

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
INTRODUCTION	7
1. METEOROLOGIE	11
2. EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU LEMAN	19
1. Préambule	19
2. Conditions de prélèvement des échantillons	20
3. Le régime thermique des eaux	20
4. Le régime de l'oxygène	21
5. Les composés de l'azote	28
6. Evolution du phosphore	34
7. Carbone organique total	37
8. La silice	37
9. Les chlorures	39
10. Autres déterminations	40
11. Relation oxygène - phosphore - silice au fond du lac	40
12. Anomalies constatées au fond du lac	44
13. Conclusions	46
3. EVOLUTION DU PLANCTON DANS LE LEMAN	49
1. Introduction	49
2. Méthodes	49
2.1 Phytoplancton	49
2.2 Transparence	50
2.3 Chlorophylle et production primaire	50
2.4 Zooplancton	50
3. Phytoplancton	50
3.1 Fréquence des espèces	50
3.2 Variations dans les principaux groupes	50
3.3 Variations de la biomasse	54
4. Transparence	57
5. Chlorophylle et production primaire	58
5.1 Variations saisonnières	58
5.2 Production annuelle	58
6. Zooplancton	60
6.1 Biovolume sédimenté	60
6.2 Rotifères	61
6.3 Entomostracés	63
6.4 Mollusques	68
6.5 Remarques générales sur le zooplancton en 1985	68
7. Interrelations entre certains paramètres physiques, chimiques et biologiques en 1985	69
7.1 Température et éclaircissement	69
7.2 Transparence	69
7.3 Oxygène dissous et pH	69
7.4 Eléments fertilisants	69
7.5 Relations phytoplancton-zooplancton	69
8. Conclusions	71

4.	RECHERCHE DE METAUX DANS L'EAU DU LEMAN	73
5.	POLLUANTS METALLIQUES DANS LA FAUNE PISCICOLE	77
	1. Introduction	77
	2. Méthode	77
	3. Résultats	78
	4. Conclusions	79
6.	ETUDE DES AFFLUENTS DU LEMAN ET DE SON EMISSAIRE	91
	1. Généralités	91
	2. Débits des affluents et de l'émissaire	92
	3. Apports annuels et composition de l'eau des affluents	93
	3.1 Azote minéral et organique	93
	3.2 Orthophosphates et phosphore total	96
	3.3 Chlorures	99
	3.4 Potassium	100
	3.5 Carbone organique	100
	3.6 Silice	101
	3.7 Sulfates	102
	3.8 Calcium	102
	3.9 Magnésium	103
	3.10 Sodium	103
	3.11 Cuivre, zinc et plomb	103
	4. Conclusions	104
7.	METAUX LOURDS DANS LES SEDIMENTS DU RHONE, DE SES AFFLUENTS ET DE LA VENOGNE	105
	1. Le Rhône amont et ses affluents	106
	2. La Venoge	117
8.	CONTROLES DES REJETS DES STATIONS D'EPURATION	123
	1. Nombre et fréquence des contrôles	123
	2. Normes de rejet et de rendement d'épuration	125
	3. Flux de pollution et apports au Léman	125
	4. Charges quotidiennes par habitant	128
	5. Conclusions	128
9.	MODELISATION DU CYCLE DU PHOSPHORE DANS LE LEMAN	153
	- Avant-propos	153
	1. But de la modélisation	154
	2. Types de modèles disponibles	154
	2.1 Généralités	154
	2.2 Modèles "statistiques"	154
	2.3 Modèles basés sur des bilans	155
	2.4 Modèles dynamiques	156
	3. Application au Léman de différents modèles "statistiques"	156
	4. Application au Léman d'un modèle basé sur des bilans	159
	4.1 Modèle Gächter et al.	159
	4.2 Estimations prédictives	160
	5. Etude de paramètres ou de processus particuliers	163

5.1	Biodisponibilité des différentes formes du phosphore	163
5.2	Oxygène dissous dans les eaux du lac et mélange des eaux	164
5.3	Apports internes de phosphore (relargage à partir du sédiment)	171
5.4	Mélange artificiel des eaux	174
5.5	Estimation des surfaces et des volumes des différentes couches du lac	175
6.	Application au Léman de modèles dynamiques (à plusieurs compartiments)	177
6.1	Modèle à deux couches - deux paramètres	177
6.2	Modèle à plusieurs couches - plusieurs paramètres type Seemod (EAWAG)	177
7.	Conclusions	185
-	Conséquences pratiques	187
-	Annexe - définition terminologique	190
10.	ANALYSES COMPARATIVES INTERLABORATOIRES	191
1.	Analyses comparatives d'eau	191
2.	Analyses comparatives de métaux lourds	199
3.	Conclusions	200
4.	Rétrospective des résultats obtenus au cours du plan quinquennal 1981-1985	200
11.	LES POLYCHLOROBIPHENYLES ET LE DDE DANS LES SEDIMENTS SUPERFICIELS DU LEMAN ET DE SES AFFLUENTS	207
1.	Introduction	207
2.	Méthode de travail	208
3.	Résultats	209
4.	Conclusions	213
-	Annexe : nomenclature des composés chimiques cités dans le texte	216
12.	RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES	217
13.	LISTE DES AUTEURS RESPONSABLES DES RAPPORTS	221

I N T R O D U C T I O N

L'année 1985 peut être considérée sous certains aspects comme une année particulière. C'est d'abord le grand froid du mois de janvier qui a laissé son empreinte dans les mémoires, puis la sécheresse de septembre-octobre. Toutefois le Léman, grâce à son énorme inertie, n'aura pas été influencé considérablement par ces conditions météorologiques inhabituelles.

1985 représente aussi la fin du troisième programme quinquennal d'études et de recherches consacrées au lac, mené sous la houlette de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman.

En outre, les rapports de cet ouvrage sont dressés à un moment où j'achève le mandat de Président de la Sous-commission technique et où je suis appelé à exercer d'autres fonctions.

Comme à l'accoutumée, vous trouverez dans les pages qui suivent les éléments permettant de décrire la qualité des eaux du Léman et de ses apports tant du point de vue physico-chimique que biologique.

Le texte de A. ORAND, consacré aux aspects météorologiques, permet de présenter les caractéristiques climatiques de cette année 1985. Le froid rigoureux de janvier (- 3.4 °C en moyenne mensuelle à Genève par exemple), qui a sévi sur l'ensemble du bassin, a fait baisser la moyenne annuelle de la température des eaux du lac à un niveau jamais atteint depuis 1970. C'est, par ailleurs, à cause de la sécheresse très accusée de l'automne que l'on peut considérer cette année comme assez sèche.

LE LAC

Si l'on veut percevoir l'évolution du lac, il faut lire le rapport consacré à la physico-chimie rédigé par le Docteur R. MONOD et celui concernant la biologie préparé par une équipe de chercheurs associant l'Institut National de la Recherche Agronomique de Thonon et le Service d'Hydrobiologie de Genève. Du fait de sa grande inertie, le lac n'a pas, pour sa part, réagi au grand froid autant que l'on pouvait le croire. En effet, le brassage des eaux n'a pas été complet et le mélange du lac n'a pas été parfaitement réalisé jusqu'au fond. Toutefois, en six années, on aura assisté à quatre mélanges quasi intégraux (1979, 1981, 1984 et 1985), ce qui est bien sûr éminemment bénéfique pour le lac.

D'un point de vue physico-chimique, la question des phosphates reste malheureusement la plus préoccupante. Le stock de phosphore, malgré la poursuite d'une légère baisse (6'250 tonnes en 1985 contre 7'000 tonnes en 1980) reste trop élevé. Rappelons que la concentration souhaitée de phosphore total exprimé en P se situerait vers 0.030 mg/l correspondant à un stock un peu inférieur à 3'000 tonnes.

Le cycle biologique a fait montre des deux "pics" usuels de croissance et de prolifération d'algues :

- au printemps le nanoplancton très abondant a réduit la transparence à 2.2 m. Corrélativement, cette croissance algale a provoqué une sursaturation en oxygène dans les couches superficielles. Ce nanoplancton a ensuite disparu lorsqu'il fut brouté par le zooplancton,
- en automne on note la présence d'algues de grande taille, et notamment la réapparition en masse de l'oscillaire rouge; la transparence chute à nouveau. D'une façon générale, depuis 1982, les paramètres biologiques indiquent une relative stabilité.

Les métaux lourds constituent des micro-polluants, c'est-à-dire des éléments chimiques toxiques à très faibles concentrations du fait des phénomènes de bio-accumulation qu'ils peuvent engendrer. En 1985, ils ont été étudiés par Cl. CORVI tant dans l'eau que dans la chair des poissons du lac. L'ensemble des résultats montrent que les concentrations rencontrées sont faibles et bien inférieures aux normes de boisson (pour l'eau)

ou aux concentrations limites dans les denrées alimentaires (pour les poissons). D'autre part, sur les cinq années du programme actuel (1981 à 1985), aucune évolution significative n'est apparue.

Les polychlorobiphényles (PCB) constituent également des micro-polluants (mais de type organique) qui ont quelque peu défrayé la chronique récemment (incendie d'un transformateur à Reims). C'est en fait un produit qui a été largement utilisé dans le monde et dont la rémanence méritait d'être examinée dans le cas du bassin lémanique. Les résultats présentés portent sur les concentrations mesurées dans les sédiments du Léman et des affluents. En comparaison avec d'autres lacs, il s'avère que les teneurs rencontrées sont élevées et réparties selon la même façon que la contamination en mercure des sédiments publiée dans le rapport 1978. Cette pollution est à mettre en relation avec l'importance de l'urbanisation, car les rejets des réseaux d'assainissement constituent la voie usuelle de pénétration des PCB dans le milieu lacustre. C'est ainsi que les teneurs en zone côtière, ou influencée par un affluent drainant une zone urbanisée dense, sont toujours plus importantes. En comparaison avec les analyses précédentes de 1978, il faut noter qu'il n'y a pas eu de diminution des concentrations mesurées malgré les importantes restrictions d'utilisation de ces produits.

Signalons enfin que, cette année, aucun rapport ne dresse la situation des micro-polluants organiques dans l'eau du lac. Cependant, certains résultats ont été collationnés, notamment en matière de concentration de N.T.A. et d'E.D.T.A., dans la perspective de l'introduction croissante du N.T.A. dans le milieu. En effet, ce dernier constitue un substitut aux phosphates dans les lessives. Afin de donner un plus grand intérêt à ces chiffres, ils seront intégrés dans le rapport de l'année prochaine.

LES APPORTS

La durée de renouvellement des eaux du lac est très longue : onze années. Cependant les apports annuels, lentement mais sûrement, font évoluer la qualité des eaux du lac.

On a déjà signalé que l'année 1985 avait été plutôt sèche par rapport à une année moyenne. Cependant 1985 a provoqué des apports au lac quelque peu plus importants en volume que 1984, année caractérisée par une hydraulicité faible. D'un point de vue physico-chimique, il a été mis en évidence que le mode d'échantillonnage à l'exutoire doit être modifié pour améliorer la précision des bilans. Par ailleurs, le flux d'azote minéral total apporté au lac, évalué à partir des principaux affluents, se situe à un niveau bas, en diminution nette par rapport à l'année passée. Les apports en phosphore total ont retrouvé, pour leur part, le niveau des années 1981 et 1983.

Une autre source d'apports au lac provient des principales stations d'épuration (Lausanne, Vevey, Montreux, Morges, Pully, Thonon), en dépit des bons rendements. Du rapport de L. THELIN, l'on tirera que l'apport global en phosphore total dû à ces ouvrages s'est maintenu. Plus généralement, pour l'ensemble du bassin, si la plupart des stations fonctionnent correctement, certaines ne pratiquent pas encore la déphosphatation et d'autres ont des rendements trop faibles, phénomène généralement lié à une qualité insuffisante des réseaux.

Une dernière source d'apports au Léman provient des pluies se déversant directement sur le lac. Bien que les analyses aient été réalisées en 1985, la publication du rapport correspondant est différée car des difficultés d'interprétation des données obtenues n'ont pu être levées suffisamment rapidement pour permettre l'édition du texte.

UN MODELE

Le rapport consacré à la modélisation du cycle du phosphore apparaît comme un document intéressant. S'il n'y a pas lieu de revenir sur l'importance de cet élément pour l'état de santé du lac, il faut par contre noter qu'aucune étude de synthèse n'avait été encore réalisée sur le sujet. Le travail de H.P. FAHRNI et F. RAPIN permet de combler cette lacune. Les conclusions des auteurs ne diffèrent pas fondamentalement de la version provisoire du rapport publié l'année passée. La charge externe actuelle en phosphore doit diminuer de manière drastique à 600 tonnes par an contre 1'300 tonnes environ actuellement. En 1985, par exemple, 1'043 tonnes ont été apportées par les affluents, la pluie et les stations d'épuration. A ce chiffre il faut ajouter le re-largage provenant des sédiments. Cet apport complémentaire à défaut de la connaissance de résultats définitifs peut être évalué à 200 tonnes.

Lors de la mise au point du modèle, un examen des apports en oxygène lors des crues du Rhône a été effectué. En effet, il s'avère qu'une part très importante du stock en oxygène du fond du lac provient des crues. Ces apports ponctuels parviennent à engendrer de véritables "anomalies" de la concentration en oxygène au fond du lac. Ces valeurs surprenantes avait déjà été constatées ces dernières années mais aucune explication logique n'avait alors pu être donnée. Dans le rapport cité supra de R. MONOD,

il a été fait un exposé historique de ces événements et une analyse des "anomalies" des années 1981 à 1985. Cette étude prend toute sa valeur dans le contexte du projet de réalisation de barrages en cascade à installer par Hydro-Rhône. Si ces projets étaient susceptibles de modifier la qualité des eaux de crue, la qualité des eaux du lac pourrait également évoluer dangereusement notamment dans cette zone déjà critique constituée par le fond.

En conclusion, 1985 s'inscrit dans la moyenne des années antérieures tant du point de vue de la qualité du lac que de la caractérisation de ces apports. Par contre, cette année peut apparaître comme une période charnière où l'on peut se demander quelles améliorations pourront être apportées à la gestion du lac. En effet, l'épuration classique est quasiment achevée. Si la déphosphatation n'est pas partout réalisée, elle est en bonne voie de l'être et, au moins, le message est passé auprès des collectivités locales.

On peut affirmer que l'ère des grands équipements, lourds d'un point de vue budgétaire mais relativement simples à mettre en place, est révolue. Seules subsistent des possibilités d'action en matière de gestion voire de comportement. Par exemple après avoir investi dans la construction de stations d'épuration, encore faut-il les gérer correctement. La limitation des phosphates dans les produits de lessive préfigure également cette nouvelle période. Les conclusions à venir des études sur les pollutions diffuses induiront sans doute des mesures à conseiller dans les pratiques agricoles.

En tout état de cause, la tâche ne sera pas aisée pour retrouver un lac de bonne qualité. Mais plus élevé sera cet objectif, plus il nécessitera de moyens et de personnes motivées pour l'atteindre. Je souhaite en conséquence bonne chance pour le lac et bon courage pour tous ceux qui poursuivront cette grande oeuvre à laquelle j'ai tenté de contribuer au mieux pendant ces quelques années.

Le Président de la Sous-commission technique :

Jean MAYNADIE

RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

CAMPAGNE 1985

Les deux faits climatologiques qui ont marqué l'année 1985 sont la vague de froid de janvier et la sécheresse de septembre et octobre.

L'eau du lac était pratiquement homotherme en février avec une température moyenne de 5.3 °C (0.2 °C de moins que l'année précédente). Cette homothermie s'est prolongée jusqu'à mi-mars. Cependant, du fait de l'absence de vent fort en février et en mars, le brassage des eaux a été incomplet cette année dans la zone la plus profonde du lac. L'homogénéité physico-chimique n'a pas été réellement atteinte, même en mars, comme ce fut le cas effectivement en mars 1984.

La sécheresse de septembre-octobre s'est fortement marquée par une diminution de 20 à 30 %, par rapport à 1984, des débits moyens annuels des rivières n'étant pas alimentées par un système glaciaire (Venoge-Aubonne). Par contre, on note une augmentation du débit moyen de près de 15 % pour le Rhône.

- Au point de vue des apports au lac, l'année 1985 est caractérisée par :
 - des apports hydrauliques inférieurs à la moyenne interannuelle, mais cependant supérieurs de 10 % à ceux de l'année 1984;
 - une baisse des apports en azote minéral total (- 12 % par rapport à 1984), en azote organique (- 9 %) et en chlorures (- 4 %);
 - une hausse des apports en phosphore. Le bilan des apports en phosphore total se présente comme suit :

• apports par les quatre affluents principaux	819 tonnes
• apports par les affluents secondaires (estimation à partir d'une régression entre les valeurs de ces affluents et celles de l'Aubonne + Venoge en 1972-1980)	78 tonnes
• apports par les stations d'épuration rejetant leurs eaux directement au lac ou dans des rivières non prises en compte	86 tonnes
• apports atmosphériques (moyenne des charges depuis 1977)	60 tonnes
	1'043 tonnes
	=====

L'augmentation de 20 % par rapport à 1984 est partiellement due au déficit hydraulique et aux faibles crues de l'année 1984 qui ont limité l'érosion cette année-là. Il faut toutefois relever que les apports en phosphore en 1985 sont les plus faibles, à l'exception de 1984, depuis quinze ans;

- des apports stables en phosphore par les stations d'épuration qui, dans le bassin lémanique, en retiennent environ 700 tonnes;
- des charges en ammoniacque, en nitrates, en chlorures et en phosphore total (moyenne annuelle pondérée : 0.236 mg P/l) très élevées dans la Venoge;
- une diminution des apports en zinc par le Rhône (seule rivière étudiée pour les métaux lourds dans l'eau) et une stabilité pour le cuivre. Par contre, il y a une nette augmentation des apports en plomb (double des apports de 1984), on retrouve les valeurs des années 1981-1982;
- une contamination par le mercure des sédiments du Rhône, qui s'est stabilisée, avec néanmoins une très légère augmentation (10 %) par rapport à 1984; en général une stabilisation des pollutions polymétalliques dans les sédiments des canaux et rivières de la plaine du Rhône;
- des problèmes liés à des rejets ponctuels (usines d'incinération) qui provoquent de très fortes contaminations polymétalliques. Ce phénomène est particulièrement marqué à Penthaz dans la Venoge où l'on mesure de plus des teneurs élevées en PCB (communication orale de Cl. CORVI, résultats non encore publiés);
- des apports non négligeables en PCB par certaines rivières et ceci malgré l'interdiction de l'utilisation de ce produit depuis 1972.

Au niveau des couches superficielles du lac on constate en 1985 une très bonne concordance entre les poussées du phytoplancton et la sursaturation en oxygène des eaux (figure 1). La sursaturation s'est maintenue jusqu'à mi-octobre par suite de l'allongement de la période de stratification estivale des eaux due à l'automne particulièrement chaud et ensoleillé.

Les fortes valeurs hivernales de la transparence (17.2 m en février) sont associées à une faible valeur de la biomasse phytoplanctonique (figure 1). La transparence diminue ensuite régulièrement au fur et à mesure du développement du phytoplancton; le minimum de transparence, observé fin mai (2.2 m), est associé à l'abondance printanière maximale du phytoplancton. On relève une nette augmentation de la transparence (10.1 m) au mois de juin; ceci est dû au développement important du zooplancton (figure 1) qui entraîne un éclaircissement des eaux par suite du broutage du phytoplancton de petite taille par des daphnies. En septembre et octobre a eu lieu un nouvel envahissement du Léman par *Oscillatoria rubescens*. Le caractère épisodique de la prolifération de cette cyanophycée dans le Léman s'explique mal; car il semble que depuis de nombreuses années les conditions trophiques nécessaires, particulièrement les teneurs en phosphore et en azote, sont réunies pour permettre une prolifération importante et plus régulière de cet organisme. Le ou les facteurs responsables du déclenchement du phénomène sont peut-être à rechercher dans certaines conditions de température, de lumière et de stabilité de l'épilimnion, favorables ou non selon les années. L'épisode de 1985 est le moins important des trois épisodes majeurs observés depuis 1978, tant au point de vue de l'abondance moyenne que maximale. L'un des inconvénients du développement de cette espèce, qui peut descendre en profondeur, est qu'elle est éventuellement susceptible de perturber la qualité de l'eau des pompages d'eau potable.

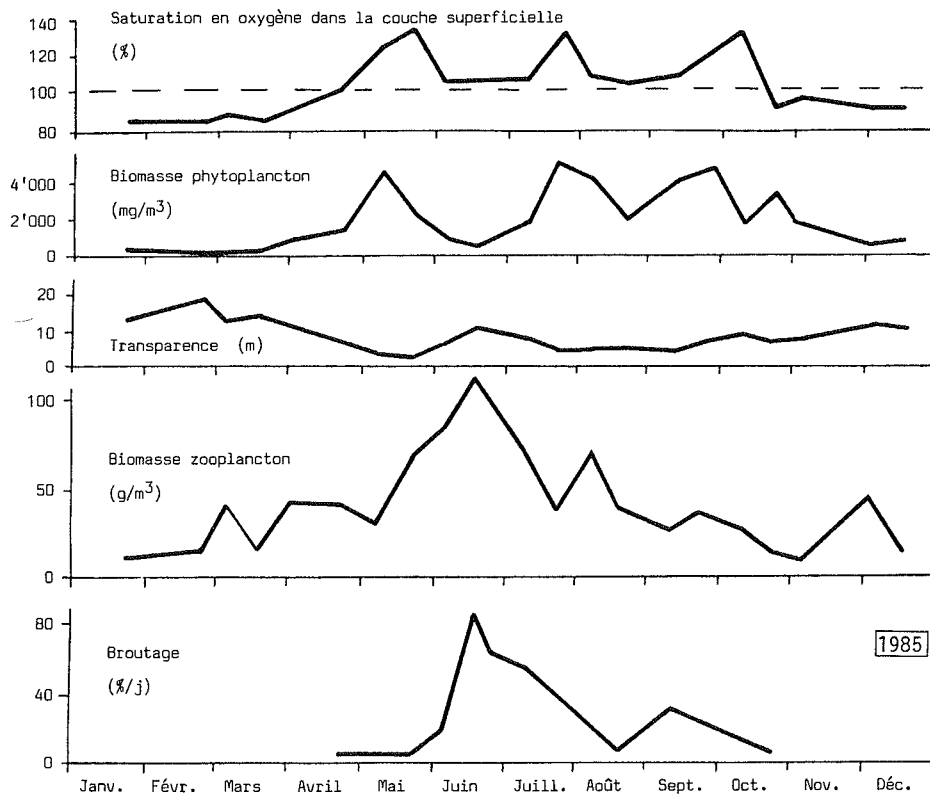


Fig. 1 : Variations de divers paramètres dans les couches d'eau superficielle en 1985.

L'année 1985 a été marquée dans le lac par un brassage presque total des eaux, après ceux de 1979, 1981 et 1984, ce qui rend la situation du régime général de l'oxygène très favorable. Cette évolution est bien mise en évidence à la figure 2.

Une situation critique avec moins de 4 mg d'oxygène par litre n'a été observée que quelques semaines au niveau le plus profond (309 m) du lac. La situation très favorable du régime de l'oxygène de ces dernières années pourrait se dégrader rapidement si la période entre deux brassages complets dépassait deux à trois ans. Il faut relever que la température des eaux du fond est toujours élevée, ce qui rend l'homothermie et le brassage des eaux plus facile.

L'examen minutieux des anomalies physico-chimiques rencontrées dans les couches profondes du lac et des mesures de courantométrie dans le canyon profond du Rhône montrent avec certitude que les eaux du Rhône, dans leur régime actuel, peuvent dans certaines conditions pénétrer en profondeur dans le lac et réapprovisionner ainsi en oxygène les couches du fond. Il faudrait s'assurer que des modifications du régime actuel des eaux du Rhône ne perturbent pas ce phénomène bénéfique pour le lac.

On constate une tendance assez nette vers une diminution des apports en phosphore (figure 2) depuis 1982. Cette décroissance pourrait être partiellement liée à l'érosion plus faible de ces dernières années due aux apports hydriques inférieurs à la moyenne depuis 1983.

Par rapport aux années précédentes, la teneur en phosphore dans le lac diminue. Le Grand Lac a perdu environ 300 tonnes par rapport à 1984 et 800 tonnes par rapport à 1981. La concentration moyenne en phosphore total dans le lac est de 0.073 mg P/l en 1985. Cependant, cette concentration est encore 2.4 fois supérieure à l'objectif à atteindre (~ 0.030 mg P/l).

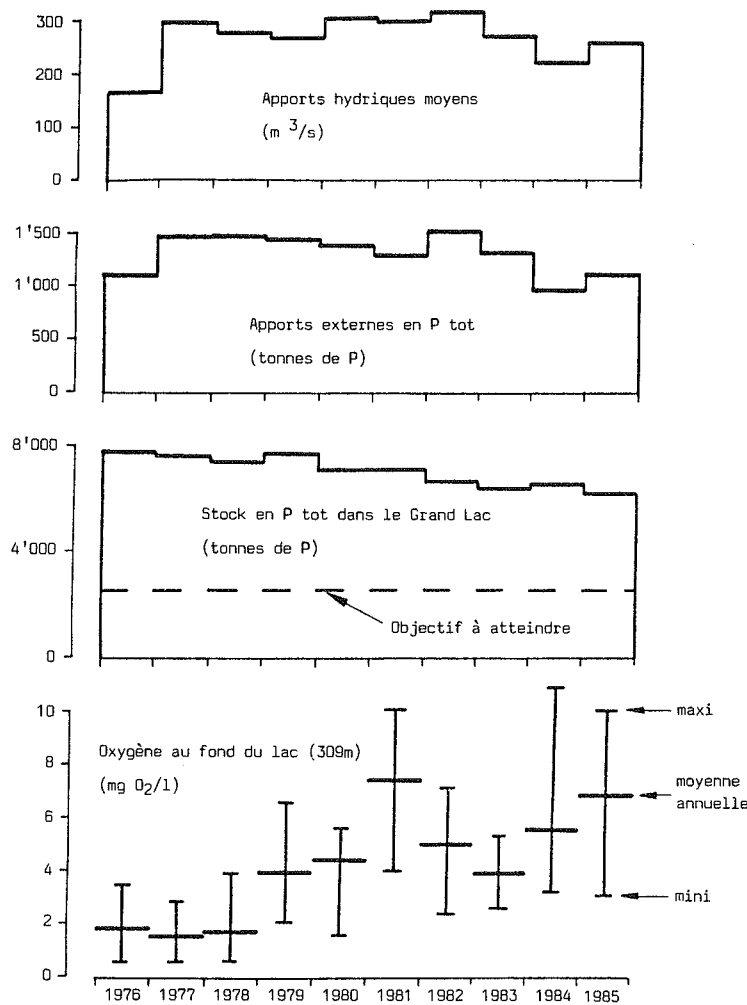


Fig. 2 : Evolution de quelques paramètres pendant les 2 derniers plans quinquennaux (1976-1985).

Par contre, le stock d'azote total continue de progresser (+ 4 % par rapport à 1984). Il en est de même pour les chlorures (+ 5 %). Relevons que pour ces deux éléments, les stocks dans le lac augmentent, bien que les apports des rivières aient baissé par rapport aux années précédentes. Ce phénomène s'explique par le fait que les concentrations moyennes dans les apports sont toujours plus élevées que les concentrations moyennes dans le lac.

- Le rapport sur le fonctionnement des stations d'épuration met en évidence les points suivants :

- 5 nouvelles stations ont été mises en service (~ 6'000 équivalents habitants). Il y a 131 stations (1'850'600 équivalents habitants) en service dans le bassin lémanique au 1er janvier 1986;
- 39 stations représentant 59'180 équivalents habitants (soit le 3.2 %) ne pratiquent pas encore la déphosphatation.
- l'élimination moyenne du phosphore reste relativement stable : ~ 80 %;
- les contrôles analytiques (selon les normes de la Commission internationale : 4 contrôles sur 24 heures) sont toujours insuffisants pour de trop nombreuses stations :

STEP contrôlées	71.6 % de la capacité totale
STEP insuffisamment contrôlées (1 à 3 contrôles)	27.8 % de la capacité totale
STEP non contrôlées	0.6 % de la capacité totale
- un effort particulièrement énergique doit être fait pour la mise en ordre des réseaux de canalisation en raccordant les eaux usées non captées et en éliminant les eaux claires parasites.