

S O M M A I R E

RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES	9
1. METEOROLOGIE	15
1. Introduction	15
2. Température de l'air	15
3. Pluviométrie	17
4. Insolation	19
5. Rayonnement	20
6. Vent	22
7. Conclusions	23
2. EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU LEMAN	25
1. Méthodes	26
2. Régime thermique et influence sur la stratification ou le mélange des eaux	26
3. Evolution saisonnière dans les couches superficielles	27
4. Evolution saisonnière dans les couches profondes	36
5. Evolution interannuelle des principaux éléments	36
6. Conclusions	45
- Bibliographie	45
3. RECHERCHE DE METAUX ET DE QUELQUES MICROPOLLUANTS ORGANIQUES DANS L'EAU DU LEMAN ET EFFLUENTS DES STATIONS D'EPURATION DE LAUSANNE ET DE THONON	47
1. Introduction	47
2. Echantillonnage	47
3. Méthodologie	48
4. Résultats	49
5. Conclusions	50
- Bibliographie	52
4. EVOLUTION DU PLANCTON DU LEMAN	59
1. Introduction	59
2. Méthodes	59
2.1 Phytoplancton	60
2.2 Transparence	60
2.3 Chlorophylle et production primaire	60
2.4 Zooplancton	60
3. Phytoplancton	60
3.1 Fréquence des espèces	60
3.2 Variations dans les principaux groupes	61
3.3 Evolution de la biomasse	64
4. Production primaire	66
4.1 Profils verticaux	66
4.2 Variations saisonnières	66
4.3 Production annuelle	66
5. Zooplancton	70
5.1 Biovolume sédimenté	70
5.2 Composition spécifique de la biocénose zooplanctonique	70
5.3 Rotifères	70
5.3 Entomostracés	74
5.5 Remarques générales sur le zooplancton en 1989	79
6. Conclusions	80
- Bibliographie	80

5.	LE BACTERIOPLANCTON DU LEMAN	81
1.	Méthodes	81
2.	Résultats	82
	2.1 Moyennes annuelles, évolution saisonnière et répartition verticale	82
	2.2 Les relations trophiques	82
3.	Conclusions	86
-	Bibliographie	87
6.	ETUDE DE LA VARIATION SAISONNIERE DES PHENOMENES DE MELANGE DANS L'HYPOLIMNION DU LEMAN	89
1.	Introduction	89
2.	Allure des courbes de température et de conductivité en 1989	90
	2.1 Température	90
	2.2 Conductivité	92
	2.3 Densité	93
	2.4 Microstratification dans l'hypolimnion	93
3.	Variation à long terme durant les 4 dernières années	96
	3.1 Stock de chaleur	96
	3.2 Distribution des températures moyennes	96
	3.3 Profils des températures dans l'hypolimnion	99
	3.4 Coefficient de diffusion turbulente	99
4.	Conclusions	101
-	Bibliographie	102
7.	POLLUANTS METALLIQUES ET PCB DANS LA FAUNE PISCICOLE	103
1.	Introduction	103
2.	Echantillonnage et méthodes	103
3.	Résultats	104
	3.1 Mercure	104
	3.2 Plomb	106
	3.3 Cadmium	108
	3.4 Chrome et zinc	109
	3.5 Polychlorobiphényles et organochlorés	112
4.	Conclusions	112
-	Bibliographie	112
8.	EVOLUTION DU PHOSPHORE DANS L'EAU INTERSTITIELLE ET DANS LES SEDIMENTS. EVOLUTION DE LA POLLUTIONS METALLIQUE	115
1.	Introduction	115
2.	Matériel et méthodes	116
	2.1 Choix des sites	116
	2.2 Dates des prélèvements	117
	2.3 Les prélèvements	117
	2.4 Echantillonnage et traitement	117
	2.5 Méthodes analytiques	117
3.	Résultats et discussion	118
	3.1 L'évolution physico-chimique	118
	3.2 Le support sédimentaire	118
	3.3 Evolution verticale des métaux	123
	3.4 Formes du phosphore particulaire dans les sédiments	126
	3.5 Evolution du phosphore dissous dans l'eau interstitielle et l'eau surnageante	129
	3.6 Estimation des flux de phosphore à l'interface	132
4.	Conclusions	134
-	Bibliographie	135

9.	ESTIMATION DE LA DYNAMIQUE DU PHOSPHORE A PARTIR DE LA RELATION PHOSPHORE-OXYGENE EN ZONE PROFONDE	137
	1. Introduction	137
	2. Méthodes	138
	3. Résultats	139
	4. Conclusions	144
	- Bibliographie	144
10.	ETUDE DES AFFLUENTS DU LEMAN ET DE SON EMISSAIRE	145
	1. Généralités	145
	2. Débits des affluents et de l'émissaire	146
	3. Apports annuels et composition de l'eau des affluents principaux et de l'émissaire	147
	3.1 Azote minéral, azote organique et azote total	147
	3.2 Phosphore total et orthophosphates	150
	3.3 Chlorures	153
	3.4 Potassium	154
	3.5 Carbone organique	155
	3.6 Silice	155
	3.7 Sulfates	156
	3.8 Calcium	157
	3.9 Magnésium	157
	3.10 Sodium	157
	3.11 Cuivre, zinc et plomb	158
	4. Etude des affluents secondaires	159
	4.1 Azote minéral total	159
	4.2 Orthophosphates et phosphore total	159
	4.3 Chlorures	159
	4.4 Sulfates	160
	4.5 Silice	160
	5. Conclusions	161
11.	APPORTS ATMOSPHERIQUES AU LEMAN	163
	1. Méthodologie	163
	2. Résultats et discussion	165
	3. Conclusions	166
	- Bibliographie	166
12.	FLUX PARTICULAIRES DE QUELQUES NUTRIMENTS ET METAUX DANS LES SUSPENSIONS DU RHONE PRES DE SON EMBOUCHURE DANS LE LEMAN	171
	1. Introduction	171
	2. Méthodologie	172
	3. Résultats	174
	3.1 Matière particulaire	174
	3.2 Phosphore	174
	3.3 Carbone et azote organiques	176
	3.4 Mercure et cadmium	178
	3.5 Plomb, chrome, cuivre et zinc	178
	3.6 étain, antimoine, sélénium et arsenic	178
	4. Conclusions	178
	- Bibliographie	180

13.	BIODISPONIBILITE DU PHOSPHORE PARTICULAIRE LIE AUX SUSPENSIONS DU RHONE ET D'AUTRES AFFLUENTS DU LEMAN	181
	1. Introduction	181
	2. Echantillonnage et méthodes	182
	3. Résultats et discussion	184
	4. Conclusions	197
	- Bibliographie	198
14.	MICROPOLLUANTS ORGANIQUES DANS LES EFFLUENTS DES STATIONS D'EPURATION, LES EAUX DU RHONE ET LES EAUX DU LEMAN	199
	1. Introduction	199
	2. Echantillonnage	200
	2.1 Eaux du Léman	200
	2.2 Sédiments de la Baie de Vidy	200
	2.3 Effluents de stations d'épuration	200
	2.4 Eaux du Rhône	201
	3. Principe des méthodes analytiques	201
	3.1 PCB et PAH	201
	3.2 Chlorophénols et esters phosphoriques	201
	3.3 Sulfonates d'alkylbenzène linéaires (LAS)	201
	3.4 Organo-étains	201
	4. Résultats	202
	4.1 Eaux du Léman : stations SHL2 et Baie de Vidy	202
	4.2 Sédiment de la Baie de Vidy	203
	4.3 Eaux de STEP et du Rhône	204
	5. Conclusions	210
	- Bibliographie	211
15.	CONTROLES DES STATIONS D'EPURATION	213
	1. Introduction	213
	2. Population raccordée, capacité des STEP et fréquence des contrôles	214
	2.1 Capacité et population raccordée annoncée	214
	2.2 Fréquence des contrôles	214
	3. Normes de rejet et rendement d'épuration, résultats pas bassin versant	216
	3.1 Demande biologique en oxygène - DBO ₅	216
	3.2 Phosphore total	218
	4. Flux de pollution et apports au Léman par les STEP et leur réseau	221
	4.1 Matières organiques-DBO ₅	221
	4.2 Phosphore total	222
	4.3 Azote minéral total	223
	4.4 Apports directs au lac des 5 principales STEP du bassin hydrographique du lac Léman	223
	5. Charges spécifiques journalières	224
	5.1 Charge hydraulique	224
	5.2 Charges en matière organique et en phosphore	224
	6. Conclusions	226
	- Bibliographie	228
.	LISTE DES AUTEURS	229

RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

Campagne 1989

PAR

GRUPE DE TRAVAIL PROGRAMME QUINQUENNAL ET RAPPORTS

COMPORTEMENT DU LAC EN 1989

L'année 1989 est caractérisée par un hiver doux, un printemps très précoce et une température moyenne annuelle de l'air élevée qui constitue le record des 40 dernières années (11.2 °C à Thonon). 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 cent mètres de profondeur; par conséquent, la réoxygénation des eaux profondes n'a pas été réalisée.

Le réchauffement des couches superficielles du lac s'accroît ces dernières années; ceci est dû aux hivers doux qui se succèdent. Pour l'ensemble du lac la température moyenne annuelle pondérée atteint 6.56 °C (+ 0.2 °C par rapport à 1988). Par contre, les couches profondes sont restées fraîches avec une température de 5.0 °C.

L'absence de brassage complet ces dernières années, conjuguée à l'importante quantité de matière organique dégradable produite par les algues, accentue le déficit en oxygène dissous des eaux profondes. Le 11 décembre 1989, cette concentration est la plus faible mesurée depuis 1980 (1.21 mg O₂/l à 1 mètre au-dessus du sédiment). On relève également une augmentation des teneurs en phosphore et en manganèse près du fond.

La croissance des algues a débuté tôt (début avril). Cette poussée algale printanière est due à des espèces nanoplanctoniques (Cryptophycées surtout). L'activité planctonique pendant l'année 1989 a conduit à une consommation quasi totale des orthophosphates dans toute la couche euphotique (0 à 20 mètres) et dans une moindre mesure de la silice, les nitrates par contre sont restés à des niveaux de concentrations plus élevés que les années passées.

La phase des eaux claires en juin a été bien marquée en 1989. Parallèlement, on observe un développement du zooplancton herbivore qui "broute" le phytoplancton.

Le développement algal pendant la période estivale a été soutenu sans présenter toutefois de poussées exceptionnelles.

La biomasse du phytoplancton accuse en 1989 une baisse spectaculaire indiquée par les deux paramètres étudiés : biovolume cellulaire et chlorophylle a. Cette situation se traduit par une augmentation de la transparence (14.7 m le 06.11.1989, 14.3 m le 20.11.1989 et 20.4 m le 11.12.1989).

Toutefois la production primaire annuelle se maintient en 1989 au niveau très élevé déjà atteint les deux années précédentes. Bien qu'en diminution, la quantité de phosphore présente dans l'eau du lac est donc encore trop importante pour limiter la production de matière organique, en particulier au printemps.

Cette apparente contradiction entre les paramètres production et biomasse s'explique par le développement très important en 1989 du zooplancton et notamment des cladocères herbivores (daphnies en juin-juillet et bosmines en automne) qui consomment au fur et à mesure la matière organique produite.

L'activité du bactérioplancton suit les variations de la production du phytoplancton avec un décalage de quinze jours à un mois.

L'année 1989 se caractérise par une stabilisation de l'abondance cellulaire, une chute de 25 % de la biomasse et de 50 % de la production moyenne annuelle à la station SHL2 par rapport à 1988. La chute de l'activité bactérienne cette année semble imputable au zooplancton potentiellement bactériophage dont la biomasse est, cette année, près de 2 fois plus élevée qu'en 1988.

EVOLUTION DES CONCENTRATIONS MOYENNES DANS LE LAC (FIGURE 1)

La concentration moyenne pondérée en **oxygène** est en nette décroissance pour la troisième année consécutive. Ce phénomène est dû aux brassages incomplets des eaux depuis l'hiver 1986-1987 et à la production algale encore trop importante pour le Léman.

La baisse continue des concentrations moyennes en **phosphore**, amorcée dès 1979, se poursuit avec une diminution de 6 % en 1989. Les concentrations en moyennes annuelles sont en 1989 de 58.3 µg P/l pour le phosphore total et de 51.7 µg P/l pour le phosphore dissous, ce qui correspond à une quantité de phosphore total contenu dans le Grand Lac de 4'995 tonnes (soit une baisse de 295 tonnes par rapport à 1988).

La diminution continue depuis 1979 (- 2'675 tonnes, soit une baisse de 35 %) est due aux efforts d'assainissement (stations d'épuration pratiquant la déphosphatation), à la suppression des phosphates dans les lessives textiles et aux pratiques agricoles tendant à limiter les pertes en nutriments. Certaines années le pouvoir fixateur des sédiments s'est vu renforcé par des apports détritiques importants.

En prenant pour base l'état 1985 de l'assainissement du bassin versant du Léman, un essai de modélisation du cycle du phosphore (FAHRNI et RAPIN, 1986) avait prévu, pour les années 1986 à 1995, une plage de variations des concentrations en phosphore dans le lac, suite à l'interdiction des phosphates dans les produits de lavage des textiles. On constate que le lac évolue selon la "fourchette haute" de la prédiction.

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 de façon très nette et durable la production algale que si les concentrations moyennes en phosphore dans le lac étaient abaissées en dessous de 20 à 30 µg P/l.

Au vu de l'évolution constatée et prévue pour ces prochaines années, il apparaît que des efforts supplémentaires pour faire diminuer les apports en phosphore doivent être entrepris.

La concentration en **azote nitrique** continue d'augmenter légèrement. Le stock qui était de 50'350 tonnes en 1988 a passé à 51'220 tonnes en 1989, soit une augmentation de 870 tonnes (+ 1.7 %). L'azote total quant à lui est relativement stable depuis quatre ans, le stock est de 61'020 tonnes en 1989. Toutefois, la concentration moyenne (~ 2,6 mg NO₃/l) reste faible en regard des normes suisse et française (CEE) pour l'eau potable (40 et 50 mg NO₃/l).

On constate d'année en année une tendance à l'augmentation de la concentration en **chlorures**. En 1989 cette concentration était de 5.7 mg/l, alors qu'elle n'était que de 2.7 mg/l en 1971. En 1989, l'augmentation a été relativement faible et a atteint + 1.4 %. 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, ceci pour autant 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.

Cette constatation vaut également pour les poissons (perches et lottes) dans la chair desquelles il est mesuré des concentrations moyennes faibles de **plomb** et **cadmium**. La teneur en **mercure** se stabilise à des valeurs basses. Les concentrations mesurées pour ces éléments sont faibles et inférieures aux valeurs maximales admissibles pour les denrées alimentaires.

Bien que la présence de **polychlorobiphényles (PCB)** soit anormale en milieu naturel, leur concentration dans la chair des poissons analysés demeure faible et inférieure aux exigences requises en matière de ressources alimentaires.

Le remplacement partiel des phosphates par le **NTA** dans les lessives (nitrilotriacétate) ne pose pas de problème au niveau du lac. On ne note aucune évolution vers une augmentation des teneurs. La teneur moyenne dans les eaux superficielles était de 0.52 µg/l en octobre 1989. On peut relever qu'elle atteignait 0.76 µg/l en août 1984.

En 1989, la teneur moyenne en **atrazine** (herbicide) reste voisine de 0.04 µg/l, soit la moitié de la norme requise pour les eaux de boisson. Pour un autre herbicide, la **sima-zine**, les concentrations mesurées sont similaires. La persistance de ces produits, bien qu'étant dégradables, dans les eaux du lac est préoccupante et sera suivie.

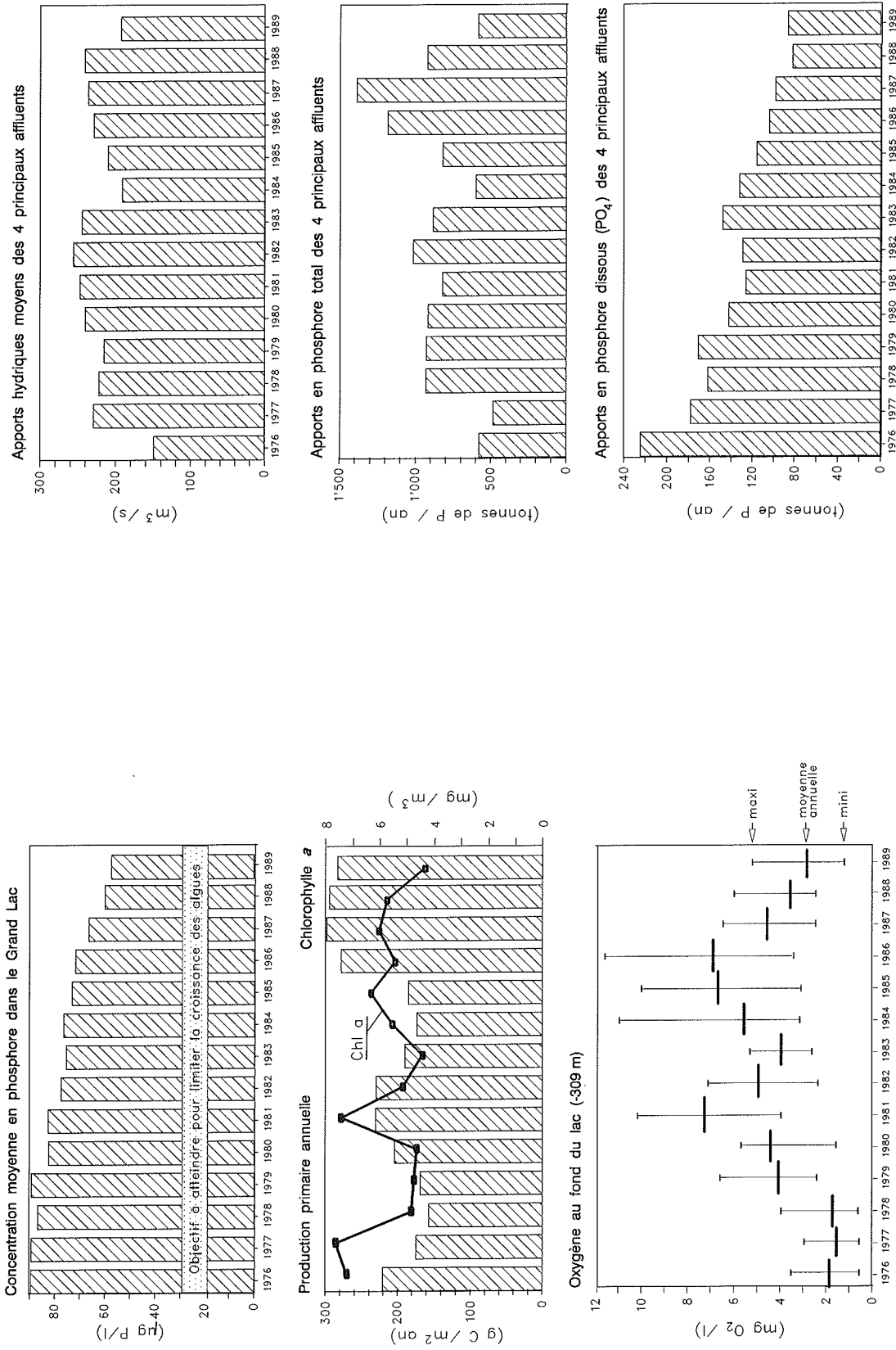


FIGURE 1

LES APPORTS AU LAC ET LEUR EVOLUTION (FIGURE 1)

- Les **apports hydriques** ($197 \text{ m}^3/\text{s}$) sont en nette diminution par rapport à 1988 (- 18 %). Il n'a pas été relevé en 1989 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_4) par les quatre affluents principaux, forme du phosphore directement disponible pour les algues, se sont stabilisés en 1989 à une valeur proche de celle de 1988.

Le bilan des apports en phosphore durant l'année 1989 se présente comme suit :

	Phosphore dissous (PO_4) directement disponible (tonnes)	PO_4 +PINA+POP directement et potentiel- lement ** disponible (tonnes)	Phosphore total (tonnes)
. Apports par les quatre affluents principaux* (Rhône + Dranse + Aubonne + Venoge)	92	190	578
. Estimation des apports par les affluents secondaires	21	28	41
. Apports par les stations d'épuration rejetant leurs eaux traitées directement au lac ou dans des rivières non prises en compte	} } } } 24	29	36
. Estimation des apports par les déversoirs d'orage directs au lac ou dans des rivières non prises en compte	} }	29	36
. Apports atmosphériques	20	$20 < x < 30$	30
	157	$296 < x < 306$	721

* Dans les apports des quatre affluents principaux, environ 22 tonnes de phosphore dissous et 67 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 nette baisse par rapport à 1988 (- 25 %).
- pour les **chlorures**, on relève également une diminution par rapport à 1988 (- 3.3 %).

En 1989, neuf affluents secondaires ont été contrôlés. Pour le phosphore total et dissous, les apports cumulés des affluents secondaires (dans lesquels les apports de la Versoix sont prépondérants) sont du même ordre de grandeur que ceux réunis de la Dranse, de l'Aubonne et de la Venoge. La Dullive, dont les apports en azote ammoniacal sont plus importants que ceux de toutes les autres rivières réunies (sauf Rhône amont), mérite d'être signalée.

Pour le phosphore particulaire potentiellement mobilisable, la comparaison des résultats des analyses chimiques et biologiques suggère clairement que l'analyse chimique fournit seulement une biodisponibilité potentielle maximale et qu'elle surestime la quantité de phosphore effectivement utilisée par le phytoplancton. En effet l'analyse chimique ne tient compte ni de la durée d'exposition des particules dans la zone photique, qui est dans l'ensemble inférieure à un jour, ni de l'effet inhibiteur des polluants associés à ces mêmes particules.

Le phosphore biodisponible du Rhône n'excédant pas 3 %, une proportion importante de ces apports de phosphore particulaire potentiellement mobilisable n'est pas directement utilisé par le phytoplancton; en revanche, ce phosphore potentiellement mobilisable sédimente rapidement en dessous de l'épilimnion et entre dès lors dans le cycle géochimique de ce nutriment dans l'hypolimnion.

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

201 STEP sont en service en 1989 dans le bassin étudié par la CIPEL (bassin hydrographique du lac Léman + Rhône aval jusqu'à la frontière franco-suisse). La population raccordée annoncée de celles-ci atteint ainsi 2'248'300 équivalents-habitants.

Le bassin hydrographique du lac Léman compte 142 STEP en 1989, dont 100 sont équipées pour la déphosphatation et traitent les eaux mixtes d'une population raccordée annoncée de 1'425'429 équivalents-habitants.

Du fait du manque de contrôles et de mesures en France selon les recommandations de la CIPEL, respectivement 127 et 95 STEP seulement ont pu être comptabilisées pour un bilan matières organiques et phosphore.

Ainsi, pour les matières organiques, les quantités rejetées après traitement atteignent 3'800 tonnes et les eaux traitées respectent en moyenne les normes suisses de rejet dans les bassins du "Léman", du Rhône amont et de la Venoge.

Pour les bassins de l'Aubonne et de la Dranse, les rendements sont légèrement inférieurs.

Le rendement de 80 % pour l'élimination du phosphore sur les eaux traitées est en moyenne respecté pour 81 % de la population raccordée annoncée aux STEP ayant fait l'objet d'au moins quatre contrôles 24 heures par an.

En comptabilisant les charges transitant par les déversoirs d'orage au sens large, les charges rejetées de phosphore total atteignent 139 tonnes.

Un certain nombre de stations, semble-t-il aux limites de leur capacité, sont fortement auto-polluées, les apports dus aux cycles internes de celles-ci (recirculation des boues, retours de digesteurs) pouvant représenter jusqu'à 60 % de la charge d'entrée de l'installation pour certains éléments. Il y aurait donc lieu de reconsidérer complètement la chaîne de traitement des installations nouvelles, en séparant nettement les filières de traitement eaux et boues.

CONCLUSIONS

L'évolution à la baisse des concentrations en phosphore dans les eaux du lac se confirme.

La biomasse moyenne du phytoplancton diminue fortement en 1989. En revanche, la production primaire annuelle se maintient à un niveau élevé.

Le développement particulièrement important du zooplancton explique les faibles biomasses algales mesurées, la matière organique produite étant consommée rapidement par des espèces herbivores.

Si la diminution de la biomasse algale traduit bien une apparente amélioration de l'état trophique du Léman, concrétisée par une augmentation de la transparence, le maintien d'une forte production de matière organique, notamment au printemps est un indice significatif : la quantité de phosphore disponible dans les eaux du lac reste encore trop importante pour limiter le développement algal, du moins en période printanière.

La dégradation d'une telle quantité de matière organique entraîne une forte consommation d'oxygène dans les eaux du fond.

De plus, 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 sont critiques (1.21 mg/l en décembre 1989).

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

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