La réduction des charges d'entrée en phosphore de la partie suisse du bassin lémanique se maintient en 1988 (- 25 % comparativement à 1985), alors que ces mêmes charges sont restées stables dans les STEP de la partie française du bassin.

## CONCLUSIONS

La production globale d'algues dans le lac a été très importante ces trois dernières années. La dégradation d'une telle quantité de matière organique entraîne une forte consommation d'oxygène dans les eaux du fond.

Depuis l'hiver 1985-1986, il n'y a plus eu de brassage complet des eaux dans le Léman (le brassage permet d'amener de l'oxygène dans les eaux du fond du lac).

En conséquence, les teneurs en oxygène dans les eaux du fond deviennent critiques (2.06 mg/l en octobre 1988).

On relève une très nette évolution à la baisse des teneurs en phosphore dans le lac; toutefois les concentrations sont encore trop élevées pour avoir un effet limitant pour la croissance des algues. Les teneurs en phosphore devraient encore baisser de moitié environ pour qu'une amélioration dans ce domaine soit perceptible.

La production algale annuelle élevée est essentiellement due au démarrage, très précoce de la croissance des algues qui s'est maintenue à un niveau élevé jusqu'en septembre. Toutefois, les pics restent relativement limités et s'accompagnent d'une forte diminution, voire de la disparition des orthophosphates. On n'a pas relevé de développement d'espèces d'algues susceptibles de colorer les eaux (non apparition des *Oscillatoria rubescens* depuis deux ans).

Les teneurs en métaux lourds dans les sédiments des rivières vaudoises et du Rhône amont sont en amélioration, cependant les concentrations en mercure restent encore trop élevées.

Au vu des concentrations en phosphore qui sont encore deux fois trop élevées dans les eaux du lac pour pouvoir limiter la production des algues, il est indispensable de maintenir voire même d'amplifier les efforts pour diminuer les apports en cet élément, soit :

- introduire la déphosphatation dans toutes les stations d'épuration et instaurer le contrôle permanent de leur efficacité. Dans certains cas, les contrôles devraient être effectués sans être annoncés,
- éliminer les eaux claires parasites dans les réseaux arrivant aux stations d'épuration,
- faire l'inventaire des rejets industriels et procéder à leur assainissement,
- réduire au maximum le phosphore à la source (produits de lavage des textiles, de vaisselle et de nettoyage, rejets industriels),
- créer ou adapter les fosses à purin et lisiers,
- lutter contre l'érosion et le lessivage des sols.