

SOMMAIRE

FICHE SIGNALÉTIQUE DU LÉMAN ET DE SON BASSIN VERSANT	7
SYNTHÈSE 1998	11
CONCLUSIONS GÉNÉRALES	13

RAPPORTS SUR LES ÉTUDES ET RECHERCHES ENTREPRISES DANS LE BASSIN LÉMANIQUE

1. MÉTÉOROLOGIE	21
1. Introduction	21
2. Température de l'air	22
3. Pluviométrie	22
4. Insolation	25
5. Rayonnement	27
6. Vent	27
7. Conclusions	32
2. ÉVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU LÉMAN	33
1. Méthodes	34
2. Régime thermique et influence sur la stratification ou le mélange des eaux	35
3. Evolution saisonnière dans les couches superficielles	38
3.1 Reprise de l'activité photosynthétique au printemps	38
3.2 Reste de l'année	41
4. Evolution saisonnière dans les couches profondes	43
5. Evolution interannuelle des principaux paramètres	47
5.1 Oxygène dissous	47
5.2 Phosphore dissous et phosphore total	48
5.3 Azote nitrique et azote total	50
5.4 Chlorure	51
6. Métaux et micropolluants organiques	52
6.1 Métaux	52
6.2 Phytosanitaires	52
6.3 NTA - EDTA	52
7. Conclusions	55
- Bibliographie	56
- Annexes	57
3. ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION PHYTOPLANCTONIQUE DANS LE LÉMAN	61
1. Introduction	61
2. Méthodes	62
3. Résultats	62
3.1 Profils verticaux	62
3.2 Variations saisonnières	66
3.3 Production annuelle	66
4. Conclusions	68
- Bibliographie	68

4. ÉVOLUTION DU PHYTOPLANCTON DU LÉMAN	69
1. Introduction	69
2. Méthodes	70
3. Richesse spécifique du phytoplancton	70
4. Variations saisonnières de la biomasse	72
5. Biomasse et succession des principaux taxons à l'échelle annuelle	74
5.1 Contribution des classes d'algues	74
5.2 Contribution des principales espèces	75
5.3 Succession des espèces dominantes	75
6. Evolution annuelle de la biomasse	76
7. Conclusions	77
- Bibliographie	77
5. ÉVOLUTION DU ZOOPLANCTON ROTATORIEN DU LÉMAN	79
1. Introduction	79
2. Méthodologie	79
3. Remarques	80
4. Composition de la biocénose rotatorienne	80
5. Etat du Léman déterminé par les rotifères	82
7. Conclusions	85
- Bibliographie	85
6. LE BACTÉRIOPLANCTON DU LÉMAN	87
1. Introduction	87
2. Méthodes	87
3. Résultats	88
3.1 Distribution verticale des bactéries	88
3.2 Evolutions saisonnières des nutriments organiques	89
3.3 Evolutions saisonnières des bactéries	89
3.4 Valeurs intégrées des descripteurs sur la hauteur de la colonne d'eau	96
4. Conclusions	100
- Bibliographie	100
7. ÉVOLUTION DE L'ÉTAT TROPHIQUE DU LÉMAN ENTRE 1990 ET 1998 INDIQUÉE PAR LES COMMUNAUTÉS DE VERS PRÉSENTES À 150 m DE PROFONDEUR	101
1. Introduction	101
2. Stations et méthodes	102
3. Résultats	104
4. Discussion	106
4.1 Effets de la profondeur	106
4.2 Stratégies de prélèvement	108
5. Comparaison avec d'autres lacs	108
6. Conclusions	109
- Bibliographie	110
8. BILAN DES APPORTS PAR LES AFFLUENTS AU LÉMAN ET AU RHÔNE À L'AVAL DE GENÈVE	111
1. Généralités	112
2. Débits des affluents principaux et de l'émissaire	114
3. Apports annuels et composition de l'eau des affluents	115
3.1 Phosphore	115
3.2 Azote minéral et organique	118
3.3 Chlorure	120
3.4 Carbone organique	121
3.5 Silice dissoute	121

4.	Etude des affluents secondaires	121
4.1	Phosphore dissous et phosphore total	122
4.2	Azote minéral total	122
4.3	Chlorure	122
4.4	Silice dissoute	122
5.	Bassin versant du Rhône de Genève à Chancy	123
6.	Conclusions	125
6.1	Bassin versant du Léman	125
6.2	Bassin versant du Rhône aval jusqu'à Chancy	125
-	Bibliographie	125
-	Tableaux récapitulatifs	126
9.	LA VÉGÉTATION MACROPHYTIQUE DU LÉMAN	129
1.	Introduction	130
2.	Buts du mandat	131
3.	Méthodologie	131
3.1	La végétation macrophytique	131
3.2	Données anciennes	132
3.3	Matériel et travail de terrain	133
3.4	Comparaison avec les données de 1975	134
3.5	Secteurs d'étude	134
4.	Etat trophique des eaux du Léman	135
4.1	Qualité physico-chimique des eaux	135
4.2	Bio-indicateurs de qualité des eaux et des sédiments	137
5.	Etat des caractéristiques physiques du milieu	139
5.1	Evolution de l'aménagement des rives	139
5.2	Typologie des rives	140
6.	Etat actuel de la végétation macrophytique	141
6.1	Secteur 1 : Versoix-Messery (+ enclave de Céligny)	141
6.2	Secteur 2 : Thonon - Evian	144
6.3	Secteur 3 : Meillerie - Villeneuve	146
6.4	Secteur 4 : Vevey - Cully	148
6.5	Secteur 5 : Lausanne - Morges	150
6.6	Secteur 6 : Rolle - Promenthoux	152
6.7	Les ports - état actuel	153
6.8	Le faucardage	158
6.9	Les algues filamenteuses	160
6.10	Synthèse de l'état actuel	161
6.11	Sites d'intérêt particulier	163
7.	Evolution entre 1975 et 1997	165
7.1	Secteur 1 : Versoix-Messery (+ enclave de Céligny)	165
7.2	Secteur 2 : Thonon - Evian	170
7.3	Secteur 3 : Meillerie - Villeneuve	173
7.4	Secteur 4 : Vevey - Cully	177
7.5	Secteur 5 : Lausanne - Morges	178
7.6	Secteur 6 : Rolle - Promenthoux	180
7.7	Les ports - évolution 1975 - 1997	181
7.8	Synthèse de l'évolution 1975 - 1997	183
8.	Comparaisons avec d'autres lacs suisses	185
9.	Conclusions	188
-	Bibliographie	190
-	Annexes	195

RAPPORTS TECHNIQUES

10. APPORTS DIFFUS DE PHOSPHORE D'ORIGINE AGRICOLE :	
Appréciation de l'évolution des apports entre 1980 et 1997	221
1. Introduction	221
2. Indicateurs d'effet	222
3. Apports de phosphore vers l'agriculture dans les années 80	222
3.1 Surfaces agricoles prises en considération	222
3.2 Besoins des cultures	223
3.3 Réalité de la fertilisation	223
4. Changements intervenus dans l'agriculture entre 1980 et 1997	224
4.1 Cheptels	224
4.2 Utilisation du territoire	224
4.3 Interprétation de la "statistique suisse de la superficie" pour les cantons de Vaud, Valais et Genève	224
4.4 Evolution de l'utilisation du territoire dans la partie française du bassin versant	224
4.5 Surfaces agricoles actuelles	225
4.6 Evolution des normes de fumure	226
5. Apports de phosphore vers l'agriculture en 1995-1997	226
5.1 Besoins actuels des cultures	226
5.2 Estimation des apports actuels	227
6. Mesures agro-environnementales	227
7. Conséquences pour le Léman et conclusions	228
- Bibliographie	229
11. TROP D'EAU DANS LES ÉGOUTS	231
1. Préambule	231
2. La problématique des réseaux	232
3. Etat des lieux en 1994-1995	232
3.1 Organisation des enquêtes	232
3.2 Résultats des enquêtes et interprétation	233
4. Appréciation qualitative des réseaux	233
4.1 Approche méthodologique	233
5. Qualité actuelle des réseaux (1997-1998)	234
5.1 Résultats de l'appréciation par entité	234
5.2 Commentaires	235
6. Apports de phosphore dus aux imperfections des réseaux	235
6.1 Evaluation des apports vers le lac dus aux réseaux pour 1991 et 1995	235
6.2 Evaluation pour 1997	235
6.3 Commentaires	235
7. Solutions à envisager	236
7.1 Diagnostic de réseaux	236
7.2 Solutions pratiques	236
8. Réalisation des travaux de restructuration	236
9. Recommandations proposées par le groupe de projet "Réseaux"	237
9.1 Recommandations à l'intention des communes et des syndicats de communes	237
9.2 Recommandations à l'intention des gestionnaires de l'assainissement dans les entités géographiques et des services techniques de l'Etat, des départements et des cantons	237
9.3 Recommandations à l'intention des maîtres d'ouvrage privés et des industries	237
- Bibliographie	237
- Quelques définitions	238
- LISTE DES AUTEURS	239

SYNTHÈSE 1998

PAR

LE CONSEIL SCIENTIFIQUE DE LA COMMISSION INTERNATIONALE

CIPEL, CP 80, CH - 1000 LAUSANNE 12

Etat de santé du Léman

Principaux points positifs :

- baisse des apports en azote nitrique et par conséquent des teneurs dans le lac,
- amélioration de l'état biologique des sédiments par 150 m de fond,
- maintien de la diversité des macrophytes et fort développement des characées (espèce sensible à la qualité des eaux),
- pour toutes les substances analysées (métaux, phytosanitaires, NTA, EDTA), les eaux au centre du lac satisfont pleinement aux exigences requises pour l'eau potable,
- amélioration de la qualité hygiénique des eaux de baignade.

Principaux points négatifs :

- légère augmentation des teneurs en phosphore dans les couches profondes (particulièrement au delà de 200 m de profondeur),
- biomasse algale, principalement due à des algues filamenteuses, encore importante,
- teneurs en oxygène trop faibles dans les eaux profondes,
- la présence d'herbicides triaziniques est toujours décelée dans les eaux du lac. Bien que les teneurs soient faibles et satisfassent les exigences requises pour l'eau potable, leur présence n'est pas souhaitable,
- seulement 3 % des rives du lac sont encore naturelles.

EN BREF

De nombreux indices, au niveau de la qualité chimique des eaux, de certains organismes benthiques et des macrophytes, montrent une restauration progressive de l'état du Léman.

En ce qui concerne le plancton, la biomasse et la production primaire restent encore trop importantes, particulièrement en été-automne.

L'objectif à atteindre, une concentration moyenne annuelle de 20 à 30 microgrammes de phosphore par litre d'eau dans le Léman, demeure une condition nécessaire pour diminuer la productivité et améliorer la perception du lac par ses usagers.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Campagne 1998

PAR

LE CONSEIL SCIENTIFIQUE DE LA COMMISSION INTERNATIONALE

CIPEL, CP 80, CH - 1000 LAUSANNE 12

L A C

Evolution physico-chimique

□ **Une météorologie défavorable au brassage hivernal (hiver 1997-1998)**

Pour la douzième année consécutive, un hiver relativement doux n'a pas permis une homogénéisation thermique de l'ensemble des eaux du Grand Lac. On peut estimer que la circulation hivernale des eaux n'a atteint que 150 mètres de profondeur; la réoxygénation totale des eaux profondes n'a donc pas été réalisée. Conséquence de cette situation défavorable, la concentration en oxygène des eaux du fond du Grand Lac en février 1998 est d'environ 2.50 mgO₂/l et chute à 0.62 mgO₂/l en fin d'année (figure 1). Cependant, bien que ne correspondant pas à la campagne de mesures de 1998, il faut signaler que le brassage a été presque complet au début 1999 et a permis de ramener en mars une teneur au fond d'environ 9 mgO₂/l.

□ **L'évolution des teneurs en nutriments**

En 1998, il y a une augmentation d'environ 5 % du stock de phosphore dans les eaux du lac. Elle est particulièrement sensible au-delà de 200 m de profondeur. La teneur moyenne est ainsi presque remontée au niveau de 1996. Le stock, dans le Grand Lac, est de 3'395 tonnes de phosphore total contre 3'230 tonnes l'année précédente (figure 2). Les concentrations moyennes annuelles sont de 40 µgP/l pour le phosphore total et de 35 µgP/l pour les orthophosphates.

Ce phénomène constaté en 1998, soit une augmentation graduelle des concentrations en phosphore dissous dans les couches profondes par rapport aux valeurs observées en 1997, pourrait avoir deux origines :

- les orthophosphates libérés par la minéralisation des matières organiques au cours de leur sédimentation restent, pour une raison encore indéterminée, en solution dans la colonne d'eau;
- la diffusion de phosphates depuis le sédiment, bien que possible, est probablement limitée si l'on se réfère aux observations de ces dernières années où, malgré un déficit estival en oxygène, les teneurs en phosphates sont restées très modérées près du fond.

L'apport de phosphates dans les couches profondes par des affluents est peu probable vu la baisse de ces apports en 1998.

La tendance à la baisse des teneurs en azote nitrique se poursuit depuis quelques années. Le stock pour 1998 est de 47'250 tonnes d'azote nitrique (0.55 mgN/l). Exprimée en ion nitrate, la concentration moyenne est de 2.4 mgNO₃/l. Cette baisse pourrait être le reflet d'une meilleure utilisation de l'azote dans l'agriculture.

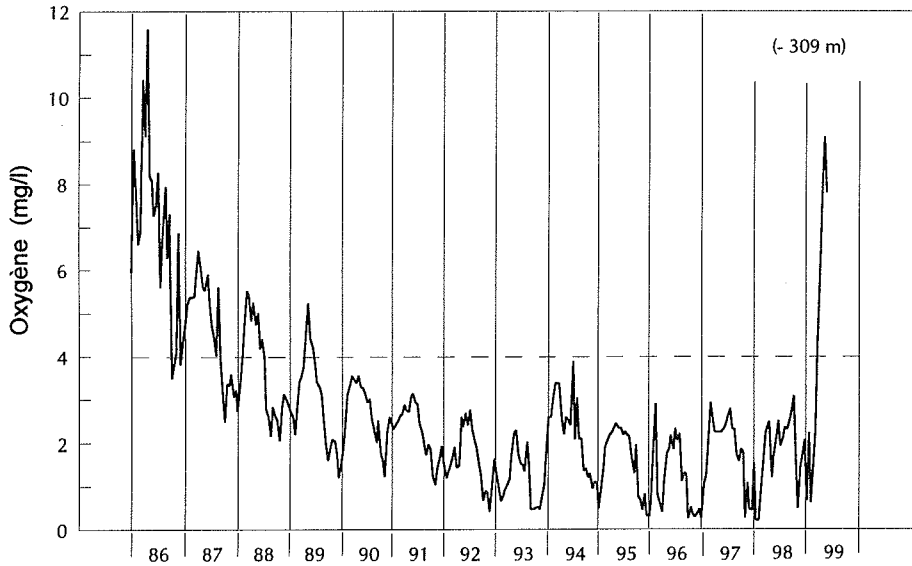


Figure 1

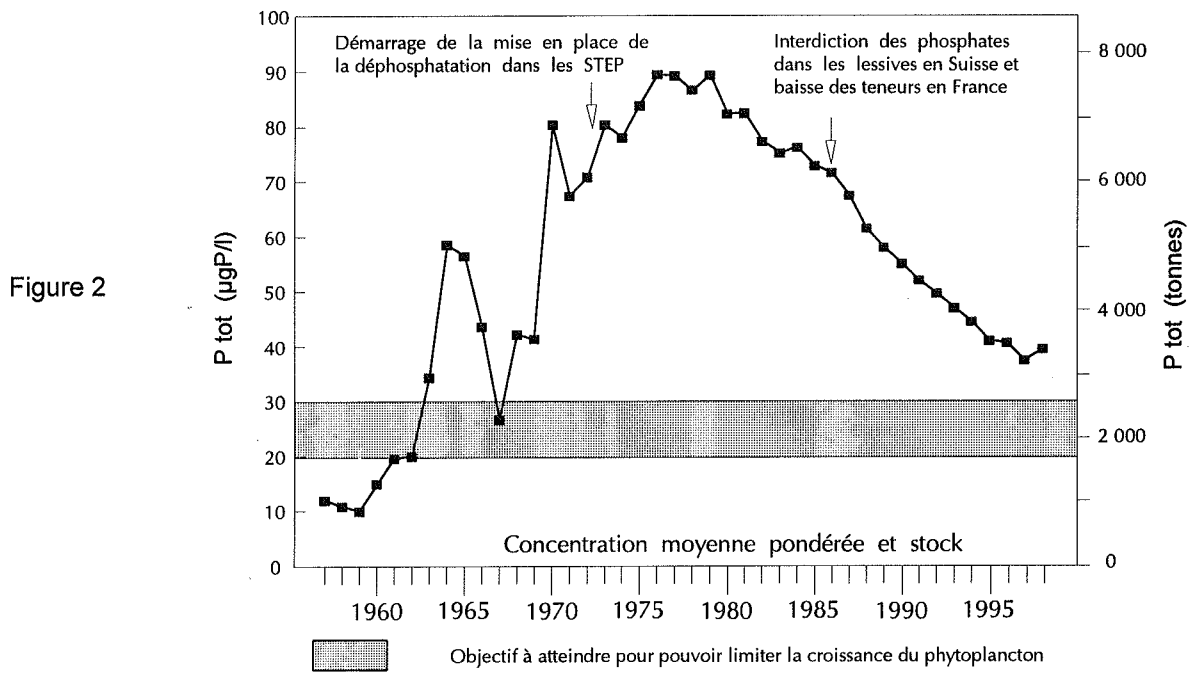


Figure 2

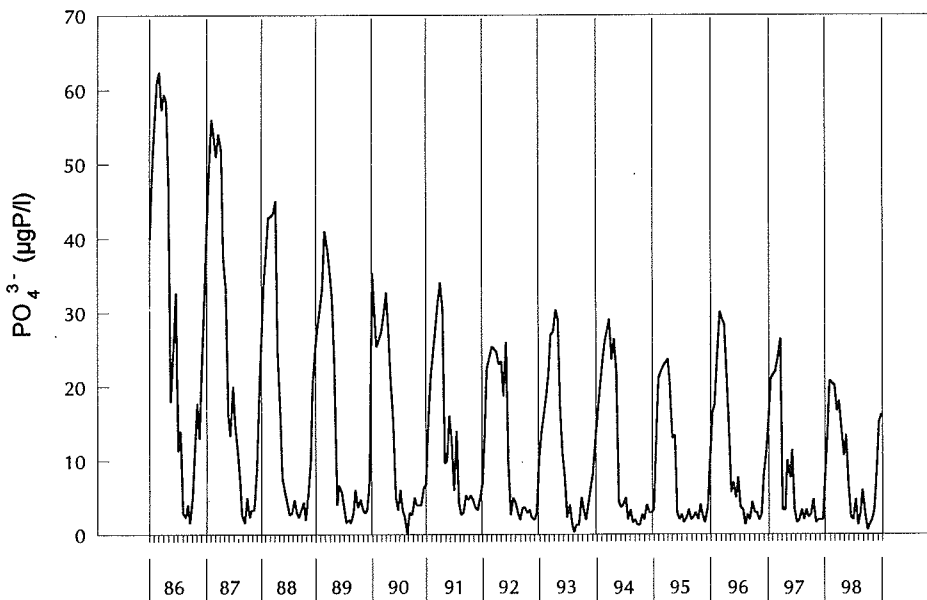


Figure 3

Evolution biologique

□ **Le bactérioplancton**

Les mesures effectuées en 1998 viennent actualiser, après sept ans d'interruption, les cinq années d'auscultation du bactérioplancton du Léman réalisées de 1986 à 1990.

Les résultats montrent qu'en moyenne 27 % du carbone organique dissous est biodégradable à court terme (15 jours) et qu'une petite fraction de l'ensemble des populations bactériennes (4 %) est métaboliquement active. La concentration moyenne des bactéries par strate est un peu supérieure à ce qu'elle était en 1990 alors que l'importance de la production bactérienne relativement à la production phytoplanctonique décroît de 28 à 23 % environ.

Le rapprochement des variations de la concentration des bactéries avec la biomasse et la production primaire phytoplanctoniques montre, selon le cas, que le lien avec le phytoplancton est immédiat (travail sur les produits "excrétés" directement durant la photosynthèse) ou décalé (travail de décomposition sur les restes des végétaux). Dans le cas particulier de l'année 1998, les deux principaux maxima par lesquels passe la concentration en bactéries se situent après les deux maxima de la biomasse phytoplanctonique, décalés respectivement de 29 et de 43 jours.

Le travail de décomposition de la matière organique semble se faire essentiellement dans la partie haute du métalimnion si l'on en juge à travers la concentration totale des bactéries et la production bactérienne. C'est cependant dans la partie basse du métalimnion et, paradoxalement, dans l'hypolimnion que s'établissent en moyenne annuelle les plus grands pourcentages de bactéries actives.

□ **Le phytoplancton**

La production phytoplanctonique (production primaire végétale) représente, dans un grand lac comme le Léman, une bonne part de la production de matière organique.

Cette production phytoplanctonique, qui exprime la vitesse de renouvellement de la biomasse, s'est maintenue à des valeurs relativement faibles, bien que légèrement supérieures à celles de l'année précédente.

Les observations de l'année 1998 confirment les conclusions du rapport sur l'année 1997 qui peuvent être résumées comme suit :

- prolifération automnale prépondérante d'algues filamenteuses de grande taille, non consommées par le zooplancton,
- production primaire relativement basse.

Quelques faits laissent supposer que cette phase de l'évolution du Léman s'achève. En effet, la biomasse annuelle moyenne est en diminution par rapport à 1997, interrompant ainsi la croissance continue observée depuis 1995. Le groupe des espèces dominantes n'a pas changé.

Au printemps, la production primaire et la concentration en chlorophylle sont très réduites, du fait de la turbulence des eaux induite par des vents fréquents et souvent forts. En conséquence, la phase des eaux claires apparaît précocement et se maintient longtemps, mais elle est peu marquée (transparence maximale : 7.7 mètres). En été, la production primaire est élevée car le phytoplancton bénéficie encore de la disponibilité des nutriments non consommés au printemps. Les concentrations en chlorophylle indiquent une biomasse phytoplanctonique importante en fin d'été et en début d'automne, essentiellement due, comme les trois années précédentes, aux algues filamenteuses.

□ **Le zooplancton**

L'abondance des rotifères est en régression en 1998. Ce peuplement reste malgré tout dominé par les espèces oligo-mésotrophes bien que leurs effectifs aient nettement diminué par rapport aux années précédentes. Il faut également noter, cette année, une participation un peu plus marquée des espèces méso-eutrophes.

Le fonctionnement du réseau trophique a été perturbé, en 1998 aussi, par le développement important des algues filamenteuses, *Tribonema* et *Mougeotia* en particulier.

Suite à un développement très important d'un phytoplancton filamenteux durant la majeure partie de l'année, représenté en particulier par la xanthophycée *Tribonema ambiguum* au printemps et la conjuguée *Mougeotia gracillima* durant le second semestre, c'est la première année où il n'a pas été possible, pour l'instant et pour des raisons techniques, de disposer de l'ensemble des données relatives au biovolume sédimenté et à la structure de la communauté crustacéenne planctonique.

□ **Benthos (les vers dans les sédiments)**

Les changements intervenus dans la composition des communautés de vers présentes à 150 m de profondeur indiquent clairement que l'état biologique des sédiments s'est amélioré entre 1990 et 1998 en réponse à la baisse des concentrations en phosphore dans l'eau du Léman. La proportion d'individus appartenant à des espèces indicatrices de conditions oligotrophes augmente significativement. Toutefois l'amélioration observée en 1998 à 150 m de profondeur est moins accentuée que celle enregistrée en 1996 à 40 m. Plus la profondeur est grande, plus la restauration des sédiments altérés prend du temps.

□ **La végétation macrophytique**

L'artificialisation et le remblai des rives du Léman n'est pas un phénomène récent. Les rives naturelles, potentiellement colonisables par les macrophytes émergents (roseau, scirpe, massette), sont très rares autour du Léman.

Actuellement, il reste environ 3 % de rives avec marais côtiers entièrement naturels et 23 % de milieux semi-naturels (p. ex. prés, cultures). Il faut donc compter avec 74 % de rives entièrement artificielles : 40 % en murs et enrochements et 34 % de quais, ports et voies de communications.

Les principales espèces de macrophytes (ou groupes d'espèces) dans le Léman sont au nombre de 21.

La plus abondante est nettement le potamo pectiné (*Potamogeton pectinatus*) qui, quantitativement, constitue la moitié des herbiers recensés. Cette espèce est également très commune dans la plupart des lacs du Plateau suisse.

Il faut noter le développement très important des characées (*Chara sp.*, *Nitellopsis sp.*), qui sont actuellement bien réparties autour du Léman. Ces plantes aquatiques sont particulièrement intéressantes par leur rôle d'indicateur car elles supportent mal la pollution des eaux.

Autre particularité intéressante, l'expansion récente d'une élodée (*Elodea nuttallii*), originaire d'Amérique du Nord. Cette plante d'aquarium, introduite accidentellement depuis moins de 10 ans, colonise actuellement de nombreuses zones calmes, comme les ports, où son développement est important.

La pauvreté du Léman en rives encore naturelles explique l'extrême rareté de la flore en macrophytes émergents et flottants (roseau, scirpe, massette, nénuphar). Les rares roselières aquatiques ne représentent que 1 % de l'abondance totale de la végétation macrophytique recensée.

L'étude des macrophytes permet de visualiser et de quantifier la réaction des organismes aquatiques à l'évolution positive de l'état général du lac. Si chaque espèce a ses particularités, certaines d'entre elles, comme les characées, permettent actuellement de conclure à l'amélioration écologique globale de la zone littorale.

La comparaison avec d'autres lacs dont la qualité des eaux est plus satisfaisante que celle du Léman permet de prévoir une évolution positive de la flore aquatique lémanique (augmentation de la diversité, réapparition d'espèces sensibles à la pollution) si l'état du lac continue de s'améliorer.

□ **La qualité sanitaire des eaux littorales pour la baignade**

En 1998, l'étude de la qualité hygiénique des eaux littorales et des plages, suivies par les services compétents, a montré que pour 79 % des 92 points de contrôle cette qualité est bonne, qu'elle est moyenne pour 17 % des cas, que dans 4 % des stations l'eau peut être momentanément polluée et qu'aucune station n'est qualifiée de mauvaise qualité (une carte de l'état sanitaire des eaux de baignade a été publiée dans *La Lettre du Léman* No 19 - juin 1999).

L'évolution au cours de ces dernières années montre une nette amélioration de la situation. En effet, en 1992, les plages de qualité bonne ne représentaient que 52 % et pour les plages dont la qualité des eaux était momentanément polluée, la proportion était de 12 %.

Micropolluants

□ **Dans les eaux**

Les teneurs en métaux (mercure, plomb, cadmium, chrome, cuivre, manganèse et fer) des eaux du Léman demeurent faibles et satisfont pleinement aux exigences requises pour les eaux de boisson et la vie piscicole. Pour les métaux surveillés, elles sont aussi en dessous des exigences relatives à la qualité des eaux fixées pour les rivières par l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux, 1998). Seules les concentrations de cuivre observées sont quelquefois proches de la valeur de cette ordonnance prise comme point de comparaison.

Par contre, la présence d'herbicides triaziniques est toujours décelée dans les eaux du lac. Bien que les concentrations demeurent faibles, et probablement sans effet toxique sur l'écosystème, leur présence n'est pas souhaitable et leur apport devrait être limité.

Les teneurs en NTA et EDTA des eaux du lac respectent les tolérances requises pour les eaux de boisson.

BASSIN VERSANT DU LÉMAN

□ Le bilan des apports au Léman par les rivières

Du fait d'une pluviosité relativement faible au voisinage du Léman, les débits moyens annuels sont inférieurs à la moyenne de ces quinze dernières années.

Les apports en phosphore total sont d'environ 1'250 tonnes pour les quatre rivières principales.

Pour ces mêmes affluents, les apports en phosphore dissous de 45 tonnes (de P) sont les plus faibles mesurés depuis le début des années 60.

Il en est de même pour les apports en azote nitrique (3'865 tonnes de N) qui sont les plus bas depuis de nombreuses années.

Les apports en chlorures par l'ensemble des rivières contrôlées cessent d'augmenter en 1998. Ils sont pour les quatre rivières principales de 52'000 tonnes.

BASSIN VERSANT DU RHÔNE AVAL (du lac jusqu'à la frontière franco-suisse à Chancy)

□ Le bilan des apports au Rhône

Pour le bassin versant du Rhône en aval, du lac jusqu'à la frontière franco-suisse à Chancy, les analyses effectuées sur les différentes rivières donnent une indication de la contribution des divers bassins versants à l'enrichissement en éléments fertilisants.

La charge du Rhône en nutriments à la frontière est doublée pour les nitrates, multipliée par 4.6 pour le phosphore total et par 5.5 pour le phosphore dissous par rapport à celle mesurée à la sortie du lac. La totalité du bassin versant en aval du lac apporte au Rhône environ 265 tonnes de phosphore dissous. Cela représente plus de 5 fois les apports au Léman des douze rivières étudiées de son bassin versant direct.

Par rapport à la charge à Chancy, celle de l'Arve représente 17 % pour les nitrates et 34 % pour le phosphore dissous. Par rapport au flux à Chancy, le bassin versant en aval du lac (22 % du bassin versant total) apporte en moyenne 27 % du débit du Rhône. Pour le bassin dit "genevois", les charges obtenues par soustraction des charges entrantes mesurées (sortie du lac, Arve et Allondon) de la charge à Chancy représentent 34 % pour les nitrates et 44 % pour le phosphore dissous. Ces évaluations obtenues par calcul représentent la charge résiduelle à l'aval de la retenue de Verbois.