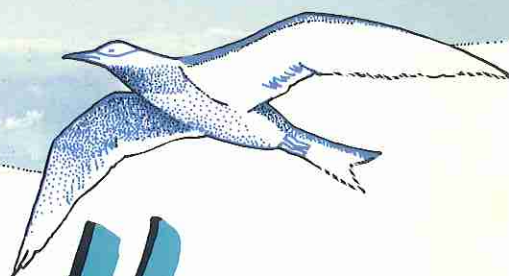




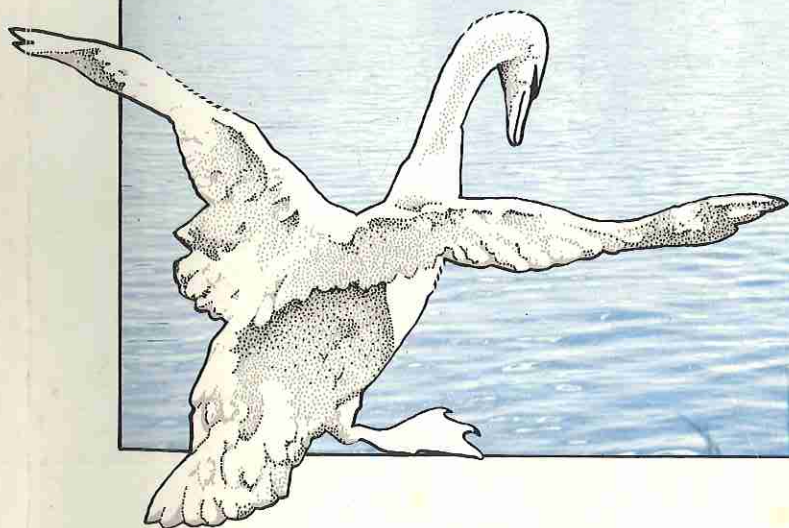
agence de bassin  
rhône.méditerranée.corse

300  
ANENAS  
EAU  
93

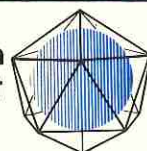


# Rans d'eau

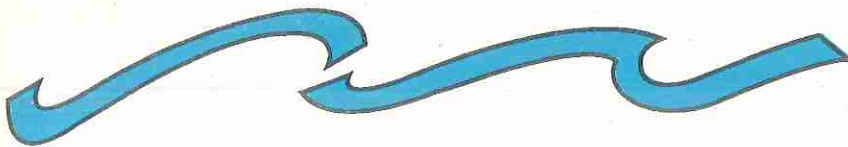
De l'autre côté du miroir



Institut International de Gestion  
et de Génie de l'Environnement



Document technique réalisé par un groupe  
de travail de l'IIGGE - Novembre 1988



**Irstea Bordeaux**  
DOCUMENTATION

## EDITORIAL

Doc ANENAG 2AVX 93  
**Irstea Bordeaux**  
Bibliothèque n° BX00019016  
Date 7/8/14

Les plans d'eau sont le siège de nombreuses activités de loisirs et constituent par ailleurs une ressource en eau importante. Il convient de bien les connaître pour mieux les protéger, et en préserver la qualité et les potentialités.

L'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, qui compte sur son domaine d'intervention la moitié des grands plans d'eau français de plus de 500 hectares et près du tiers des plans d'eau supérieurs à 100 hectares, y consacre des moyens importants.

Elle a ainsi constitué un fichier informatisé des plans d'eau du bassin, largement ouvert aux utilisateurs extérieurs, et engagé depuis 1987, en Rhône-Alpes, puis en Franche-Comté, avec la participation des Services Régionaux de l'Aménagement des Eaux et l'appui scientifique du CEMAGREF, des investigations systématiques sur des lacs et retenues de qualité mal connue.

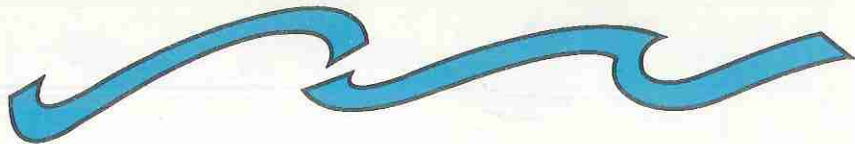
Parallèlement au renforcement de cette connaissance de base, l'Agence apporte, conformément à sa vocation, un soutien financier et technique à la réalisation d'études et de travaux visant à la protection des milieux lacustres.

Elle ne pouvait donc que souscrire et participer à la démarche de l'IGGE et de son groupe de travail destinée à éclairer les gestionnaires non spécialistes sur le fonctionnement des plans d'eau, leurs équilibres, l'influence directe ou indirecte des activités humaines qui s'exercent sur eux-mêmes ou leur bassin versant.

Puisse cet ouvrage contribuer à une gestion raisonnée et bien maîtrisée de ces milieux fragiles, privilégiant la prévention à l'action curative, lourde et d'issue plus incertaine.

Patrick Guilhaudin :  
Directeur  
de l'Agence de Bassin  
Rhône-Méditerranée-Corse





## AVANT-PROPOS

### LE MOT DE L'IIGGE

L'une des formes les plus fréquentes sous laquelle se traduit la vocation de carrefour de l'Institut International de Gestion et de génie de l'Environnement est le groupe de travail pluridisciplinaire dans lequel se retrouvent tous les acteurs concernés par un thème déterminé pour mettre en commun leurs compétences, leurs expériences, leurs préoccupations et apporter une contribution à la progression de ce thème.

Dans certains cas, cette contribution peut être un ensemble de propositions concrètes déposées sur la table des décideurs concernés. Dans d'autres, elle peut prendre la forme d'un outil destiné à aider les utilisateurs confrontés au thème des déchets : ce fut le cas en 1987 du Guide : "l'A...Z des Résidus Urbains", destiné aux Collectivités. C'est le cas aujourd'hui de ce cahier technique destiné principalement aux responsables de la création et de l'utilisation des lacs, retenues et plans d'eau.

Au nom de l'Association, je tiens à remercier le Président du groupe de travail "Lacs et Retenues" du Secteur eau de l'IIGGE, Monsieur Quetin, et tous les membres du groupe de ce nouvel exemple de collaboration et de travail collectif.

Je remercie également l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse d'avoir permis, en prenant en compte l'édition du document dans le cadre de ses propres objectifs, de lui donner la diffusion qu'il méritait.

Jean Laporte  
Vice-Président Délégué de l'IIGGE

### ET CELUI DU GROUPE DE TRAVAIL

Avant la fin du siècle dernier, l'ingénieur DELEBECQUE recensait dans un remarquable ouvrage plus de 150 lacs et étangs sur le territoire français. Depuis cette date, la maîtrise technique des constructions des grands barrages a pratiquement doublé ce chiffre. Ainsi, lacs, étangs et retenues

artificielles constituent un incomparable patrimoine national qu'il faut protéger.

Les intérêts en jeu sont nombreux. Ils s'étendent de l'alimentation en eau potable et de la protection des populations contre les crues, à la production d'énergie électrique, à l'irrigation, à la pêche et aux activités touristiques et sportives. Peut-on oublier l'aspect purement esthétique, la qualité de la vie apportée par l'image apaisante et pleine d'attrait d'un plan d'eau et de son environnement?

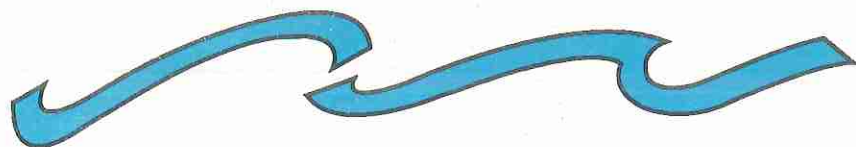
Mais les ressources en eau ne sont pas illimitées, tandis que les activités humaines tendent toujours à en dégrader la qualité. Or, par la relative immobilité de leurs eaux et la lenteur de leur renouvellement, les lacs s'avèrent être des milieux fragiles aux agressions polluantes.

Il y a très souvent incompatibilité entre les différents usages des lacs et de leurs eaux. Il appartient aux autorités publiques de faire les choix nécessaires et aux usagers d'en comprendre et d'en accepter les contraintes. Ainsi la baignade peut-elle être dangereuse sur une retenue à usage hydroélectrique ou contraire aux règles d'hygiène si l'eau est destinée à l'alimentation humaine. En matière de pêche, qualité des espèces et quantité pêchée sont incompatibles. Ainsi les aménagements touristiques sur les rives sont-ils susceptibles de créer des agressions ou des pollutions diffuses.

Effectuer ces choix, comprendre ces contraintes suppose une connaissance des principaux problèmes auxquels on risque d'être confronté, et parmi ceux-ci, celui de l'eutrophisation des eaux. Le présent cahier technique voudrait répondre à cet objectif de diffusion des connaissances et offrir aux élus, aux associations d'usagers, aux aménageurs, un panorama simple des liens étroits qui existent entre un lac et l'ensemble des activités humaines le long de ses rives et plus généralement sur tout son bassin versant.

Ce cahier technique est une oeuvre collective, assez spontanément entreprise par un groupe de travail bénévole constitué sous l'impulsion de l'Institut International de Gestion et de Génie de l'Environnement. Ce groupe réunit des chercheurs, des universitaires, des ingénieurs appartenant à de grandes administrations ou à des bureaux d'études privés, des membres du Conseil Supérieur de





la Pêche, des responsables des Syndicats Intercommunaux des lacs du Bourget et d'Annecy. Chacun a apporté sa pierre à l'édifice. Malgré nos efforts, peut-être en résulte-t-il quelques différences de tonalité et d'expression; le lecteur voudra bien nous le pardonner.

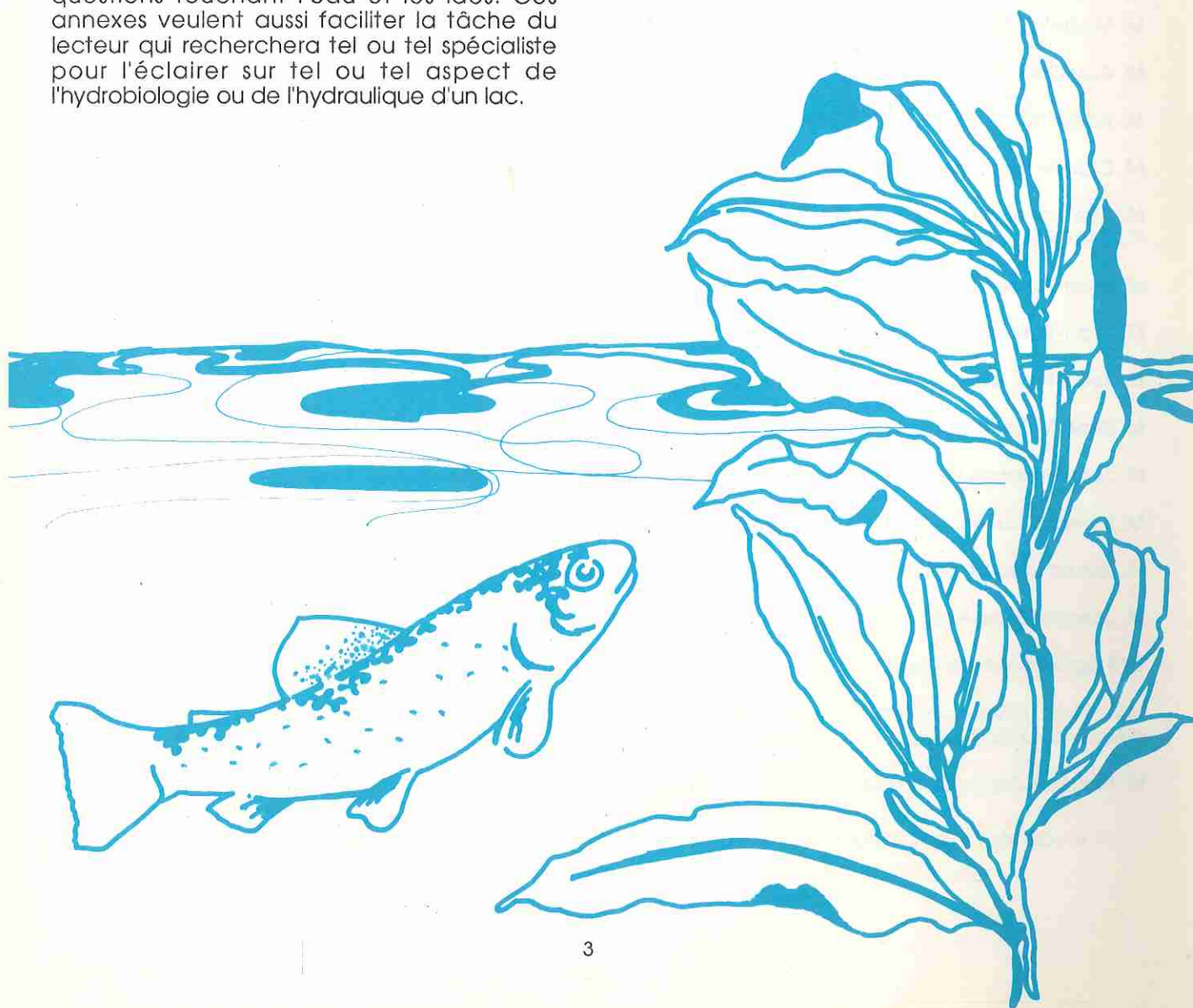
Les thèmes développés dans ce document sont assez généraux pour lui conférer la généralité qui convenait à un travail patronné par une Association à vocation internationale comme l'IGGE. Notre implantation rhône-alpine, les centres d'intérêt professionnel des membres du groupe, militaient toutefois en faveur d'une spécificité "montagne" de ce document.

Un certain nombre d'informations pratiques sont regroupées en annexe, notamment en ce qui concerne les domaines d'action des diverses administrations impliquées dans les questions touchant l'eau et les lacs. Ces annexes veulent aussi faciliter la tâche du lecteur qui recherchera tel ou tel spécialiste pour l'éclairer sur tel ou tel aspect de l'hydrobiologie ou de l'hydraulique d'un lac.

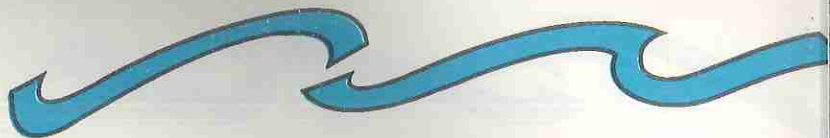
Nos remerciements s'adressent à l'IGGE qui a pris l'initiative de créer notre groupe de concertation sur les lacs et en a facilité le travail, aux administrations et aux sociétés qui ont accordé le temps nécessaire aux membres de notre groupe. Ils s'adressent tout particulièrement à l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse qui, outre sa contribution à l'élaboration du texte, a pris en charge tous les frais d'édition de ce livre technique.

Je remercie personnellement chacun de mes collègues au sein de notre groupe de travail, de leur passion pour les lacs, de leur sens du travail en commun, de leur bonne volonté à corriger ou à améliorer leurs textes.

Je remercie notamment M. Lavergne pour son travail de synthèse et d'homogénéisation des différentes contributions.







## MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL DE L'IIGGE\*

Ont participé à la rédaction de ce cahier technique financé par l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse :

**Mlle Dominique Vallod**, Association pour le développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Rhône-Alpes (ADAPRA) - Lyon.

**M. Michel Bar**, Syndicat Intercommunal des Communes Riveraines du Lac d'Annecy (SICRLA) Annecy.

**M. Guy Barroin**, Institut de Limnologie, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) - Thonon-les-Bains.

**M. Gérard Blake**, Université de Savoie, Laboratoire de Biologie - Chambéry.

**M. Frédéric Bonhoure**, Institut International de Gestion et de Génie de l'Environnement (IIGGE) Aix les Bains.

**M. Robert Bontoux**, Institut International de Gestion et de Génie de l'Environnement (IIGGE) Lyon.

**M. André Bouclier**, Conseil Supérieur de la Pêche (CSP) - Chambéry.

**M. William Bouffard**, Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse - Lyon.

**M. Michel Clair**, Electricité de France EDF-GRPH Grenoble.

**M. Guy Collillieux**, Compagnie Nationale du Rhône (CNR) - Lyon.

**M. Arthur Iwema**, Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse - Lyon.

**M. Claude Lascombe**, Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse - Lyon.

**M. Eloi Lavergne**, Centre d'Etude du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et des Forêts (CEMAGREF) - Lyon.

**M. Jean-Pierre Martinot**, Parc National de la Vanoise (PNV) - Chambéry.

**M. Jean-Paul Masson**, Service Régional d'Aménagement des Eaux (SRAE) - Besançon.

**M. Jean-Paul Meunier**, Electricité de France (EDF - REAL) Chambéry.

**M. René Millet**, Syndicat Intercommunal du Lac du Bourget, (SILB) - Aix les Bains.

**M. Jean-François Perrin**, Service Régional d'Aménagement des Eaux (SRAE) - Lyon.

**M. Bernard Quetin**, SOGREAH, Ingénieurs conseils - Grenoble.

**M. Robert Rigaud**, Station d'Etudes Hydrobiologiques du Lac du Bourget, DDAF de Savoie - Aix les Bains

**M. Joseph Rivas**, Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse - Lyon.

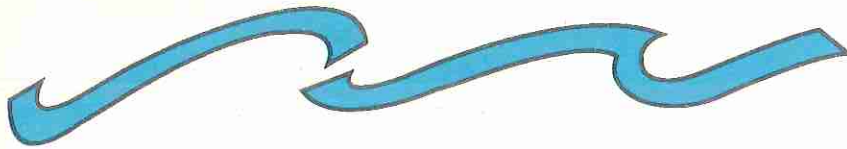
Ont également été consultés :

**MM. Marc Favaro, Robert de Rivoire, Michel Tissut**, Fédération des Associations de Protection du Lac d'Aiguebelette (FAPLA).

**M. François Rapin**, Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (CIPEL)

\* Voir en annexe V les coordonnées et activités des organismes représentés au groupe de travail.

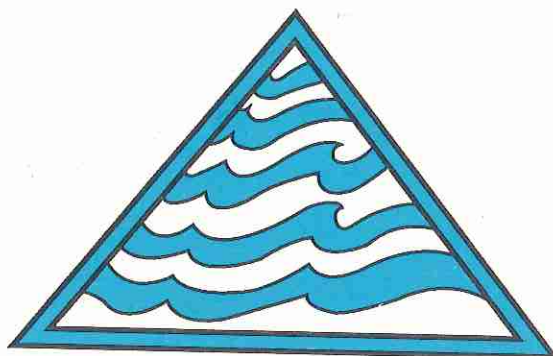




## SOMMAIRE

	Page
<b>Chapitre 1 : Présentation du cahier technique</b> .....	7
<b>Résumé photographique</b> .....	8
<b>Chapitre 2 : Vie et fonctionnement des lacs</b> .....	17
2.1 - Phénomènes thermiques et physiques .....	19
2.2 - Phénomènes biologiques .....	24
2.3 - Le plan d'eau et son bassin versant - les apports .....	29
<b>Chapitre 3 : Dégradation - Protection - Restauration</b> .....	39
3.1 - Une maladie des plans d'eau : l'eutrophisation .....	41
3.2 - Les plans d'eau et les eaux usées .....	44
3.3 - Les traitements curatifs des plans d'eau .....	50
3.4 - Diagnostic et suivi de la qualité des plans d'eau .....	61
<b>Chapitre 4 : Quelques usages des plans d'eau</b> .....	65
4.1 - La diversité des usages .....	67
4.2 - Principes d'aménagement et de gestion des petits plans d'eau .....	68
4.3 - Les retenues hydroélectriques en milieu Alpin .....	76
4.4 - Les aménagements hydroélectriques au fil de l'eau : l'exemple du Rhône .....	84
4.5 - Réserves d'eau potable .....	90
4.6 - Les lacs de haute montagne .....	93
4.7 - Quelques aspects piscicoles .....	102
4.8 - Activités autour et sur un grand plan d'eau. Protection de son environnement (un exemple : le lac du Bourget) .....	108
<b>Annexes</b> .....	115
I - Quelques aspects administratifs .....	116
II - Les fichiers lacs .....	119
III - Bibliographie .....	122
IV - Quelques adresses utiles .....	123
V - Coordonnées et activités des organismes représentés au groupe de travail de l'IIGGE .....	125
IV - Glossaire .....	126

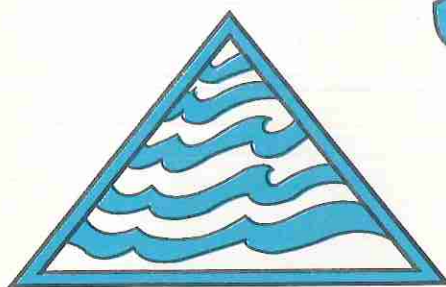




## Chapitre 1

# PRÉSENTATION DU CAHIER TECHNIQUE





Ce document n'est pas un ouvrage scientifique

destiné aux limnologues. Il s'adresse aux personnes qui, à un titre quelconque, gèrent ou utilisent un plan d'eau et pour lesquelles il se veut, non un "mode d'emploi", mais un outil de réflexion.

Il n'est pas une somme, même simplifiée, des connaissances acquises à ce jour sur ce sujet. Oeuvre collective, il exprime les préoccupations de ses rédacteurs. D'autres aspects auraient pu, pourront être abordés, d'autres chapitres y être ajoutés.

Même si certains points qu'il examine ont un caractère assez spécifique, notre souci a été d'y traiter de tous les types de plans d'eau, quelle que soit leur origine, quels que soient leurs usages.

Il n'existe pas de terminologie universellement admise en la matière. Nous suggérons la suivante, en rappelant qu'assez souvent, en tout cas ici, le terme général de "lac" englobe parfois toutes les catégories de plans d'eau.

- **Lacs** : plans d'eau d'origine naturelle pour lesquels une durée de séjour des eaux relativement longue et une profondeur suffisante permettent de définir une zone pélagique\* où s'établit, à certaines époques de l'année, une stratification thermique stable.

- **Retenues** : plans d'eau d'origine artificielle à vocation prioritaire spécifique : hydroélectricité, écrêtement des crues, soutien des étiages, irrigation, alimentation en eau potable, loisirs. Elles peuvent être aménagées sur des cours d'eau (barrages), à la sortie d'un petit bassin (retenues collinaires), ou être alimentées artificiellement (réservoirs). La dynamique des eaux peut s'y apparenter à celle des lacs (profondeur et temps de séjour suffisants) ou présenter des caractéristiques bien particulières (faible profondeur, marnage important, temps de séjour bref). Dans la plupart des cas elles comportent une vidange par le fond.

- **Étangs d'eau douce** : plans d'eau de faible profondeur excluant une stratification thermique stable. Ils sont le plus souvent d'origine artificielle et utilisés à des fins piscicoles.

- **Étangs d'eau saumâtre** : plans d'eau d'origine naturelle en liaison plus ou moins directe avec la mer et les eaux continentales ce qui leur confère une salinité très variable et supérieure à 0,5 ‰.

- **Gravières** : plans d'eau d'origine artificielle créés par extraction de granulats et alimentés essentiellement par la nappe souterraine.

Ce document comportera trois parties et deux annexes.

Dans la première on s'efforcera d'observer comment vivent, fonctionnent les lacs, qu'ils soient resserrés dans leur cuvette, avec les phénomènes thermiques et physiques et biologiques qui s'y déroulent ; ou qu'on les considère dans le cadre plus vaste de leur bassin versant.

Constatation évidente et très actuelle, les lacs sont menacés, leur qualité se dégrade : il faut les protéger, éventuellement les restaurer. Dans la seconde partie, nous nous intéresserons à un aspect du problème, en traitant successivement de leurs "maladies" et plus particulièrement d'une des plus répandues, "l'eutrophisation" ; leur agent polluant le plus actif, les eaux usées ; des procédures de restauration ; et enfin, des modes de diagnostic qui leur sont applicables.

La dernière partie, après avoir évoqué la question de la totalité de leurs usages, examinera plus en détail quelques-uns des plus courants : les petits plans d'eau à vocation surtout touristique ; les retenues hydroélectriques, en particulier en milieu alpin (celles au fil de l'eau des grands cours d'eau du Rhône) et leur incidence sur le milieu ; les réserves d'eau potable ; les lacs de haute montagne ; les aspects piscicoles et enfin les activités autour et sur un grand plan d'eau en relation avec la protection de son environnement.

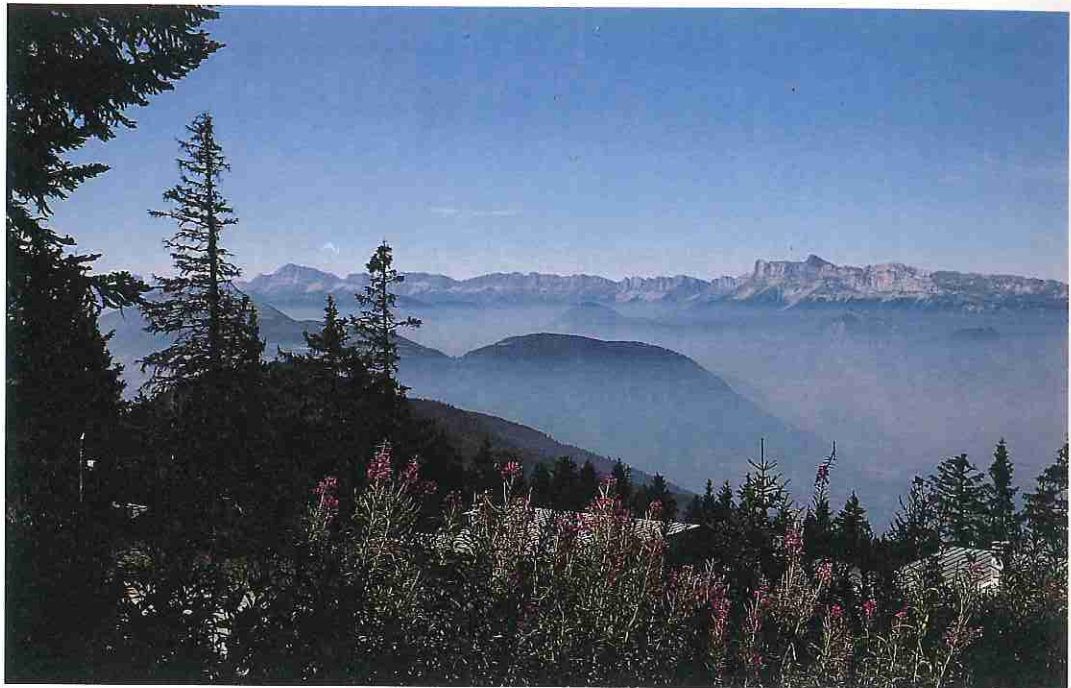
Les annexes apporteront des informations complémentaires sur des sujets divers : réglementation, les fichiers "plans d'eau", bibliographie, les adresses utiles... ainsi qu'un glossaire permettant aux lecteurs de se familiariser avec certains termes spécifiques d'utilisation fréquente.

\* Les astérisques placés après certains termes techniques renvoient au glossaire en annexe

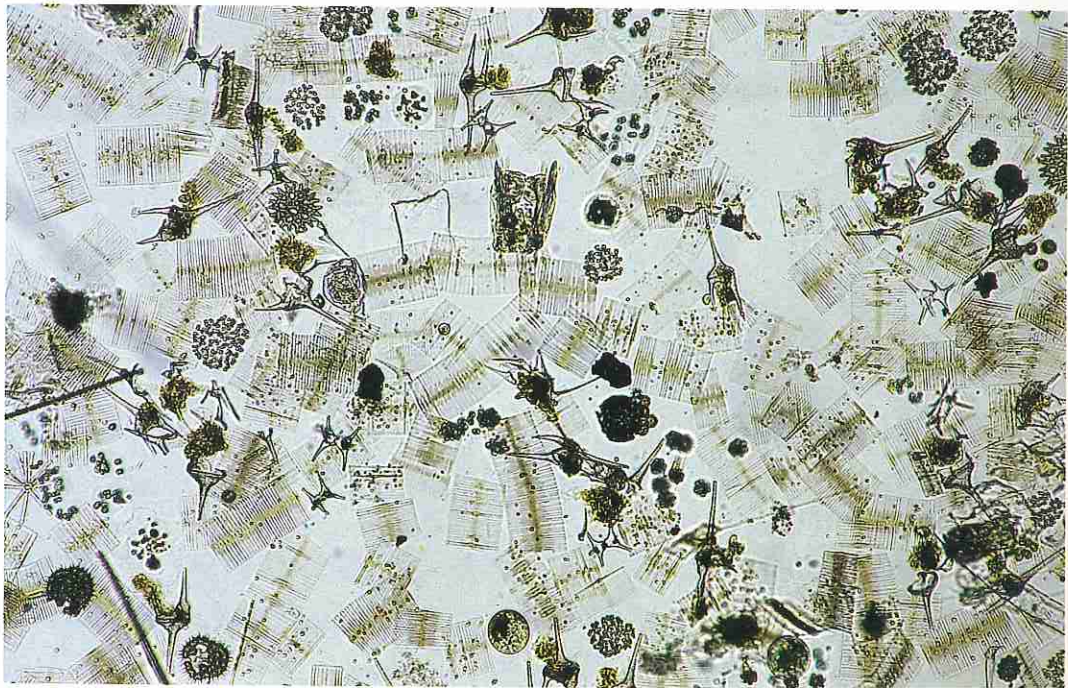




# RÉSUMÉ PHOTOGRAPHIQUE

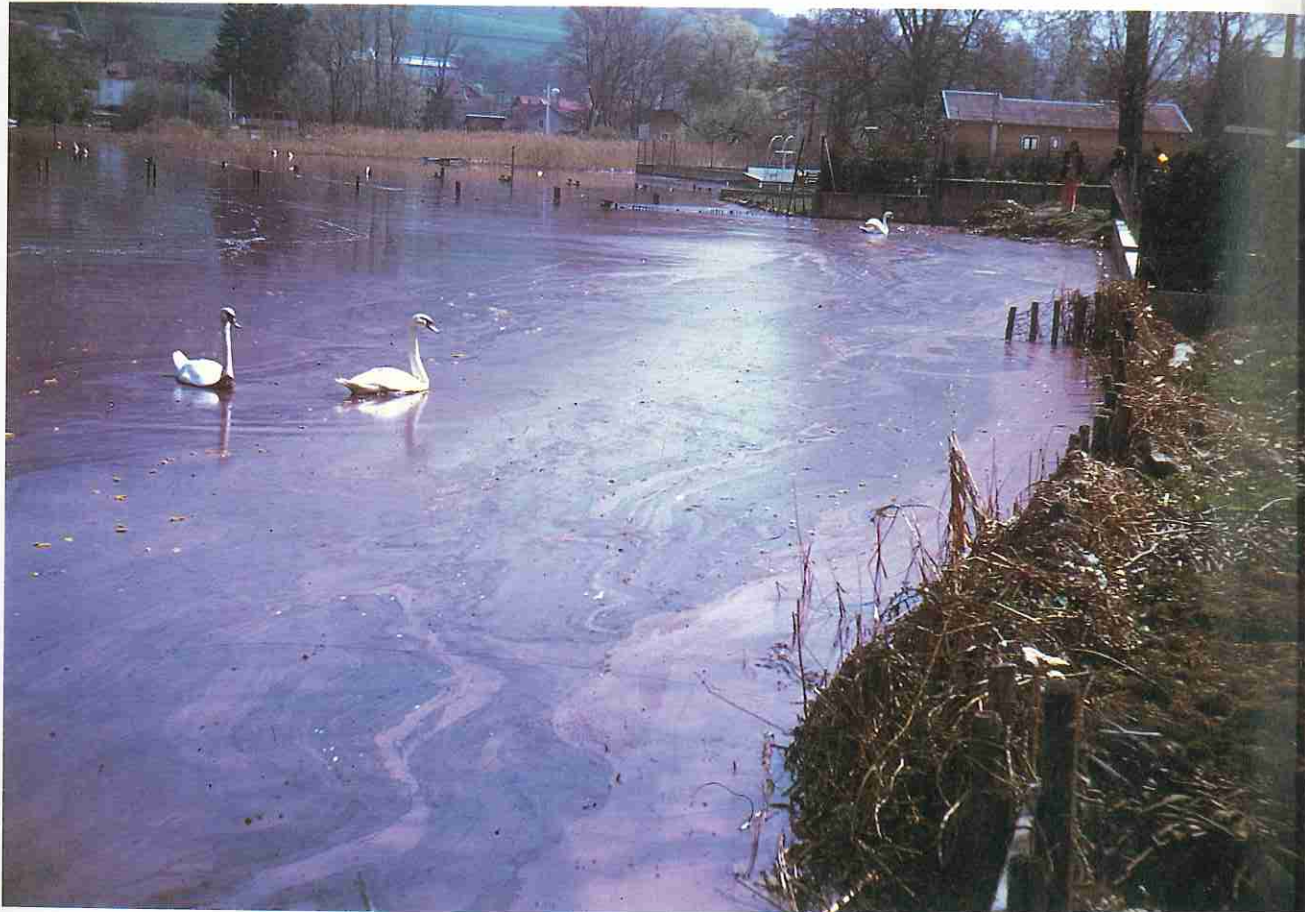


*Vie et fonctionnement des lacs.* L'atmosphère nous donne l'image de stratifications thermiques tout à fait analogues aux thermoclines des lacs. (Photo B. Quetin).



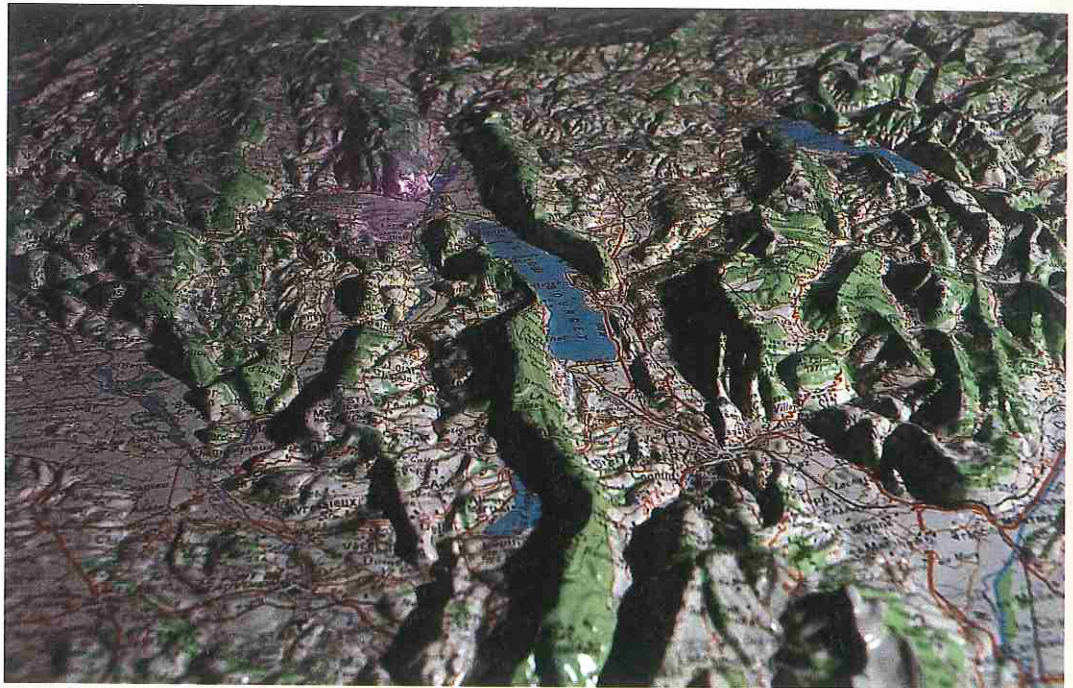
*Vie et fonctionnement des lacs.* Les micro-organismes végétaux en suspension dans l'eau (phytoplancton) dégagent de l'oxygène par photosynthèse pendant leur vie, durant la journée. Ils en consomment par minéralisation après leur mort (Photo G. Paolini, Aquarium du lac du Bourget).



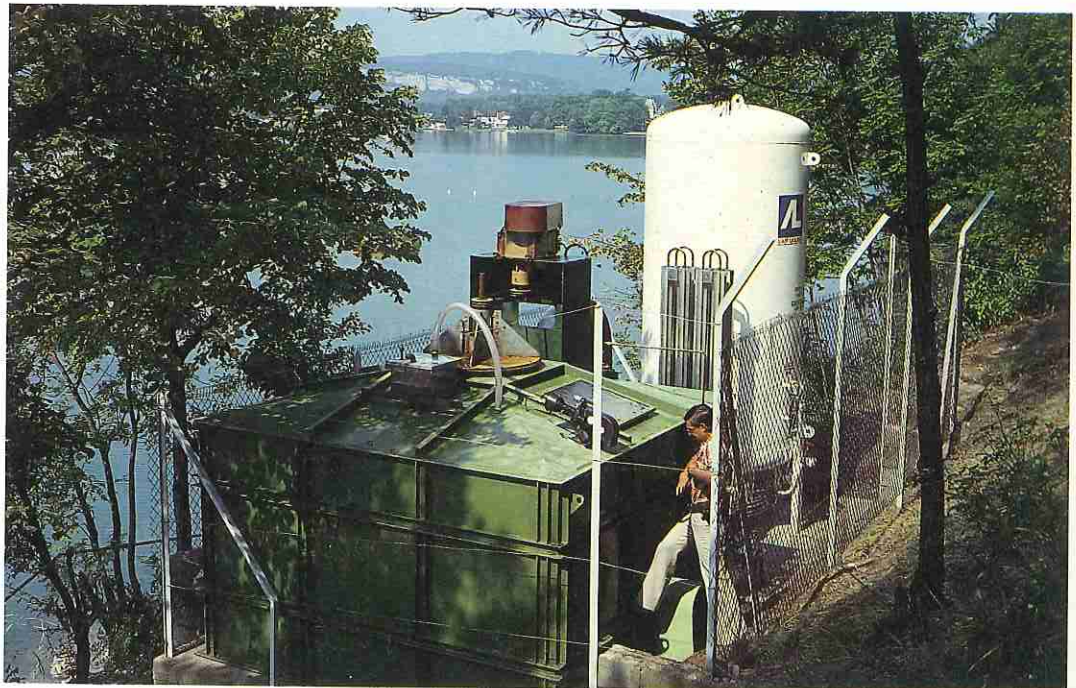


*Dégradation - Protection - Restauration.* Séquence typique d'une fleur d'eau à Oscillaires (couleur rouge), résultat d'un phénomène d'eutrophisation (Paladru, Isère - Photo d'archives SRAE Rhône Alpes).





*Vie et fonctionnement des lacs.* Les lacs et plans d'eau reçoivent de leur bassin versant de nombreux apports polluants d'origine organique ou nutritionnelle. (Photo G. Paolini, d'après une carte en relief de l'IGN, Aquarium du lac du Bourget).

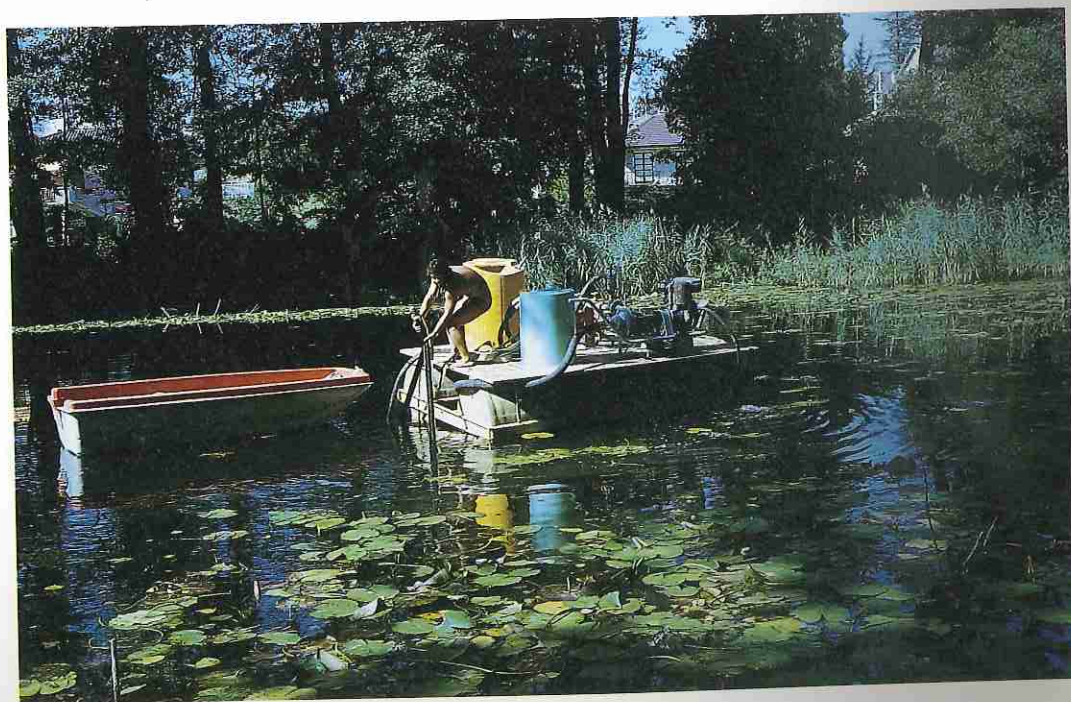


*Dégradation - Protection - Restauration.* Dispositif d'injection de sulfate d'aluminium dans les sédiments d'un lac expérimental des environs de Thonon-les-Bains, Haute Savoie (Photo INRA).



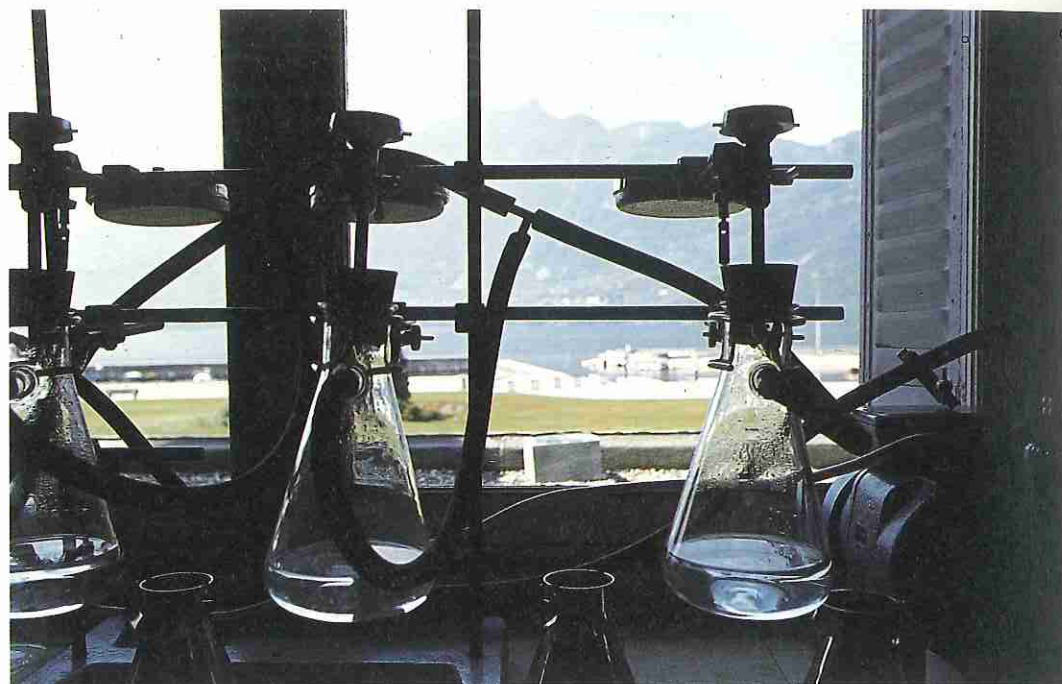


*Dégradation - Protection - Restauration.* Station d'épuration de Thonon-les-Bains protégeant le lac Léman de la pollution. Premier plan, cloche à gaz; second plan, décanteur; à gauche, bassin d'aération pour le traitement biologique des boues (Photo Agence de Bassin RMC).

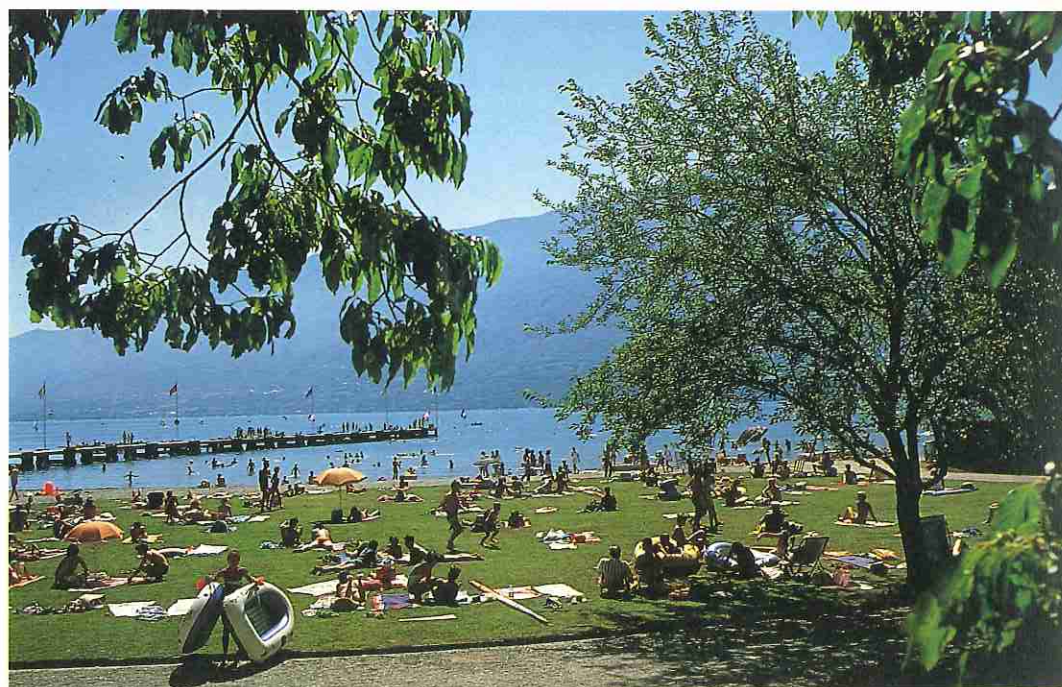


*Dégradation - Protection - Restauration.* Traitement curatif d'un plan d'eau par injection d'oxygène. (Lac de Nantua - Ain) (Photo INRA).



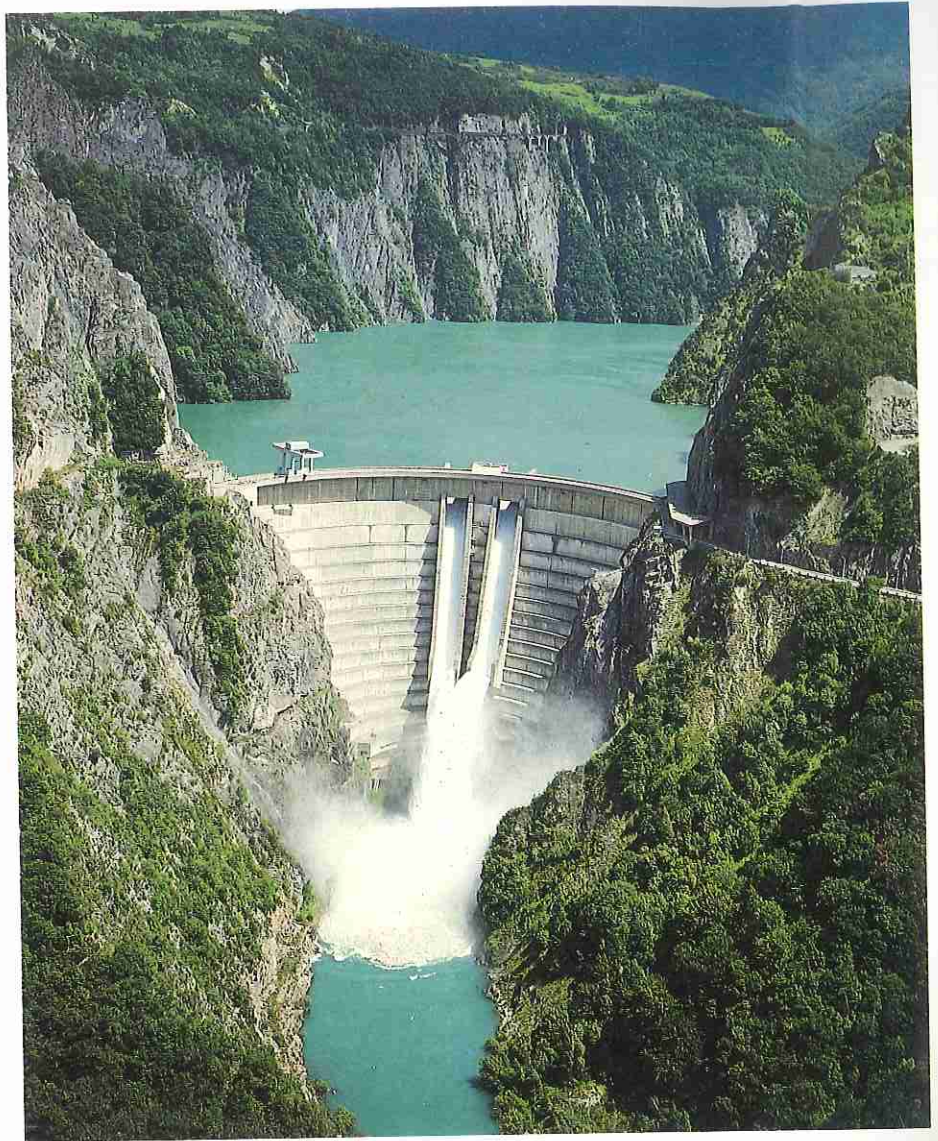


*Dégradation - Protection - Restauration.* Le diagnostic et le suivi de la qualité des eaux s'opèrent sur le terrain ou, pour les analyses complexes, en laboratoire (Photo G. Paolini, Aquarium du lac du Bourget).

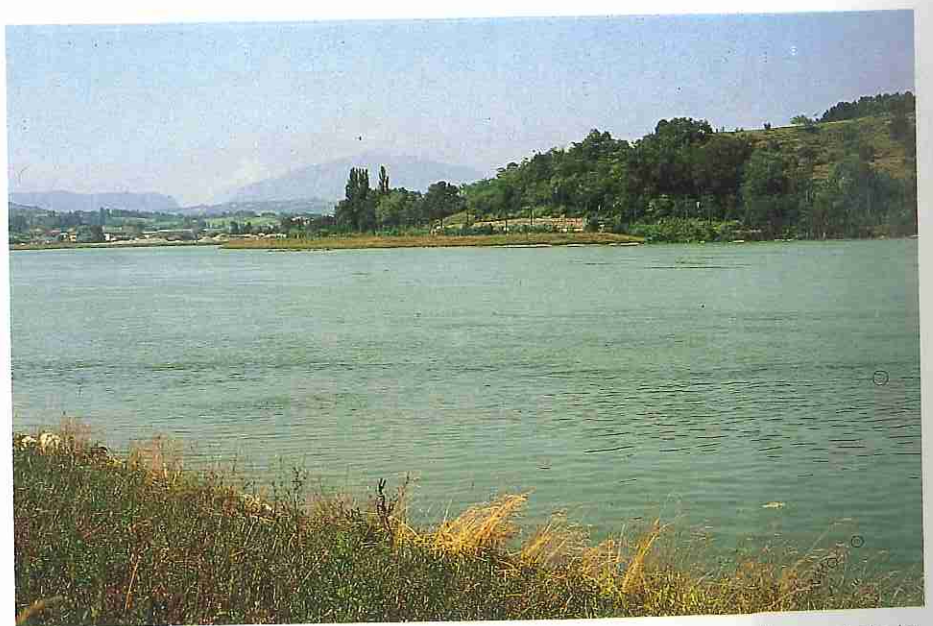


*Usages des plans d'eau.* Les petits ou grands plans d'eau ont souvent une vocation touristique qui attire la foule des promeneurs et des baigneurs (Lac du Bourget - Photo R. Millet).



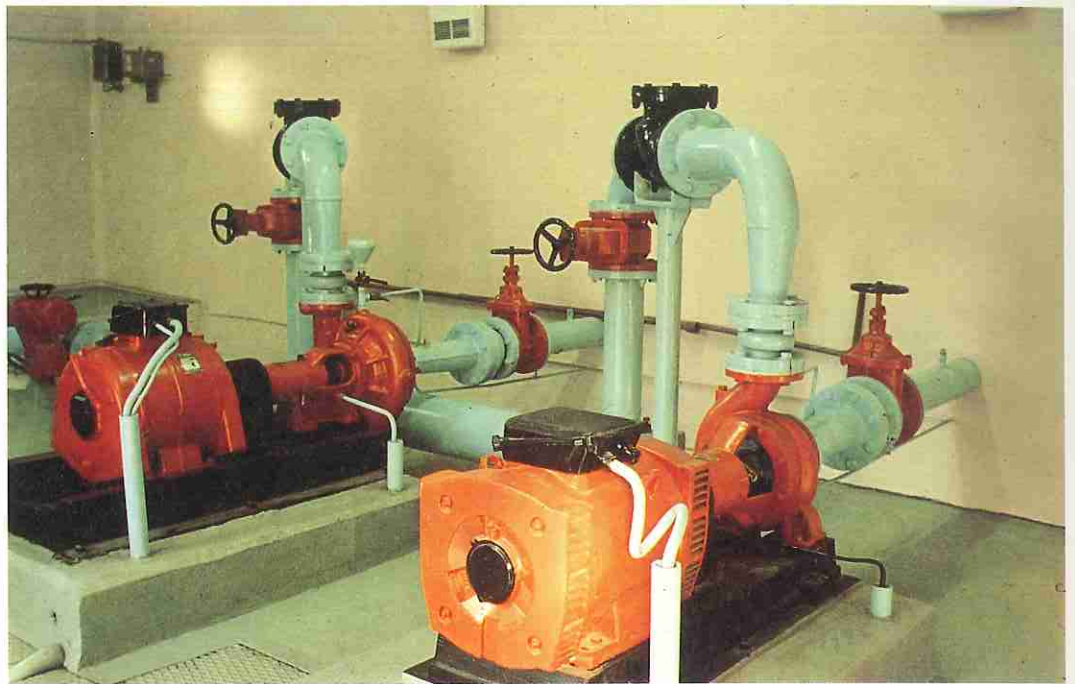


*Usages des plans d'eau.* Des lacs artificiels sont créés en amont d'ouvrages de retenues comme dans cet exemple du barrage de Monteynard (Electricité de France - GRPH Alpes - Grenoble - Photo Picardy).



*Usages des plans d'eau.* Aménagement hydroélectrique au fil de l'eau vu de la retenue de la chute de Chautagne sur le haut-Rhône (Photo CNR).





*Usages des plans d'eau. Pompage dans le lac du Bourget en vue de l'alimentation en eau potable de la commune de Tresserve. (Photo CGE).*



*Usages des plans d'eau. Nautisme, baignade, bronzage : des activités courantes sur les grands lacs comme le lac du Bourget. (Photo R. Millet).*





*Usages des plans d'eau.* Les plans d'eau abritent un grand nombre de poissons et représentent une richesse halieutique d'importance. Banc de perches soleil (Photo G. Paolini, Aquarium du lac de Bourget).



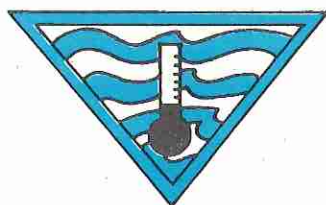
*Usages des plans d'eau.* Les lacs de montagne intéressent, malgré leurs spécificités d'altitude, pêcheurs juilletistes comme le montre cette vue du lac de Savine, (Savoie, 2447 m.) (Photo F. Bonhoure).





## Chapitre 2 :

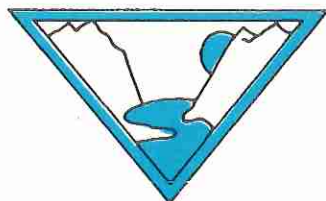
# VIE ET FONCTIONNEMENT DES LACS



2.1- Phénomènes thermiques  
et physiques

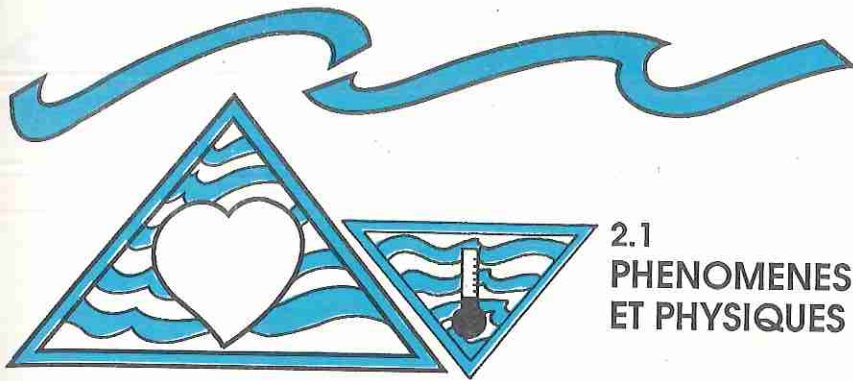


2.2- Phénomènes biologiques



2.3 - Le plan d'eau et son bassin  
versant - les apports



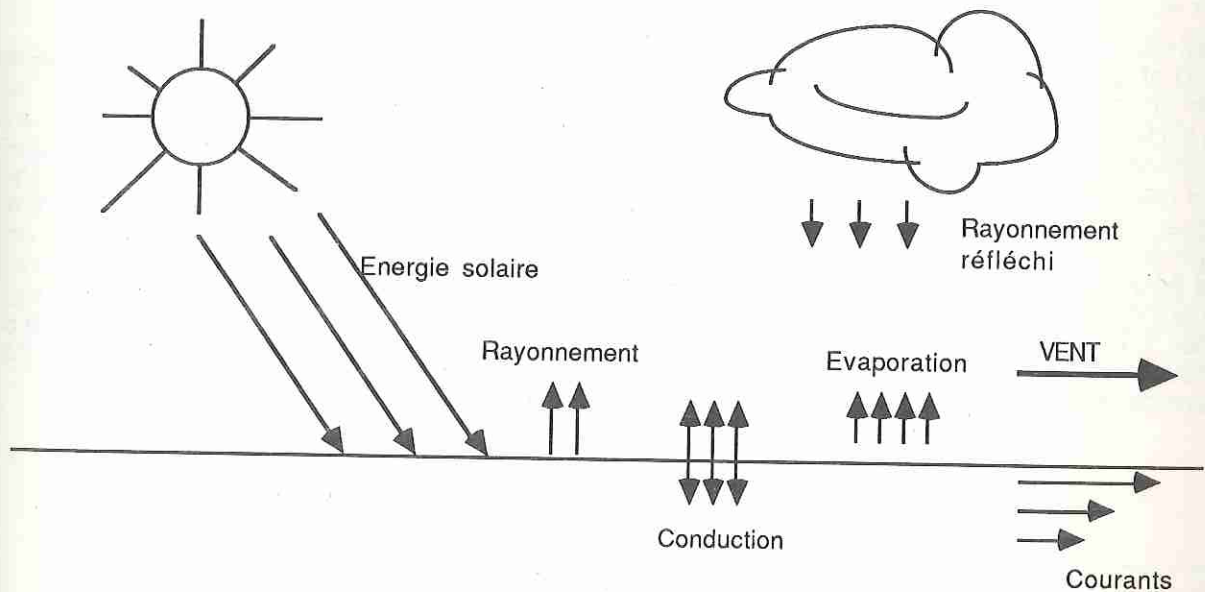


## 2.1 PHENOMENES THERMIQUES ET PHYSIQUES

Parce que l'écoulement des eaux est considérablement ralenti dans un lac, celui-ci donne au profane une image apaisante d'immobilité qui peut faire ignorer une réalité plus complexe. De l'eau arrive dans un lac, de l'eau en sort, de l'eau s'évapore ou s'infiltré dans le sol environnant. Entrées et sorties ne se compensent pas toujours immédiatement, et le niveau de l'eau varie dans tous les lacs.

Cela est nécessaire dans les retenues des barrages régulateurs. Par contre, des variations de l'ordre de 1 à 2 m dans le lac du Bourget ont motivé la création d'un vannage sur son exutoire.

Beaucoup de phénomènes physiques influencent l'évolution des masses d'eau d'un lac ou d'une retenue artificielle, et agissent sur l'écologie dans l'eau et sur les berges. Ces phénomènes résultent d'interactions entre l'eau et l'atmosphère, dont les principaux acteurs, mais non les seuls, sont le soleil et les vents. Ce sont ces mécanismes que l'on se propose de décrire dans les quelques pages qui suivent car ils expliquent bien les aspects, non seulement de l'évolution des masses d'eau, mais aussi de la vie aquatique.



Echanges thermiques et mécaniques entre l'eau et l'atmosphère.

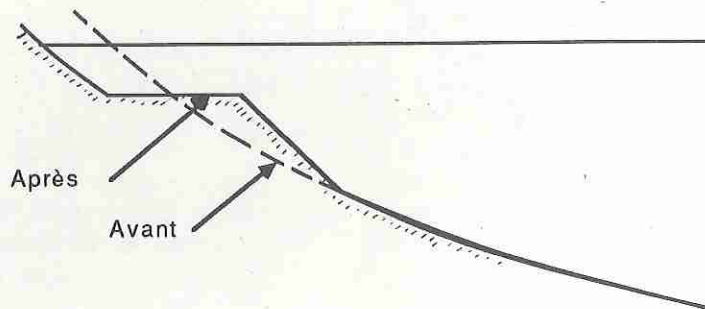
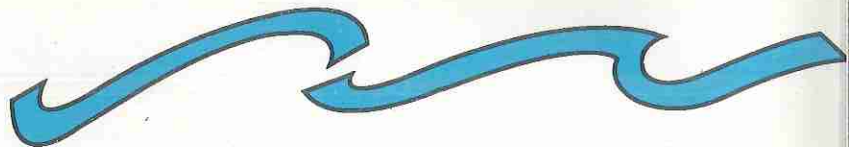
### ROLE DES VENTS

La plus évidente manifestation de l'action des vents est sans doute la création d'une agitation superficielle, de vagues plus ou moins fortes, voire même de houles structurées avec une périodicité régulière. Hormis les difficultés de navigation, les vagues ont souvent une action destructrice importante sur les berges dites "au vent". Comme en mer, l'érosion est d'autant plus intense que les berges sont abruptes. Seuls résistent les rochers et blocs suffisamment lourds pour opposer une inertie importante aux déferlements.

Sur les berges à pente très douce, souvent formées de plages sableuses, les vagues s'amortissent très progressivement par frottement sur le fond et l'érosion est pratiquement nulle.

Si le niveau du lac varie peu, de telles berges sont parfois recouvertes de plantes aquatiques enracinées qui améliorent encore l'amortissement des vagues et stoppent l'érosion. Mais cet équilibre est parfois très fragile et les aménagements anodins comme un simple muret construit en haut de plage peuvent entraîner la disparition de cette dernière.





Formation des beines par érosion des berges

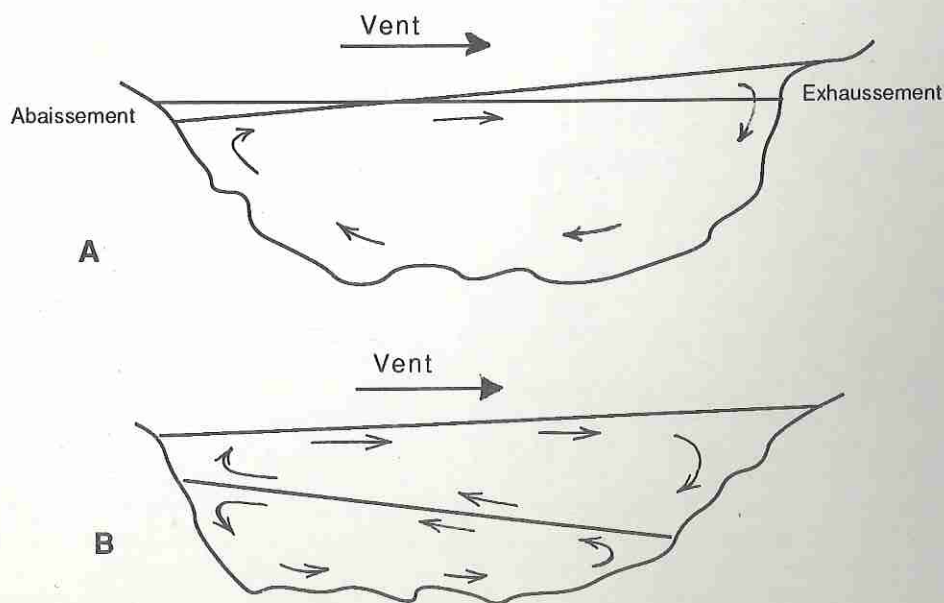
L'érosion des berges conduit en général à la formation de ce que l'on appelle les "beines" qui tendent à stabiliser l'érosion et peuvent favoriser le développement de roselières. Inversement, celles-ci freinent l'action des vagues et protègent contre une érosion plus intense.

Les vents agissent par frottement sur la surface de l'eau et génèrent des courants qui ont une grande importance pour la vie des lacs et la qualité de leurs eaux. En toute première approximation, la vitesse de ces courants est 100 fois plus faible que celle du vent. Ainsi par exemple, une petite brise de 15 à 20 km/h crée un courant de 0,15 à 0,20 km/h. Cette vitesse peut paraître négligeable ; elle déplacera néanmoins les masses d'eau de 3 à 4 km par jour. Ces distances sont à l'échelle des dimensions de nombreux lacs. Ainsi une telle brise entraînera les masses d'eau d'un bord à

l'autre du lac du Bourget en moins de vingt-quatre heures dans le sens de sa largeur, et quelques jours dans celui de sa plus grande longueur.

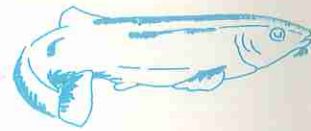
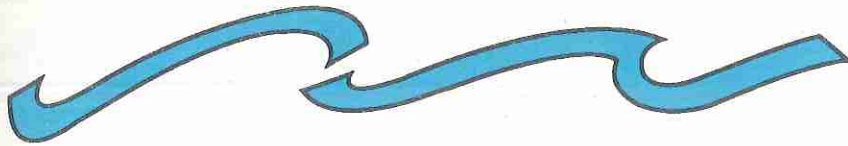
Ces courants contribuent à homogénéiser la qualité des eaux, à disperser les éventuels effluents qui s'y déversent, à propager l'oxygène dissous en provenance de l'atmosphère.

Si les vents entraînent les eaux superficielles d'un lac, cet écoulement tend à abaisser le niveau du lac le long de la rive sous le vent et à l'exhausser sur la rive au vent. Cet exhaussement se produit effectivement, mais il est relativement faible dans les lacs profonds. A titre d'exemple, un vent de 100 km/h provoque un exhaussement de niveau de 5 cm sur un lac profond comme celui du Bourget. Sur l'étang de Berre dont la profondeur moyenne est de 1 m, ce même vent entraîne un exhaussement de l'ordre du mètre.



Courants induits dans un lac homogène (A) ou stratifié (B).





Ce phénomène d'inclinaison de la surface libre d'un plan d'eau s'accroît avec l'intensité du vent (il croît comme le carré de la vitesse du vent). Des textes précis rapportent ainsi quelques faits exceptionnels. Le 19 décembre 1645, il souffla un vent si violent sur le lac Léman que, pendant quelques heures l'extrémité ouest du lac fut mise à sec et que, à Genève, des personnes purent traverser à pied le bras du Rhône.

L'intérêt de cet exhaussement de la surface libre sous l'action du vent est surtout la création de courants de retour dans les couches profondes d'un lac. Ce mécanisme contribue à réoxygéner les eaux de fond, du moins tant que celles-ci sont homogènes en densité. Cette circulation générale des eaux d'un lac est parfois visible en décembre ou en janvier et fait dire aux riverains que le lac se "retourne". Les eaux profondes des lacs, chargées de matières organiques en décomposition sont souvent plus sombres et mettent en évidence les courants remontant le long de la rive.

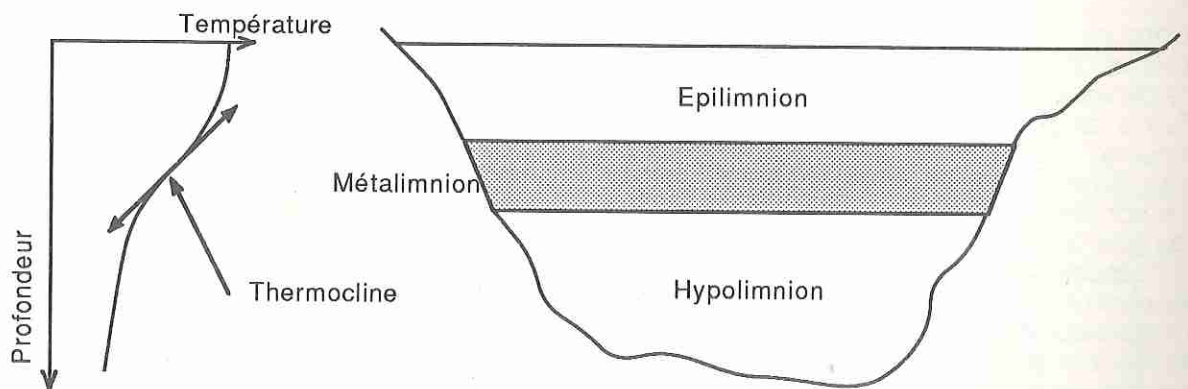
Dès que la profondeur d'un lac atteint ou dépasse 15 à 20 m, les eaux se stratifient durablement sous nos climats pendant l'été comme on l'expliquera un peu plus loin. Les circulations induites par le vent n'intéressent plus alors que la seule couche superficielle. Les couches profondes ne sont pas renouvelées et la qualité des eaux s'y appauvrit lentement.

## ROLE DU SOLEIL

Le soleil est le deuxième acteur de la vie d'un lac. Par son rayonnement il apporte de l'énergie calorifique et réchauffe les eaux. Cette énergie est en partie reperdue soit par évaporation soit par rayonnement direct de l'eau elle-même. Ainsi le bilan des échanges de chaleur entre l'eau et l'atmosphère dépend de l'alternance jour-nuit et du rythme des saisons. Au printemps et au début de l'été ce bilan est positif et l'eau s'échauffe plus qu'elle ne se refroidit. Il s'inverse vers la fin août et les eaux se refroidissent lentement.

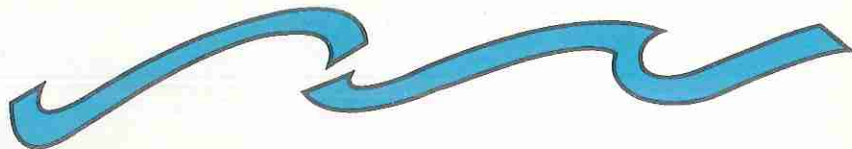
Le minimum de température se situe fin janvier, début février, du moins sous nos latitudes où le climat est tempéré.

Ces échanges de chaleur mettent en jeu un certain nombre de phénomènes physiques qui conduisent à la formation de ce que l'on appelle une "thermocline", et à la stratification des eaux d'un lac profond en deux couches principales appelées "épilimnion" et "hypolimnion". Le rayonnement solaire pénètre plus ou moins profondément dans l'eau selon les longueurs d'onde. L'échauffement se produit donc dans la masse sur une certaine épaisseur, de 10 à 30 m, avec une intensité décroissante avec la profondeur. A contrario, les pertes de chaleur par évaporation et rayonnement de l'eau elle-même n'intéressent que la pellicule superficielle des lacs.



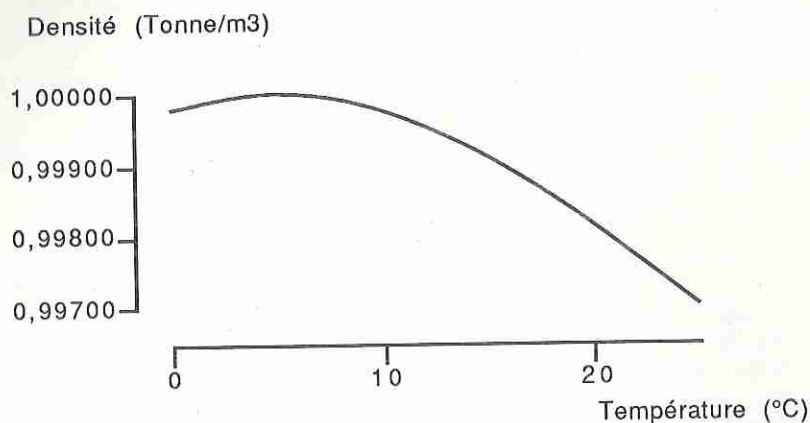
Stratification estivale des eaux d'un lac et répartition verticale des températures





La densité de l'eau décroît quand la température augmente, après être passée par un maximum, aux environs de 4 ° C. On remarquera pour fixer les idées qu'un m<sup>3</sup> d'eau à 20 ° C pèse 200 g de moins qu'un m<sup>3</sup> à 19 ° C. On conçoit que les eaux plus froides ne peuvent

que s'écouler vers le fond d'un lac et que les eaux plus chaudes s'étalent en surface. Ainsi, la seule solution d'équilibre stable des eaux d'un lac est-elle faite d'un classement naturel en couches horizontales et de températures décroissantes avec la profondeur.



Variation de la densité de l'eau avec la température.

### CONSEQUENCES POUR L'EVOLUTION PHYSIQUE DES EAUX

Cette propriété physique de l'eau, l'action du soleil et des vents, le rythme des saisons expliquent la stratification thermique et densimétrique des eaux dans les lacs profonds et la déstratification hivernale.

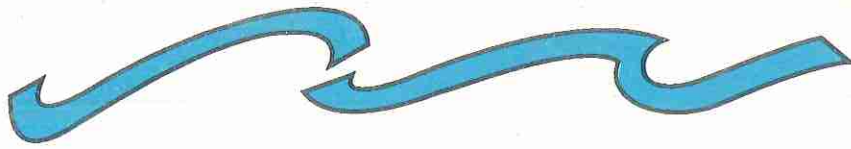
Dans la journée, le rayonnement solaire est prépondérant, il réchauffe l'eau dont la densité diminue. Par contre, le refroidissement nocturne augmente la densité d'une mince couche liquide superficielle. Cette eau, alors plus lourde que les couches sous-jacentes, va s'enfoncer jusqu'à trouver sa cote d'équilibre au sein du lac. Cet écoulement a pour effet d'homogénéiser les eaux sur une certaine épaisseur et contribue à former l'épilimnion. L'épaisseur de cet épilimnion est en grande partie fonction du degré de pénétration de la lumière dans l'eau.

Les vents, par la création de courants, mais aussi par celle de turbulences internes au lac, contribuent à cette homogénéisation de l'épilimnion (l'image d'une fumée de cigarette se déplaçant dans une pièce donne une idée de ces turbulences internes).

Dans la couche de transition appelée "métalimnion" (ou parfois thermocline), les variations de densité vont pratiquement inhiber les turbulences. Tout déplacement vertical de masses d'eau suppose en effet de vaincre des forces de pesanteur et exige une énergie non disponible à cette profondeur dans les courants ou turbulences engendrés par les vents. Ce ralentissement des mouvements explique la grande stabilité des thermoclines dans les lacs profonds. Seuls les vents très forts et soufflant assez longtemps peuvent modifier cette stabilité et, soit réduire, soit enfoncer, soit à la limite détruire, la stratification.

En hiver, le refroidissement superficiel étant plus important que l'échauffement solaire, l'écart de température et de densité entre l'épi- et l'hypolimnion se réduit lentement. Dès que l'égalité est atteinte, rien ne s'oppose plus à des mouvements ascendants : le lac se "retourne". Les eaux s'homogénéisent dans tout le lac. Les limnologues\* (ou spécialistes de l'étude des lacs) disent que celui-ci est "monomictique" (un mélange par an). Il existe d'autres types d'évolution des lacs sous





d'autres latitudes dans le monde. Les eaux de rivières affluentes à un lac ont leur propre température et leur densité. Elles s'éta-leront dans la couche du lac où elles trouvent leur équilibre densimétrique. Ce phénomène est parfois visible comme par exemple à l'en-trée des eaux du Rhône dans le lac Léman. Plus blanches, car plus turbides, les eaux du Rhône paraissent ne pas pouvoir pénétrer dans le lac ; le phénomène est d'ailleurs loca-lement appelé la bataillère. En fait le Rhône s'enfonce en profondeur.

Tous ces mécanismes, purement physiques, ont des conséquences importantes sur l'écologie lacustre. Circulation des eaux et turbu-lences propagent et diffusent toutes les pro-priétés attachées à l'eau : température mais aussi oxygène ou sels dissous, éventuellement matières polluantes.

Une première évidence est la suivante : la croissance du plancton\*, élément de base de la chaîne alimentaire, nécessite de l'énergie lumineuse, de la chaleur et des nutriments (sels d'azote et de phosphore). Cette croissan-ce est favorisée dans l'épilimnion.

L'hypolimnion accumule toutes les matières qui décantent et notamment les déchets organiques issus du plancton, des eaux affluentes, de la présence de poisson... La dégradation de ces déchets absorbe l'oxygène dissous. Cet oxygène ne peut se renouve-ler que par diffusion depuis l'atmosphère ; or la thermocline inhibe cette diffusion verticale. La vie aquatique sera perturbée si l'excès de matières dégradables entraîne la consumma-tion de tout l'oxygène de l'hypolimnion.

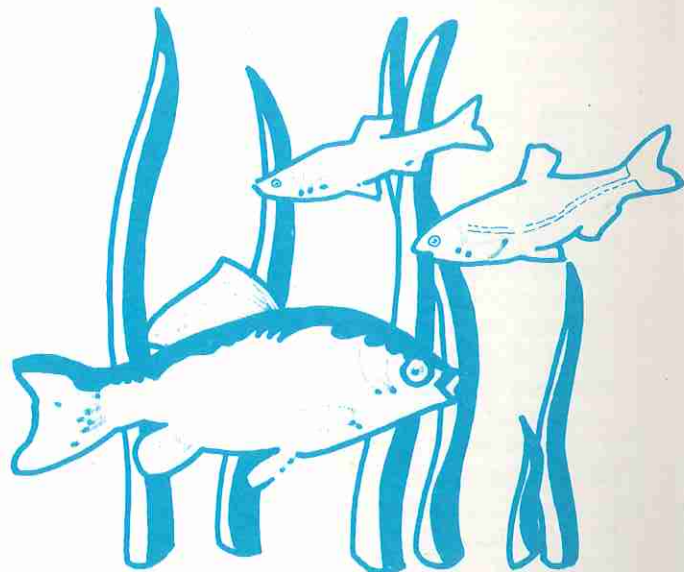
Le bel édifice que l'on vient de décrire, l'ordonnancement des eaux en trois grandes couches horizontales est parfois rompu, soit par des vents forts, soit par des crues. La réali-té est donc toujours complexe. On rencontre des répartitions verticales de température mettant en évidence plusieurs thermoclines séparant des couches homogènes, et souvent aussi une décroissance quasi continue de la température, comme si la thermocline rem-plissait tout le lac. Cette situation a des consé-quences similaires sur la vie des lacs et l'absen-ce d'échanges verticaux stoppe la pénétra-tion de l'oxygène en profondeur.

Une crue très abondante peut provoquer la vidange totale de l'épilimnion d'un lac. Ceci met en évidence les comportements très dif-férents des lacs selon le rapport entre les

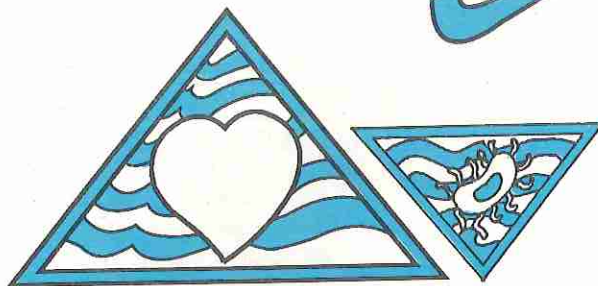
volumes d'eau qu'ils contiennent et ceux apportés par les rivières affluentes. Il y aurait lieu de prendre en considération le rapport entre la superficie du lac qui détermine cha-leur et lumière reçues (donc photosynthèse\* possible), et le volume de l'hypolimnion qui limite sa réserve d'oxygène dissous.

Les mécanismes d'échange eau-atmosphère sont évidemment identiques dans tous les lacs très peu profonds, mais le mélange vertical est plus facilement atteint et la stratification des eaux en très grandes couches n'apparaît plus. Mais il peut y avoir, par temps très calme, mise en place très rapide d'une stratification par suite de la moindre inertie thermique de la masse d'eau. Les eaux sont plus rapidement chaudes, ce qui accélère les réactions chi-miques de photosynthèse ou de biodégrada-tion. Ces lacs sont plus sensibles aux vents et aux crues ; ils sont donc beaucoup plus chan-geants ou peut-être fragiles. Ils peuvent cor-respondre à des lacs anciens en voie de comblement ; leur évolution est alors liée à une masse importante de sédiments vaseux et organiques, à des échanges d'eau douce avec les nappes souterraines ... Les règles générales s'estompent devant les cas particuliers.

Pour les grands barrages, se pose, aujourd'hui, la question de gérer la qualité des eaux. Après ce qui a été dit, on comprend qu'il n'est pas indifférent de vidanger les retenues par la sur-face ou par le fond. Les stratégies peuvent nettement différer si l'on privilégie la qualité des eaux dans la retenue elle-même ou dans la rivière aval. Mais les solutions ne sont pas encore bien maîtrisées à ce jour.







## 2.2 PHENOMENES BIOLOGIQUES

### QUELQUES NOTIONS GENERALES

Pour constituer leurs tissus, les végétaux puisent dans le milieu environnant les éléments qui leur sont indispensables. L'analyse chimique de ces tissus permet d'en connaître la composition, et montre que celle-ci varie assez peu d'une espèce à l'autre. Ces éléments sont, pour l'essentiel : le carbone, l'azote, le phosphore, l'eau, et à des teneurs beaucoup plus faibles et plus variables selon les algues : la silice, le magnésium...

Il est aisément compréhensible, que si l'un de ces éléments disparaît du milieu environnant, la croissance des végétaux sera stoppée.

On dit d'un tel élément qu'il est "limitant". Dans la grande majorité des lacs naturels le premier élément limitant est le phosphore. Peuvent venir ensuite l'azote et le carbone.

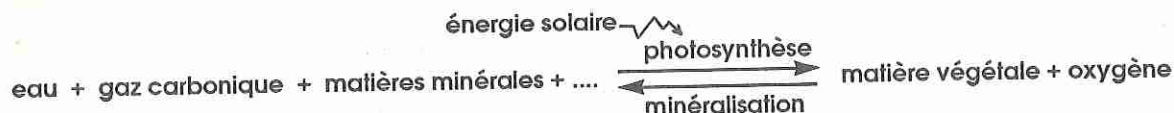
Un certain nombre de réactions chimiques entraînent la transformation des éléments minéraux dissous dans l'eau en matières constitutives

de la cellule végétale. Ces réactions sont consommatrices d'énergie, et essentiellement d'énergie lumineuse, d'où leur nom de photosynthèse\*. Mais la chaleur joue aussi un rôle accélérateur.

Il faut bien noter que ces réactions sont réversibles et que la décomposition lente des cellules végétales mortes, oeuvre de micro-organismes, restitue progressivement les molécules de gaz carbonique et d'acide phosphorique : c'est la minéralisation. On soulignera encore que la photosynthèse fabrique du végétal en libérant de l'oxygène dissous et qu'à contrario la minéralisation en consomme.

Rappelons enfin que la matière végétale entre sa naissance (photosynthèse) et sa mort (minéralisation) vit, donc respire, en consommant de l'oxygène et en produisant du gaz carbonique.

D'une façon générale, l'ensemble des réactions chimiques de la photosynthèse et de la minéralisation s'écrivent :



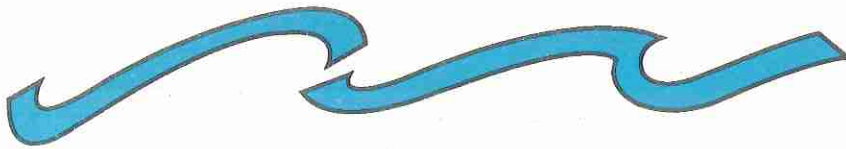
### LA ZONE PELAGIQUE\* OU DE PLEINE EAU

A la stratification thermique déjà décrite, basée essentiellement sur la distribution des températures, se superpose une stratification fonctionnelle biologique, liée aux phénomènes de photosynthèse et de minéralisation.

En été, lorsque la température est suffisante en surface, dans la couche accessible au rayonnement solaire (une vingtaine de mètres au maximum sous nos latitudes), intervient la photosynthèse : production de micro-organismes végétaux en suspension dans l'eau (phytoplancton) à partir d'éléments minéraux (nitrates et phosphates notamment ou fertilisants) et dégagement d'oxygène. Son intensité, donc la quantité de biomasse\* et d'oxygène produite, est proportionnelle en particulier à la lumière reçue et aux fertilisants disponibles. Cette couche active, productrice de matière organique nouvelle, est dite trophogène\* (ou euphotique\*) ; on peut la comparer à l'épilimnion\* avec lequel elle se confond parfois.

Comme toute végétation, le phytoplancton ainsi produit meurt. Il tombe alors lentement vers le fond du lac. Tout au long de cette descente, il se décompose, se minéralise, consomme donc de l'oxygène. Dans les couches profondes que n'atteint pas la lumière (on les dit tropholytiques\*), la photosynthèse ne concurrence plus ce phénomène et ne remplace donc pas l'oxygène consommé. De plus, la stratification thermique y empêche tout échange avec la surface, tarissant aussi cette source. Les teneurs en oxygène baissent régulièrement et plus ou moins rapidement de l'été à l'automne où un nouveau mélange viendra reconstituer, du moins de façon partielle, son approvisionnement. Si l'activité biologique du lac est suffisante, la biomasse produite importante, autrement dit si le lac est eutrophe\*, la consommation de l'oxygène est intense, surtout près des sédiments où la végétation morte s'accumule et où les bactéries sont particulièrement concentrées. Les teneurs en oxygène peuvent y être faibles ou nulles sur une épaisseur et durant un temps plus ou moins importants.





Si le manque d'oxygène se poursuit au cours du temps, les processus de fermentation de la matière organique se développent et des composés chimiques à l'état réduit s'accumulent dans les eaux profondes, au niveau des sédiments.

### LA ZONE BENTHIQUE\* OU DE FOND

Les sédiments constituent, en zone littorale comme en zone profonde, un compartiment du système trophique\* lacustre qui accumule les éléments nutritifs : le phosphore précipite et se piège dans les vases oxydées : la matière organique provenant du plancton se stratifie sur les fonds sous des formes chimiques plus ou moins bien minéralisées.

Ces fonds sont peuplés par des communautés d'organismes décomposeurs (bactéries, champignons) qui s'accommodent des conditions physicochimiques particulières (manque d'oxygène et présence de composés sous forme réduite). Ces organismes sont concentrés dans les premiers centimètres de la vase. Les consommateurs de la matière organique et des bactéries sont les larves d'insectes telles que les Chironomes, les Nématodes et les Mollusques.

### LA ZONE LITTORALE

En bordure des lacs, à faible profondeur, les mécanismes biologiques sont fondamentalement les mêmes qu'en zone pélagique, mais les populations d'organismes sont plus complètes. Au plancton microscopique, se rajoutent des végétaux de grande taille, fixés, à feuilles flottantes ou immergées, les macrophytes\* et les algues filamenteuses qui leur sont en général associées.

Ces végétaux s'étendent, lorsque la transparence de l'eau le permet, jusqu'à des profondeurs d'une vingtaine de mètres.

Les deux figures des pages suivantes montrent leurs distributions relatives en fonction de la profondeur.

De même, le tableau ci-dessous présente les principales espèces poussant habituellement en zone littorale et leurs caractéristiques essentielles.

Ces plantes comportent en général une partie souterraine pérenne (rhizome) qui leur permet d'accumuler des réserves et de développer au printemps de chaque année des pousses qui croissent ensuite grâce à la lumière et au mécanisme de photosynthèse.

Certains macrophytes utilisent en période de croissance de fortes quantités d'éléments nutritifs minéraux (phosphates, nitrates ou ammoniacale). Cette propriété explique que l'on utilise ces espèces en épuration des eaux usées. Macrophytes et algues filamenteuses sont des éléments importants de la vie du lac et participent de façon intense au réseau nutritif de l'écosystème. La disponibilité en eau, sous des conditions physiques (étendues de la zone peu profonde, température élevée, luminosité abondante) et biologiques (abondance d'éléments nutritifs) favorables, permet un développement parfois exubérant de cette végétation.

A la différence du phytoplancton qui est consommé en grande partie par les crustacés du zooplancton\*, il y a peu de consommateurs directs des végétaux supérieurs que sont les roseaux (Phragmite) ou les massettes

Types de plantes (formation)	Implantation	Habitat Profondeur eau	Intérêt biologique	Caractéristiques et évolution	Espèces typiques
Plantes semi-aquatiques (roselières)	Enracinées (rhizome) Feuilles, fleurs et graines émergentes	Interface eau-terre jusqu'à 1m de profondeur	Support (périphyton) abris (poissons, oiseaux)	Eléments de protection des rives. Absorption des éléments nutritifs	Roseaux Massettes (Typha)
Plantes aquatiques flottantes	Enracinées ou à feuilles et à graines flottantes	Plus au large que les précédentes	Idem mais obscurcissent le fond	Restent à l'abri du vent et des vagues. Evolution très rapide	Nénuphars Chataigne Lentilles
Herbiers submergés	Entièrement submergées sauf les fleurs parfois	Jusqu'à 20m suivant la transparence	Nourriture (poisson), frayère. Forte activité photosynthétique	Tendance à l'envahissement dans les sites favorables (zones portuaires, plages)	Potamots Characées Elodées
Algues filamenteuses	Se développent au contact des macrophytes ou rochers	Abondantes au printemps et en été	Sans intérêt ou nocives en grande quantité	Parfois abondantes si pollution des eaux par éléments nutritifs	Cladophora Spirogyre

Principales espèces végétales littorales et leurs caractéristiques

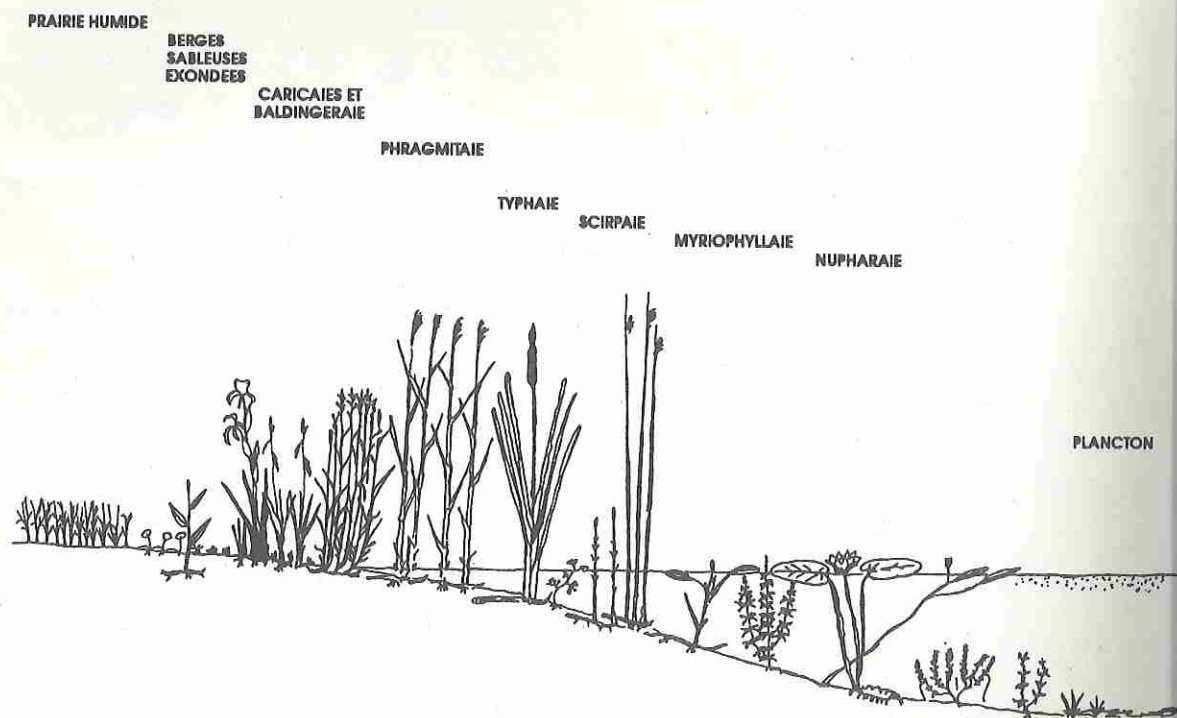


(Typha), si bien que la matière végétale produite au cours des saisons peut s'accumuler, participant à la transformation des bordures en marais.

Dans les sédiments littoraux cette matière est tout de même lentement dégradée par les bactéries, champignons et larves d'insectes

(détritivores, décomposeurs).

En général, les échanges entre la zone pélagique et la zone littorale du lac permettent d'équilibrer ces processus de synthèse ou de décomposition, car une partie de la matière organique produite sur le littoral est entraînée vers le large.



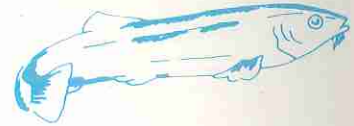
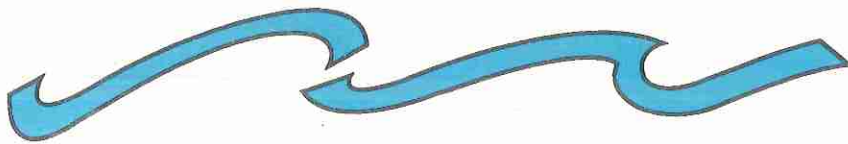
Distribution de la végétation littorale

Un développement excessif de la végétation littorale qu'entraîne l'augmentation constante en nitrates ou phosphates des eaux de surface pose souvent des problèmes aux gestionnaires de lacs ou de plans d'eau.

En effet, la masse végétale limite l'accès à l'eau libre (limitation du déplacement des poissons, activités de loisirs réduites), cause des nuisances lors des phases de décomposition de la matière végétale (manque d'oxygène, odeurs). L'extension de l'utilisation des plans d'eau comme base de loisirs (baignade, nautisme...) rend plus aiguës ses nuisances.

Mais la présence de cette végétation n'a qu'un caractère négatif. Il faut en effet rappeler qu'elle est importante pour la vie piscicole lacustre ; certaines espèces de poissons dépendent étroitement de l'abri créé par ces plantes, des larves d'insectes qu'elles supportent ou simplement des conditions de milieu favorisées par cette végétation. Il y a donc lieu parfois de prendre des mesures pour la protéger, menaçant qu'elle est par les agressions mécaniques de certaines activités de loisirs, le nautisme en particulier. Le lac d'Annecy avec ses zones de végétation protégées par des ceintures de piquets est un bon exemple.





## LE RESEAU TROPHIQUE ET LES NICHE ECOLOGIQUES OU VIE ET MORT DES ESPECES VEGETALES ET ANIMALES LACUSTRES

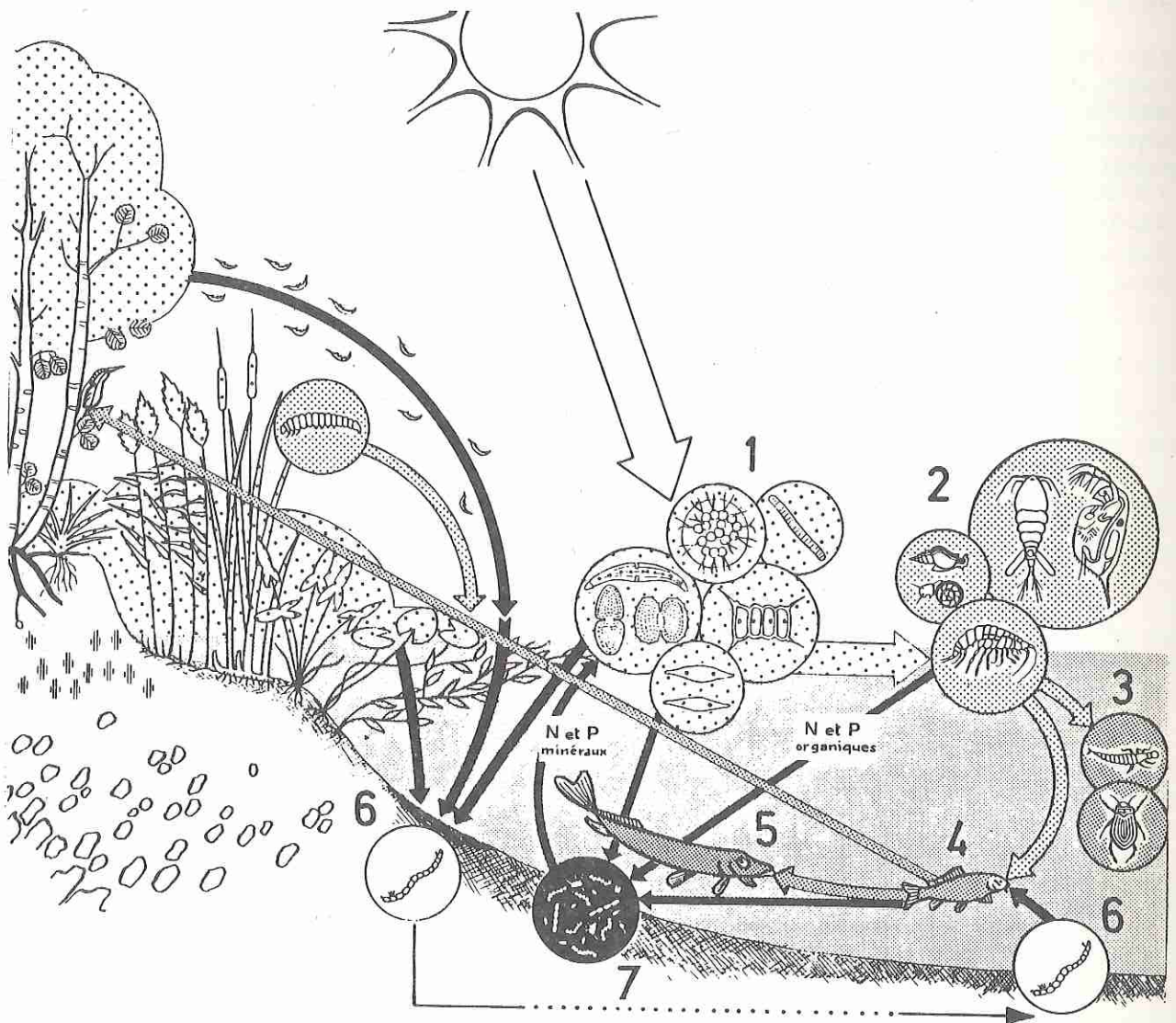


Schéma fonctionnel d'un rivage lacustre (d'après Duvigneaud, 1974)

L'ensemble des échanges de matière organique entre producteurs primaires (phytoplancton (1), végétaux supérieurs), consommateurs (Crustacés (2), larves d'insectes (3), poissons (4,5) et détritivores (6,7) (bactéries, champignons, larves d'insectes...)) constitue un réseau trophique d'autant plus complexe qu'il y a de niches écologiques dans le lac, c'est-à-dire que le lac est riche en sites et en espèces différentes. Cette situation se rencontre notamment dans les lacs qui possèdent une zone littorale développée par rapport

à la zone de pleine eau.

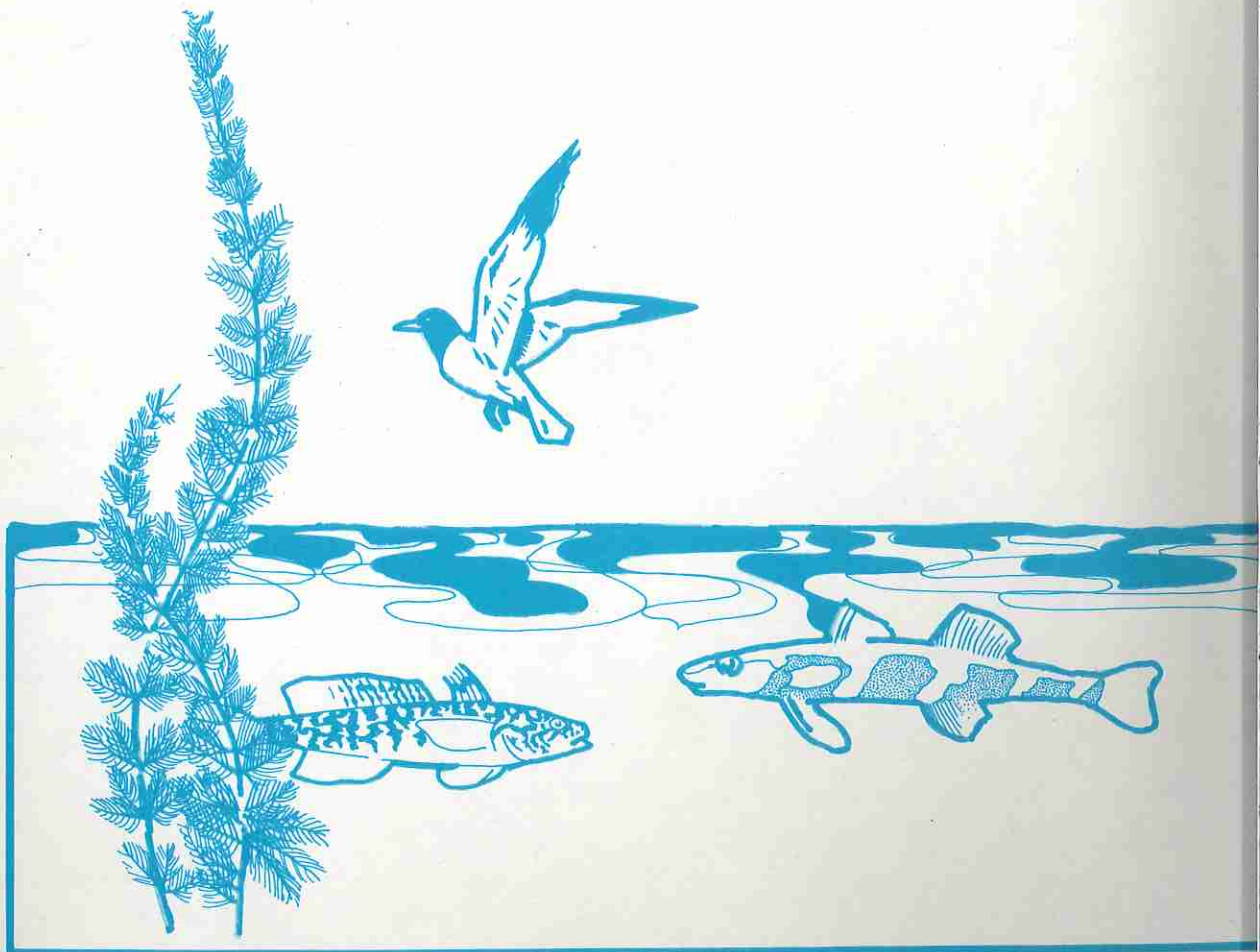
Les derniers maillons de ce réseau sont constitués par les poissons carnivores et parfois les oiseaux qui exportent du lac ou de l'étang une quantité non négligeable de matière organique. Le nombre d'espèces de poissons ou d'oiseaux est lié à la richesse du réseau trophique et à la diversité des habitats offerts. Une grande richesse écologique représentée par un réseau trophique complexe permet au lac d'être moins sensible aux perturbations dues aux facteurs externes.

Par contre, la dégradation de la qualité de l'eau, des sédiments littoraux et en particulier des zones de frai est souvent un facteur de raréfaction de la faune piscicole dont les éléments les plus sensibles sont les Salmonidés.

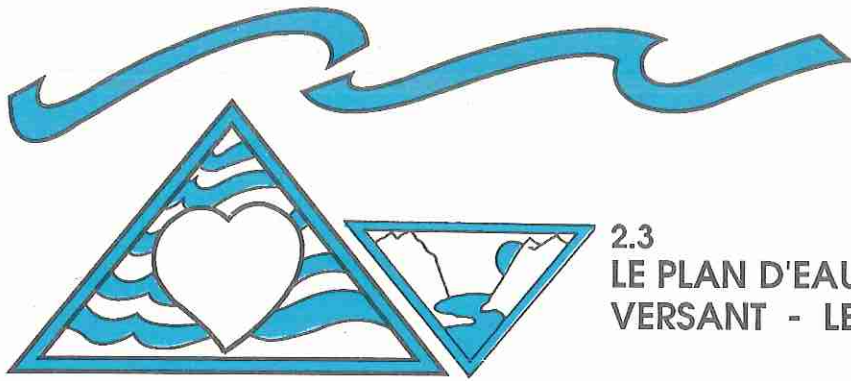
Bien évidemment les activités humaines jouent un rôle majeur dans le déplacement des équilibres qui régissent les biomasses des diverses communautés, soit directement : pression de pêche, chasse, faucardage..., soit indirectement par altération du milieu physique ou de la qualité de l'eau.

On observera finalement que les diverses communautés vivantes s'organisent selon une zonation horizontale (exemple des ceintures végétales successives) et une zonation verticale (faune de pleine eau ou necton\* / faune du fond ou benthos\*).

A ce propos une particularité du milieu lacustre est d'héberger des poissons vivant et se reproduisant dans les profondeurs (ombles chevalier, corégones) en même temps que des espèces, communes en toutes eaux, qui peuplent la zone littorale surtout.







## 2.3 LE PLAN D'EAU ET SON BASSIN VERSANT - LES APPORTS.

### LE BASSIN VERSANT

Un plan d'eau n'est pas isolé. Il subit les influences de son environnement et effectue avec lui des échanges. Seuls nous intéressent ici ceux qui ont une incidence sur le lac, qui y entrent, les apports ; et plus particulièrement ceux qui sont de nature à détériorer la qualité du milieu, les apports polluants.

Ces apports peuvent venir de très loin. Mais comme la quasi totalité est amenée par les eaux superficielles, l'influence sur le lac des terrains qui le dominent topographiquement, son bassin versant, est prépondérante.

Le principal élément entrant dans un lac est l'eau. Si l'on divise le volume de la cuvette par le débit de l'eau qui y arrive, ou de celle qui en sort, ce qui revient au même et est en général plus facile à mesurer, on obtient un paramètre très important pour le fonctionnement du plan d'eau : la durée moyenne de séjour des eaux. Elle peut varier de quelques jours à plusieurs années (7 ans pour le Bourget), voire plusieurs siècles.

L'inertie du plan d'eau est d'autant plus faible, autrement dit la rapidité et l'intensité de ses réactions à toute activité polluante ou de restauration sont d'autant plus fortes que cette durée est brève.

### LES APPORTS POLLUANTS

La nuisance des apports peut varier en fonction de critères divers : vocation du plan d'eau (telle dose de phosphore, excessive dans une eau de baignade sera la bienvenue dans une zone de pêche), sensibilité des riverains, etc... Mais les deux paramètres les plus importants sont la nature et le volume des apports.

Pour la nature, c'est évident. Vis-à-vis de l'état des lacs, certains éléments sont bénéfiques ou neutres. D'autres présentent des dangers plus ou moins graves, et plus ou moins immédiats : pluies acides, micropolluants (pesticides), métaux lourds, éléments radioactifs, micro-organismes pathogènes. Sauf accident (le Rhin - Tchernobyl), ils soulèvent en France peu d'inquiétude ; peut-être parce que les

problèmes qu'ils posent paraissent moins pressants, ou sont plus compliqués à étudier, ou plus difficiles et plus onéreux à traiter. Et sans doute à tort : aujourd'hui il suffirait de prévenir, demain il faudra guérir.

A ce jour, on s'est surtout intéressé à la **pollution organique** et plus récemment à la **pollution par les fertilisants (ou nutritionnelle)**.

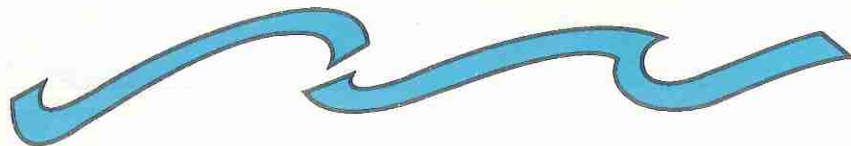
**La matière organique** amenée aux lacs ou qui y est produite se minéralise en consommant un élément indispensable à la vie, l'oxygène. C'est sans doute, historiquement, la première pollution détectée et combattue dans les eaux. Elle se mesure par la demande biologique ou chimique en oxygène (DBO-DCO)\*. Si on la néglige ici c'est qu'actuellement elle est assez bien maîtrisée, soit en raison de la capacité d'auto-épuration du milieu, soit surtout grâce aux nombreuses stations d'épuration mises en service au cours des dernières décennies. Ce point sera plus longuement examiné au chapitre 32.

**Les fertilisants** sont des éléments nécessaires à la croissance du premier échelon de la vie lacustre -on dit production primaire- c'est-à-dire les organismes végétaux comme le phytoplancton\* et les macrophytes\*. En quantité raisonnable ils sont donc indispensables. Les fortes concentrations et l'accélération des activités humaines, phénomènes relativement récents, les ont multipliés et ont provoqué la plus grave des menaces qui pèsent aujourd'hui sur nos lacs, l'eutrophisation\* accélérée (voir chap. 3.1).

Des nombreux éléments nécessaires à la production primaire, et qui, potentiellement, peuvent donc participer à cette pollution, on ne retient en général, pour de multiples raisons, que le phosphore, l'azote et le carbone ; et encore sous certaines de leurs formes dites biodisponibles, en particulier les nitrates et les orthophosphates.

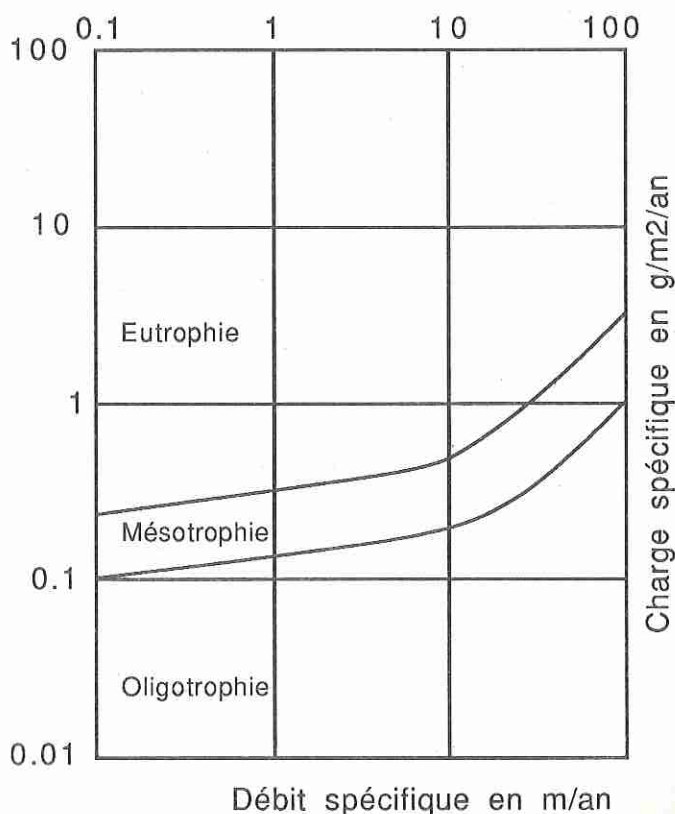
Pour ce qui est de la **quantité**, la plupart des éléments entrant dans les lacs et en particulier l'azote et le phosphore ne deviennent dangereux, polluants, qu'à partir du moment où leur teneur excède ses capacités d'assimilation normales. Il est difficile, pour ne pas dire





impossible, de préciser où se situe cette limite, tant elle dépend de nombreux facteurs et est variable pour chacun d'eux. La façon la plus simple, mais la plus imprécise, car elle ne fait en rien intervenir les caractéristiques du lac, est de se référer aux concentrations des affluents ; on a avancé comme admissibles et dangereuses des teneurs en phosphore de l'ordre de 0,05 et 0,10 mg/l ; à comparer à quelques valeurs connues : 0,30 mg/l dans la Leyse, 0,45 dans le Sierroz, tous deux affluents du Bourget ; 0,10 dans la Dranse, principal affluent français du Léman.

Une des méthodes les plus employées, due à Vollenweider, fait intervenir les apports en phosphore et la surface du lac par le biais de la charge spécifique (apports par unité de surface), la profondeur moyenne et la durée de séjour des eaux par celui du débit spécifique (quotient des apports hydrauliques annuels par la surface, ou de la profondeur moyenne par la durée de séjour) ; en pratique cela consiste à situer le plan d'eau sur un graphe du modèle ci-joint, divisé en trois zones à niveau de production croissante : oligo-, méso-, eutrophe\*.



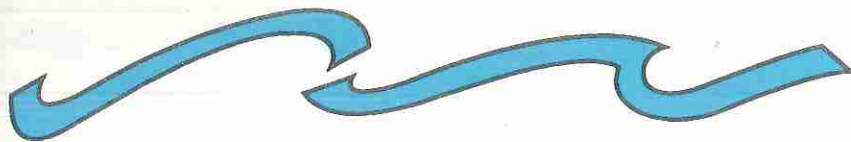
Classement de l'état trophique des lacs d'après le modèle de Vollenweider

### LEUR ORIGINE

Nous examinerons surtout le cas du phosphore : parce que c'est le facteur privilégié de la pollution nutritionnelle, et aussi pour ne pas trop compliquer notre exposé. Mais les schémas restent à peu près les mêmes quel que soit l'élément considéré. La nature n'est pas totalement innocente.

On estime de 5 à 50 kg par km<sup>2</sup> et par an le phosphore que peut céder le sol ou sa végétation naturelle. Mais c'est à coup sûr, sauf cas particulier, négligeable, comparé à ce que produit, directement ou indirectement par ses déchets, l'homme, principal accusé en la matière. Sur les 2,5 à 10 kg de phosphore répandus annuellement à l'hectare pour la fertilisation





agricole, facteur essentiel des rendements culturaux, 5 à 15 % seulement sont utilisés par la plante. Le reste se retrouve dans le sol sous forme plus ou moins mobile suivant la nature géologique du terrain, ou la violence du ruissellement. Les sols calcaires favorisent la fixation du phosphore sous des formes chimiques insolubles. Leur transfert aux lacs se fait alors plutôt par le biais de l'érosion. Un à cinq pour cent seulement des quantités utilisées y arriveraient, sauf conditions exceptionnelles. Pour l'azote, plus facilement soluble, ce taux de transfert serait de l'ordre de 10 à 25 %.

La production animale est élevée (8 à 12 kg de phosphore par tête et par an pour les bovins ; 3 à 6 pour les porcins). Le danger de cette pollution a été accru par la concentration de l'élevage. En particulier celui, intensif, dit "hors sol", crée un déséquilibre entre la quantité des déjections et les superficies nécessaires à leur neutralisation.

La source la plus importante des pollutions trophiques, est, sauf cas exceptionnel, à rechercher dans les activités humaines proprement domestiques, en raison surtout de divers facteurs aggravants et relativement récents. L'utilisation, sans doute excessive, de détergents à forte teneur en phosphore, a fait passer la production, naturelle d'un humain de 0,6 à 1,6 kg par an (la production correspondante d'azote est de l'ordre de 5 kg). De cette majoration de 1 kg, plus de la moitié est à attribuer aux lessives ; le reste aux produits pour lave-vaisselle et autres substances de nettoyage. Les fortes concentrations urbaines multiplient les flux polluants en un même point. La collecte des effluents par les réseaux d'égouts élimine pour le phosphore toutes chances de se fixer dans le sol. Et les stations de traitement, lorsqu'elles existent et qu'elles fonctionnent correctement, n'ont en général pas pour mission d'éliminer le phosphore. On peut y ajouter la forte imperméabilisation des sols en zone urbaine (bitume, béton, pavés, toitures) qui accroît le ruissellement gravement pollué par la circulation, le déneigement, les animaux domestiques, etc... Et n'ayons garde d'oublier les décharges publiques.

Les pollutions industrielles peuvent aussi amener du phosphore ; mais elles sont le plus souvent de nature très spécifique. Cela implique, pour chaque cas, un examen particulier. Leur importance relative est très variable d'un bassin à l'autre.

## LEUR REPARTITION DANS LE TEMPS ET L'ESPACE

La pollution peut être régulièrement répartie sur l'année ou concentrée à certaines périodes, permanente ou accidentelle, diffuse ou concentrée, due à des apports internes ou externes.

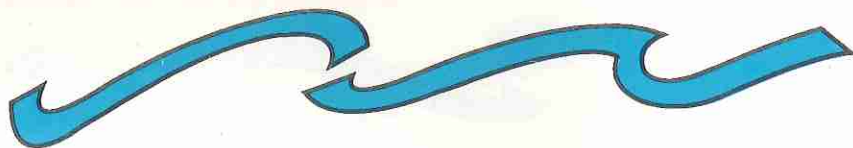
La concentration des apports polluants à certaines époques de l'année est liée à certaines activités humaines (déplacements de populations à l'époque des vacances, travaux agricoles) ou à des épisodes naturels (crues). Elle aggrave sans doute leurs effets sur le lac, mais rend surtout les mesures de protection, les traitements en particulier, plus coûteux et moins efficaces.

Des pollutions permanentes ou accidentelles, les premières sont de loin les plus importantes en volume. Peut-être faudrait-il tenter davantage de prévenir les secondes : leur nature éventuellement très toxique, leur concentration instantanée élevée, peuvent entraîner des conséquences catastrophiques. Sur ce plan, les grandes voies de communication (voies ferrées et autoroutes) qui traversent les bassins versants des lacs sont des pôles privilégiés où les plus grandes précautions devraient être prises.

Doivent être seules considérées comme diffuses les pollutions dont les sources ne peuvent être individuellement et précisément localisées, qu'elles soient naturelles ou dues à quelques activités agricoles : cultures, élevage hors stabulation. Toutes les autres devraient être dites ponctuelles. Cela va de soi pour celles transportées par les cours d'eau, ou amenées par les réseaux d'assainissement. En font aussi partie toutes les évacuations individuelles, souvent non collectées, parfois non répertoriées et qu'on a tendance, à tort, à classer comme diffuses. Les pollutions ponctuelles ont été pratiquement les seules jusqu'ici à faire l'objet d'études. Mais on commence (cf. le Léman, la retenue d'Eguzon, de Serre de la Fare) à s'inquiéter des pollutions diffuses dont l'impact risque de devenir de moins en moins négligeable, à mesure que l'on maîtrise mieux les autres. Leur poids relatif est encore mal cerné et probablement très variable selon les bassins versants.

Les sources externes sont, comme leur nom l'indique, extérieures à la cuvette lacustre et peuvent se situer dans son bassin ou en dehors de celui-ci. Elles nécessitent dans ce dernier cas des vecteurs spécifiques : transports atmosphériques ou eaux souterraines.





Les substances contenues dans les sédiments forment les apports internes. Elles peuvent s'y être accumulées au cours des âges ou avoir été présentes à l'origine pour les retenues artificielles et sont susceptibles de rediffuser dans les eaux du lac par des mécanismes physicochimiques et biologiques complexes qui rendent très difficile l'évaluation de ces échanges et qui dépendent des conditions existantes dans la zone de contact eaux-sédiments : concentration, teneur en oxygène, pH, température...

### LEURS VECTEURS

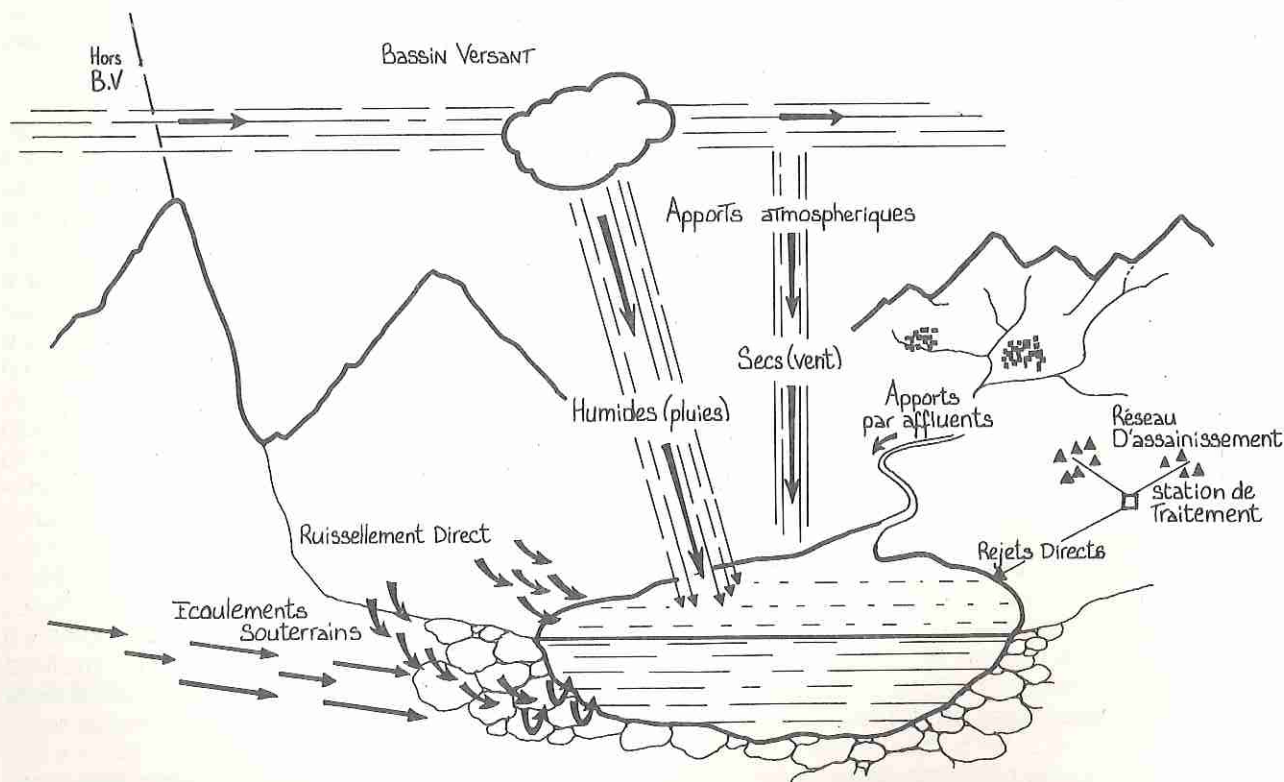
Le dessin suivant schématise le mode d'entrée des apports externes. On y distingue essentiellement deux vecteurs : l'atmosphère, les eaux terrestres, qui restent le véhicule privilégié de la pollution.

Lorsque les apports sont atmosphériques, leur origine peut être extérieure au bassin versant. L'agent du transport est la pluie ou le vent.

Dans le premier cas, les apports humides sont facilement évalués par l'analyse des eaux recueillies dans les pluviomètres ; dans le second, il est beaucoup plus malaisé de quantifier ces retombées sèches.

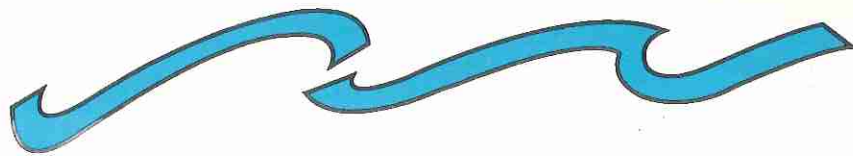
Les observations courantes en ont jusqu'ici peut-être à tort assez peu tenu compte ; comparés aux autres apports, en particulier ceux des affluents, leur masse, sans être négligeable, est relativement faible (voir les évaluations qui suivent pour le Léman).

Les affluents recueillent des éléments provenant de sources diverses et les concentrent en un point de passage obligé, leur embouchure, ce qui en facilite la mesure sinon le traitement. Leur influence relative sur les apports totaux aux lacs est fonction en particulier de la part du bassin versant qu'ils drainent ; elle est en général prépondérante. Pour ces raisons, ils ont toujours été l'objet privilégié des études d'apports.



Circuit d'arrivée des fertilisants dans un lac





Les ruissellements directs sont en général localisés aux abords immédiats des rivages ce qui limite souvent leur importance relative.

Il n'est d'autre part pas aisé, compte-tenu des difficultés de mesure de leurs débits et concentrations, d'évaluer leur impact autrement que par proportionnalité avec les apports des cours d'eau voisins, en fonction des surfaces drainées.

Suivant la nature géologique des régions considérées, les écoulements souterrains peuvent drainer des zones assez peu en rapport avec le bassin versant du lac ou représenter des volumes très variables. Il existe des sources

sous lacustres parfaitement connues (Boubioz à Annecy), voire des lacs à alimentation presque uniquement souterraine.

Dans la majorité des cas, débits et concentrations, donc flux polluants de ces écoulements sont faibles comparés à ceux de surface. Leur évaluation fait appel à des techniques coûteuses.

Les rejets directs des réseaux d'assainissement, avec ou sans traitement, seront plus spécialement évoqués au chapitre 3.2.

A titre documentaire, le tableau ci-après donne, pour le Léman et les années voisines de 1980, la part de chaque source pour les apports en azote minéral et en phosphore :

Sources	Azote minéral		Phosphore total	
	Apports annuels en tonnes	%	Apports annuels en tonnes	%
Atmosphère	600	8	60	5
Affluents	6 300	81	1 100	89
Stations d'épuration	850	11	75	6
Total	7 750	100	1 235	100

### LEUR EVALUATION

Le problème essentiel, pour le gestionnaire, consiste à évaluer la quantité d'un élément qui parvient au lac. Deux techniques sont envisageables : la mesure directe sur l'affluent; le recensement des sources sur l'ensemble du bassin. Les difficultés et les nombreuses causes d'erreurs associées à la nécessité de recueillir d'autres paramètres, plaident pour qu'elles soient conduites de pair.

Pour examiner la meilleure stratégie de protection, une bonne connaissance d'autres facteurs est en effet nécessaire :

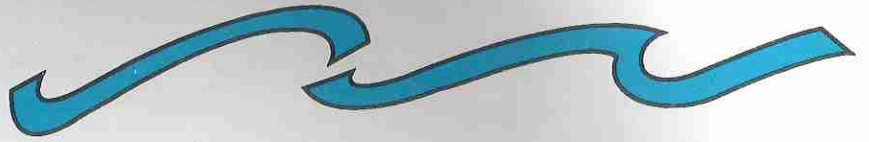
- l'analyse des sources de pollution : situation géographique, nature, description. Seule la méthode du recensement est ici utilisable ;

- la nature des polluants : on traque le plus souvent le phosphore, ou les autres fertilisants. Mais la méthode est applicable à tout élément transporté par l'eau ;

- répartition des apports dans le temps : sur un cycle annuel, une crue, suivant les saisons, ou, sur plusieurs années ;

- les modalités d'arrivée au lac : une arrivée près de l'exutoire (Annecy) aura un impact moindre que si elle est située à l'opposé (Le Bourget) ; les eaux chaudes resteront en surface où chaleur et lumière entraîneront une utilisation rapide des éléments apportés, tandis qu'en profondeur, où plongent très vite les eaux froides, fraîcheur et obscurité freineront la production.





**Le recensement** se fait en trois étapes, chacune s'efforçant à une observation aussi détaillée que possible dans le temps et l'espace, avant les regroupements logiques par sous-bassins et bassins, saisons et années. On localise d'abord les "producteurs". En leur associant leur production unitaire, en général fournie par une abondante littérature, on obtient la production brute. Une part seulement, on l'a vu, arrive au lac ; le coefficient de transfert variable avec l'élément et les conditions du milieu, est sans doute le paramètre le plus difficile à préciser.

**La quantification directe des apports** consiste à mesurer la masse totale des éléments considérés amenés au lac en un temps donné, en général une année : **c'est la charge annuelle**. (Divisée par la surface ou le volume du lac, elle en devient une valeur caractéristique : la charge spécifique surfacique, en  $g/m^2/an$ , ou volumique, en  $g/m^3/an$ ). Cette grandeur est la somme **des flux**, masses transportées par unité de temps, produits des **débits** (volume d'eau écoulé par unité de temps) par les **concentrations** (masse de l'élément par unité de volume de l'eau qui le contient). C'est donc, en dernière analyse, ces deux paramètres que nous devons appréhender avec le maximum de précision, avant d'aborder les calculs des flux et des charges.

### Les débits

**La mesure des débits** d'un cours d'eau relève de techniques classiques mais qui exigent du temps, de la patience et des moyens financiers. Ces débits sont par nature extrêmement variables en fonction de la pluviométrie. Ils sont évalués indirectement en multipliant la "section mouillée" du cours d'eau par la vitesse moyenne d'écoulement.

Pour obtenir un enregistrement continu, on utilise dans la majorité des cas des appareils à flotteur fournissant la hauteur d'eau. La traduction de cette hauteur en débit passe par un patient travail d'"étalonnage", à savoir une large série de mesures de vitesse bien réparties des plus petits aux plus forts débits.

Les ponts, les anciens barrages... constituent des singularités souvent favorables à la mise en place d'une station de jaugeage.

Les grandes crues sont peu fréquentes et il est difficile d'intervenir à temps pour faire des mesures de vitesse. Il faut souvent "extrapoler" la loi d'étalonnage, opération qui relève de

spécialistes et dont le résultat comporte une bonne marge d'incertitude.

En France, existent deux réseaux nationaux de stations de jaugeage permanentes correspondant sensiblement au partage des cours d'eau en eaux domaniales et non domaniales. Ils relèvent respectivement des Services Hydrologiques Centralisateurs, et des Services Régionaux d'Aménagement des Eaux (SRAE). Ces mesures systématiques sont archivées en des fichiers d'autant plus précieux qu'ils couvrent un plus grand nombre d'années. Chacun peut s'y adresser en cas de besoin. Des efforts ont été faits pour informatiser et regrouper ces fichiers. Le réseau ARHMA, géré par le Ministère de l'Agriculture, traite et conserve les données recueillies par les SRAE. Il a pour ambition de s'étendre à toutes dans un avenir proche.

Divers organismes, EDF, Compagnie Nationale du Rhône (CNR), Agence de Bassin, peuvent dans leurs zones géographiques respectives procéder à des mesures, amasser des informations. Citons localement le fichier de l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse qui s'efforce de centraliser toutes les données concernant le réseau hydrographique de son bassin.

Lorsque l'enregistrement continu des hauteurs d'eau (ou des débits) n'est pas possible ou est jugé trop coûteux, on peut se contenter de mesures ponctuelles.

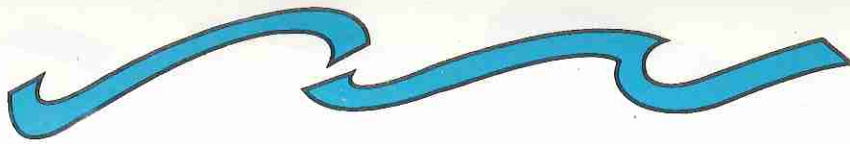
Reste à la limite l'approche indirecte. De nombreux modèles permettent de déduire le débit de paramètres en principe plus faciles à mesurer comme la pluviométrie, la surface du bassin, sa pente, la nature du sol, etc... Mais si on obtient ainsi des précisions acceptables pour les volumes écoulés sur une certaine durée, l'approche des débits instantanés est aléatoire.

Ces méthodes de mesure ou d'évaluation des débits permettent d'atteindre des précisions diverses en fonction de leur nature. Les précisions obtenues peuvent aller de quelques pour cent dans le meilleur des cas à plusieurs dizaines dans les pires.

### Les concentrations

De la prise d'échantillon à son analyse en laboratoire se dressent divers écueils à éviter ou à amortir : la représentativité de l'échan-





tillon, sa conservation, son analyse enfin.

L'échantillon recueilli doit être **l'image fidèle** de la masse totale du fluide écoulé. Pour cela il faut choisir au mieux la section de prélèvement, le point dans la section, le moment du prélèvement et la durée des mesures.

La section d'échantillonnage doit être exactement à l'aval du bassin visé par la mesure des concentrations et aussi près que possible de celle des mesures du débit. Il faut enfin s'assurer d'une bonne homogénéité des eaux sur toute la section, ce qui suppose, en particulier, une certaine distance à l'aval de toute confluence ou de tout point de rejet important.

Si la section choisie était parfaitement homogène sur le plan physico-chimique, le choix du point d'échantillonnage y serait indifférent. Ce n'est pas nécessairement le cas. Suivant les soucis de précision, on peut conseiller diverses solutions : réaliser un échantillon moyen à partir de plusieurs prélèvements répartis sur la section, situer le point dans l'axe du cours d'eau au tiers de sa profondeur à partir du fond, ou dans la partie la plus agitée. Ce n'est malheureusement pas toujours techniquement facile.

Pour ce qui est de la fréquence, l'idéal est le prélèvement continu. Il existe dans le commerce des appareils qui procèdent à ce type d'opération, fournissant même, lorsqu'un asservissement à un dispositif de mesure du débit est possible, des échantillons pondérés par ce paramètre. Cette pondération indispensable peut se faire aussi au laboratoire, à la lecture de limnigrammes, par mélange manuel des échantillons recueillis sur des durées connues.

À défaut on procède souvent à des prélèvements ponctuels. Leur représentativité est fonction en particulier du temps et du volume d'eau écoulés entre eux. Un prélèvement par semaine nous paraît être la fréquence la plus faible admissible, qu'il est conseillé d'ailleurs d'augmenter en période de crue. Aller au-delà, à des prélèvements bihebdomadaires, ou même journaliers est sans doute souhaitable, mais coûteux.

La durée d'une campagne de mesures est au minimum celle du cycle biologique le plus courant : l'année. En s'en tenant là, on prend le risque de mesurer des phénomènes qui pour des raisons diverses, climatiques en général, s'écartent de la moyenne. Trois

années représentent pour certains un minimum. En définitive, il faut aller aussi loin que le permettent les moyens financiers mobilisables.

Certains éléments sont très fugaces, l'oxygène ou certains composés du soufre par exemple. Si on veut mesurer leur teneur exacte, il faut pratiquement procéder à une analyse immédiate après l'échantillonnage ou tout au moins prendre des mesures de conservation très strictes.

Nos éléments, et surtout les deux principaux, nitrates et phosphates, sont heureusement plus stables. Il faut tout de même prendre quelques précautions : conserver les échantillons dans l'obscurité et en atmosphère fraîche, de l'ordre de 4° C ; procéder aux analyses le plus rapidement possible, dans la semaine par exemple ; veiller à la propreté des récipients utilisés et parfois à leur nature (verre Pyrex en lieu et place de "plastiques" pour les très faibles concentrations).

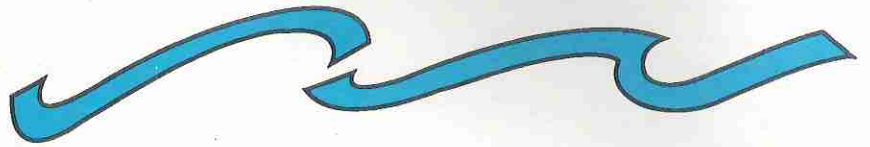
Dans un souci d'atteindre une plus grande précision, ou tout au moins d'évaluer l'erreur que l'on risque, on peut procéder à des campagnes d'essais de conservation en analysant un même échantillon conservé dans les conditions de l'étude sur une période prolongée et en observant la dispersion des résultats.

Au dernier échelon du processus, la précision des analyses dépend de la qualité du laboratoire et de la méthode qu'il peut ou choisit d'utiliser. Citons, pour fixer les idées, deux seuils qu'il est nécessaire d'atteindre, souhaitable de dépasser, respectivement pour le phosphore et l'azote : 10 et 100 mg/m<sup>3</sup> comme limite de détection ; plus ou moins 10 et 100 mg/m<sup>3</sup> comme précision.

### **Le calcul des flux**

Pour cette partie, purement mécanique, il a été proposé de multiples méthodes, plus ou moins basées sur l'utilisation de moyens informatiques. Elles visent toutes à affiner la somme annuelle des flux, (produit des concentrations par les débits). Si ces deux éléments sont mesurés en continu, la procédure est immédiate ; on utilise leurs moyennes calculées sur des espaces de temps appropriés et aussi courts que l'on veut. En général, seuls les débits le sont ; on peut alors interpoler les valeurs ponctuelles des concentrations, utiliser leurs moyennes par classes de débits ou





périodes homogènes, ou tenter de pallier ces approximations par l'application de lois concentration-débit ou flux-débit. Plus rarement, les mesures de débits sont aussi ponctuelles ; ce sont alors les flux qu'on interpole ; ou on utilise les moyennes des débits et des concentrations.

La précision des résultats dépend davantage de la qualité et de la représentabilité des données que de la méthode adoptée pour le calcul des flux. Cette précision n'est jamais très élevée, parce que dans l'état actuel des choses on ne peut pas toujours consacrer aux mesures nécessaires l'effort financier suffisant. Cette pénurie de moyens est d'autant plus ressentie que de telles études devraient s'étendre sur plusieurs années, puis être reprises pour tenir compte des évolutions des activités humaines sur le bassin versant.

## LES PROTECTIONS

Pour ce qui est des **apports internes**, le problème est de supprimer ou de réduire les relargages de fertilisants, du phosphore surtout, à partir des sédiments. Les principales méthodes : élimination (dragage), isolement physique (interposition de matériaux neutres) ou neutralisation chimique (réoxygénation artificielle, déstratification, élimination des eaux de fond, fixations aux sels d'aluminium) font partie de l'arsenal de restauration des lacs, examiné plus loin (chap. 3.3).

Pour les **apports externes**, on aura compris que l'objectif est de les réduire. Et pour cela tous les moyens, même les plus drastiques, seront bons. Le seul problème qui se posera aux responsables, une fois évalués les apports de leurs effets, sera d'abord d'établir une priorité dans les interventions en optimisant le couple efficacité-prix, de décider ensuite jusqu'où ils veulent aller, quel prix ils acceptent de payer pour leur environnement.

Comme pour la santé de l'homme, on pensera d'abord à la prévention, ensuite au traitement, même si dans la pratique la priorité des deux facteurs est souvent inversée.

Dans le cadre étroit du bassin versant, et pour ce qui concerne le phosphore, la mesure de **prévention** la plus simple -ce qui ne veut pas dire que son application soit facile- et peut-être la plus efficace, vise la suppression ou la réduction des teneurs en phosphore des lessives (ce qu'on fait certains de nos voisins comme l'Allemagne ou la Suisse), ou la limitation de l'emploi des détergents à un niveau

juste nécessaire, en particulier dans les bassins dominant les lacs. Des améliorations peuvent aussi intervenir dans les méthodes d'élevage (choix et entretien des prairies, recueil, traitement et épandage des lisiers) et de culture (choix judicieux des engrais, de leur dosage, des périodes d'épandage et des profondeurs d'enfouissement, fossés anti-érosion, drainage adapté). Sans oublier la surveillance des dépôts d'ordures, tas de fumier, etc... quelle que soit leur importance.

Une mention toute spéciale doit être faite à la prévention des pollutions accidentelles ; la seule méthode possible semble être d'empêcher le flux polluant d'atteindre les milieux sensibles. Cela doit être plus facile, sinon bon marché, pour les sources fixes. Les incidents récents (l'usine SANDOZ sur le Rhin, l'usine PRO-TEX sur la Loire) montrent que le danger subsiste. Pour les capacités mobiles, en circulation sur les routes, autoroutes ou voies ferrées, le détournement du flux potentiel, ou mieux son recueil dans les bassins de rétention qu'on s'efforce de plus en plus d'aménager, n'est pas toujours envisageable ou efficace à cent pour cent. Beaucoup de nos lacs régionaux, Aiguebelette et le Bourget par exemple, sont sous la menace permanente de voies à grande circulation.


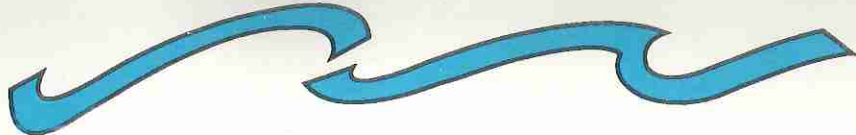
A un niveau plus large, national, européen ou même mondial, des efforts sont faits, sans doute irréguliers et insuffisants, pour réduire les pollutions atmosphériques, qu'elles soient d'origine industrielle ou dues à des activités plus individuelles, circulation, chauffage domestique, etc...

**Le traitement** est réservé en général aux effluents très concentrés, domestiques pour la plupart, individuels ou collectés par un réseau d'assainissement. Cette procédure sera examinée au chapitre 3.2.

Elle peut atteindre, pour la dépollution organique et la déphosphatation, des rendements élevés, supérieurs à 90 %. Elle pourrait donc être très efficace et serait, comme en Suède, la méthode privilégiée de protection des plans d'eau, si les taux de recueil des effluents par les réseaux d'assainissement étaient supérieurs et ne laissaient pas une partie encore trop importante s'écouler sans traitement dans le milieu naturel.

Quant aux autres apports, ceux en particulier amenés par les eaux de ruissellement - ceux dus aux ruissellements directs du fait de leur dispersion, ceux dus aux rivières du fait de leur volume - on connaît peu de moyens pratiques de les traiter.

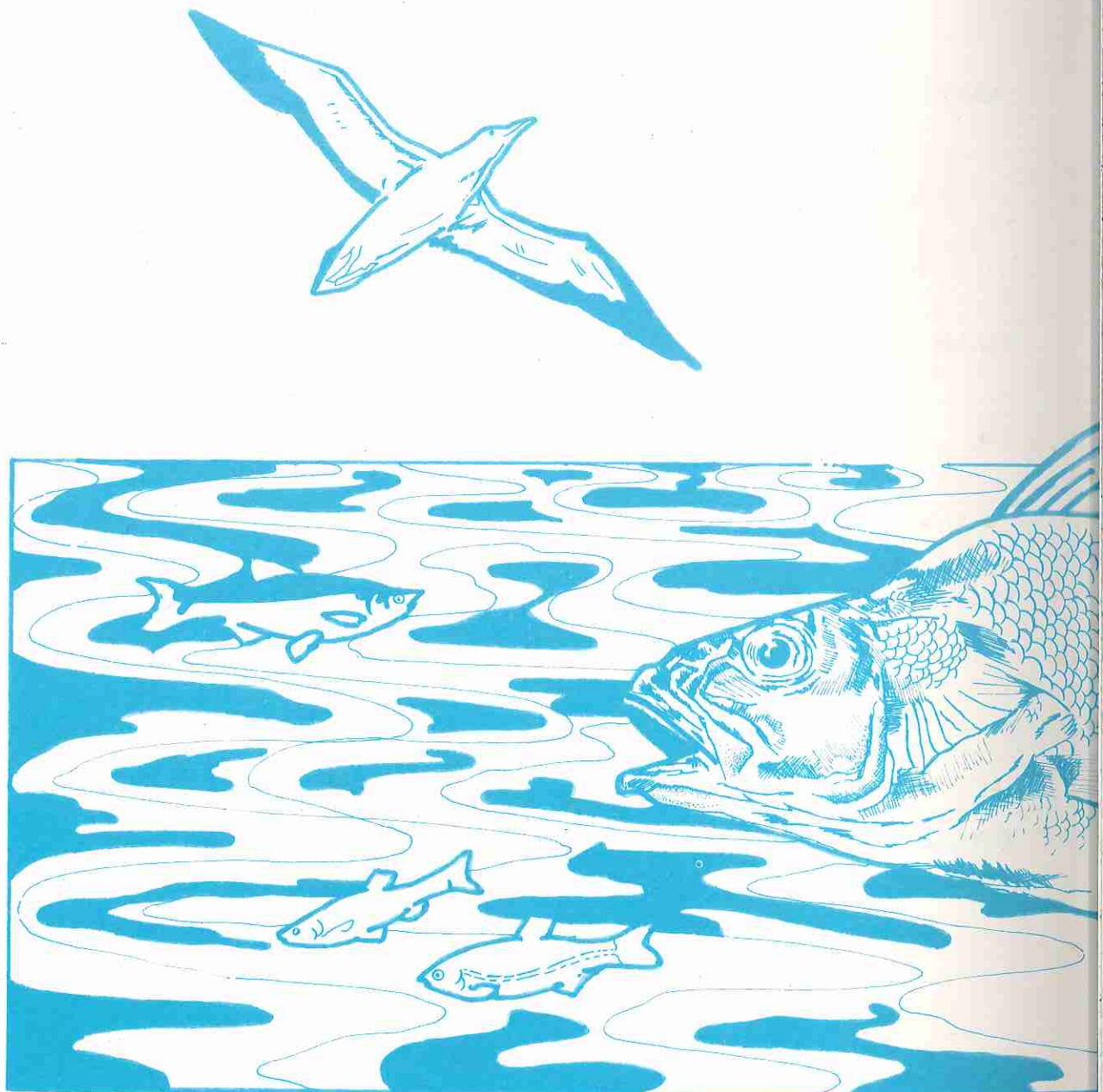




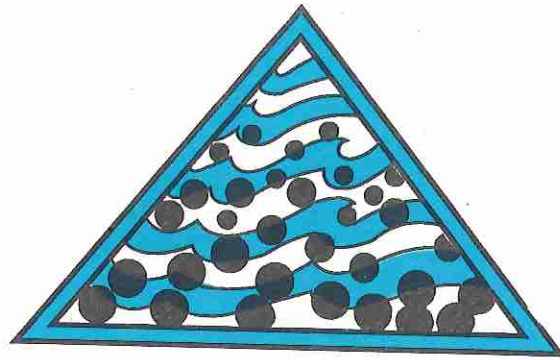
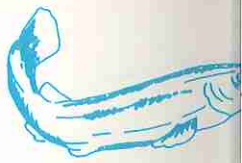
On signale toutefois quelques exemples de précipitations du phosphore par injection de sulfate d'alumine dans les cours d'eau : de telles solutions ne peuvent qu'être provisoires et dictées par l'urgente nécessité de protéger une réserve d'eau potable. En effet, les produits de traitement utilisés ne sont jamais totalement inoffensifs, surtout si le "provisoire" tend

à durer. Quant aux écoulements pluviaux urbains, la tendance actuelle est de les collecter dans des réseaux séparatifs.

Les bassins aménagés à l'aval sont destinés à régulariser leur débit ; ils sont peu efficaces pour en réduire les pollutions, en particulier nutritionnelles.

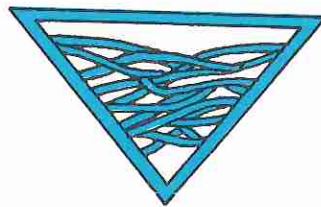




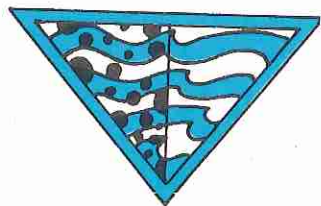


### Chapitre 3 :

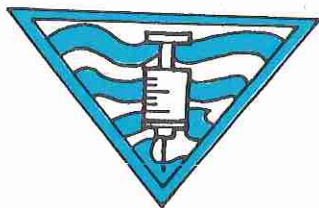
## DÉGRADATION - PROTECTION - RESTAURATION



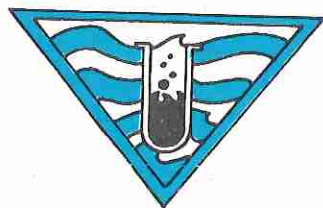
3.1- Une maladie des plans d'eau :  
l'eutrophisation



3.2- Les plans d'eau et les eaux  
usées

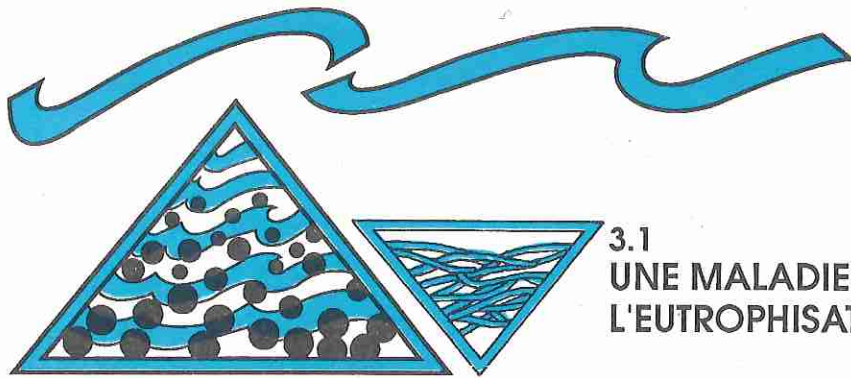


3.3- Les traitements curatifs des  
plans d'eau



3.4- Diagnostic et suivi de la qualité  
des plans d'eau





### 3.1 UNE MALADIE DES PLANS D'EAU : L'EUTROPHISATION\*

#### QUELQUES GENERALITES

Une maladie se définit comme une dégradation par rapport à un état normal de référence. Parmi de nombreux critères de "normalité" nous retiendrons ceux liés aux intérêts de l'homme. Sera donc "normal" ou en "bonne santé" tout lac parfaitement apte à l'usage auquel l'homme le destine. Une telle définition est séduisante en théorie. Son application pratique ne sera pas sans poser quelques problèmes, ne serait-ce qu'en raison des conflits d'usage : pour le baigneur, l'eutrophisation du lac Léman est désagréable ; elle est une aubaine pour le pêcheur de gardons. On s'efforcera alors de tendre vers un équilibre entre le plus grand nombre d'usages.

Pour les plans d'eau, une maladie est causée par un type de pollution. Nous avons vu au chapitre 2.3 qu'il y en avait de plusieurs sortes. A chacun d'eux correspond une dégradation spécifique de l'état du lac, avec ses effets propres.

Celle qui nous intéresse ici, parce que la plus menaçante en France est due à la pollution nutritionnelle, c'est l'eutrophisation.

En fin de chapitre nous aborderons succinctement quelques-unes des plus préoccupantes parmi les autres : pollutions routières (et autoroutières), pesticides et autres composés organiques de synthèse d'utilisation courante, pluies acides.

#### L'EUTROPHISATION : SES DEFINITIONS

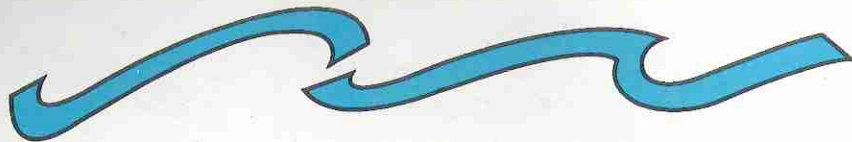
Suivant le contexte et (ou) l'auteur, le terme d'"eutrophisation" et ses dérivés "eutrophie", "eutrophe", peut prendre des significations différentes. Il est hors de notre propos de les passer toutes en revue. Dans ce cahier technique on pourra le rencontrer sous deux acceptions : l'une se rapportera à l'évolution naturelle d'un lac, sans connotation péjorative, l'autre à son état "pathologique" découlant d'un excès de fertilisant, d'une pollution nutritionnelle.

Dans le premier cas l'eutrophisation désigne une augmentation de productivité d'un écosystème aquatique due à un enrichissement en fertilisant. Un lac peut ainsi passer par plusieurs stades, d'une productivité quasi nulle, à une très élevée avec de nombreux individus (abondance forte) et peu d'espèces (diversité faible), en passant par un optimum écologique (que d'aucuns appellent eutrophe) avec un équilibre production-consommation sans déchets, une abondance optimale dans une diversité maximale.

Les limnologues\* font référence aux travaux d'un groupe d'experts internationaux réunis il y a quelques années à l'initiative de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique). Ce groupe d'experts a proposé de classer l'état des lacs à partir de quelques paramètres caractéristiques. Cette classification est reproduite dans le tableau ci-dessous.

Paramètres	Phosphore mg/m <sup>3</sup>	Chlorophylle a		Transparence	
		Moyenne mg/m <sup>3</sup>	Maximum mg/m <sup>3</sup>	Moyenne m	Minimale m
Ultra Oligotrophie	4	1	2,5	12	6
Oligotrophie*	4 - 10	1 - 2,5	2,5 - 8	12 - 6	6 - 3
Mésotrophie*	10 - 35	2,5 - 8	8 - 25	6 - 3	3 - 1,5
Eutrophie*	35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 - 1,5	1,55 - 0,7
Hyper Eutrophie	100	25	75	1,5	0,7





Il existe toujours un enrichissement naturel des eaux lacustres en éléments fertilisants. L'état trophique d'un lac, son évolution en fonction du temps, dépendent alors de facteurs géologiques, climatiques..., de la végétation naturelle sur le bassin versant... Cet enrichissement peut devenir artificiel, par suite des activités humaines, parfois même volontaire pour favoriser une production piscicole.

Depuis quelques décennies, on a constaté dans plusieurs milliers de lacs une accélération de ce processus naturel. C'est par référence à ce phénomène que le terme d'eutrophisation définit souvent un état dégradé, pour tout dire pollué. Cette accélération est due aux activités de l'homme. Elle est involontaire, donc incontrôlée, ce qui implique inévitablement un dépassement du pouvoir "tampon" et d'assimilation du lac.

#### **SES CAUSES - L'ACTION DES FERTILISANTS - NOTIONS D'ÉLÉMENT LIMITANT**

On a vu au chapitre 2.2 que les végétaux se constituaient à partir de minéraux contenus dans l'eau, dénommés fertilisants, et que celui d'entre eux, généralement le phosphore, qui était consommé le plus rapidement, était dit élément limitant. Plus les teneurs en fertilisants dans les eaux d'un lac seront élevées, toutes choses égales par ailleurs, plus la production des tissus végétaux, on dit production primaire, sera forte, et l'eutrophisation importante.

Les teneurs naturelles en phosphore dans les eaux sont faibles, moins de 0,01 mg/l environ dans un lac oligotrophe. Les activités humaines en mobilisent des quantités considérables, que les réseaux d'assainissement concentrent et soustraient au pouvoir fixateur du sol. Dans les rejets d'eaux usées on arrive ainsi à des concentrations très élevées, plus de mille fois supérieures à celles généralement rencontrées dans les eaux naturelles.

Un litre d'effluent contenant 10 mg de phosphore peut générer une quantité de matière végétale dont la minéralisation mobilisera la quantité d'oxygène contenue dans 150 litres d'eau. Cela montre clairement la nocivité des teneurs excessives en phosphore dans les effluents déversés dans les lacs, et l'intérêt de leur déphosphatation énergique, allant bien au-delà des rendements de 20 à 30 % des filières biologiques classiques, pour atteindre les 90 % et plus des filières spécifiques.

Si le rapport des concentrations de l'azote à celles du phosphore dans les eaux d'un lac tombe au-dessous de 10, ce qui est quelquefois le cas, au Bourget par exemple, c'est l'azote qui risque de faire défaut aux végétaux, devenant ainsi l'élément limitant. Il faut dans ce cas tenir compte d'un phénomène particulier. Certaines espèces d'algues microscopiques, les cyanophycées, sont capables de fixer l'azote atmosphérique, réserve inépuisable, "tournant" ainsi le caractère limitant de l'azote. Et c'est d'autant plus grave que pour diverses raisons, en particulier parce qu'elles ne sont pas consommées comme les autres espèces du phytoplancton\* par les organismes animaux, les cyanophycées sont particulièrement nuisibles. Aussi peut-on préférer parfois rétablir dans un plan d'eau riche en phosphore une carence relative en cet élément en y ajoutant des nitrates ; on augmente ainsi la productivité générale mais on empêche l'apparition des cyanophycées.

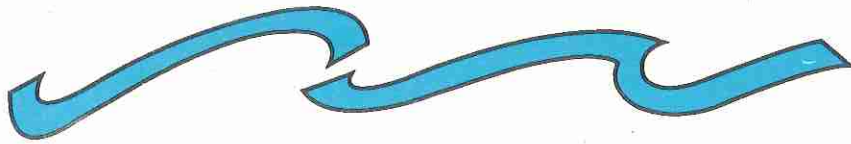
D'autres limitations trophiques peuvent se manifester, notamment celles provoquées par le manque de carbone ou de silice. Sans oublier les facteurs qui induisent des limitations d'ordre énergétique comme la température et surtout la lumière, qui peut d'ailleurs finir par manquer du fait de la présence du phytoplancton. Il s'agit là d'une sorte d'autolimitation.

#### **SES EFFETS**

Les flux de fertilisants, de phosphore en particulier, qui parviennent en zone trophogène\* entretiennent une forte production algale qui diminue la transparence de l'eau, lui donne un caractère désagréable à la vue et au contact et peut être gênante ou même dangereuse pour certains usages (eau potable). La diversité phytoplanctonique diminue au profit à la limite d'une seule espèce, les cyanophycées.

La production dépasse les capacités de consommation. Le phytoplancton non consommé sédimente, amorçant à l'interface eau-sédiment un processus de dégradation qui gagne peu à peu toute la zone trophologique\*. La décomposition de la matière organique consomme de l'oxygène dont le renouvellement est empêché par la stratification thermique. Les teneurs en oxygène diminuent, puis s'annulent, entraînant le remplacement des poissons "nobles" par d'autres moins exigeants, puis la raréfaction des espèces au





profit des plus résistantes, enfin leur disparition. Les phénomènes aérobie de transformation de la matière (consommation-minéralisation) sont remplacés par des phénomènes anaérobies (fermentation) avec apparition d'éléments nocifs (azote ammoniacal, sulfures). La réduction des oxydes ferriques libère une quantité de phosphore capable de participer à l'enrichissement de la zone trophogène.

A la limite, la raréfaction du nombre des espèces s'accompagne de la raréfaction du nombre des utilisations jusqu'à ce qu'il n'en reste plus qu'une seule : le lac dépotoir.

### QUELQUES AUTRES POLLUTIONS

#### Pollution routière

Les eaux de ruissellement des chaussées, chargées de micropolluants divers (hydrocarbures, métaux,...) constituent un risque potentiel à long terme pour les plans d'eau qui reçoivent et accumulent cette pollution, comme le montrent par exemple les études récentes sur le lac d'Aiguebelette (influence de l'autoroute A 43 sur les teneurs en plomb et zinc des sédiments et de la végétation lacustre). Les sels de déneigement utilisés en hiver à titre préventif et curatif représentent de leur côté des tonnages annuels d'apports considérables, peut-être pas sans effets sur le milieu.

#### Composés organiques de synthèse

##### - Les pesticides

D'usage de plus en plus répandu en agriculture, mais aussi dans la vie quotidienne, ils peuvent s'accumuler dans les organismes végétaux et animaux et atteindre des teneurs susceptibles d'engendrer des effets négatifs sur l'équilibre biologique des milieux aquatiques, indépendamment des problèmes sanitaires liés à la consommation par l'homme des poissons contaminés.

##### - Les polychlorobiphényles (PCB)

D'utilisation très large (plastifiants, fluides de refroidissement, isolants dans les conducteurs et transformateurs...) ils appartiennent à la même famille chimique que de nombreux pesticides (organochlorés). Ce sont des contaminants majeurs des milieux aquatiques, s'accumulant eux aussi dans les organismes vivants.

La Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (CIPEL) a mené une étude spécifique à ce problème dans ce lac.

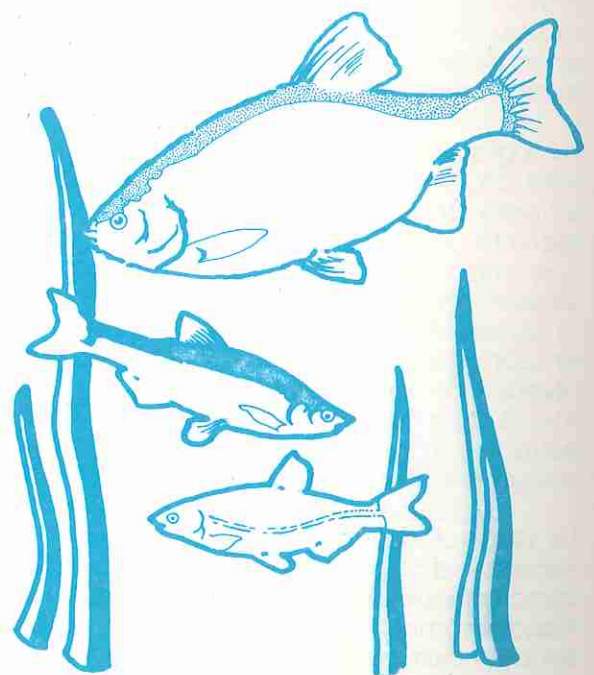
#### Les pluies acides

Les Canadiens et les Scandinaves ont été les premiers à constater les méfaits de ce nouveau fléau : dépérissement des forêts et acidification des lacs.

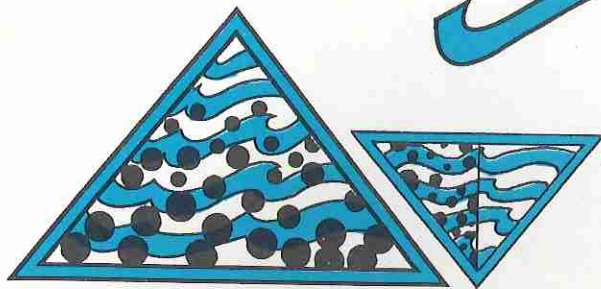
Les causes principales sont le fait des retombées acides de la pollution atmosphérique d'origine locale ou lointaine (on parle alors de pollution transfrontière ou à longue distance).

En France les vents d'Est et de Nord-Est, en liaison avec les grands bassins sidérurgiques de la Rhur, nous apportent une partie de cette pollution transfrontière.

Les plans d'eau sur substrat cristallin, aux eaux naturellement acides et peu tamponnées, sont évidemment les plus vulnérables et une surveillance doit s'exercer sur certains lacs alpins susceptibles d'être concernés (massif du Mont Blanc, de Belledonne...). Le chaulage des affluents et du lac lui-même, permet de lutter contre les conséquences de cette acidification, en attendant de s'attaquer efficacement aux causes.







## 3.2 LES PLANS D'EAU ET LES EAUX USEES

### QUELQUES NOTIONS PRELIMINAIRES

L'eau source de vie a toujours été utilisée par l'homme à des fins multiples sans que ce dernier se pose vraiment la question de sa qualité. De nos jours, l'évolution démographique grandissante associée à un essor industriel et économique indispensable font de l'eau un patrimoine précieux qu'il convient à tout prix de gérer, économiser et protéger si l'on veut conserver une certaine qualité de vie.

Les plans d'eau et en particulier les lacs et retenues, qui nous concernent ici, représentent un intérêt socio-économique majeur par la ressource en eau qu'ils mobilisent et les activités de loisirs qu'ils accueillent.

Malheureusement, du fait en particulier de l'immobilisation parfois très longue qui est imposée à l'eau, ils sont plus difficiles à protéger que les cours d'eau, en raison surtout de leur sensibilité aux effets des fertilisants, phosphore et azote (voir chapitre 3.1).

Les eaux usées, essentiellement domestiques, constituent à coup sûr pour ces milieux la principale source de pollution. Elles leur apportent en particulier les deux éléments qu'il faut considérer comme les plus immédiatement dangereux (chap. 2.3) : les matières organiques oxydables et les fertilisants. Il importe donc de prendre le maximum de précautions avant le rejet de ces effluents au milieu naturel.

La logique impose d'adapter la qualité du rejet à celle du milieu, et le réalisme de tenir compte des possibilités financières de la collectivité. Une réglementation assez souple, que chacun pourra consulter auprès des services compétents de l'administration (Annexe 1) ou des Agences de Bassin, permet la prise en compte de ces critères. Elle prescrit divers niveaux de teneurs maximales ou d'abattelements pour l'un ou l'autre des trois éléments suivants : la matière organique, l'azote et le phosphore.

Le respect de ces règles, une fois choisies, suppose d'abord le recueil des eaux usées avec l'efficacité la plus élevée possible : c'est l'assainissement. Il faudra ensuite les débarrasser du maximum d'éléments polluants, les traiter : c'est l'épuration.

Les travaux de protection réalisés, il est conseillé de mettre en place un dispositif de suivi permettant d'apprécier l'évolution de l'état du plan d'eau et d'en tirer, au besoin, des conclusions opérationnelles pour compléter les mesures de protection. Au chapitre 3.4 on examinera quelques techniques opérationnelles de suivi.

### L'ASSAINISSEMENT

#### L'assainissement individuel

Il englobe les deux processus, assainissement et épuration, en réalisant cette opération à la source, à la sortie de l'habitation ou d'un petit ensemble.

La méthode s'avère intéressante dans les zones d'habitat dispersé. Un sol assez perméable, tout au moins en surface, lui est favorable. La technique en est bien au point. On peut trouver documentation et conseils auprès de toutes les Agences de Bassin.

#### L'assainissement collectif

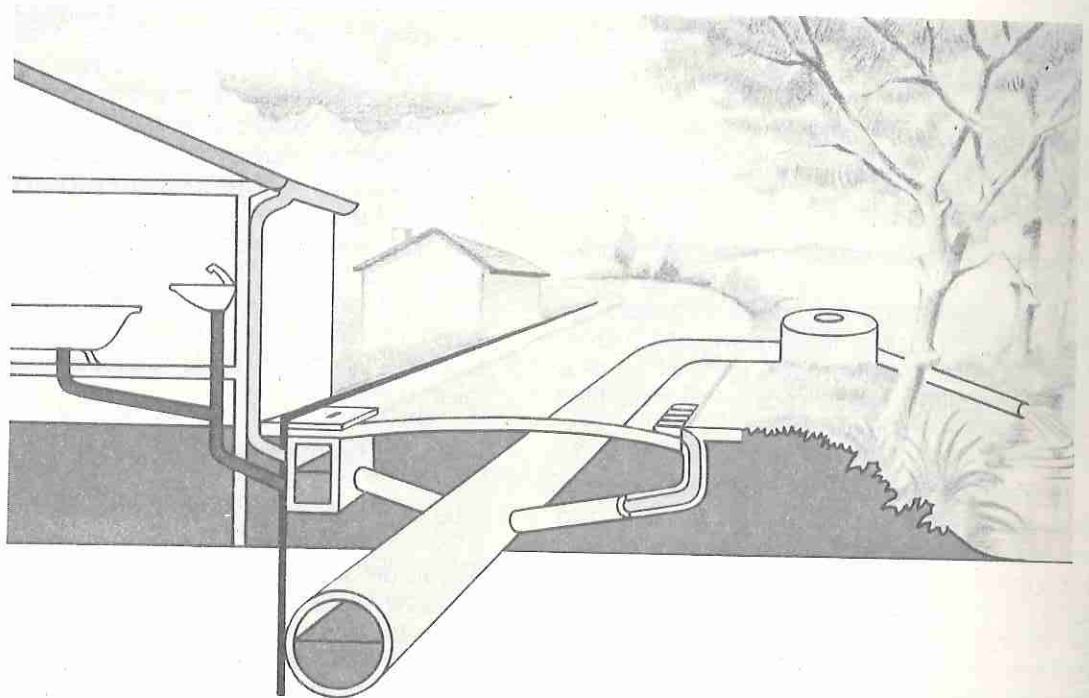
Il permet la collecte, le transport et l'évacuation des eaux usées et pluviales par des réseaux unitaires ou séparatifs.

##### - Réseaux unitaires

Généralement les plus anciens, ils visent l'évacuation au loin de toutes les eaux. Ce sont les réseaux de la plupart des centres urbains (villes de Paris, Rouen, Reims, Lyon...). Ils ne comportent qu'une seule conduite où sont admis tous les effluents, notamment les eaux pluviales et les eaux usées.

Par pluies intenses ou lors d'orages, d'énormes volumes d'eau sont collectés et les débits dans ces égouts deviennent considérables. La totalité de ces eaux ne peut pas être acheminée vers les stations d'épuration, il faudrait des tuyaux d'un diamètre irréaliste, ni y être traitée, car les ouvrages d'épuration actuels ne sont pas conçus pour accepter ces très fortes pointes. Les déversoirs d'orage permettent de délester les eaux et de protéger les stations ; mais ils rejettent au milieu naturel, et sans traitement une part importante des effluents.





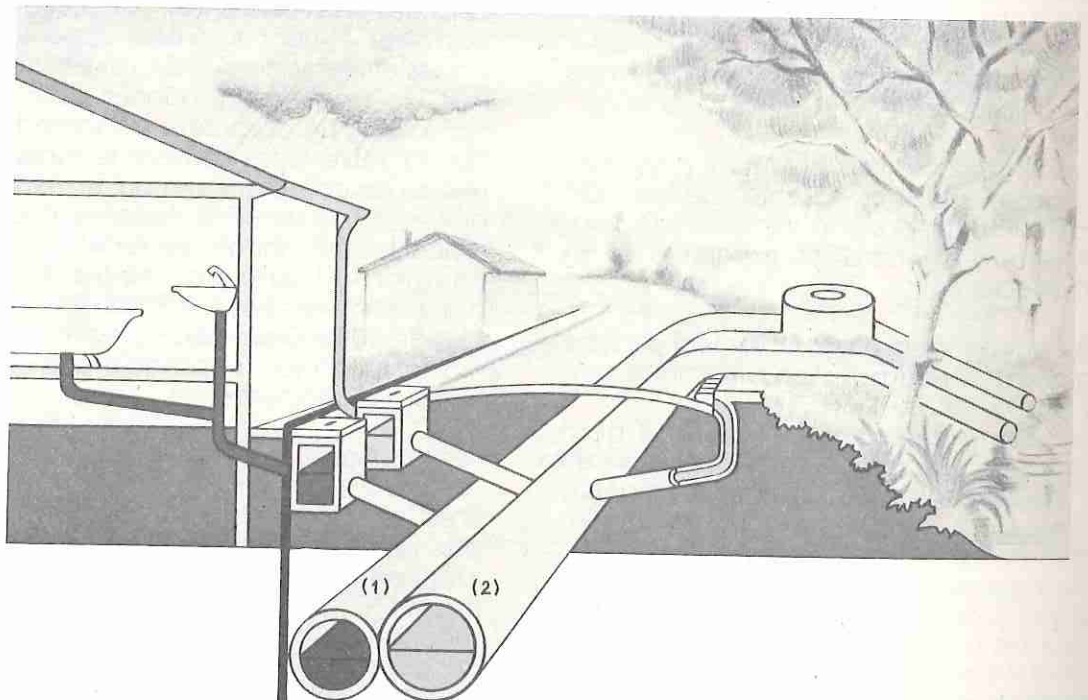
Assainissement collectif : le réseau unitaire

Lorsque le rapport des débits de temps de pluie à ceux de temps sec reste raisonnable (2 à 3) il est possible d'envisager le traitement de la totalité du flux (effluents domestiques et eaux de pluie). Lorsque ce rapport devient supérieur à 3, on peut en stocker une partie,

- Réseaux séparatifs

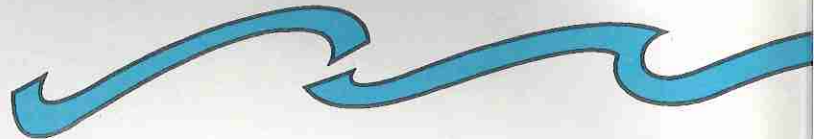
pour traitement ultérieur, dans des bassins tampons aménagés à l'amont des stations d'épuration.

Ce type de réseau est donc mal adapté aux bassins des lacs où l'efficacité du recueil est un critère important. Le réseau séparatif y est quasiment obligatoire.



Assainissement collectif : le réseau séparatif





Ils comportent deux conduites séparées, éventuellement parallèles, collectant :

- l'une les eaux usées "polluées" (1)
- l'autre les eaux "propres" : pluviales, écoulements urbains, etc (2)

Ce type de réseau a été imaginé pour acheminer vers la station d'épuration les eaux usées, à concentration et débit réguliers, et directement, ou après traitement sommaire, les eaux "propres" vers le milieu naturel. Le plus souvent, en milieu rural, seul le réseau des eaux polluées est nécessaire.

Afin de respecter la conception de ces réseaux, il convient de veiller strictement à la bonne séparation des eaux polluées et des eaux "propres". Pour cela il faudra compter sur la fiabilité et la cohérence du réseau depuis la station d'épuration jusqu'aux branchements particuliers. Cela suppose une bonne maîtrise de fonctionnement de la "collecte" et du "transport" dans le réseau, un contrôle des branchements particuliers, la suppression des eaux parasites et la surveillance permanente des postes de relèvement.

## L'EPURATION

La description des techniques d'épuration est hors de notre propos. Elles sont assez variables et reposent en général sur deux modes de traitement : biologique ou physicochimique.

Il est plus important d'examiner les divers niveaux d'épuration :

- Le niveau primaire. Il est purement physique : dégrillage, dessablage, deshuilage, et... On peut difficilement parler à son sujet d'épuration. Il vient en général en préalable et en amont des autres.

- Le niveau secondaire généralement de type biologique traite la pollution organique oxydable (DBO5 - DCO - MST\*).

Convenablement conçu et géré, il peut atteindre en ce domaine des rendements de 90 %. Par contre l'élimination des fertilisants y est faible. Dans certains cas (fortes variations saisonnières de population par exemple), on peut faire appel à un procédé physico-chimique de floculation-décantation. Le rendement sur les matières oxydables est inférieur, mais leur élimination s'accompagne d'une précipitation des deux tiers environ de phosphore.

- Le niveau tertiaire ou traitement de finition pour mission spécifique d'éliminer les fertilisants et tout particulièrement le phosphore. Pour le dernier il procède comme pour le physico-chimique secondaire, par précipitation mais optimisant le rendement au regard du phosphore. Le procédé est décrit en détail ailleurs. Dans de bonnes conditions d'exécution et de gestion, il permet d'atteindre pour cet élément des rendements de 95 %. Ce niveau devrait dans tous les cas être considéré comme un minimum en cas de rejets dans le plan d'eau.

## Deux techniques particulières

- Le détournement

Quelque soit le niveau choisi et la technique utilisée, l'épuration n'est jamais complète. Dans les cas de plus en plus fréquents où les plans d'eau l'élimination totale des rejets de polluants devient nécessaire, on peut choisir de les détourner hors de la cuvette lacustre.

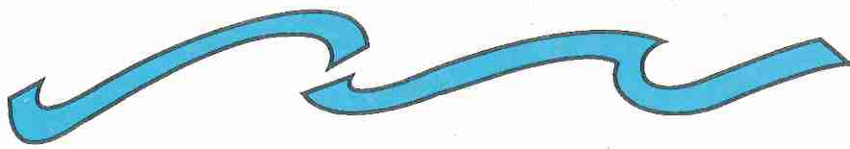
Cette solution a été adoptée pour le lac d'Annecy et plus récemment pour celui de Bourget où les effluents de Chambéry, Aix-Bains et le Bourget sont, après traitement secondaire, transférés dans le Rhône par une galerie creusée sous la montagne.

C'est renvoyer le problème dans un autre écosystème, il est vrai peut-être moins fragile que celui des eaux courantes. Son efficacité, vu de près du lac, et concernant les apports véhiculés par les effluents détournés, est en théorie totale. Cela risque de lui donner, pour un public non averti, un caractère de remède miracle que lui retire assez souvent le rendement réel du réseau de collecte. On a pu, en 1982, évaluer aux environs de 50 % seulement le taux de réduction des apports en fertilisants du lac de Bourget entraîné par les installations de détournement, pour un taux souhaitable de plus de 90 %. Ces valeurs pessimistes peuvent malheureusement s'appliquer à la plupart des réseaux d'assainissement.

- Le lagunage

C'est une forme plus rustique et en général plus économique de l'épuration biologique réservée en général aux petites collectivités rurales. En principe il se limite à un niveau secondaire. Toutefois, sur des installations bien conçues et bien gérées, on a relevé des rendements d'élimination du phosphore de 50 à 90 %.





## LA DEPHOSPHATATION

L'action de dépollution sur le phosphore s'appuie sur le traitement classique des effluents avec en complément un poste de déphosphatation.

### Traitement physicochimique

C'est la méthode actuellement la mieux connue et la plus courante.

Le problème le plus délicat reste celui du choix du réactif à utiliser et l'intégration de la précipitation dans la filière de traitement en regard des exigences imposées au rejet traité en matière de concentration résiduelle en phosphore. Le réactif le plus intéressant est le fer ferreux ( $Fe_2^+$ ) en raison de son coût peu élevé.

On utilise aussi le fer ferrique ( $Fe_3^+$ ), l'aluminium ( $Al_3^+$ ), et à titre expérimental le calcium ( $Ca_2^+$ ). Les différentes filières de traitements associées à l'épuration biologique sont examinées ci-après :

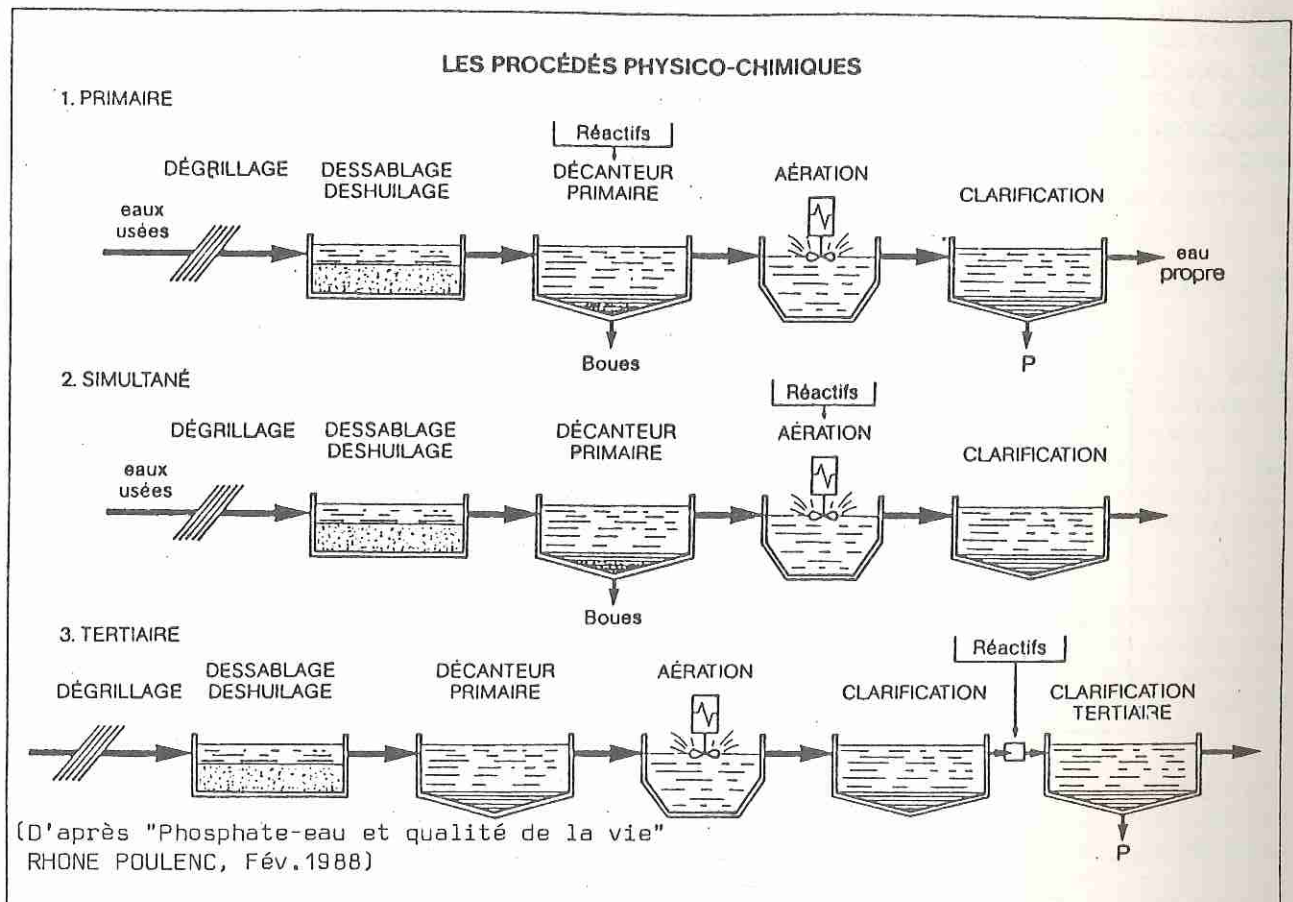
### - Précipitation primaire

On opère sur effluent brut, généralement après traitement primaire. On peut selon les cas considérer le procédé comme partie intégrante d'un traitement dit "physico-chimique" ou comme une première étape en amont d'une épuration biologique.

Dans le premier cas il se superpose un phénomène de coagulation de la pollution colloïdale à la précipitation des éléments chimiques phosphatés du fait que ce sont les mêmes réactifs (sels de fer et d'aluminium, chaux) qui sont utilisés pour la coagulation des colloïdes et la précipitation des phosphates.

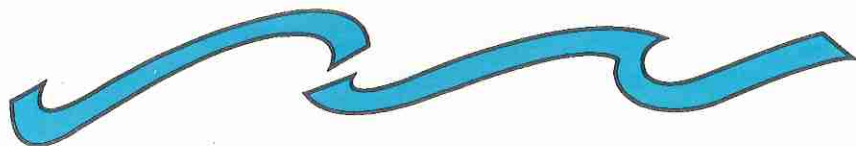
### - Précipitation simultanée

Le procédé consiste à précipiter les phosphates dans le bassin de boues activées par adjonction de réactifs en solution. Cette technique de précipitation utilise des sels de  $Fe_2^+$ ,  $Fe_3^+$  ou  $Al_3^+$  de préférence à la chaux dont les effets s'avèrent insuffisants pour un déphosphatation efficace.



La déphosphatation : les différents procédés physico-chimiques





#### - Post-précipitation ou précipitation tertiaire

La post-précipitation consiste à ajouter un étage supplémentaire de coagulation-floculation-décantation tertiaire à une station de traitement biologique conventionnelle. La précipitation s'effectue sur l'effluent de sortie du traitement biologique.

Les réactifs utilisés pour la précipitation sont du même type que ceux de la précipitation simultanée.

En cas d'exigence plus poussée (teneur résiduelle en phosphore inférieure à 1 mg/l) c'est la seule solution envisageable, avec toutes les implications économiques en matière d'investissement et de fonctionnement. Il n'est d'ailleurs pas sûr que cela soit suffisant pour protéger nos lacs.

Certains pays envisagent déjà une limite à 0,2 mg/l de phosphore et un traitement complémentaire.

#### - Elimination biologique du phosphore

La mise au point de cette méthode est relativement récente.

Elle consiste à créer dans les stations d'épuration des conditions favorables au développement d'un type de bactérie capable d'emmagasiner une quantité importante de phosphore.

Les boues biologiques ordinaires retiennent 2,5 % du phosphate, celles des stations de déphosphatation biologique de 6 à 8 %. Son avantage est essentiellement d'ordre économique : pas d'achat de réactif, moins de boues à traiter et à évacuer. Elle est par contre un peu moins efficace ; la teneur en phosphore dans l'effluent pourra difficilement être inférieure à 2 mg/l. On peut améliorer son rendement par une légère adjonction de sels ferreux dans le bassin d'aération. Une solution consiste à regrouper les deux méthodes dans des stations mixtes (ROANNE). On vise ainsi l'amélioration du rendement et l'abaissement des coûts de fonctionnement.

#### LES COÛTS

C'est un sujet difficile, complexe et sans doute mal connu. On se limitera à quelques exemples et quelques commentaires.

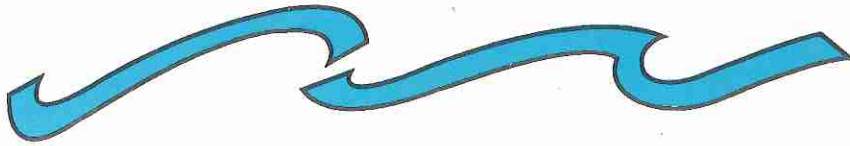
#### La protection des lacs LEMAN, d'ANNECY, du BOURGET

Pour le Léman s'est généralisée la technique des traitements tertiaires ; et l'exemple ci-après est limité aux réseaux tributaires de la station de Thonon qui est équipée d'une filière de déphosphatation simultanée. A Annecy et au Bourget les effluents sont détournés à l'aval du lac, après traitement secondaire.

Lacs	Population raccordée (nbre d'hab)	Coût en Millions de francs 1986	
		Réseau	Station d'épuration
Léman	72 000	-	30
Annecy	118 000	260	70
Le Bourget	124 000	440	60

Les coûts de l'assainissement et de l'épuration





### La déphosphatation

Nous avons emprunté à l'Institut de Recherche Hydrologique (IRH) de Nancy quelques chiffres établis en 1984 à partir d'une station de

40 000 équivalents habitants.

Il faut les considérer comme des ordres de grandeur susceptibles de s'inscrire dans une fourchette de variation importante.

Filière \ Coûts	Investissement en F./hab	Prix de revient annuel en F./hab.			Prix de revient total/an en F./m <sup>3</sup> d'eau traitée
		Annuités	Fonctionnement	Total	
Biologique conventionnelle	400	12,54	28	40,54	0,56
Déphosphatation simultanée sur biologique	430	13,62	36,5	50,12	0,69

Les coûts de la déphosphatation (IRH Nancy)

Par rapport à un traitement secondaire classique, la majoration de prix due à la déphosphatation, est de l'ordre, pour ce cas particulier, de 25 %.

Sur cet exemple on peut greffer un certain nombre de remarques.

- Concernant les investissements : les deux premières filières -primaire et simultanée- entraînent, par rapport aux investissements nécessaires à une épuration biologique conventionnelle, des dépenses relativement faibles, de l'ordre de 5 à 10 % supplémentaires.

Elles concernent essentiellement le stockage des réactifs, l'équipement de dosage et le traitement des boues.

Il en va tout différemment bien sûr de la post-précipitation qui exige des investissements importants. Malheureusement, nous manquons encore de données nous permettant d'avancer des montants contrôlés.

- Concernant les frais de fonctionnement : les coûts supplémentaires proviennent essentielle-

ment des réactifs de précipitation et de la nécessité de traiter un plus grand volume de boues.

Il est difficile de donner un coût moyen, car celui-ci dépend beaucoup :

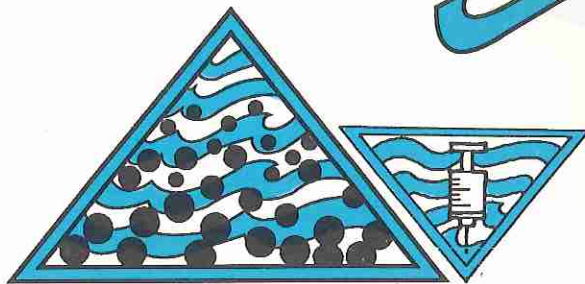
. des doses de réactifs nécessaires, elles-mêmes fonction de la qualité de l'effluent à traiter, du rendement d'élimination visé et du temps de fonctionnement nécessaire sur l'année (continue dans le cas de rejets en lacs, plusieurs mois par an dans le cas de certains rejets en rivières) ,

. du type de réactif choisi : sulfate ferreux, chlorosulfate ou chlorure ferrique, dont les prix sont très différents (investissements proportionnels à la facilité de leur emploi et donc aux coûts de manipulation sur place), sels d'aluminium ,

. de la distance de la station au lieu de production du réactif (les coûts de transport sont une part non négligeable des coûts de fonctionnement) ,

. de la filière existante de traitement des boues.





### 3.3 LES TRAITEMENTS CURATIFS DES PLANS D'EAU

#### QUELQUES PRELIMINAIRES

Améliorer la qualité d'un plan d'eau consiste par définition à modifier ce que l'on a pour obtenir ce que l'on veut ; encore faut-il que l'un et l'autre soient très exactement définis en termes objectifs, et selon un vocabulaire commun.

Un plan d'eau peut être utilisé à des fins diverses : approvisionnement en eau à usage domestique ou industriel, maintien d'un cheptel piscicole, sports aquatiques au contact plus ou moins direct de l'élément, cadre de vie, bien être et santé publique.

La qualité de l'eau requise diffère d'un usage à l'autre, et la première démarche du gestionnaire est de fixer les valeurs des paramètres correspondant à la qualité nécessaire, en réduisant d'éventuelles incompatibilités.

L'amélioration de la qualité du plan d'eau, en vue de satisfaire aux besoins de l'utilisateur, nécessite un traitement de l'écosystème lacustre qui se décompose en trois phases successives :

- éducation, information, incitation de la population d'Homo (prétendu) sapiens,
- traitement du bassin versant,
- traitement du plan d'eau proprement dit.

Seule la dernière phase sera examinée ici. La première, présentée sous une forme volontairement provoquante, est une oeuvre de longue haleine, mais sans aucun doute essentielle. La seconde a été évoquée aux chapitres précédents.

Si l'on s'en tient à cette succession logique, le traitement du plan d'eau ne devrait intervenir qu'en dernier lieu et avoir pour objectif, soit de déclencher, d'accélérer ou de parfaire le processus d'autorégénération, soit d'aménager au "moins mal" les conséquences du flux de pollution résiduel incontrôlé.

En fait, à cet ordre logique, se substitue bien souvent un ordre inverse d'urgence. Il n'en reste pas moins vrai que cette dernière phase est d'autant plus lourde et coûteuse que les deux premières n'ont pas été efficacement

réalisées, et que le pouvoir d'autorégénération du plan d'eau est faible.

Quel que soit le type de traitement envisagé, il lui faut être :

- adapté au problème limnologique\* posé,
- réalisable techniquement et financièrement,
- efficace pour l'effort technique et financier consenti,
- dépourvu de réactions indésirables et irréversibles de tout ou partie de l'écosystème lacustre et de ceux qui lui sont associés.

Ces deux dernières conditions n'étant pas forcément remplies, il est bon de prendre deux précautions :

- présenter le traitement comme expérimental,
- proposer un suivi post-opératoire des réactions de l'écosystème.

Les techniques de traitement mettent en oeuvre des procédés physiques et chimiques, des substances biocides et des manipulations biologiques.

#### PROCEDES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

##### Dragage

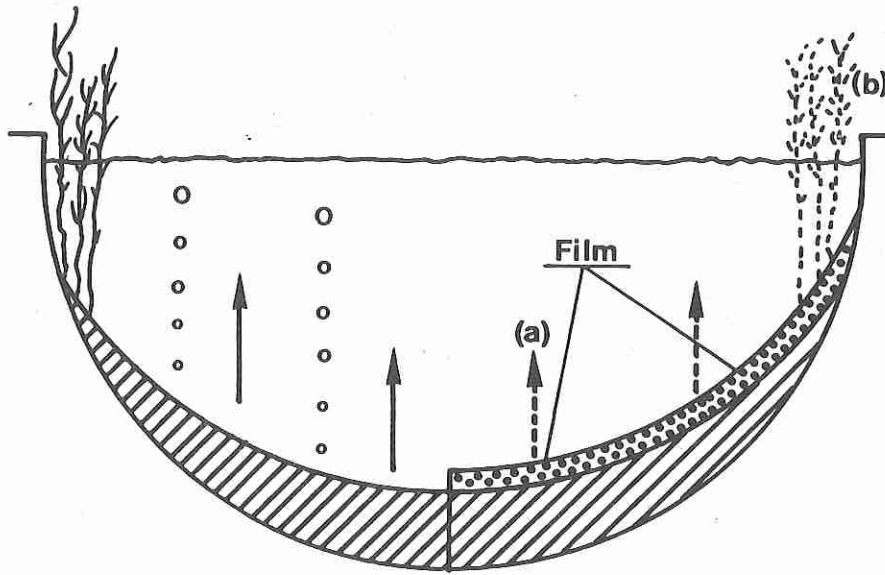
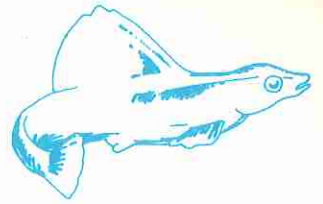
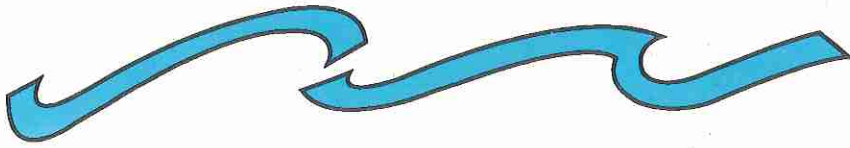
Le procédé vise à :

- rendre au plan d'eau sa profondeur d'origine (a),
- éliminer les végétaux fixés (b)
- éliminer un sédiment, riche en substances indésirables, dont les nutriments, susceptibles de migrer vers l'eau surnageante (c).

Deux précautions essentielles sont à prendre :

- éviter l'emploi d'un matériel susceptible de mettre en suspension une partie des sédiments. Les dragues pneumatiques sont préférables aux dragues à godets et même aux suceuses,
- disposer le sédiment dragué de manière à éviter des nuisances graves à l'environnement (retour direct des eaux au lac ou au réseau





hydrographique aval en particulier). Une déphosphatation pourra être éventuellement appliquée aux eaux de ressuyage. Une analyse des impacts est en tout cas indispensable.

#### Assèchement

- Les trois phases en sont :
  - . la vidange
  - . le maintien en assèchement
  - . le remplissage.

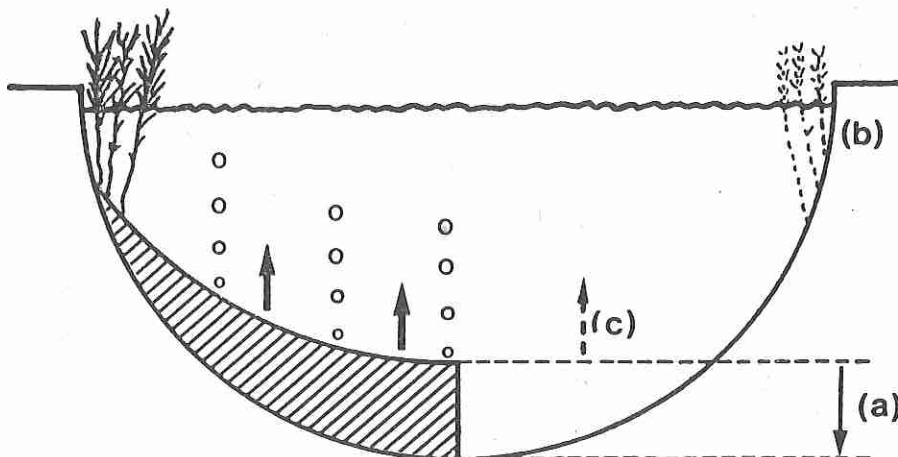
- Son but est de :
  - . combattre la migration des nutriments du sédiment vers l'eau surnageante, en consolidant par dessiccation l'interface eau/sédiment et en oxydant les sels ferreux (fixation du phosphore),

- . favoriser la minéralisation et l'oxydation de substances indésirables (matières organiques, sulfures) ,
- . augmenter la profondeur ,
- . éliminer les macrophytes.

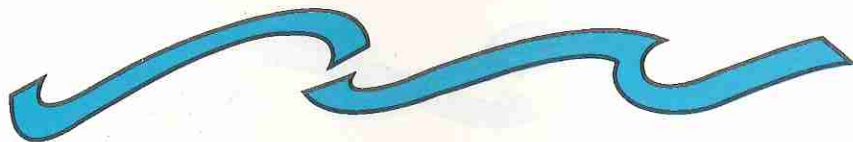
- Mais attention :
  - . l'utilisation de cette technique peut abaisser le niveau de la nappe phréatique et provoquer l'affaissement des berges et l'assèchement de puits
  - . les processus de minéralisation peuvent accroître la fertilité potentielle du sédiment.

#### Isolation

- Ses buts sont :
  - . combattre les migrations de substances indé-







sirables, dont les nutriments, du sédiment vers l'eau surnageante (a),  
· éliminer les macrophytes (b).

- Quelques remarques :

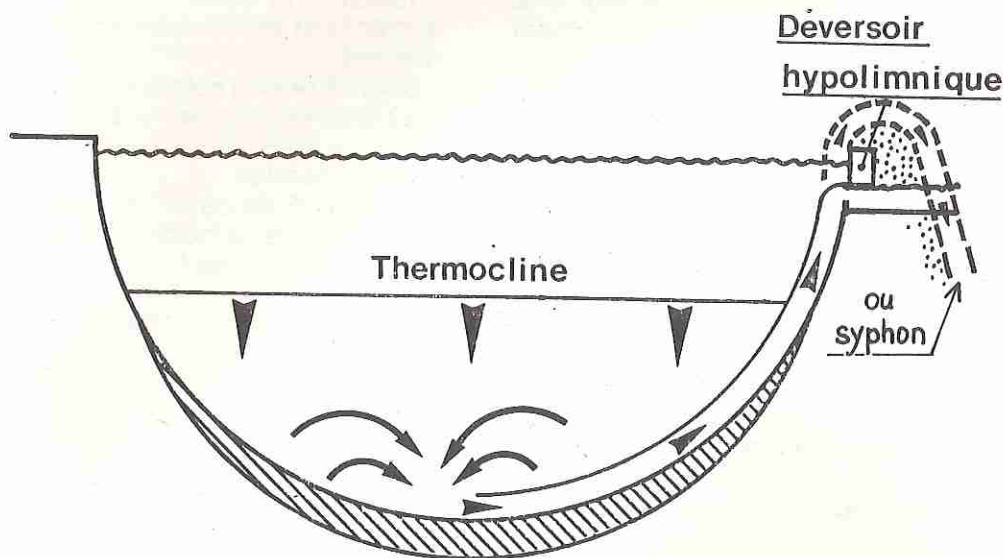
- le film utilisé peut être de continuité et d'épaisseur variables allant du film de polyéthylène à la couche de graviers (dépourvus de nutriments),
- dans le cas d'un film continu léger, mieux vaut prévoir des trous pour l'échappement éventuel des gaz de fermentation, ainsi qu'un lestage par du gravier,

· si le lac gèle suffisamment l'hiver, on peut étendre le film et le lest sur la glace et attendre le dégel.

### Décharges sélectives

Il s'agit d'éliminer les substances indésirables, dont les nutriments, contenues dans l'hypolimnion\*.

Mais l'efficacité de cette technique se mesure à la quantité de nutriments que l'on peut éliminer au cours de la période de stratification par rapport au stock restant dans le lac.



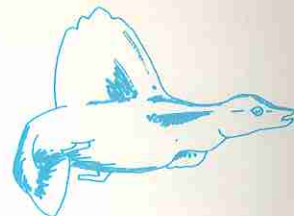
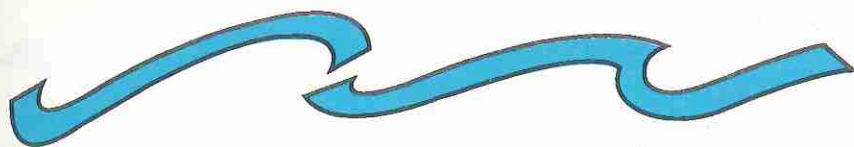
Il en résulte que :

- + seuls, les lacs présentant un hypolimnion individualisé et un temps de rétention relativement court sont susceptibles de réagir à ce traitement,
- + la prise d'eau doit être située impérativement au point le plus profond de la cuvette, là où les eaux ont leur densité maximale
- + la prise d'eau doit être construite de manière à effectuer un appel horizontal de l'eau, et

éviter l'aspiration des eaux susjacentes ,  
+ la décharge doit être munie d'un dispositif de vannes lui permettant de fonctionner selon un programme défini : en continu, par périodes, en chasse, en siphon, etc...

- La contrepartie de l'efficacité de la technique est la diminution de la masse d'eau froide hypolimnique\*, et ses conséquences sur la faune, les processus de minéralisation et la sta-





bilité physique de l'ensemble du plan d'eau ,  
- En aval de la décharge peuvent se manifester des nuisances dues, en particulier, à la présence de sulfures (toxicité, odeurs) et d'hydroxydes réduits de fer et de manganèse (précipitation dans les branchies des poissons après oxydation).

Ces nuisances sont limitées dans l'espace et peuvent être combattues, soit en faisant fonctionner la décharge avant que les substances nocives n'apparaissent dans l'hypolimnion, soit en oxydant l'eau déchargée (air, oxygène, perhydrol).

### Destratification

On poursuit un double but :

- disperser le plancton\* de manière à :
- + entraîner le phytoplancton dans des zones

obscurcs et à rendre la photosynthèse\* impossible,

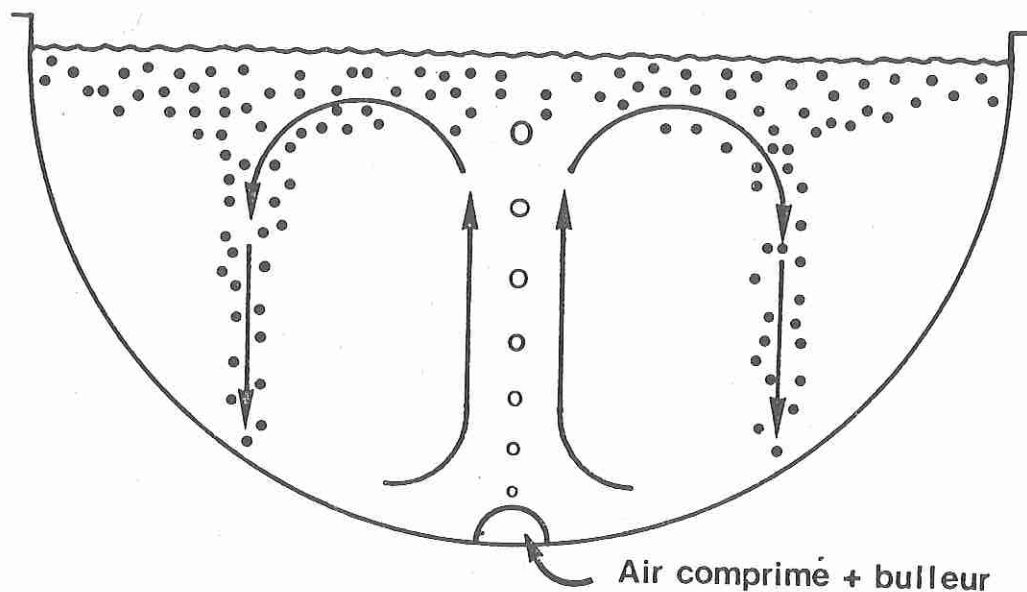
- + entraîner le phytoplancton dans les zones à pH plus bas, nuisible aux cyanophycées,
- + diminuer la compétitivité du phytoplancton flottant (cyanophycées),
- + augmenter l'efficacité du broutage du phyto par le zooplancton\*.

- oxygéner l'hypolimnion.

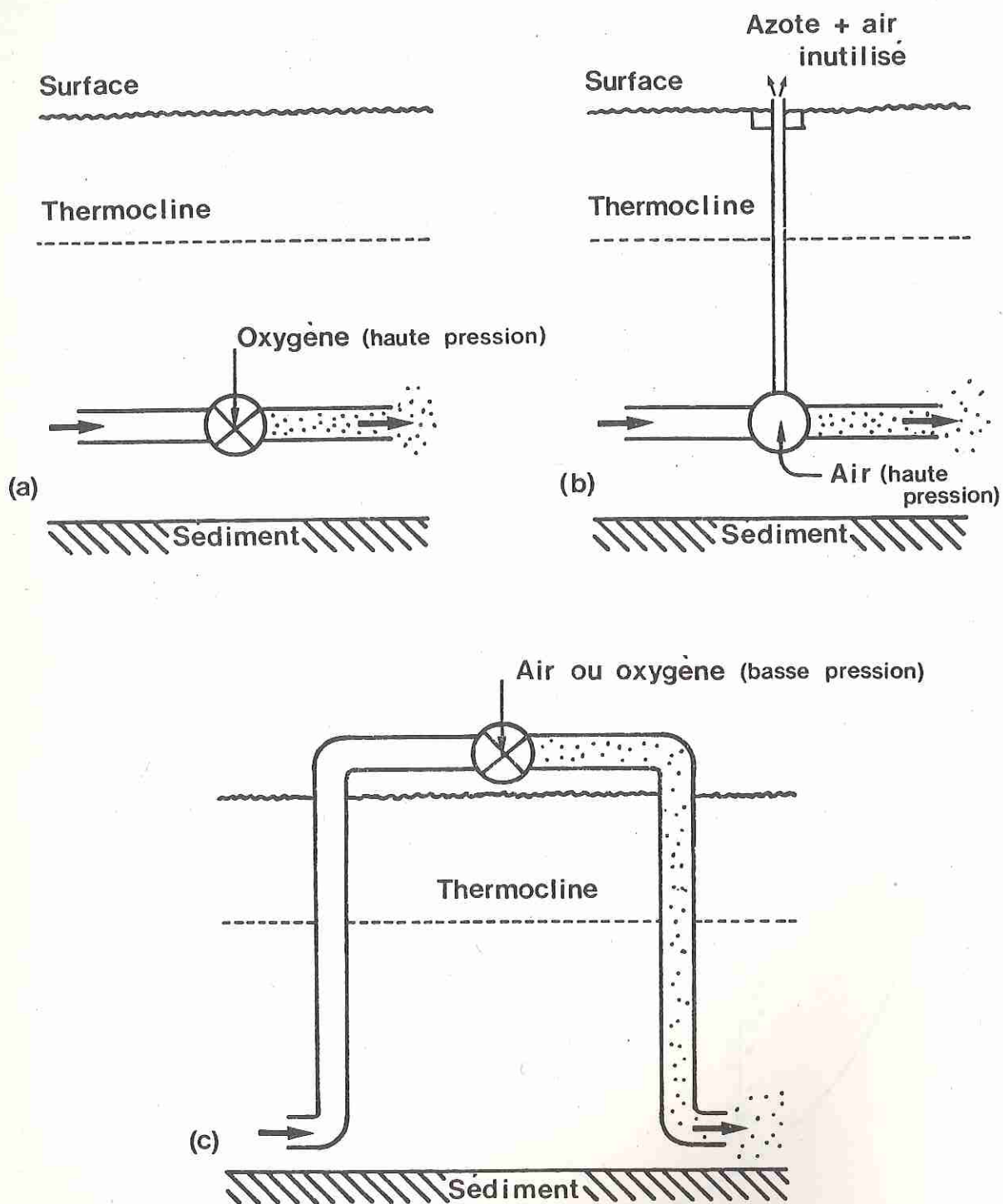
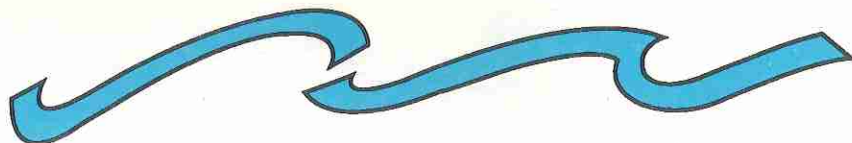
Et il faut prendre quelques précautions :

- cette technique ne doit pas être employée si l'hypolimnion contient de fortes concentrations de nutriments susceptibles d'accroître la fertilité potentielle de l'épilimnion de façon indésirable,

- la destratification accroît la température de l'hypolimnion, et peut nuire à la faune salmonicole.



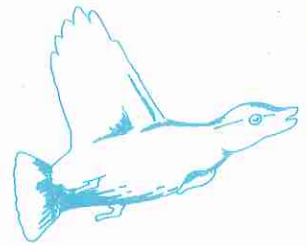
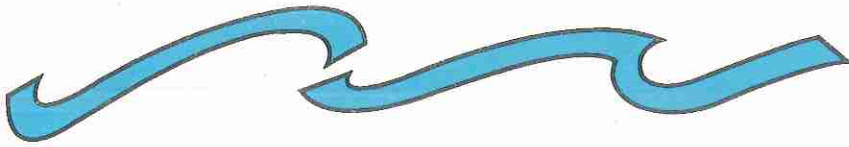




Principe de fonctionnement des aérateurs hypolimniques

- a) oxygène haute pression (+ pompe)
- b) air haute pression
- c) air oxygène basse pression (+ pompe)





### Aération et oxygénation hypolimnique

Il s'agit d'oxygéner l'hypolimnion sans perturber la stratification thermique d'où :

- oxydation des hydroxydes ferreux en hydroxydes ferriques et possibilité de fixation du phosphore,
- amélioration des conditions de milieu pour la faune salmonicole.

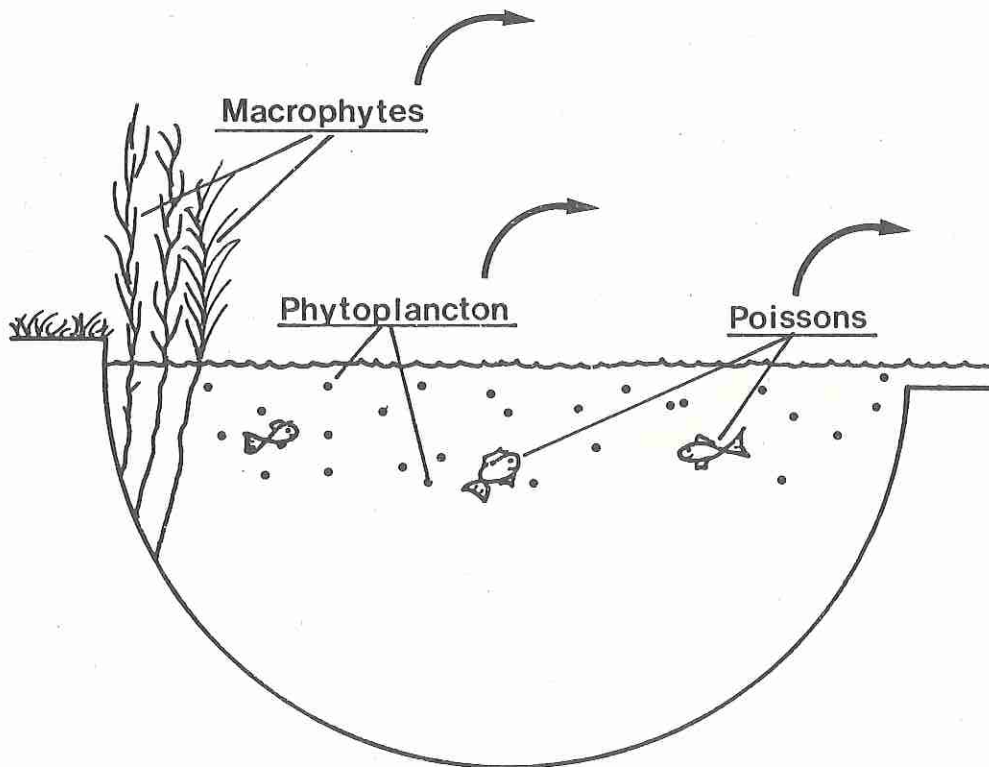
Mais attention :

- une mauvaise conception ou un sous-dimensionnement de l'appareillage peuvent rendre

la technique inefficace,

- l'oxygénation du fond du plan d'eau y stimule les processus de minéralisation, donc les risques de libération du phosphore.

Ces processus d'oxydation de la matière organique seraient même prioritaires sur ceux d'oxydation des hydroxydes ferreux. Finalement, les risques de libération du phosphore peuvent être plus grands que ceux de fixation en raison, soit d'une oxygénation insuffisante, soit de l'existence d'une quantité insuffisante de substances capables de fixer le phosphore, dont les hydroxydes de fer.



### Récolte de la biomasse\*

L'objectif est :

- d'éliminer des espèces indésirables (phytoplancton, macrophytes, poissons),
- de retirer du lac les nutriments correspondant à ces récoltes.

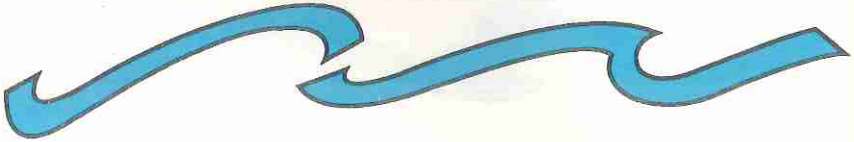
Mais attention :

- une mauvaise conduite de la récolte risque

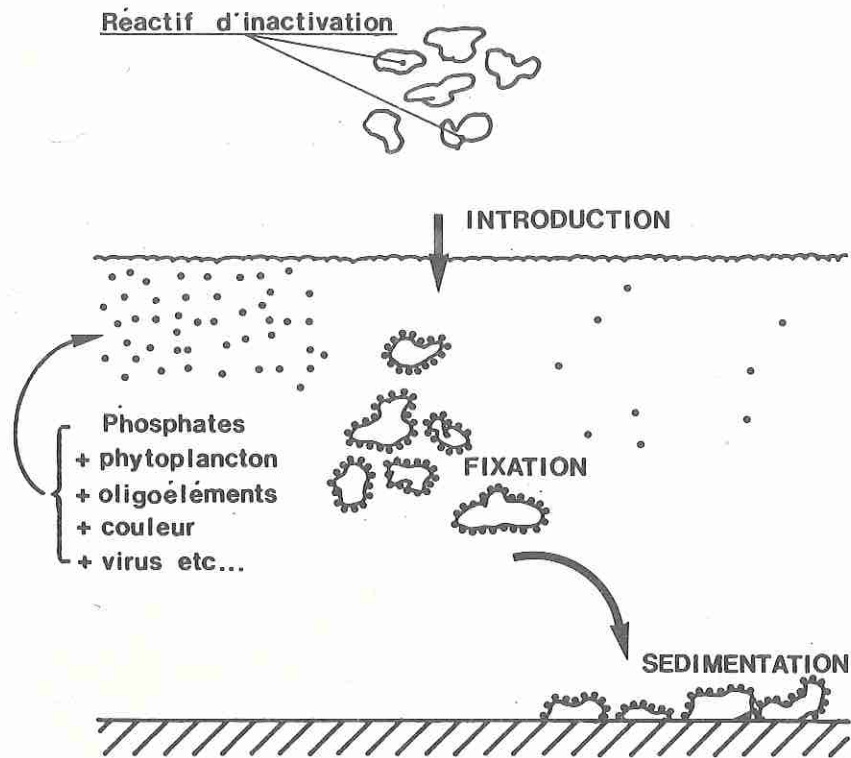
de stimuler la production, au lieu de la détruire,

- l'utilisation des produits récoltés peut poser plus de problèmes que la récolte elle-même,
- il est illusoire de vouloir modifier le bilan d'un nutriment par des récoltes,
- selon leur intensité les récoltes peuvent modifier le fonctionnement de l'écosystème et doivent être considérées comme des manipulations biologiques (voir plus loin).





**Inactivation**



Les buts poursuivis sont les suivants :

- fixer le phosphore de façon physico-chimique et le soustraire par précipitation à la consommation phytoplanctonique,
- précipiter le phytoplancton et d'autres substances plus ou moins désirables.

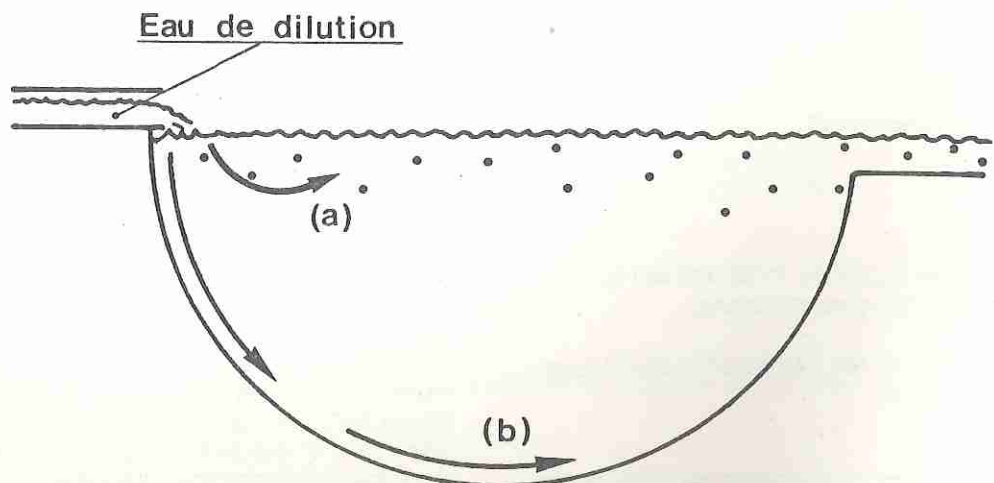
Quelques remarques :

- la durée de l'immobilisation du phosphore sédimenté dépend de la nature du réactif de précipitation utilisé, ainsi que des conditions physico-chimiques de l'hypolimnion. Mieux vaut

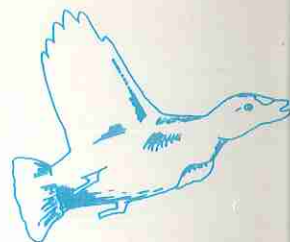
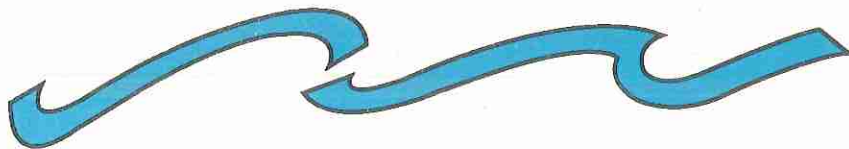
utiliser des composés de l'aluminium que du fer, - le dépôt au fond de la matière organique entraînée peut créer ou accentuer les problèmes de désoxygénation. Il est préférable d'agir avant la période de prolifération algale, plutôt que pendant.

**Dilution**

- diluer le phytoplancton (introduction épilimnique) (a),







- diluer les nutriments (introduction épi- ou hypolimnique),

- améliorer l'oxygénation du fond (introduction hypolimnique) (b).

Mais attention :

- la valeur du résultat dépend de la qualité et de la quantité d'eau introduite, mais aussi de son trajet dans le milieu récepteur,

- les échecs se soldent par l'équation :

eau "propre" + eau "sale" = eau "sale"

### Autres procédés

D'autres procédés physiques ou chimiques peuvent être utilisés, soit pour résoudre des problèmes très particuliers, soit à titre expérimental. Parmi ceux-ci :

- modification du niveau de la surface de manière à éliminer certaines espèces de macrophytes modifiant ainsi les populations piscicoles,

- épandage d'encres absorbant les longueurs d'ondes utilisées pour la photosynthèse,

- destruction d'organismes par lasers (macrophytes), explosifs (phytoplancton, poissons),

- traitement des sédiments en place par "labour" subaquatique, et introduction de réactifs provoquant la fixation du phosphore.

### SUBSTANCES BIOCIDES

Sont ainsi désignées, toutes les substances algicides, herbicides et piscicides, ayant pour but d'éliminer respectivement le phytoplancton\*, les macrophytes et les poissons indésirables. Cette élimination peut intervenir dans le cadre d'une manipulation biologique.

De tels moyens, qui traitent les ultimes conséquences du mal sans traiter le mal lui-même, doivent être réservés à des interventions rapides et puissantes, voire désespérées, ou intervenir comme complément de traitement. Il faut éviter de les utiliser de façon routinière, et avoir bien conscience des problèmes que posent :

- . l'extension de toxicité aussi bien dans le

temps (remanence) que dans l'espace (en aval, sur la nappe phréatique), ainsi qu'aux espèces non visées (directement ou par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire),

- . la dégradabilité des produits et la toxicité des produits de dégradation.

### Algicides

Bien que l'idéal soit de traiter le lac ou au moins l'épilimnion tout entier, le coût de l'opération en limite souvent l'étendue aux eaux littorales, ce qui rend les réussites aléatoires, et le traitement répétitif.

Les doses de réactif nécessaires doivent être déterminées d'après un essai en réduction, car des facteurs du milieu (pH, matière organique...) peuvent modifier l'activité du réactif.

### Herbicides

Les traitements sont en général annuels, et les résultats obtenus sont excellents. Mais il n'est pas rare de voir des macrophytes remplacés par une fleur d'eau phytoplanctonique, créant des nuisances encore plus indésirables.

### Piscicides

En plus du choix du produit, intervient le choix du mode d'utilisation :

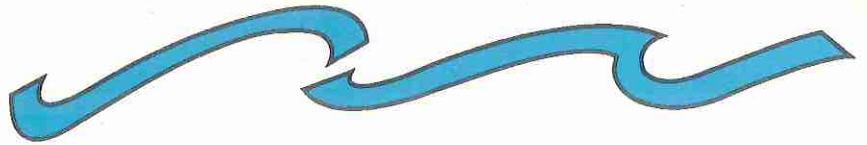
- . ne traiter que l'épilimnion, pour épargner les poissons de fond,
- . ne traiter qu'une baie,
- . utiliser un réactif sélectif,
- . éliminer une catégorie d'âge plus sensible,
- . détruire toute la population.

Après traitements et réintroduction des nouvelles espèces, les résultats sont bons pendant 1 ou 2 ans, guère plus. Les traitements sont plus délicats à réaliser en lacs eutrophes, et des essais en réduction sont nécessaires. Il ne faut pas oublier qu'une modification de la faune piscicole peut modifier l'écosystème par ses "sous-produits d'activité" que sont la consommation d'une proie, l'excrétion de nutriments, ou même la mise en suspension de sédiments.

### MANIPULATIONS BIOLOGIQUES

Sont ainsi désignés les procédés de traitement qui consistent à utiliser des phénomènes de consommation, de compétition et de parasitisme pathogène. La mise en oeuvre de tels





moyens demande que soient prises des précautions, au moins équivalentes à celles concernant l'emploi de substances biocides, visant notamment les extensions d'activité (dans le temps, dans l'espace, à l'égard d'espèces non visées) et les sous-produits d'activité (modifications indésirables du milieu). En intervenant sur les phénomènes de consommation et de compétition la pêche peut constituer une "manipulation biologique" très efficace.

- Phénomènes de consommation : les espèces indésirables du phytoplancton, de macrophytes ou de poissons peuvent être éliminées par des consommateurs spécifiques, introduits en quantité et de façon convenables. Il est indispensable que soient connues les relations de consommation des uns par rapport aux autres, mais également leurs relations de tous types avec les autres organismes et le milieu.

- Phénomènes de compétition :

+ Phytoplancton et macrophytes : la méthode consiste à introduire une espèce végétale capable de rentrer en compétition avec une autre, jugée indésirable, pour des facteurs indispensables (lumière, nutriments). La compétition peut se produire entre deux espèces de macrophytes ou entre le phytoplancton et les macrophytes.

+ Poissons : les interventions sont de deux sortes :

. stérilisation ou changement de sexe : permet de contrôler le développement d'une population,

. élevage sélectif : permet de créer et d'introduire des espèces compétitives.

- Phénomènes de parasitisme pathogène :

Des champignons, des bactéries et des virus peuvent être utilisés pour éliminer des espèces indésirables de phytoplancton et de macrophytes.

En ce qui concerne les poissons, le problème est inverse et consiste à détruire les agents pathogènes. Les traitements à base d'antibiotiques, de flocculants, de chlore sont plus efficaces dans les lacs oligotrophes que dans les lacs eutrophes, où des épidémies sont malheureusement plus fréquentes.

## L'UTILISATION AGRICOLE DE QUELQUES DECHETS DES TRAITEMENTS

Les divers produits extraits des lacs peuvent être utilisés à des fins agricoles assurant ainsi un recyclage de nature à perpétuer le fonctionnement autonome du système lac-bassin versant et ce de façon d'autant plus adéquate que les apports sont d'origine agricole. Les produits en question sont essentiellement les macrophytes, les sédiments et l'eau hypolimnique.

### Les macrophytes

Les végétaux aquatiques peuvent être compostés au même titre que les végétaux terrestres après qu'on les ait hachés et qu'on ait ramené le rapport carbone/azote (C/N) aux environs de 30 par addition de fumure azotée. Le compost de macrophytes présente l'avantage sur les autres composts d'être riche en oligo-éléments et de ne pas contenir de résidus de pesticides ni de métaux lourds (à vérifier quand même). Les utilisateurs de ce type de compost sont les mêmes que les utilisateurs de tourbes et d'autres types d'humus (arboriculteurs, maraîchers, pépiniéristes, champignonnistes...). A Taiwan le compost de paille de riz est utilisé tel quel pour faire fructifier des champignons comestibles (*Pleurotus ostreatus*).

### Les sédiments

Du fait de leur richesse en matière organique, en azote, en phosphore et en oligo-éléments, les sédiments peuvent être utilisés comme amendement notamment sur sol sableux, après un éventuel rééquilibrage de leur composition pour satisfaire aux besoins de l'utilisateur. De plus leur forte capacité d'absorption est de nature à réduire substantiellement les pertes des sols et par conséquent les charges externes en nutriments des plans d'eau situés en aval. Selon le type de culture et selon la teneur en eau du sédiment on peut l'épandre sur le sol, soit directement, soit par aspersion comme du lisier, soit en terrasses derrière des lignes de balles de paille si le terrain est en pente ; on peut aussi l'utiliser après épaissement derrière une digue ou dans un bassin de décantation. Il est bien évident que toute utilisation de type agricole doit être précédée d'une analyse des résidus de pesticides et des métaux lourds, qui ont de plus en plus tendance à contaminer les sédiments.



## L'eau hypolimnique

Qu'elles proviennent d'un pompage, d'un siphonnage ou d'une décharge hypolimnique, les eaux de l'hypolimnion, riches en azote, en phosphore et en substances organiques dissoutes peuvent être utilisées pour irriguer les terres agricoles. De plus on évite les problèmes qui risquent de résulter de la décharge directe dans l'émissaire de ces eaux de piètre qualité "aquatique". Comme pour les sédiments, des analyses préalables peuvent être nécessaires pour détecter toutes traces de pesticides et de métaux lourds.

## CONCLUSIONS

Le tableau ci-après résume les actions des diverses techniques décrites : les unes portent sur les causes de la pollution nutritionnelle, les autres, sur les conséquences que sont l'enrichissement en matière organique, la formation de sulfures, et l'installation d'espèces végétales et animales indésirables. Le choix est délicat : non seulement il n'y a pas de technique universelle, mais un traitement efficace peut nécessiter l'emploi judicieusement combiné de plusieurs d'entre elles.

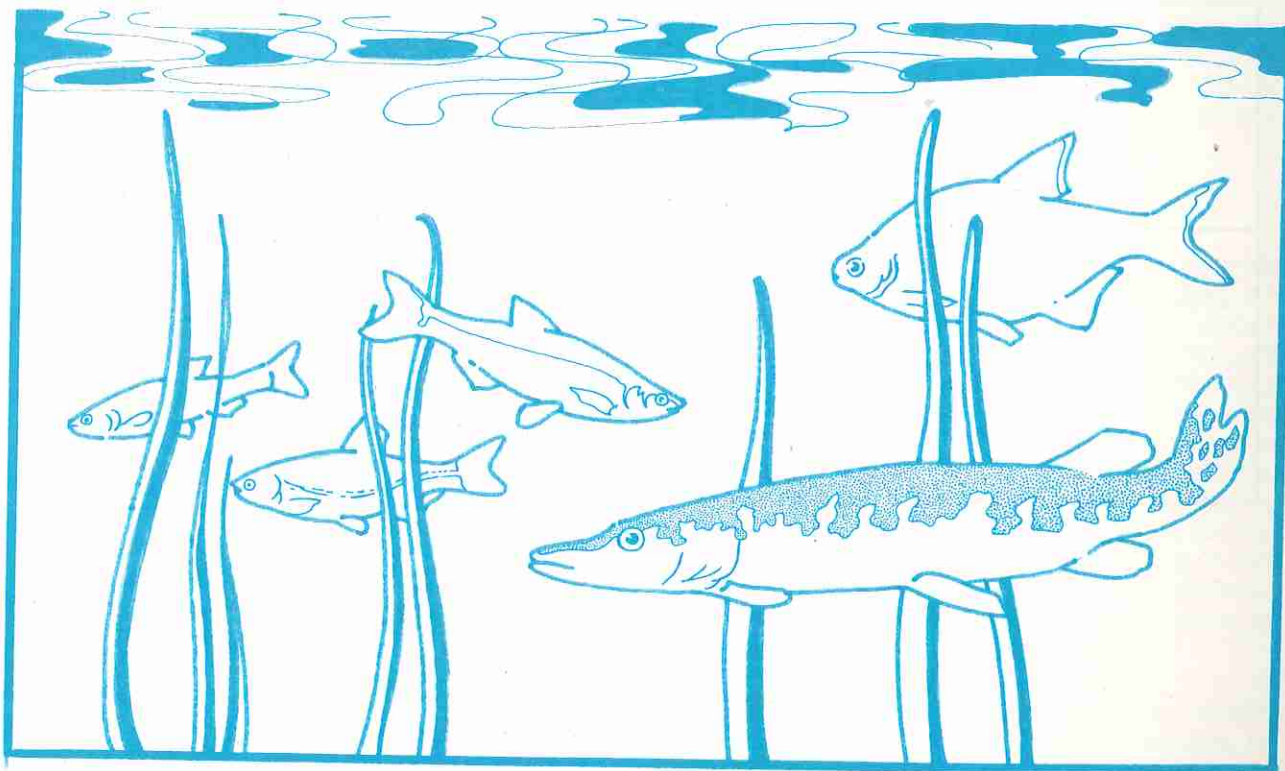
Le nombre important des techniques utilisables, la possibilité de les combiner, les progrès de la recherche dans ce domaine, ne doivent pas faire oublier les limites de leurs possibilités, qui dépendent de la taille du plan d'eau :

- Les grands plans d'eau (grands lacs, mers) dont la taille rend le traitement peu ou pas réalisable. Seules des mesures de prévention peuvent leur éviter de finir en dépotoirs.
- Les petits plans d'eau (étangs, petits lacs) peuvent être traités, mais risquent justement de devenir les jouets de l'industrie de la dépollution, et d'être traités comme des stations d'épuration.

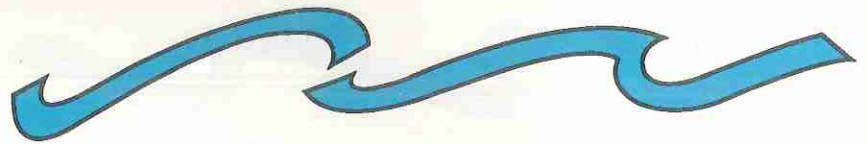
Comment éviter le plan d'eau-dépotoir ou le plan d'eau station d'épuration ?

En évitant la pollution, ou en la traitant le plus près possible de sa source, en tous cas sur le bassin versant.

Parmi les deux objectifs proposés au traitement des plans d'eau ne devrait donc plus subsister que le premier, à savoir : "déclencher, accélérer, ou parfaire les processus d'autorégénération".





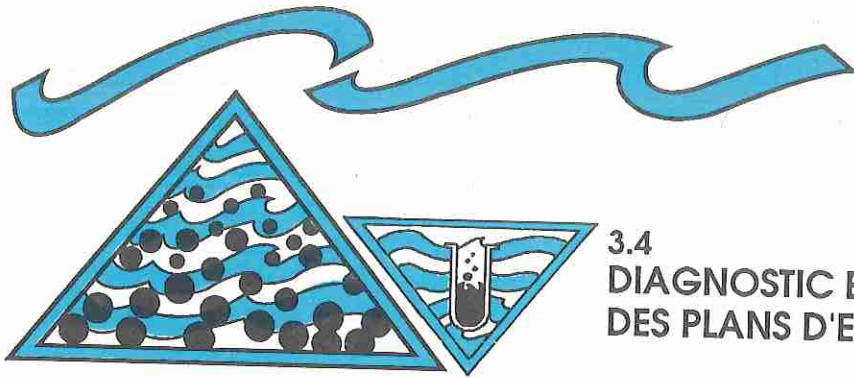


PROCEDES PHYSICO-CHEMIQUES

RESULTATS		INTERVENTIONS												
		Dragage	Assèchement	Isolation	Décharge sélective	Destratification	Aération hypolim.	Récoltes	Inactivation	Dilution	Variation de niveau	Labour du sédiment	Substances biocides	Manip. biologiques
Nutrients	Elimination	*			*			*		*				
	Immobilisation			*					*			*		
	Immobilisation oxydative		*			*	*		*	*		*		
Matière organique	Elimination	*						*		*				
	Immobilisation			*										
	Minéralisation		*			*	*			*		*		
Sulfures	Elimination	*			*					*				
	Immobilisation			*										
	Oxydation		*			*	*			*		*		
Elimination d'espèces indésirables	Phyto		*			*		*	*	*		*	*	
	Macrophytes	*	*	*				*			*	*	*	
	Poissons		*					*				*	*	
Stimulation d'espèces désirables	Phyto					*								*
	Macrophytes									*				*
	Poissons						*							*

Résumé des actions des divers traitements sur les conséquences immédiates de la pollution nutritionnelle.





### 3.4 DIAGNOSTIC ET SUIVI DE LA QUALITE DES PLANS D'EAU

L'étude des milieux lacustres relève de deux approches complémentaires. L'une est axée sur la connaissance de leur état (diagnostic). L'autre procède de la surveillance de leur évolution (suivi) et s'appuie obligatoirement sur la première.

Dans la pratique, la distinction entre les deux approches peut ne pas être très nette. C'est notamment le cas pour les petits plans d'eau. Il est bien évident que, sauf exception (suivi allégé), leur mise en oeuvre est le fruit d'agents sinon de laboratoires spécialisés et ce d'autant plus que les observations sont nombreuses et leur interprétation complexe.

#### DIAGNOSTIC

Il s'agit de décrire l'état général du lac, de mesurer en particulier son niveau trophique\* par ses causes et ses effets, pour aboutir éventuellement à des propositions de traitement.

De telles études ne devraient dépendre que des objectifs poursuivis. Elles sont malheureusement le plus souvent liées aux moyens disponibles. Il ne faut donc pas être trop systématique dans leur description. Mais pour fixer les idées, on peut tenter une présentation sommaire de deux méthodes, situées aux deux niveaux extrêmes : l'étude approfondie, la diagnose rapide.

#### Etude approfondie

Elle consiste en théorie à observer :

- sur un laps de temps suffisant, au minimum un cycle biologique annuel complet, si possible beaucoup plus pour amortir les effets des conditions circonstancielles et à des fréquences adaptées à la vitesse d'évolution du phénomène,
- en autant de verticales et de niveaux qu'il sera nécessaire pour obtenir une bonne représentativité du milieu,
- tous les paramètres, physicochimiques, biologiques, bactériologiques, de nature à intervenir sur la qualité du milieu et dans tous les

compartiments de l'écosystème : pleine eau, sédiments, éventuellement bassin versant. La liste de ces éléments, l'étude de leurs incidences sur la qualité du lac, la façon d'interpréter leur valeur sont du domaine des traités de limnologie\*. Une énumération, même sèche, des plus importants donnera une idée de la complexité du problème.

#### + Pleine eau

. Physicochimie : éléments à mesurer in situ (transparence, température, oxygène, pH, conductivité) ; fertilisants (phosphore -total et orthophosphates-, azote -total, organique, kjeldahl\*, ammoniacal, nitreux, nitrique-, silice, carbone -total, organique total et particulaire- ; matières organiques (DBO5\*, DCO\*, oxydabilité, carbone organique) ; alcalinité (carbonates et bicarbonates) ; divers éléments chimiques (chlorure, sodium, potassium, calcium, magnésium, sulfates, hydrogène sulfureux) ; micropolluants (fer, manganèse, hydrocarbures, pesticides, polychlorobiphényle -PCB-).

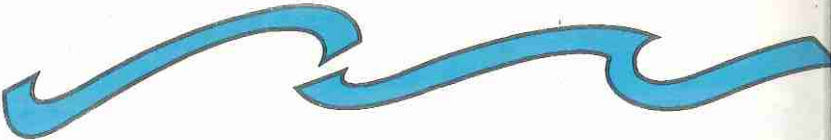
. Hydrobiologie : phytoplancton\* (pigments chlorophylliens - chlorophylle a, chlorophylle a active, chlorophylles b et c, phéophytine -production primaire, détermination, abondance, diversité) ; zooplancton\* (biomasse, biovolume, détermination, abondance, diversité) ; population piscicole.

#### + Sédiments

. Physicochimie : éléments à mesurer ou observer sur place (aspect, odeur, température, pH, rH, EH) ; phase solide (teneur en eau, concentration, granulométrie, perte au feu, carbone organique et minéral, azote kjeldahl, phosphore -total, organique, inorganique non apatitique-, matières humides, acides fulviques et humiques, carbonates, silice, alumine, fer, manganèse) ; eau interstitielle (pH, conductivité, carbone organique, azote -total, ammoniacal, nitreux, nitrique-, phosphore -total, orthophosphates-, bicarbonates, sulfates, chlorures, calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, manganèse).

. Hydrobiologie : ceinture végétale (macrophytes), invertébrés benthiques (insectes, oligochètes, mollusques).





En pratique, les moyens disponibles obligent à faire des choix, en fonction de critères divers, en particulier de la nature supposée des menaces qui pèsent sur le plan d'eau.

### **Diagnose rapide**

Ici on vise la possibilité d'intervention sur le plus grand nombre de plans d'eau possible selon une demande du type inventaire de qualité, donc un coût modéré.

On se limite à un premier niveau de connaissance, essentiellement descriptif (détection des problèmes, contrôle).

A ce propos, il nous paraît important de signaler une initiative locale intéressante. L'Agence de Bassin Rhône Méditerranée Corse a lancé, avec le concours des Services Régionaux d'Aménagement des Eaux (SRAE), un plan à long terme de "diagnose rapide" des plans d'eau de son bassin.

Elle utilise un protocole qui se limite à un cycle annuel et à trois interventions sur le terrain, aux périodes de l'année les plus caractéristiques de l'état des lacs considérés, s'intéresse simultanément aux sédiments et à la pleine eau; associe les examens hydrobiologiques aux analyses physicochimiques en faisant éventuellement appel à des techniques d'échantillonnage intégré, et vise, autant que faire se peut et encore partiellement à titre expérimental, une expression synthétique simplifiée des résultats, sous forme d'indices.

Bien qu'opérationnelle en l'état, des ajustements et approfondissements méthodologiques restent encore nécessaires à sa mise au point définitive et surtout à son extension à tous les types de plans d'eau.

### **SUIVI**

L'état du lac supposé connu, le suivi consiste à en apprécier l'évolution.

Il est dans tous les cas utile, quelle que soit l'importance du lac, pour assurer un minimum de surveillance, contrôler à intervalles réguliers son état et vérifier qu'aucune évolution pernicieuse n'est engagée. Sur ceux où des travaux de protection ont été réalisés, il est indispensable pour en tester les résultats et faire apparaître, le cas échéant, la nécessité de les compléter.

### **Suivi lourd**

L'exemple type est celui du Léman sur lequel

des observations systématiques et continues sont effectuées depuis 1957 sous l'égide de la "Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman" (CIPEL), par les laboratoires Suisses et Français. Cette surveillance très lourde malgré certains aménagements apportés, procède par programmes quinquennaux et s'accompagne de recherches sur des thèmes particuliers (cycle du phosphore, modélisation et analyse des données, surveillance des micropollutions pour le programme 1986-1990 en cours). Cette technique s'apparente en fait beaucoup plus à une diagnose approfondie renouvelée.

Le coût d'un tel dispositif (près de 3 millions de francs par an), adapté à la dimension du Léman et aux moyens financiers mobilisables, en fait évidemment un cas unique, non extrapolable aux autres lacs.

### **Suivi allégé**

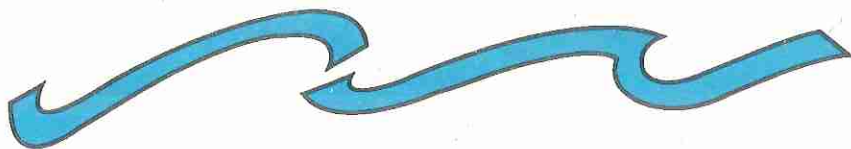
Une méthode en a été proposée pour le lac du Bourget. Elle est basée sur trois principes :

- l'observation d'un faible nombre de paramètres caractéristiques de l'état du lac et faciles à mesurer, à des fréquences adaptées à leur vitesse d'évolution. Les éléments retenus sont la transparence, l'oxygène, les nitrates, les phosphates et la chlorophylle. Ces mesures sont hebdomadaires en été pour la transparence, l'oxygène en surface et la chlorophylle ; mensuelles toute l'année pour les autres paramètres.

- leur transformation simple en une série "d'indices" annuels : moyenne de certaines mesures de transparence, des sursaturations en oxygène en surface, des sous saturation à la thermocline\* et au fond, de la chlorophylle d'été, teneurs en nitrates et en phosphates au moment du mélange hivernal. Cette technique met leur interprétation à la portée de non spécialistes ; une évolution dans un sens ou dans l'autre de ces indices annuels est sensée traduire celle de l'état du lac.

- l'utilisation de structures locales, en l'occurrence une cellule technique de deux agents relativement qualifiés, qui disposent de moyens de mesures adaptés et sous la tutelle matérielle et scientifique du Syndicat du Lac du Bourget et de la Direction Départementale de l'Agriculture et des Forêts de Savoie, lui consacrent une partie de leur temps. Son application depuis 1981 a donné les résultats résumés dans la figure ci-après qui font





apparaître une lente et régulière amélioration de l'état du lac.

Depuis 1988 la cellule technique du lac du Bourget suit parallèlement le lac d'Aiguebelette voisin.

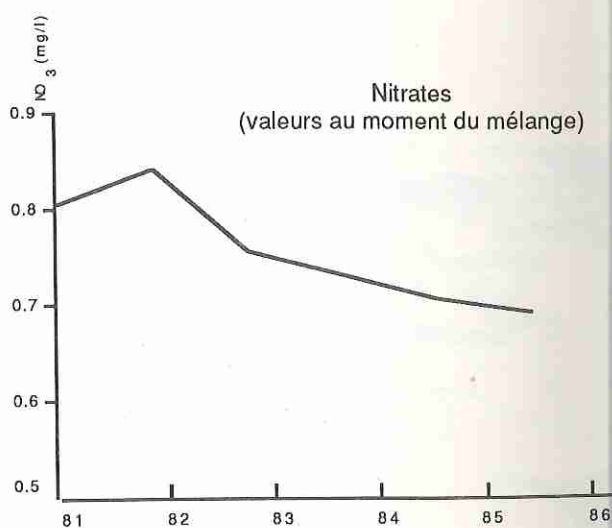
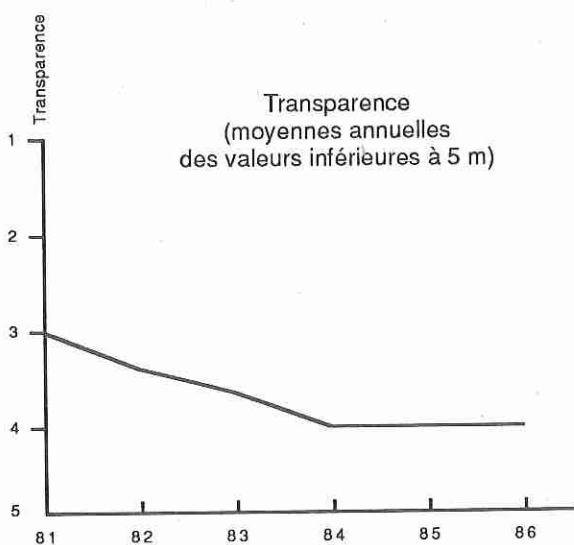
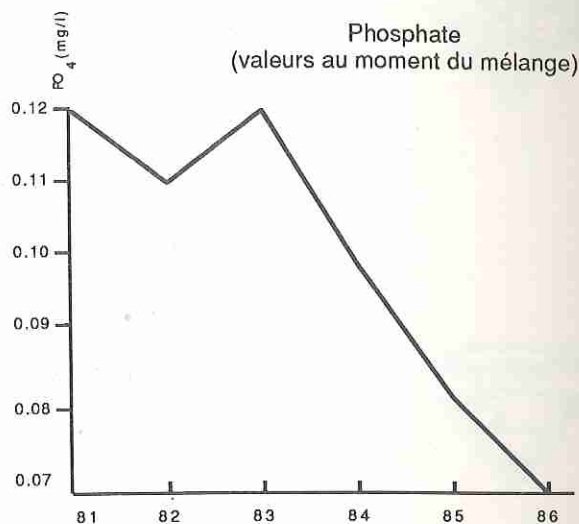
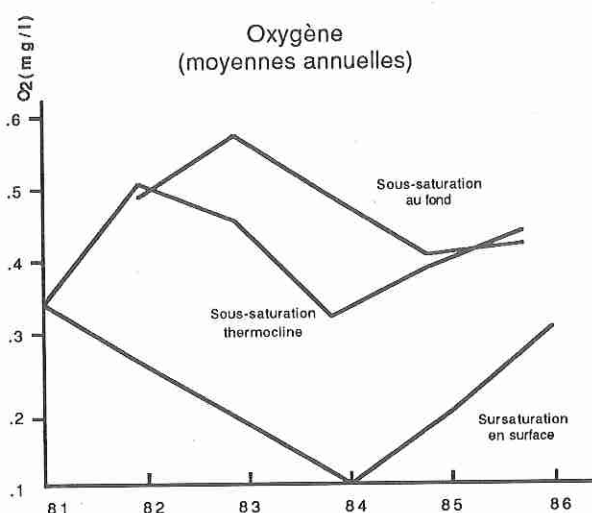
Mais il doit être possible, au prix d'un certain allègement du protocole et parfois du matériel, de former ailleurs des équipes équivalentes, dont la motivation doit être la qualité de base.

Il reste que la méthode demeure encore trop coûteuse et n'est applicable qu'aux lacs d'une certaine importance.

### Suivi - divers

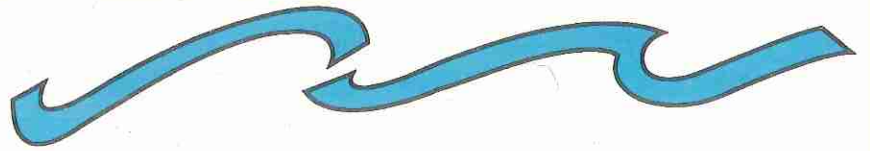
Toutes sortes d'autres méthodes peuvent être imaginées, compte-tenu des caractéristiques spécifiques du plan d'eau, des objectifs poursuivis et des moyens disponibles. On peut citer les observations annuelles reprises depuis peu sur le Lac d'Annecy à l'initiative du Syndicat du Lac (SICRLA) après une interruption de plusieurs années.

L'Agence de Bassin Rhône Méditerranée Corse a l'intention de renouveler à un rythme quinquennal la diagnose rapide évoquée plus haut, la transformant en une sorte de suivi.



Lac du Bourget - Suivi allégé.





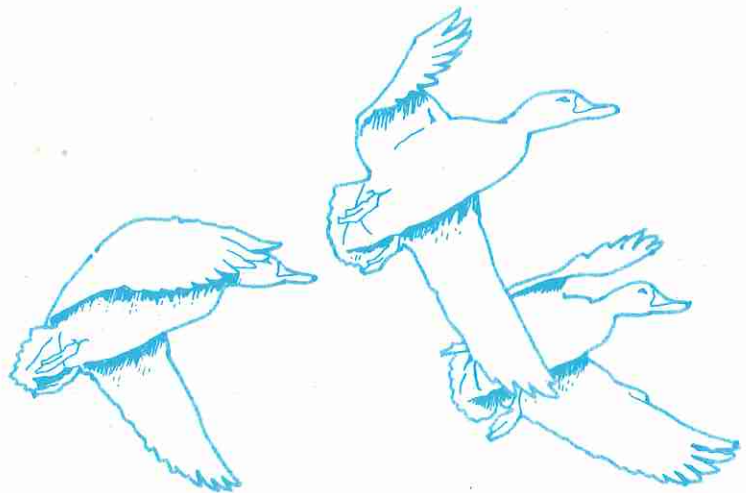
## LES PETITS PLANS D'EAU

Il existe enfin un grand nombre de plans d'eau sensibles, notamment ceux utilisés comme réservoirs d'eau potable ou comme bassins récréatifs, mais dont l'importance ne justifie l'application d'aucun des protocoles examinés plus haut, ni pour leur diagnostic, ni pour leur suivi. On s'en tient, et encore pas toujours, à des analyses d'eau sporadiques pour confirmer leur potabilité ou le respect des normes bactériologiques.

L'attention des gestionnaires doit être attirée sur la nécessité d'une auscultation à intervalles réguliers (3 à 5 ans) selon un protocole spécifique à chacun, mais qui pourrait être proche de celui de la diagnose rapide. Il pourra se limiter cependant à deux ou même une seule

campagne en période d'utilisation intense. On incluerait au programme, outre des éléments concernant la qualité de l'eau d'alimentation (pollution organique et bactériologique) et la qualité du sédiment prélevé au fond du plan d'eau, des descripteurs de l'évolution biologique : par exemple cartographie évolutive de la ceinture végétale et des herbiers, étude de la structure d'une population de poissons (par exemple l'espèce dominante) et son état sanitaire.

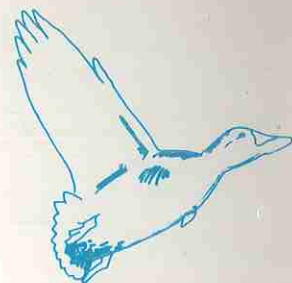
Bien évidemment, en cas de phénomène anormal, des échantillons d'eau, d'algues surnageantes ou de poissons malades devront être acheminés rapidement (et en ambiance réfrigérée) aux laboratoires spécialisés (SRAE, CEMAGREF, Ecole Nationale Vétérinaire, etc).



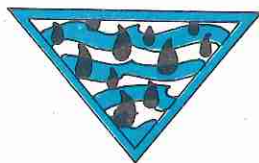




## Chapitre 4 :

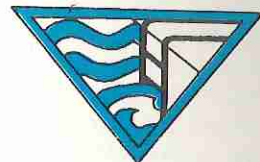


# QUELQUES USAGES DES PLANS D'EAU



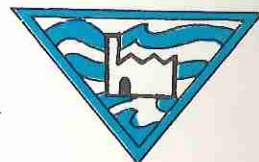
### 4.1- La diversité des usages

### 4.2- Principes d'aménagement et de gestion des petits plans d'eau



### 4.3- Les retenues électriques en milieu Alpin

### 4.4- Les aménagements hydro-élec- triques au fil de l'eau : l'exemple du Rhône



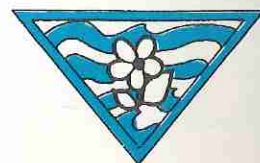
### 4.5- Réserves d'eau potable

### 4.6- Les lacs de haute montagne

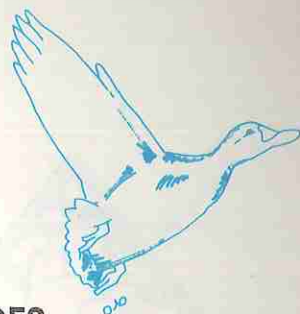
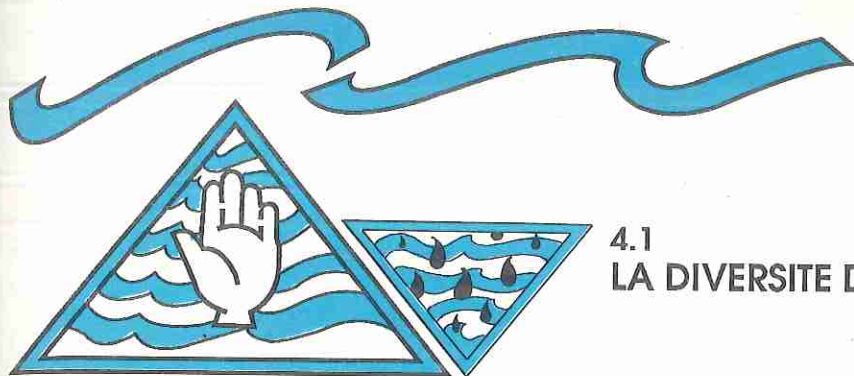


### 4.7- Quelques aspects piscicoles

### 4.8- Activité autour et sur un grand plan d'eau. Protection de son environnement (un exemple : le Lac du Bourget )







#### 4.1 LA DIVERSITE DES USAGES

La finalité d'un plan d'eau est une notion neuve. A l'origine existaient les lacs naturels. Parce que la densité de population était faible, ses besoins limités, ses loisirs inexistants, l'homme avait peu d'influence sur leur évolution et il n'existait pas de conflit d'utilisation.

Trois phénomènes relativement récents ont modifié la situation du tout au tout.

**L'urbanisation et l'industrialisation** ont multiplié et concentré les pollutions. L'homme, à l'origine de cette agression, ne peut plus se contenter de laisser faire. Il doit intervenir pour protéger, voire restaurer le milieu naturel, et les lacs en particulier.

**De nouveaux besoins économiques** sont apparus entraînant la création de retenues artificielles à finalité spécifique : hydroélectricité, irrigation, eau potable, régulation des cours d'eau (écrêtement des crues ou soutien des étiages). Puis plus récemment des plans d'eau liés à l'assainissement des agglomérations : lagunes de traitement des eaux usées,

retenues d'eaux pluviales ; ou à leur nourriture : étangs de pisciculture.

Vient enfin **le besoin de loisirs**, certains parlent de civilisation, dont le plan d'eau, succédané local de la mer, est devenu un des facteurs essentiels avec ses trois composantes : le site, pour le plaisir de l'oeil et le repos de l'esprit ; la plage pour baignade, bronzage et activités accessoires ; l'eau et les activités nautiques sous toutes leurs formes. N'ayons garde d'oublier la pêche de loisir qu'on retrouve aux trois niveaux. Et **l'écologie**, dans son acception de sauvegarde de la nature : pour les plans d'eau à finalité économique, elle n'est en général qu'une préoccupation marginale ; elle est une des composantes essentielles de ceux dont les loisirs sont l'objectif principal.

Il serait facile de montrer, et chacun l'a sûrement vécu, que ces divers usages sont antinomiques. Il est non moins évident que tout, des nécessités de la rentabilité économique aux pressions sociales, pousse à les réunir sur un même plan d'eau.







## 4.2 PRINCIPES D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES PETITS PLANS D'EAU A VOCATION TOURISTIQUE

### LE DIFFICILE MOMENT DU CHOIX

L'intérêt économique, quelquefois surestimé, de l'aménagement d'un plan d'eau près d'une agglomération affirmant sa vocation touristique, incite un nombre sans cesse croissant de collectivités à réaliser leur projet. Or les choix possibles sont très nombreux, par exemple la simple baignade aménagée, le "miroir" recomposant le paysage urbain, la base sportive ou, à l'extrême, le parc de loisirs. Certaines difficultés naissent souvent du simple fait d'une mauvaise définition de l'objectif recherché, conduisant ensuite à négliger l'environnement général, l'insertion de ce pôle attractif dans le paysage existant, son équipement, son urbanisation ultérieure.

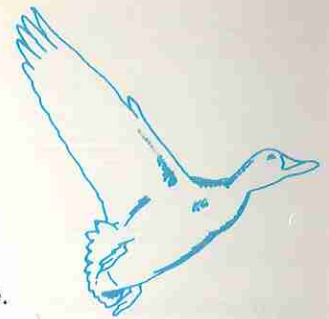
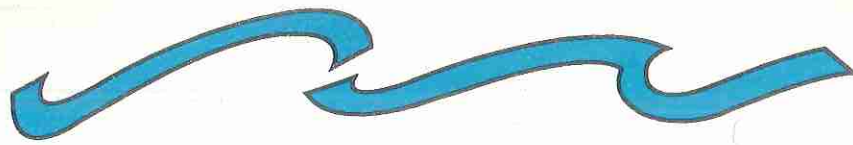
Nous savons que des contraintes diverses sont liées à l'utilisation des eaux (irrigation, énergie), à leur qualité (objectifs de qualité, rejets autorisés, évacuation des crues et transport solide...), à leur statut et celui des rives (domaine public ou privé, voiries et servitudes, risques de spéculations foncières...).

De plus, il faut tenir compte du coût de l'entretien de ce nouveau milieu, dont le "gestionnaire" ignore trop souvent qu'il possède une activité biologique, et donc des réactions organiques, jugées indésirables, dès lors qu'elles compromettent un ou plusieurs usages. Il est difficile de rendre compte de la diversité des plans d'eau utilisables pour les loisirs.

Type	Description physique	Origine et qualité de l'eau	Valeur biologique	Valeur touristique	Problèmes spécifiques
1 Retenue en rivière	Seuils de 2 à 12 m sur lit naturel	Débit et qualité de la rivière	Proche de celle de la rivière.	Bonne mais activités réduites.	Obstacle pour poissons Engrèvement et crues Coût élevé. Statut foncier.
2 Sites collinaires (type irrigation)	Petit réservoir sur pente modérée : digue en terre, profil en V.	Ruissellement. Qualité variable dans le temps	Assez faible, sauf pour quelques espèces Berges stériles.	Plutôt faible Pêche surtout.	Marnage et tenue des berges. Evacuation des crues. Esthétique.
3 Sites alluvionnaires (lit majeur ou plaine)	Anciennes sablières, ballastières et emprises en bordure de fleuve.	Nappe phréatique sauf en forte crue Qualité bonne, stable	Variable selon l'âge, colmatage, T°, gestion spécifique.	Usages variés mais aspect physique à remodeler.	Berges à pic = baignade dangereuse. Aspect minéral.
4 Bras morts, îles, noues.	Milieus marginaux des grands cours d'eau.	Eau du fleuve Turbidité, T°.	Grande. Zones à protéger.	Grande mais pour une faible densité. Pêche, repos.	Zone naturelle à gestion douce. Colmatage à surveiller, faucardage.
5 Etangs de plaine	Type classique. Peu profond	Variable, mais dominante "drainage"	Bonne à excellente selon gestion Pisciculture surtout	Bonne à forte selon surface et environnement	Propriété. Entretien et contrôle des végétaux. Curage périodique
6 Etangs particuliers	1. Type plat, sur marais ou tourbière 2. Etang en forêt	1. Drainage/pluvial 2. Eau acide, humus	1. Bonne à forte 2. Faible, pauvre	1. Faible, problème d'accès 2. Bonne (cadre)	Berges instables, comblement rapide et gestion difficile (1 et 2)
<u>Pour mémoire</u>					
7 - lacs d'altitude	Glacières, tourbières volcaniques	Eaux pures	Oligotrophie	Forte sauf nautisme	Isolement, gel, site classé
8 - Grands lacs	Type alpin ou côtier	Variable (Cf. exemples traités par ailleurs)	Forte, sous exploitée	Grande (Cf. chapitre spécial)	Réglementation, suivi
9 - Grandes retenues	Grands volumes, profonds	Fonctionnement lac			

Principaux types de plans d'eau à vocation touristique





Dans ce tableau, qui dresse une typologie forcément caricaturale des plans d'eau utilisables pour les loisirs, on voit apparaître, pour chaque modèle, les propriétés les plus caractéristiques.

L'origine de l'eau et son temps de séjour dans le plan d'eau conditionnent pour une bonne part à la fois le fonctionnement et les usages possibles du milieu. Malgré leur diversité évidente, tous les petits plans d'eau s'éloignent du modèle "lac" par un fait essentiel qui est l'homogénéité physico-chimique de la masse de l'eau (absence de stratification), même si la composition de l'eau peut connaître des fluctuations saisonnières importantes.

En pratique le gestionnaire d'un petit plan d'eau, disons de moins de 10 ha, doit prendre conscience du principe de fragilité lié essentiellement à une faible inertie physico-chimique. Comme l'aquariophile il remarquera que les phénomènes sont toujours plus rapides et plus aigus dans les petits bassins que dans les grands ; et les remèdes curatifs nécessairement plus brutaux. D'où l'impérieuse nécessité de bien maîtriser, dès la conception du projet, les paramètres dominants.

Nous tentons donc ici, partant des phénomènes généraux déjà évoqués précédemment et applicables à tous les plans d'eau, de faire apparaître les particularités liées à leur faible superficie et en dégager les règles d'aménagement et de gestion adaptées aux petits plans d'eau de loisirs.

#### COMMENT ABORDER LOGIQUEMENT LA REFLEXION ?

L'aménagement d'un plan d'eau pour les loisirs commence impérativement par une bonne estimation de ses potentialités, par la connaissance de sa topographie (forme, pente des berges et du fond, bathymétrie...), de la position géographique (géologie, exposition, vents dominants...) et de l'origine et de la qualité des eaux. De ces facteurs physiques primordiaux dépendra, non seulement le fonctionnement écologique, mais aussi la qualité des usages de loisirs pratiqués et de leur pérennité. Un seul exemple suffit : la croissance de la ceinture végétale aquatique et semi-aquatique, conditionnant la pratique des sports nautiques, est bien évidemment sous la dépendance des conditions de milieu

offertes par chaque site.

#### Bien sûr certains éléments physico-chimiques engendrés par les trois éléments AIR-EAU-SOLEIL ne peuvent être maîtrisés :

- La température, ou plutôt le cycle thermique annuel, est la résultante des actions du climat, de l'origine de l'eau, et de l'environnement du plan d'eau. Les pièces d'eau volumineuses, profondes, ombragées ou alimentées par des eaux souterraines, montreront la plus grande inertie thermique, ce qui est un caractère biologiquement favorable.

La température maximale moyenne du mois le plus chaud est un critère utilisé, par exemple pour définir les aptitudes piscicoles du plan d'eau : 20°C est la limite tolérée par les salmonidés.

Les plus grands froids n'ont que peu d'incidence biologique.

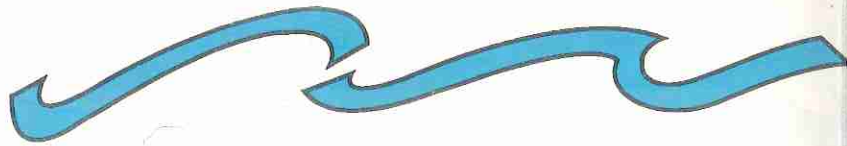
L'ensoleillement et l'alimentation en eau restent donc les deux seuls leviers sur lesquels on peut espérer agir, d'ailleurs très faiblement.

- L'oxygène dissous est le gaz absolument nécessaire à la vie. Il provient surtout de l'air, et pour une part variable de l'activité photosynthétique\* des végétaux aquatiques pendant le jour. En se réchauffant, les eaux perdent dans l'atmosphère leur oxygène, au moment même où les êtres vivants voient leur métabolisme et leurs besoins augmenter. Cette situation atteint son point critique en fin de nuit, quand tous les organismes (végétaux compris) ont additionné leurs consommations d'oxygène.

Cette situation de sous-saturation (déficit par rapport à l'équilibre Air-Eau) est limitante pour certains organismes (cas des salmonidés en-dessous de 7 mg d'oxygène par litre). Par contre, une sursaturation modérée (jusqu'à 150 % de la saturation) est habituelle en été, et bien tolérée.

- Le pH et le gaz carbonique sont souvent liés dans l'évolution générale de la réaction acide ou basique de l'eau, qui ne joue qu'un rôle biologique limité au voisinage de la neutralité (6 à 9). Il existe cependant des milieux naturellement acides, généralement en régions cristallines, qui nécessitent un amendement basique (chaulage) pour retrouver une production piscicole satisfaisante.





### **L'influence du bassin versant est parfois décisive**

Parmi la multitude d'éléments chimiques introduits par l'environnement immédiat dans le plan d'eau, il en est quelques-uns sur lesquels le gestionnaire doit porter toute son attention :

- La turbidité de l'eau est l'exemple même du paramètre polymorphe. La prévision est très hasardeuse, car la turbidité dépend de bien des facteurs : matières entraînées par les eaux d'alimentation, matières humiques, algues planctoniques, érosion des berges, brassage de fond par les bateaux, les baigneurs, etc...

La turbidité induit à son tour plusieurs phénomènes plus ou moins désirables : aspect louche, dépôts sur les plages et au fond, colmatage des supports biologiques, réduction de la photosynthèse...

La prévention importe en la matière beaucoup plus que les remèdes, qui sont peu nombreux : ainsi, les plans d'eau en dérivation sont plus épargnés que ceux établis sur un cours d'eau, de même, le décapage préalable des sols meubles, la consolidation mécanique des berges ou leur végétalisation intense se conçoivent plus aisément lors d'une création, plutôt que dans le cas d'un réaménagement.

- Les sels dissous dans l'eau ont des rôles plus ou moins importants : les éléments nutritifs, par les phénomènes biologiques qu'ils engendrent, par exemple sur la flore algale, sont fondamentaux. A des teneurs raisonnables, Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et Phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) entretiennent une bonne production, mais on ne doit pas trouver de teneurs significatives en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) ou sels ammoniacaux ( $\text{NH}_4^+$ ), sinon à suspecter une pollution organique. Les sels de calcium jouent un double rôle de régulateurs du pH et d'éléments de croissance, des poissons notamment : des teneurs de 120 à 160 mg  $\text{Ca}_2^+$ /l constituent les bornes optimales. Les autres éléments comme les chlorures, les sulfates, la silice ne constituent pas, sauf contexte géologique particulier, des facteurs limitants.

- La matière organique, en solution ou en suspension, a deux origines principales : les apports du bassin versant et les substances organiques incorporées ou non au vivant, qui sont produites dans le plan d'eau. Elle se mesure couramment par la DBO5\* (valeurs habituelles 3 à 10 mg/l). Actuellement la mesure du Carbone Organique Total (COT)

tend à être systématiquement couplée à celle de la DBO5.

Une image globale de la minéralisation de l'eau peut être obtenue par la mesure de la conductivité électrique. En outre, comme paramètre évoluant directement avec la dilution des sels dissous, il peut être, dans certains cas, un révélateur de l'intensité des phénomènes d'évaporation-concentration.

Cette rapide revue doit s'achever en orientant le gestionnaire vers les normes de qualité, établies en particulier pour les eaux de baignade, qui imposent le contrôle périodique des paramètres :

- microbiologie, bactériologie : germes fécaux (salmonelles et entérovirus en zone suspecte) ;
- substances indésirables : huiles, détergents, phénols, hydrocarbures, colorants ;
- micropolluants toxiques (en cas de suspicion) : pesticides, métaux lourds, cyanures, P.C.B.

Pour ce dernier groupe, dont la recherche analytique est difficile et coûteuse, les tests biologiques de toxicité (sur daphnie ou poisson) sont un moyen pratique de dépistage.

### **L'AMENAGEMENT DU MILIEU VIVANT**

Un plan d'eau, même très banal, est un écosystème aquatique complet. C'est-à-dire qu'il est le siège d'un réseau complexe de relations établies entre les espèces vivantes et le milieu physique. Rappelons que ces êtres vivants appartiennent à six grandes communautés : bactérienne, végétale et animale : zooplancton, benthos, et animaux supérieurs.

Il est clair que dans le cadre de l'aménagement rationnel des plans d'eau de plaisance, on se trouvera surtout confronté aux problèmes d'entretien des colonies animales et végétales de taille macroscopique.

Le niveau microscopique n'est certes pas à négliger, mais sa gestion devient une affaire de spécialiste, et elle ne peut être abordée dans ce chapitre.

### **FLORE AQUATIQUE : UN BIEN OU UN FLEAU**

En termes écologiques, le maillon essentiel que représentent les végétaux dans l'eau est évident : producteurs autotrophes\*, consommateurs de sels dissous et minéralisés dans le substratum, support biologique et nourriture



pour une infinité d'organismes.

Pour l'usager, ces aspects sont largement sous-estimés au profit d'une typologie plus pragmatique :

- les algues microscopiques qui nourrissent les poissons mais troublent l'eau et la rendent visqueuse,
- les algues filamenteuses qui sont indésirables tant sur le fond qu'en surface,
- les herbiers de macrophytes décoratifs mais envahissants.

Finalement, il s'agit bien d'une perception axée sur les conflits d'usage (baignade contre pêche par exemple), d'où interprétation erronée de prétendus "déséquilibres" biologiques.

La flore aquatique, notamment la microflore,

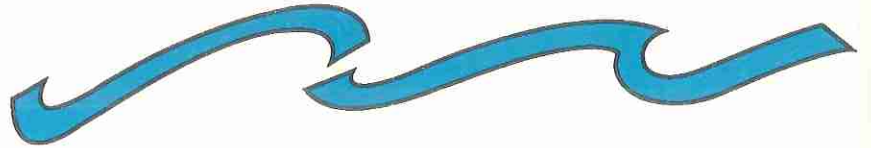
et les algues, sont d'excellents indicateurs de l'état de trophie\* du milieu. Par exemple, la classification de Wurtz (1958) reconnaît une succession des groupes dominants du phytoplancton depuis les étangs oligotrophes (eaux limpides) jusqu'aux étangs les plus eutrophes du type : Desmidiées - Chrysomonadines - Diatomées - Périдиниens - Chlorococcales - Cyanophycées. Ces derniers groupes sont responsables des "fleurs d'eau" dans les milieux à forte charge organique. Il s'agit donc bien là d'un élément de diagnostic essentiel.

Les macrophytes se soumettent plus volontiers au jardinage dans la mesure où l'on respecte leurs préférences écologiques, qui sont souvent liés à la hauteur d'eau d'où leur zonation typique sur les rives des plans d'eau (voir tableau ci-dessous).

Espèces	Hauteur d'eau	Intérêt comme support biologique	Croissance et mode de dissémination		Intérêt décoratif	Remarques
<b>Zone des laiches</b> Iris jaune(1), Carex (3) Joncs (2), Plantain (4)	0 à 25 cm	Faible +	Moyenne ++	Bouturage du rhizome ou graines (4)	Bon à excellent (1 et 2)	Excellente protection des berges notamment iris. Planter en petits massifs isolés
<b>Zone des thyphas</b> Rubaniers (1), Scirpe (2) Roseaux (3), Typha (4) Sagittaire (5)	25 à 70 cm	Faible sauf 3, 4, 5 (++)	+++ (3) ++ (1,4) + (2,5)	Rhizome sauf : boutures (3) graines (5)	Bon à excellent (2, 4)	Massifs fixant vite la vase (1,3) Atteint 2,5 à 3 m (3,4). Espèces à conseiller : Thypha, Sagittaire
<b>Zone des nénuphars</b> Chataigne d'eau (1), Nénuphars (2), Renoncules (3) Myriophylles (4)	70 à 150 cm	Sans intérêt sauf 3,4 (++)	+++ Très rapide	Boutures et aussi graines (1,2)	Excellent pour 2 et 3	Toutes espèces envahissantes, qui obscurcissent le fond. A conseiller: 2 (en pots), 4 (contrôle facile).
<b>Zone des potamots</b> Diverses espèces de potamots	mini 100 cm	Important +++	++ Moyenne	Rhizome et boutures	Bon (++)	Excellentes frayères mais gênent la pêche (surtout les espèces natans, lucens et densus)
<b>Zone à Chara</b> Chara (algue) (1) Fontinalis (mousse) (2) Littorelles (3), Elodée (4)	Sur le fond	Moyen à important (2, 4)	Moyenne à forte (1, 4)	Boutures ou division (1,2)	Bon (sauf 1+)	Habitats particuliers : fonds nus (1) eaux acides (3), eaux claires (2). Toutes intéressantes mais difficiles à contrôler.
<b>Plantes flottantes</b> Lentilles d'eau (1) Hydrocharis (2) Ceratophylle (3)		Faible sauf (3)	Très rapide	Division (1,3) stolons et turions (2)	Faible	A éliminer : gênent les loisirs nautiques, s'accumulent sur les plages

Critères de choix pour l'aménagement végétal d'un plan d'eau récréatif





On observera ainsi l'existence de véritables associations macrophytes. Plus encore, on reconnaîtra la place privilégiée des macrophytes à plusieurs niveaux d'organisation de notre plan d'eau : rôle mécanique de consolidation des berges allié à l'aspect esthétique, abris pour la faune vertébrée, support et nourriture pour une grande partie de la microfauve aquatique, rôle biologique de frayères et bien sûr, rôle de régulateur de l'oxygène dissous et de la minéralisation de l'eau.

Le problème le plus délicat à résoudre reste le contrôle de cette végétation aquatique, qui peut gêner considérablement les usages récréatifs : un rappel de moyens possibles figure dans le cahier technique de l'ACTA : "les plantes aquatiques (1987)" dans lequel sont énumérées les principales méthodes utilisées actuellement pour limiter la végétation aquatique (mécanique, chimique, biologique).

L'utilisation de la lutte biologique peut sembler à priori plus séduisante, mais les résultats sont encore trop peu nombreux dans nos régions pour servir de références.

Il existe, par exemple, un équilibre à double sens dû à la compétition spatiale macrophytes-poissons : un excès de poissons, même peu brouteurs, gêne la croissance des plantes aquatiques de pleine eau, celles-ci "surprotégeant" les alevins de poissons, moins accessibles aux prédateurs. Il est clair que le point d'équilibre peut être déplacé sans inconvénient par un "éclaircissage" modéré. Certains animaux peuvent consommer les plantes en excès : bovins et chevaux broutent de jeunes pousses sur la zone littorale, tandis que dans l'eau, le ragondin et le rat musqué sont d'excellents faucardeurs : la cohabitation avec le grand public reste cependant, dans bien des cas, impossible.

Pour les oiseaux aquatiques, on peut citer :

- les herbivores tels que Foulques, Chipeau et Siffleur qui se nourrissent des parties végétatives de Potamots, Zannichellie, Ruppia,
- les granivores tels que Colvert, Pilet et Sarcelle qui s'alimentent avec des graines de Cypéracées, Characées et Potamées.

En fait, il faut atteindre des densités très élevées de canards pour espérer limiter la végétation par leur présence et dans ces conditions, la densité de l'avifaune peut entraîner d'autres problèmes (turbidité, développement

d'algues filamenteuses, etc...)

Quant aux poissons herbivores, aucune de nos espèces indigènes n'est strictement végétarienne ; le chevine et le gardon, éventuellement la carpe, la tanche et la brème peuvent avoir une action sur les végétaux tendres.

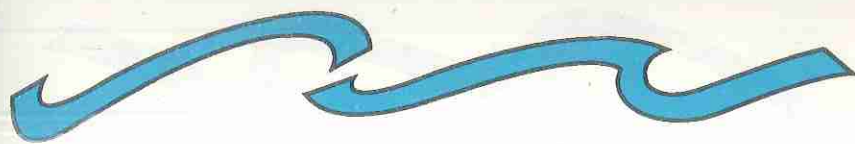
On parle beaucoup par contre, des carpes chinoises ou amours du nom de leur fleuve d'origine, dont l'introduction dans les eaux libres est interdite, en application de l'arrêté du 9 décembre 1985. Dans les eaux closes, l'utilisation de ces espèces a donné des résultats en général concluants. L'espèce *Ctenopharyngodon idellus* ou Amour blanc est un faucardeur d'herbiers dès le stade juvénile, tandis que l'Amour argenté (*Hypophthalmichthys molitrix*) consomme les algues planctoniques ou filamenteuses. Ces poissons réclament des eaux chaudes pour leur croissance (15 à 30°C), leur appétit étant d'ailleurs directement proportionnel à ce facteur. Il faut là aussi une bonne densité de poissons pour obtenir un résultat significatif. Mais un empoisonnement inconsidéré, peut entraîner, outre les retombées indésirables signalées pour l'avifaune, des résultats négatifs : proliférations bactériennes, grosses consommatrices d'oxygène, sur les déchets végétaux qu'ils laissent ; et dans les plans d'eau peu productifs phénomène de famine qui affecte toutes les espèces animales.

## LA FAUNE AQUATIQUE

Elle s'établira d'elle-même dans n'importe quelle pièce d'eau, d'abord par un développement des groupes pionniers (zooplancton, protozoaires, insectes aquatiques volants, etc). Les consommateurs primaires (se nourrissant de végétaux) et les prédateurs (carnivores) coloniseront en même temps le terrain vierge, établissant très rapidement un réseau de chaînes trophiques\* liant tous les éléments entre eux. En saison tempérée, l'état d'équilibre est souvent atteint en deux ou trois semaines, voire plus rapidement, si le plan d'eau est alimenté par une eau déjà vivante. Les autres facteurs de dissémination sont :

- . le vent qui transporte par exemple les pontes flottantes des crustacés microscopiques (cladocères),
- . les oiseaux aquatiques, qui véhiculent d'un étang à l'autre des plantes, de la vase contenant des organismes ou des pontes,
- . et bien sûr, l'homme, par ses multiples activités.





Il n'existe donc pas de réel besoin d'intervenir au moment de la colonisation d'un milieu neuf, sauf peut-être dans les plans d'eau les plus primitifs que sont, par exemple les ballastières ou carrières mises en eau. Il peut en effet se produire des blocages au stade pionnier avec des espèces peu intéressantes se trouvant en bout de chaîne (c'est-à-dire peu ou pas consommées).

On verra des cas analogues chez les poissons (Perche soleil, Poisson chat). Le remède est d'évidence le réaménagement biologique, dont la règle d'or est "plus le milieu offre des biotopes variés, plus la composition de la faune et de la flore est riche". La création d'une palette aussi complète que possible de micro-habitats, en jouant sur les trois dimensions essentielles, agitation de l'eau, profondeur et nature du substrat, conduit toujours à l'utilisation optimale des potentialités écologiques.

Il n'est pas trop tôt pour dire qu'une telle structure hétérogène garantit aussi :

- la qualité esthétique du plan d'eau, dans les limites d'une harmonie "naturelle",
- la capacité d'accueil par la diversité des aires accessibles au public,
- la juxtaposition de nombreux types de loisirs.

En somme, la Nature et les plaisanciers rechercheront pour un plein épanouissement les mêmes critères écologiques...

Il pourrait en découler, en toute logique, une compétition accrue : il s'agit pour le gestionnaire d'en évaluer l'importance et les risques de conflits homme-nature encourus. Dans le cas de la faune aquatique, ils sont minimes : invertébrés aquatiques ou poissons n'apportent pas de gêne aux activités ludiques ou touristiques, exception faite des "Diptères vulnérants" que sont les moustiques. La solution est la recherche des gîtes à moustiques, le plus souvent il s'agit de mares ou d'ornières marginales, et le traitement périodique de ces zones. Il existe des organismes spécialisés dans cette lutte : en Rhône-Alpes, l'Entente Interdépartementale pour la Démoustication. (cf annexe 4).

Les conflits deviennent plus caractéristiques avec les vertébrés, dès que des populations prolifèrent :

- ragondin et rat musqué qui minent les berges et les digues,

- batraciens, aux amours bruyantes et pontes envahissantes et leurs ennemis,
  - couleuvres aquatiques, inoffensives malgré la terreur qu'elles inspirent,
  - mouettes, hérons et autres oiseaux susceptibles d'apporter une gêne temporaire.
- Comme précédemment, l'éradication totale serait une grave erreur, la solution réside dans le contrôle de ces groupes non régulés par le jeu de la prédation.

### LES POISSONS ET L'AMENAGEMENT DE LA PECHE

Ce sont les hôtes les plus appréciés puisqu'ils représentent, aux yeux du plus grand nombre par leur qualité et leur abondance, la sanction palpable d'un aménagement réussi.

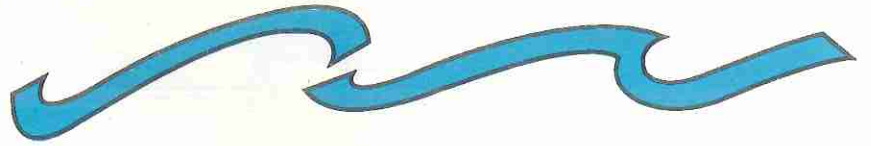
Encore faut-il qu'au fil des années cette situation se maintienne : c'est même très rarement le cas, car il se produit dans les plans d'eau neufs ou récemment curés des phénomènes évolutifs particuliers.

L'attention du gestionnaire doit être attirée sur le fait que la satisfaction du loisir pêche, sauf si c'est l'usage principal, ne sera pas toujours compatible avec les autres activités : il ne doit pas y avoir confusion entre étangs de production, de pêche ou de plaisance. Les premiers seront dévolus à la culture du poisson, ou à l'entretien d'un stock pêchable abondant et varié, avec l'occupation quasi-totale de l'espace. Dans le cas du plan d'eau de plaisance, la règle d'or est le partage entre les divers usages (zones spécifiques) : l'aménagement piscicole devra tenir compte de la diversité de ces aires et de leurs potentialités pour la pêche ou la reproduction. Le tableau ci-après résume à cet effet les exigences des principales espèces.

On mentionnera encore parmi les autres espèces pouvant être introduites dans les plans d'eau :

- Eaux fraîches, un peu agitées avec zones sableuses ou rocheuses, par ordre de préférence : le Goujon, le Vairon, la Vandoise, le Spirin, la Lotte, le Chevaine. Ces espèces constituent un apport intéressant en poisson fourrage, pour la pêche de la petite friture en toutes saisons. Le Chevaine, omnivore, s'accommodera de toutes eaux. La Lotte, poisson de fond non capturé à la ligne, mais à chair excellente, peut réguler les pontes excessives





de cyprinidés.

- Eaux dormantes, à dominante végétale ou mixte : Ablette, Able, Bouvière, Loches, Anguille. Les deux premières espèces sont des poissons fourrage de base, dont la pêche est la plus facile et amusante. Les autres espèces sont anecdotiques avec cependant une mention spéciale pour l'anguille, qui peut contrôler les espèces benthiques tout en res-

tant elle-même contrôlable (ne se reproduit pas en eau douce).

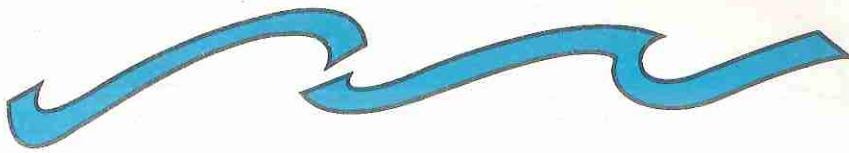
Enfin il faut déconseiller l'introduction d'espèces d'ornement, réservées aux bassins (cyprinidés dorés), ou exotiques dont le comportement est encore mal connu (gardons italiens, carpes chinoises, Pseudorasbora, etc) qui sont proposées à la vente. Le Silure rentre encore dans cette catégorie.

Espèces	Frayère	Date de la fraie	Observations
Gardon	0,1 à 1,5 m* sur herbiers, rochers	Début mai à début juin	Poisson de base pour le peuplement des plans d'eau
Cyprinidés à pontes fractionnées : Tanche, Brème, Carpe, Rotengle	0,1 à 5 m sur herbiers	Début mai à début août	Rotengle et brème très prolifiques ont une tendance à éliminer les autres espèces. Pas d'empoisonnement abusif en carpe et en tanche.
Perche	0,2 à 10 m sur support buissonnant	Début avril à début juin	Tendance au surpeuplement et au nanisme. Espèce à contrôler par des prédateurs : Sandre, Anguille.
Sandre	1 à 17 m dans un nid gardé	Début avril à fin mai	Prédateur très efficace à réserver aux étangs à carnassiers et poisson fourrage
Brochet	0,2 à 7 m sur herbiers et zones inondées	Fin février à mai	Accès aux frayères en période de crue surtout, les alevins se développant dans les zones marginales.
Corégone, Omble Chevalier	de 1 à 100 m sur divers substrats	Automne et hiver	Poissons de lacs alpins et de retenues profondes.
Truite, Truite de lac, Saumon de fontaine	En rivière Sur le gravier	Novembre à février	Ne s'adaptent pas aux plans d'eau qui dépassent 20°C (optimum 10-17°C)
Espèces diverses à pontes gardées Perche-soleil, Poisson Chat, Black Bass	Nid creusé sur fond de sable ou de gravier	Avril à juillet (vers 10 - 20°C)	Poissons indésirables ayant tendance à dominer rapidement le peuplement. Recherchent les eaux chaudes, notamment le Black Bass.

\* Profondeur

Exigences des poissons





## L'EVOLUTION BIOLOGIQUE D'UN PLAN D'EAU ET SON ENTRETIEN

Dans les premiers jours qui suivent sa mise en eau, un plan d'eau traverse plusieurs phases instables avant que ne s'établisse durablement un équilibre entre les apports, les biosynthèses et les biodégradations.

Les trois premières semaines sont caractérisées par la succession fugace des bactéries, puis des protozoaires enfin du phytoplancton\* consommé alors par les rotifères qui disparaissent au profit des microcrustacés ; sur le fond, les chironomidés s'installent.

Le milieu neuf libère ses réserves minérales qui profitent à tous les échelons de la chaîne trophique.

Cette période "euphorique" dure environ 2 à 3 ans. Les poissons à forte croissance et taux de survie élevé au stade alevin (pontes gardées) pullulent.

Une phase de dépression trophique s'ensuit qui peut durer de 6 à 30 ans selon la taille du milieu pendant laquelle ne prospèrent que les espèces les mieux adaptées au milieu dans son état définitif.

L'objectif du gestionnaire sera de prévoir dès le départ les bonnes espèces à introduire.

Un diagnostic précis s'impose qui peut conduire dans les cas de dépression durable à la prescription d'une fumure organique : déchets céréaliers, fumier ou fientes provenant d'élevages, eaux usées. Ceci n'est évidemment acceptable que pour des petites retenues à vocation piscicole dominante, sans usage nautique.

L'activité biologique produit des déchets qui sont en partie recyclés et pour une autre part déposés sur le fond. Généralement, on trouve une couche de vase vivante en suspension sur une couche de vase plus ferme qui s'épaissit d'année en année et qu'il faudra extraire un jour sous peine de voir le plan d'eau se combler.

La prévention et l'entretien régulier apparaissent ici encore comme la conduite la plus rationnelle :

- Contrôle des apports des berges par consolidation ou végétalisation, réparation des chaussées, busage des ruisseaux...

- Contrôle de la végétation riveraine, élagage, ramassage des feuilles et branches le cas échéant,

- Collecte des déchets végétaux en surface et dans l'eau, faucardage ou mise à sec partielle...

La vidange, au moins partielle, du plan d'eau est l'occasion de pratiquer de nombreux travaux d'entretien : réfection des berges (tunage, enrochement, recépage des arbres...), aménagement de pontons, nettoyage des plages, restructuration de la ceinture végétale, visite des ouvrages de vidange... Pour l'essentiel, les techniques de restauration du fond décrites pour les lacs sont applicables aux petits plans d'eau non vidangeables. Enfin, il faut insister sur l'intérêt d'une auscultation biologique à intervalles réguliers (3 à 5 ans), et ce, tout particulièrement pour les petits volumes.

## LES QUALITES DU PLAN D'EAU DE PLAISANCE

- + Il est situé dans une région au climat favorable : température agréable, peu de brouillard, vents faibles et bien orientés.

- + Sa capacité d'accueil est proportionnée à la population humaine susceptible de le fréquenter et il est proche des centres urbains concernés.

- + Il est alimenté en toutes saisons par une eau de bonne qualité et ne connaît pas de variations sensibles de niveau.

- + Ses berges sont stables, de bonne texture et ménagent une alternance de zones profondes boisées et de plages en pente douce.

- + Il existe des solutions pour intégrer des équipements dans le paysage et limiter les impacts à l'aval (coupure de rivière, évacuation des déchets, voirie...).

- + Enfin, les diverses activités de loisirs qui ont leurs propres exigences et impacts, sont contrôlées et harmonisées, afin de limiter les conflits.





#### 4.3 LES RETENUES HYDROELECTRIQUES EN MILIEU ALPIN

##### LEUR CREATION

Depuis la plus haute antiquité l'homme a utilisé pour ses besoins propres l'eau et l'énergie quelle procure. Il suffit de citer les besoins des cultures (irrigation) ou les besoins mécaniques : énergie de broyage (meule), énergie de frappe (martinets), énergie nécessaire pour remonter de l'eau (bélier hydraulique).

Par la suite l'eau fut utilisée également pour les différents procédés de fabrication (chimie), pour le refroidissement ou la dilution des rejets.

Avec l'apparition, à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, de l'énergie électrique et de sa production par des générateurs, l'idée du couplage d'une turbine à un générateur électrique s'est vite imposée.

Les premiers à utiliser l'énergie hydraulique à des fins énergétiques furent Bergès et Matussière qui exploitèrent les chutes de Lancey et de Frogès près de Grenoble.

Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, la création des chutes d'eau résultait des initiatives non concertées d'industriels ou de collectivités locales. Les besoins en énergie électrique et les conditions économiques privilégiaient la construction de petits barrages et d'usines dites : "au fil de l'eau", tandis que les usines électro-chimiques ou électro-métallurgiques s'installaient à proximité des chutes pour limiter les frais de transport de l'énergie électrique.

Après la dernière guerre, les conditions économiques changeant, l'énergie électrique, souple et propre, tendait à remplacer le charbon et la vapeur. L'électrification de la France était bien avancée pour les usages domestiques.

La Loi du 8 avril 1946, en créant Electricité de France, permettait une action concertée à l'échelle nationale, une rationalisation de la production et l'interconnection générale des grands réseaux.

Les ressources en eau et l'irrégularité des régimes hydrologiques conduisaient alors à la construction des grands barrages de tête des bassins versants, retenant des volumes d'eau considérables. Ce furent ainsi les aménagements de :

+ La Girotte, Tignes, Roselend, St-Guérin, La Gittaz sur le Haut Bassin de l'Isère,

+ Le Mont-Cenis, sur le Haut Bassin de l'Arc,

+ Le Chambon, sur le Haut Bassin de la Romanche et le Sautet sur le Haut Bassin du Drac (ces ouvrages sont antérieurs à la nationalisation),

+ Serre- Ponçon sur la Durance.

A l'aval de ces ouvrages, d'autres aménagements anciennement créés ou réalisés par EDF, procurent une souplesse d'exploitation et une meilleure gestion du potentiel hydraulique. Ce sont :

+ Castillon, Sainte-Croix, Quinson sur le Verdon,

+ Saint-Pierre Cognet, Monteynard, Notre-Dame-de-Commiers sur le Drac,

+ Bissorte, Plan d'Amont, Plan d'Aval sur l'Arc,

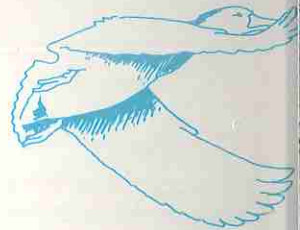
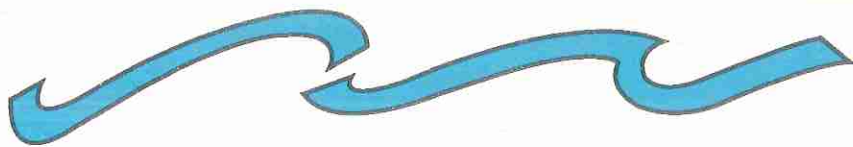
+ Les usines de Randens et du Cheylas entre l'Arc et l'Isère.

Enfin, avec le développement du contraste de valeur énergétique entre heure pleine et heure creuse, entre jour ouvrable et week-end, entre été et hiver, se sont imposés des aménagements dont le but premier est la modulation (suivi de courbe de charge), le réglage (maintien de la tension et de la fréquence) et la sécurité apportée par une intervention inopinée suite à la défaillance d'une grosse unité de production : ce sont les stations de pompage qui utilisent l'énergie "bon marché" d'heure creuse pour pomper l'eau et la stocker dans un réservoir d'altitude puis la restituer en turbinage aux heures de forte demande. Ce procédé nécessite en moyenne 3 kWh pour en restituer 2 mais la valeur de ces kWh fournis est bien supérieure à celle des kWh consommés.

C'est ainsi qu'ont été créées, dans les Alpes, les stations de pompage de :

+ La Coche et Super Bissorte (Savoie),  
+ Grand'Maison et Le Cheylas (Isère)





Pour ces aménagements, il existe une part d'énergie gravitaire, c'est-à-dire fournie naturellement par le bassin versant.

### LEURS CONTRAINTES

L'insertion d'un aménagement hydraulique (avec réservoir ou non -prise d'eau- conduite forcée - usine - canal de fuite) en milieu alpin amène le maître d'ouvrage à se préoccuper d'un certain nombre de problèmes pour lesquels les réponses apportées conditionnent totalement la physionomie et l'exploitation du dispositif. C'est ainsi qu'un aménagement hydraulique est unique.

Il s'agit chaque fois d'une oeuvre d'artisan prenant en compte un grand nombre de contraintes que nous allons passer rapidement en revue pour tenter de montrer comment elles conditionnent les ouvrages, le mode l'exploitation, la sécurité.

Ces contraintes sont imposées par les éléments naturels à savoir :

- l'hydrologie,
- la topographie,
- la géologie.

Ce sont les contraintes principales qui déterminent les caractéristiques essentielles de l'installation industrielle.

Des contraintes de second ordre sont à prendre également en compte, mais des actions sont envisageables pour en adapter ou corriger les effets néfastes. On traitera ainsi :

- + Le milieu naturel hydrique (physicochimie et hydrobiologie du cours d'eau),
- + Le milieu naturel terrestre (flore et faune),
- + Le milieu humain (socio-économie régionale et locale),
- + Le déroulement de la phase de réalisation (chantier) avec ses diverses incidences,
- + L'aspect architectural des ouvrages.

Tous ces facteurs sont traités dans le DOSSIER D'IMPACT qui fait partie intégrante du dossier de demande de concession et de déclaration d'utilité publique).

Nous allons tenter de montrer ci-dessous les principaux aspects et conséquences pratiques de ces contraintes.

### Les contraintes physiques majeures

#### - Hydrologie

La connaissance du régime du cours d'eau sur lequel est édifié le barrage (ou qui servira à stocker de l'eau dans une cuvette sèche) est capitale. Les études sont longues et minutieuses. Elles doivent s'appuyer sur des séries de mesures importantes, au moins 10 années, grâce à des stations limnimétriques directement tarées, où est enregistrée la hauteur de l'eau et qui permettent au moyen d'une courbe hauteur/débit, de connaître à tout moment le débit du cours d'eau. Un réseau climatologique d'enregistrement des paramètres est essentiel pour enregistrer précipitations, température, ensoleillement, humidité, vents, éventuellement évaporation.

La détermination des précipitations moyennes et de l'évaporation permettra, confrontée aux mesures de débits, de vérifier ceux-ci, d'étudier les régimes des crues et par là-même de définir :

- + Les volumes d'eau utilisables,
- + Les crues et leurs fréquences,
- + Puis d'approcher la connaissance des transports solides responsables de l'engravement des retenues.

Ces données sont indispensables pour dimensionner les ouvrages de prises d'eau, les ouvrages d'évacuation des crues, de dérivation et les débits à laisser dans le cours d'eau compte tenu de la réglementation en vigueur.

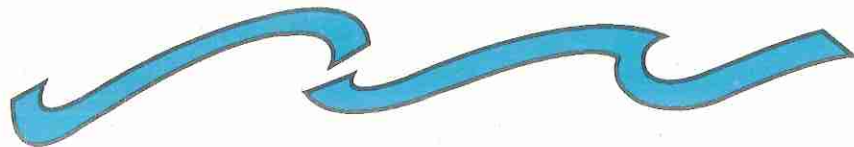
#### - Topographie

La bonne connaissance des caractéristiques topographiques permet de définir notamment :

- + La capacité de la retenue,
- + Les dimensions exactes et le volume du barrage,
- + Les niveaux des prises d'eau et des restitutions,
- + Les cotes atteintes dans la retenue et à l'aval lors des différentes phases de fonctionnement,
- + Les accès.

En pays alpin, et surtout en tête des bassins versants, les pentes sont, la plupart du temps, fortes à très fortes. Elles conditionnent le régime des eaux, les avalanches, les mouvements du sol.





La topographie à l'aval de la restitution conditionne les écoulements futurs, les variations de niveau, les vitesses et donc les problèmes d'érosion ou de sédimentation.

#### - Géologie

Le contexte géologique local va influencer largement les caractéristiques de construction, donc les coûts et la sécurité des ouvrages.

+ Dans un contexte de terrains cristallins, à priori étanches, les problèmes soulevés par la cuvette de retenue, l'assise du barrage, les ouvrages d'amenée et de puissance n'ont en général pas une grosse incidence.

+ Il n'en va pas de même dans des terrains calcaires ou susceptibles de dissolution (gypse - cargneules des grands accidents tectoniques alpins).

+ Dans les Alpes, une mention particulière doit être faite pour les terrains de couverture (éboulis-moraines), pour les morphologies anciennes modelées par le cours d'eau ou les glaciers (épigénie), ou pour les versants affectés par les phénomènes de gravité (fauchage, balancement de têtes de couches...). Les terrains de couverture conditionnent très largement les problèmes de stabilité des versants, notamment dans les cuvettes de retenue.

Les trois contraintes principales énoncées ci-dessus et imposées par la nature conduisent à un dimensionnement et à une définition des installations (volume, débits, tracés, implantation) qui tiennent compte, bien évidemment, des critères énergétiques et économiques.

#### **Autres contraintes**

- Le milieu naturel hydrique : physicochimie et hydrobiologie

Les modifications apportées au milieu hydrique sont approchées grâce à une étude précise du fonctionnement des diverses biocénoses nécessitant une période d'observation d'au minimum une année. Les observations faites sur d'autres aménagements peuvent apporter une aide certaine pour évaluer les conséquences d'un état futur. Les dispositions possibles pour lutter contre une dégradation du milieu hydrique sont nombreuses :

+ débits réservés dont la valeur minimum est

fixée par la loi,

+ modulation des débits réservés,  
+ dispositifs divers permettant une amélioration des qualités de l'eau : décantation, etc...,  
+ dispositifs permettant la remontée du poisson malgré les ouvrages de barrage,  
+ indemnités de réempoissonnement (alevinage).

- Le milieu naturel terrestre : flore et faune

Une bonne connaissance du milieu floristique et faunistique est acquise grâce aux études spécialisées.

Les répercussions de l'aménagement industriel sont appréciées et des mesures compensatoires sont généralement appliquées : réengazonnement ou reboisement, participation à des réhabilitations d'alpages, introduction d'espèces animales protégées et surveillées, études scientifiques poussées de certains écosystèmes, etc...

- Le milieu humain : socio-économie

L'analyse du milieu humain est une donnée fondamentale permettant l'intégration la plus harmonieuse possible dans le contexte. Celui-ci est composé des éléments suivants qui sont traités largement :

+ données de population : importance du peuplement, structure, habitat, évolution,  
+ données sociales : catégories socio-professionnelles, lieux de travail et de résidence, loisirs, etc...

+ données économiques : activités des secteurs primaires, secondaires, tertiaires, évolution, chômage, etc...

+ données concernant les infrastructures : réseau routier, alimentation électrique, eau, téléphone, gaz...

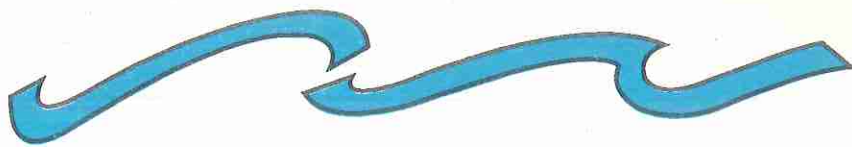
Ces éléments permettent d'apprécier les répercussions de l'aménagement dans sa phase finale et également dans sa phase de chantier (voir ci-après), de mesurer les impacts positifs ou négatifs et de pallier ces derniers.

- La phase de réalisation (chantier)

L'expérience que peut avoir le maître d'ouvrage en la matière l'amène à faire une prévision du chantier en moyens matériels, en moyens humains et en temps de réalisation.

Ces données, confrontées aux données socio-





économiques énoncées ci-dessus et aux impératifs du chantier (circulation, matériaux, excavation, construction, nuisance et besoins divers) amènent à décider de mesures palliatives et compensatoires qui permettent au chantier de se dérouler dans les meilleures conditions.

- L'insertion architecturale des ouvrages

La prévision des répercussions induites par la création d'un plan d'eau est du ressort d'un architecte paysagiste qui s'attache à donner une vision objective des nouveaux paysages et qui, dans la mesure du possible, trouve des éléments de correspondance ou de traitement des nouvelles lignes dans l'environnement vis-à-vis des caractères actuels du paysage.

## LEUR EXPLOITATION

### Les contraintes de production

Pour faire face à la demande d'énergie électrique, la France s'est dotée de divers moyens de production qui par leurs caractéristiques d'approvisionnement et de mise en oeuvre conduisent à des coûts différents et donc à des usages différents.

- L'énergie des grandes retenues

L'énergie des grandes retenues présente trois caractéristiques économiques principales :

- + elle est disponible sur le territoire national
- + elle est renouvelable,
- + elle est rapidement mobilisable.

Ces aspects conduisent à en faire usage lors des pointes journalières notamment d'hiver et lors d'incident affectant d'autres moyens de production.

- Les stations de transfert d'énergie par pompage

L'énergie électrique n'est pas stockable économiquement en grande quantité et certains moyens de production (centrales thermiques) ne peuvent être que faiblement modulés. Par ailleurs, la demande n'est pas constante au cours de la journée, de la semaine et de l'année.

Pour accroître l'efficacité de réponse à cette

variabilité de la demande, les stations de transfert d'énergie par pompage ont été développées. Le pompage a lieu lorsque de l'énergie est disponible ; le turbinage permet de faire face aux aléas de la demande en toute période (souplesse de fonctionnement).

### Les contraintes contractuelles

- Les débits réservés

La maintenance d'un débit à l'aval d'une prise d'eau était fixée jusqu'à une date récente par l'autorisation ou le cahier des charges de la concession d'exploitation de la chute.

La loi sur la pêche du 29 juin 1984 et ses décrets d'application apportent une contrainte nouvelle dans l'exploitation des ouvrages.

Notamment, il est imposé, à l'aval de chaque ouvrage de dérivation sur un cours d'eau, de laisser subsister un débit dit "débit réservé". Ce débit est fixé au minimum au 1/10ème du débit moyen annuel (module) pour les ouvrages neufs. Pour les ouvrages existants, il est fixé au quart de la valeur précédente, sauf impossibilité technique de réaliser les organes en conséquence.

- D'autres contraintes

Dans le cadre d'accords avec les collectivités locales ou les industriels, le gestionnaire peut être amené à garantir des volumes d'eau pour l'irrigation (Serre-Ponçon), l'alimentation en eau potable (Notre-Dame de Commiers) et la fourniture d'eau industrielle (Rhône-Poulenc-Chimie de base sur le Drac).

### Les contraintes touristiques

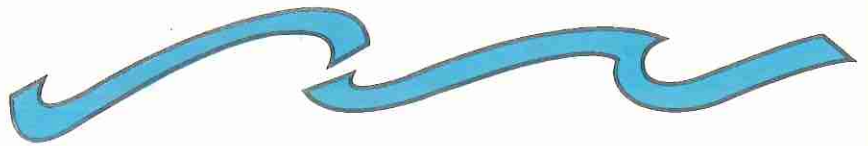
- Limitation de l'usage des retenues

Afin de répondre aux besoins touristiques, les possibilités énergétiques de certaines retenues sont limitées en période estivale (le Verney sur l'Eau d'Olle) ou en période de reproduction de poissons (Lac Mort). Ces dispositions sont fixées par l'autorité publique.

- Déplacement de production d'énergie

Afin de disposer de conditions satisfaisantes (débits assurés au jour choisi) pour pratiquer les sports nautiques, EDF et la Fédération





concernée négocient chaque année un programme de lâchures d'eau (Tignes, Malgovert, etc...).

En général, les lâchures n'induisent pas toujours des pertes directes d'énergie, mais donnent lieu à une production qui fera défaut plus tard et qu'il faudra remplacer par des moyens plus onéreux.

- Action d'intérêt public

Afin d'atténuer les effets d'épisodes de sécheresse importante et/ou de pollution accidentelle, le Service Public est amené à satisfaire des demandes de lâchures exceptionnelles sans contrepartie.

### **LA SECURITE DES OUVRAGES ET DES POPULATIONS**

La sécurité tant des ouvrages que des populations est une préoccupation permanente qui, à EDF, est présente dès le début de la conception des ouvrages.

Cette recherche de sécurité porte sur :

- la géologie du site : étanchéité de la retenue, absence de glissements de terrains menaçants directement la sécurité, absence de failles importantes,

- l'hydrologie : définition des ouvrages d'évacuation des crues,

- la constitution des éléments constructifs : résistance des fondations et des appuis latéraux, choix des matériaux du barrage,

- les méthodes de construction et ensuite d'exploitation : procédures de réalisation, essais en cours de construction et essai de mise en eau, surveillance visuelle et auscultation par des dispositifs de mesure appropriés, à demeure en cours d'exploitation, entretiens préventifs et, si besoin curatifs,

- le plan d'alerte aux autorités.

Une loi impose aux gestionnaires des ouvrages de hauteur supérieure à 20 m ou de capacité supérieure à 15 millions de m<sup>3</sup> des dispositions permettant de tenir informées les autorités chargées de la sécurité des populations, des évolutions des ouvrages qui pourraient mettre en danger ces populations.

### **LEUR VIDANGE**

#### **Généralités**

Il faut tout d'abord préciser que cette question traitée, dans le cadre des retenues alpines, ne leur est pas propre et est à généraliser à l'ensemble de ces ouvrages.

Si le problème qui se pose est simple dans son principe, il l'est beaucoup moins dans la manière de le traiter et dans ses conséquences.

L'établissement d'un ouvrage barrant un cours d'eau ou la création d'une retenue en dérivation sur un cours d'eau conduit "ipso facto" au dépôt des particules transportées, du fait de la diminution de la vitesse de l'eau.

L'envasement est donc une évolution inéluctable de toute retenue. Le processus est certes plus ou moins rapide selon le volume des apports. Les grands facteurs conditionnant la sédimentation sont donc :

- l'hydrologie : caractéristiques des débits et des crues du bassin versant,
- la morphologie du lit : profil en long,
- la couverture végétale du bassin versant,
- la géologie du bassin : présence ou absence de roches érodables.

Les problèmes se posent donc à l'exploitant en ces termes :

- comment assurer une durée de vie maximum à la retenue ?

- comment minimiser les usures des différents organes techniques (pertuis, vannes, turbines le cas échéant) ?

- comment procéder à des vidanges nécessaires, voire obligatoires dans le cas des retenues de plus de 20 m de hauteur, en vue de visiter les parties de l'ouvrage habituellement immergées, en causant le minimum de désagréments à l'aval ?

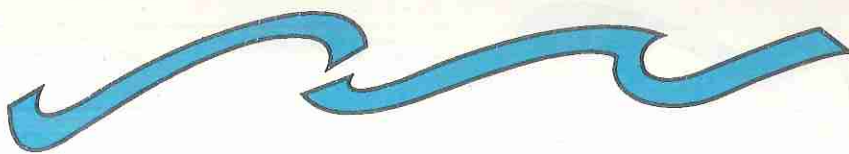
Ce sont ces derniers aspects des vidanges qui vont être examinés ci-après.

#### **Les raisons d'effectuer les vidanges**

Les raisons conduisant à vider une retenue peuvent être diverses :

- dégager préventivement des ouvrages de





prise d'eau ou de vannage,

- organiser une visite programmée ou exceptionnelle des ouvrages,
- réaliser les travaux sur l'ouvrage ou dans la retenue,
- maintenir le volume utile,
- dégraver la queue de retenue,
- vidanger pour des raisons d'environnement.

Qu'elles que soient les raisons d'une vidange, l'évacuation des sédiments ou leur traitement peut avoir lieu de diverses manières :

- par voie aqueuse

+ Utilisation des courants de densité lors de l'arrivée de la crue. Dès que ces courants atteignent le barrage, ils sont évacués grâce à de petites vannes. Ce dispositif a été parfois utilisé en Afrique du Nord (barrage de Nebeur en Tunisie). Le "coût" est environ de 10 m<sup>3</sup> d'eau perdus pour 1 m<sup>3</sup> de vase soutirée).

+ Les chasses : le principe consiste à baisser le plan d'eau pour augmenter la vitesse du courant et accélérer ainsi la capacité d'érosion de l'eau. C'est le procédé utilisé dans la plupart des retenues, Génissiat, l'Arc, la Basse Isère, etc...

- par voie mécanique

+ Le dragage des vases : ex. l'aménagement de Montélimar (Compagnie Nationale du Rhône).

+ Le curage à sec de retenues de petites dimensions réalisées en amont de la retenue définitive. Ces ouvrages sont appelés barrages de dégravement (ex : barrage du Flumet, en tête de la retenue de Verney, aménagement de Grand'Maison).

Ces deux derniers procédés posent le problème du transport, du stockage et de l'utilisation éventuelle des matériaux ainsi retirés.

+ Le piégeage définitif : cette solution consiste à prévoir à la construction une tranche "morte" de la retenue destinée à accumuler les sédiments potentiels sur la durée de vie estimée de l'ouvrage.

**Les dispositions de construction visant à évacuer les sédiments :**

Pertuis d'évacuation de grande dimension et à seuil renforcé pour tenir compte de l'usure ; absence de grilles de manière à pouvoir évacuer plus facilement les débris ; système de vannage permettant le dégagement complet de l'orifice (vanne plate ou vanne segment) ; orifices relativement éloignés du lit du cours d'eau ; dispositifs de dégagement des vases et débris en cas d'obstruction (jets d'eau claire sous haute pression).

**Les conditions de réalisation des vidanges**

A priori, une vidange peut apparaître comme une opération simple au cours de laquelle il suffit d'ouvrir les vannes pour laisser passer à l'aval le flot issu de la retenue qui transporte avec lui les matériaux sédimentés. Cependant, une telle manoeuvre a toute chance de causer un certain nombre de désagréments si elle n'est pas assortie de diverses précautions. C'est ainsi qu'une préparation minutieuse, une analyse des différentes opérations à mener, des palliatifs éventuellement nécessaires permettent d'en minimiser les inconvénients.

- choix de l'époque

Cette opération résulte d'un compromis entre plusieurs exigences qui sont :

+ l'hydrologie du cours d'eau : hautes eaux, basses eaux, crues,

+ les contraintes d'exploitation : état de l'ouvrage, but de l'aménagement à savoir : écrêtement des crues, soutien d'étiage, tourisme, eau potable ou industrielle, hydro-électricité, irrigation, etc...

+ le degré d'urgence,

+ les contraintes posées aux différents utilisateurs de l'eau à l'aval : industriels, syndicats, collectivités locales, associations,

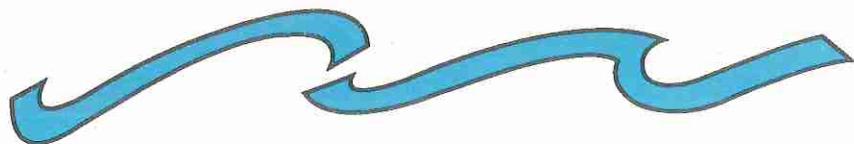
+ les exigences de l'environnement (poissons, oiseaux aquatiques).

Le choix définitif de cette période est éventuellement éclairé par les résultats obtenus lors de vidanges précédentes.

- Périodicité

Ce facteur peut être variable. Il dépend de la hauteur du barrage, du volume des apports solides, du volume de la retenue et de la vulnérabilité de l'environnement à l'aval.





- Moyens de conduite de la vidange

Les différentes possibilités laissées par les organes hydrauliques permettent, en les utilisant à bon escient, de minimiser les conséquences. C'est ainsi qu'il pourra être envisagé :

- + de réaliser des chasses préventives,
- + de diluer les boues par l'utilisation des vannes existantes aux différentes cotes et en agissant ainsi sur les paramètres vitesse et débit,
- + de diluer les boues par l'apport d'autres ressources du bassin versant : un autre barrage situé à l'amont en vidange synchrone ou décalée,
- + de dériver les eaux de vidange du cours naturel,
- + de jouer sur la vitesse d'abaissement du plan d'eau : rapide à lente, puis rapide en fonction des effets attendus.

- Les mesures physicochimiques et halieutiques

Ces mesures peuvent être nécessaires :

- + pour prévoir et tenir compte des risques et dommages possibles,
- + pour déférer aux demandes de l'Administration,
- + pour mesurer à posteriori les effets,
- + pour comprendre et expliquer les conséquences.

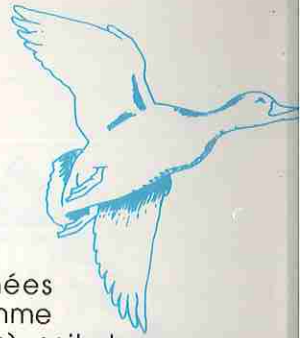
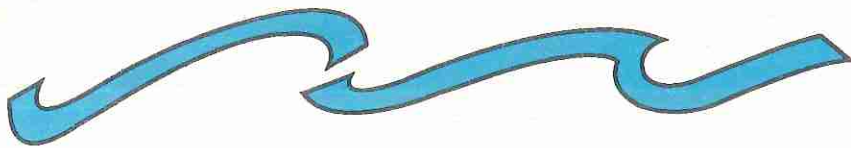
Les opérations peuvent se situer avant, pendant et après la vidange. Elles consistent en :

- + des mesures du niveau du fond de la retenue et comparaison avec les données topographiques originelles,
- + la mise en évidence des caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des dépôts,
- + la mesure de la qualité des eaux de la retenue et du cours d'eau à l'aval (physico-chimie),
- + des mesures des débits,
- + des mesures de la turbidité,
- + la connaissance des caractéristiques piscicoles et halieutiques de la retenue et du cours d'eau.

Département	Retenues	Capacité totale en millions de m <sup>3</sup>	Activités nautiques autorisées
SAVOIE	Bissorte	39,5	*
	La Girotte	50,2	
	La Gittaz	13,7	
	Mont-Cenis	326,7	
	Plan d'Amont	8	
	Plan d'Aval	4,1	
	Roselend	185,6	
	Saint Guérin Tignes (Chevril)	13,5 228,8	
ISERE	Chambon	50,8	*
	Grand'Maison	137	*
	Monteynard	275	
	N-Dame de Commiers	33,6	*
	St Pierre Cognet	27,5	
	Sautet	107,7	
	Verney	15,8	*
HAUTES-ALPES ALPES DE HAUTE PROVENCE	Serre Ponçon	1270	*
	Castillon	149	*
	Chaudanne	16	
VAR	Gréoux	80	*
	Quinson	19,5	*
	St Cassien	60	*
	Ste Croix	767	*

Principales retenues alpines  
Etat E.D.F. au 1er janvier 1987





## Conclusions

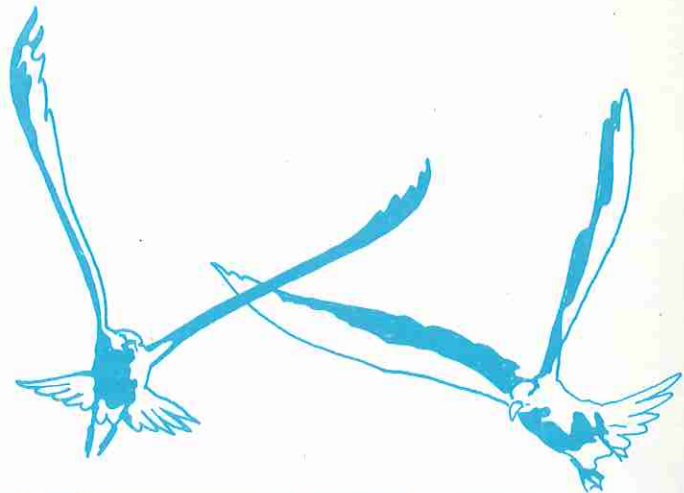
Les vidanges de retenue sont des opérations délicates à conduire pour obtenir le minimum d'effets néfastes sur l'environnement. Elles nécessitent une concertation approfondie avec les différents utilisateurs de l'eau et l'Administration qui assure la police de l'eau.

Des études préalables, concomitantes et postérieures à l'opération peuvent être nécessaires pour éclairer les phénomènes et préparer ainsi les vidanges futures en permettant d'approcher la maîtrise de certains paramètres limitants.

Cependant, des impondérables demeurent et

proviennent soit de données naturelles sur lesquelles l'homme n'a pas pouvoir (hydrologie), soit des nombreuses interactions entre divers paramètres (effets de synergie).

A l'heure actuelle, la vidange des grandes retenues est considérée comme une opération spécifique qui nécessite en France une demande d'autorisation de la part du titulaire de la concession ou de l'autorisation d'exploitation, ou éventuellement des accords internationaux dans le cas de fleuves comme le Rhin ou le Rhône. Les orientations futures des services du contrôle tendent à assimiler une vidange à un rejet industriel nécessitant ainsi l'adoption d'un cahier des charges.







#### 4.4 LES AMENAGEMENTS HYDRO- ELECTRIQUES AU FIL DE L'EAU

##### L'EXEMPLE DU RHONE

Entrepris à la veille de la seconde guerre mondiale par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR), l'aménagement du Rhône français est aujourd'hui pratiquement achevé. Malgré les retenues créées à l'amont des barrages, ce sujet est assez éloigné des préoccupations de ce cahier. Il nous a paru tout de même intéressant de l'aborder. C'est un exemple, malheureusement trop brièvement survolé, de l'impact que peut avoir un aménagement sur un milieu naturel.

##### L'AMENAGEMENT-TYPE : OBJECTIFS, CONTRAINTES, SCHEMA-TYPE

Les objectifs fixés à l'aménagement du Rhône étaient de :

- produire de l'énergie électrique,
- permettre la navigation en toutes saisons,
- participer à l'irrigation et à la mise en valeur des terres agricoles de la vallée.

Les ouvrages ainsi créés sont dits à buts multiples car ils ne présentent pas seulement une fonction de production énergétique.

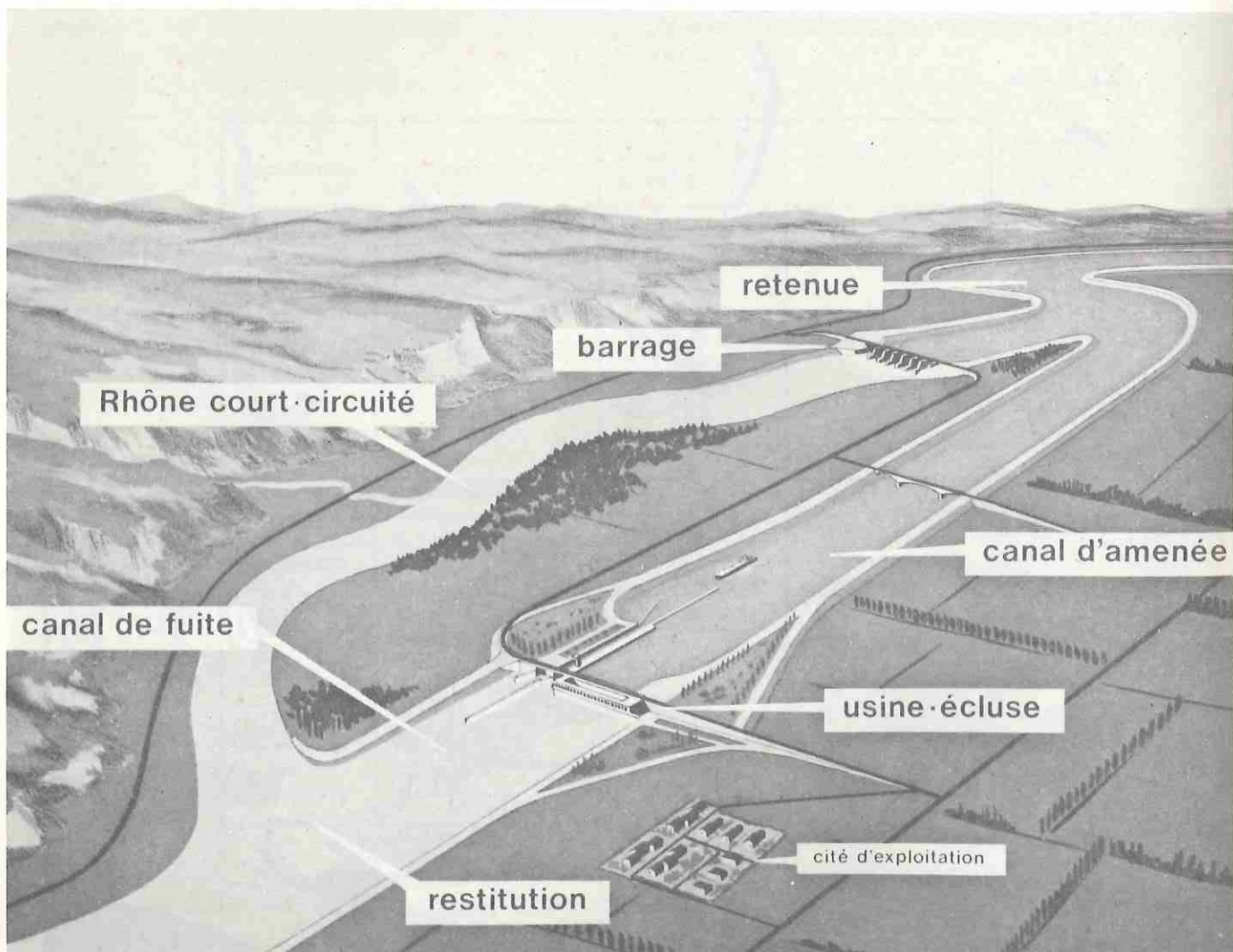
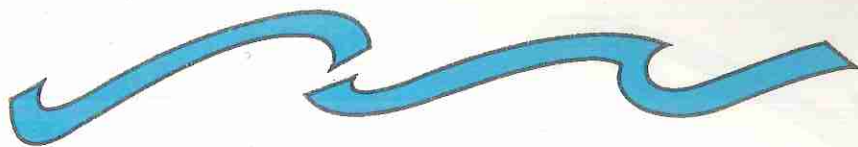


Schéma type de l'aménagement du Rhône





Ils se caractérisent par :

- une retenue plus large et plus profonde que le lit naturel, créée par un barrage sur ce lit,
- un canal de dérivation (ou d'aménée) de grandes dimensions,
- une usine qui transforme l'énergie hydraulique en énergie électrique,
- une écluse accolée à l'usine qui assure le franchissement de la chute par la navigation,
- des prises d'eau nécessaires à l'irrigation,
- l'ancien lit court-circuité, à débit réduit.

Ces ouvrages principaux sont complétés en fonction des nécessités imposées par le site, par :

- des endiguements bordés à contre-canaux de drainage, protégeant les plaines riveraines contre les effets de la retenue,
- les dragages de recoupement des chutes.

#### IMPACT DES AMENAGEMENTS

L'incidence des aménagements sur l'environnement s'exerce d'une part sur le paysage de la vallée et d'autre part sur les caractères morphodynamiques du fleuve ; l'incidence sur ces derniers induit dans un second temps une modification d'ordre biologique.

#### Caractères morphodynamiques

- Les retenues

Ce sont de vastes plans d'eau de longueur variable (de 5 à 20 km) dont la largeur est comprise entre 250 m et 500 m ; le niveau du fleuve y est presque constant pour la gamme des débits courants, ce qui différencie ces retenues de celles des barrages de hautes chutes dont le marnage peut atteindre plusieurs mètres.

La vitesse naturelle du fleuve se trouve ralentie pour les débits faibles et moyens alors qu'elle est peu modifiée par les forts débits. On peut, très approximativement, estimer qu'en moyenne une vitesse de 0,30 m/s après aménagement se substitue à une vitesse moyenne initiale de l'ordre du mètre/seconde.

Toutefois, les dimensions des retenues ne doivent pas faire illusion, celles-ci ne représentent en définitive qu'un volume restreint par rapport au débit moyen du Rhône et elles ont donc un court temps de renouvellement de

l'eau, en moyenne 12 heures.

La modification des vitesses d'écoulement induit, pour les débits faibles et moyens, une sédimentation accrue d'éléments fins qui remplacent, dans les secteurs les plus calmes, même aux forts débits, les galets et blocs électifs d'une certaine faune.

- Les canaux

Milieux entièrement nouveaux, ils se déroulent en rubans d'une centaine de mètres de largeur dans lesquels la vitesse ne dépasse pas 2 m/s ; leur profondeur est généralement de l'ordre de la dizaine de mètres.

Les canaux adoptent un tracé généralement assez rectiligne en aval de Lyon alors qu'en amont, s'écartant parfois de la plaine alluviale du Rhône pour emprunter des vallées fluvioglaciales adjacentes comme à Belley et Brégnier-Cordon, ils épousent le tracé sinueux de ces vallées, s'élargissent au passage des marais et des lacs et perdent ainsi partiellement leur caractère d'ouvrage artificiel.

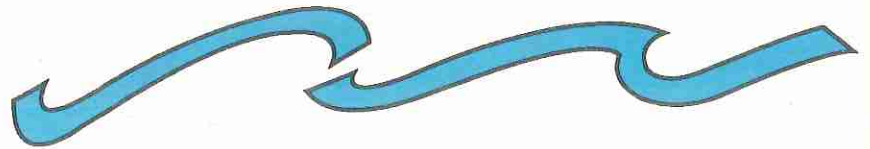
- Les tronçons de Rhône court-circuités

Ils ne véhiculent que les débits réservés, c'est-à-dire la part non turbinée à l'usine du débit du fleuve, tant que celui-ci ne dépasse pas le débit d'équipement de la chute. Ce débit d'équipement est fixé à une valeur dépassée statistiquement entre deux et trois mois/an sur le Bas-Rhône et environ un mois par an sur le Haut-Rhône.

Pendant cette durée, les tronçons de Rhône court-circuités retrouvent donc un débit significatif et des conditions d'écoulement plus proches de l'état antérieur.

Les débits réservés ont évolué dans un sens positif avec les textes réglementaires, des aménagements du Bas-Rhône, déjà anciens, à ceux du Haut-Rhône, plus récents. On pourrait aussi trouver une justification autre que légale à cette augmentation dans la qualité hydrobiologique supérieure du Haut-Rhône. D'autres critères techniques, telle la longueur des tronçons court-circuités, sont intervenus pour en fixer la valeur. En outre, on remarquera que la modulation saisonnière est la règle, notamment sur les chutes récentes de Belley et Brégnier-Cordon sur le Haut-Rhône. Lorsqu'il ne véhicule que les débits réservés, le





Rhône se présente comme une succession de biefs d'eaux calmes, relativement larges (parfois plus de 100 mètres) et à faible pente, séparés par des zones de rapides, étroites (30 mètres au moins) et de forte pente ; ces zones étroites sont enserrées entre de vastes plages de galets sur lesquelles tend à se développer une courte végétation.

La profondeur du lit devient très variable, de quelques décimètres à près de 10 mètres (en moyenne moins de un mètre si le débit réservé est de l'ordre de 10 à 20 m<sup>3</sup>/s) de même que la vitesse d'écoulement qui de quasi nulle peut, sur une courte distance, dépasser 2 m/s.

Sur certaines chutes, le Rhône court-circuité comporte des seuils ou des aménagements de fond destinés à maintenir un plan d'eau large et à un niveau proche du niveau moyen antérieur, soit dans un but esthétique, soit pour soutenir le niveau des nappes phréatiques dans les plaines riveraines. C'est le cas des chutes de Vallabrègues et du Péage-de-Roussillon sur le Bas-Rhône, de Belley, de Brégnier-Cordon et de Saulz-Brenaz sur le Haut-Rhône.

#### - Qualité physico-chimique des eaux

D'une manière générale et à partir des principaux paramètres d'étude de la qualité physico-chimique des eaux, on observe en retenue une légère augmentation de la DBO5 en liaison peut-être avec le piégeage des sédiments fins. Aucune autre particularité n'apparaît et il n'y a notamment aucune stratification chimique ou thermique, ce qui différencie là encore ce type d'aménagement des retenues de haute chute.

En ce qui concerne la température de l'eau, le ralentissement du courant dans les retenues et les canaux entraîne un léger rapprochement avec la température ambiante, mais celui-ci n'est sensible qu'à quelques dixièmes de degré et à partir de l'aménagement de Donzère-Mondragon.

L'observation du taux de saturation en oxygène dissous sur une longue période dans le cadre de l'inventaire national de la qualité des eaux permet de faire trois constatations :

- Le Rhône a une bonne oxygénation (plus de 80 % du taux de saturation).

- La teneur en oxygène s'est élevée au cours

des dernières années en raison des efforts de dépollution entrepris par les collectivités riveraines.

- La comparaison de la situation sur un tronçon donné avant et après aménagement montre que celui-ci n'a pas eu d'effet sur la teneur globale en oxygène dissous.

En fait, il apparaît que les retenues provoquent très peu de modifications physico-chimiques ; la qualité reste déterminée par les apports du bassin versant, en l'occurrence les déversements polluants industriels, agricoles et urbains. Ces retenues ne donnent pas lieu à des phénomènes d'oxydo-réduction altérant les sédiments et dégradant ainsi la qualité de l'eau.

Les tronçons de Rhône court-circuités s'individualisent plus nettement, surtout lorsque le débit réservé est faible et que l'influence des apports des nappes phréatiques est plus sensible.

Dans ces tronçons, les eaux restent bien oxygénées et sont plus claires et plus conductrices, ce qui accroît l'activité biologique (photosynthèse\* plus active et auto-épuration accrue) et contribue à la diminution des indicateurs de pollution.

#### - Qualité biologique du milieu

##### + Les invertébrés benthiques

On a constaté que la mise en service des aménagements avait donné lieu à divers types de réactions.

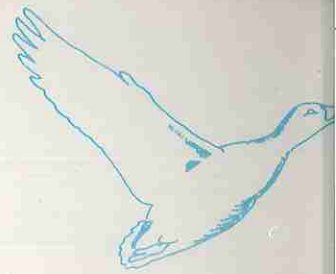
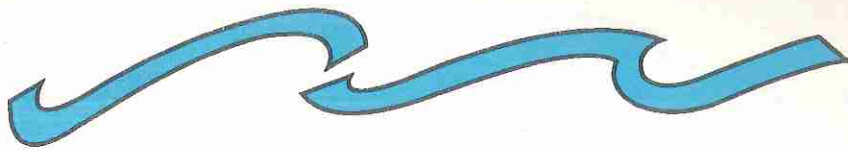
D'une manière générale, la composition faunistique des peuplements se modifie en liaison avec les caractéristiques du milieu : dans les retenues, le caractère lénitique\* se marque tandis que dans les tronçons du Rhône court-circuités, les taxons\* potamiques\* rhéophiles\* autrefois dominants régressent au profit d'espèces plus limnophiles\* traduisant l'hétérogénéité du milieu et la diminution de son caractère potamique.

Quant aux dérivations, leur intérêt biologique reste d'abord limité ; la colonisation par des groupes taxonomiques s'accroît mais reste instable.

##### + La faune piscicole

A l'état initial, le peuplement du Haut-Rhône





marque une certaine complexité en liaison avec les caractéristiques du milieu ; le peuplement est essentiellement rhéophile\*, mais la présence de zones latérales d'eaux calmes sur les hauts fonds et dans les bras secondaires, permet à plusieurs autres espèces de se reproduire et aux jeunes individus de survivre.

Dans le secteur amont (entre Chautagne et Bregnier-Cordon), le peuplement constitué par 25 à 30 espèces selon les zones de prélèvement, est dominé par les quatre cyprinidés rhéophiles communs que sont le hotu, le chevaine, le barbeau et la vandoise, lesquels représentent entre 90 et 95 % de la biomasse.

Se rencontrent ensuite, par importance décroissante : anguille, ablette, gardon, truite, lotte, brochet...

Postérieurement à la mise en service des chutes de Chautagne, Belley et Bregnier-Cordon, l'évolution de la faune piscicole se traduit, d'une manière générale, par une réaction première plutôt négative suivie par des évolutions spécifiques des nouveaux milieux créés :

- . en ce qui concerne les espèces, les quatre cyprinidés rhéophiles\* cités continuent de dominer l'ensemble des échantillons et spécialement la population des tronçons court-circuités,

- . la biomasse en retenues et canaux reste faible et, comparée à la densité qui augmente, met bien en évidence la présence d'individus de petite taille ; les espèces présentes montrent un caractère limnophile affirmé mais la truite se maintient, notamment dans les canaux,

- . dans les tronçons de Rhône court-circuités, la situation est toute différente ; le nombre des espèces et la diversité se maintiennent, voire augmentent en même temps que la biomasse relative et la densité.

Dans le Rhône court-circuité de Bregnier-Cordon, où les débits réservés sont bien plus élevés, surtout en été, on ne constate pas de réaction initiale comme à Chautagne et surtout Belley.

Des pêches électriques effectuées sur la passe à poissons, du type à bassins successifs, mise en place dans le seuil des Molottes ont montré le bon fonctionnement de cet ouvrage en période de frai, ce qui peut contribuer à expli-

quer le bon comportement de ce tronçon.

A Donzère-Mondragon, sur le Bas-Rhône, des pêches électriques ont permis de recenser environ 25 espèces de poissons, nombre comparable à celui des espèces du Haut-Rhône. La population piscicole y est dominée par les cyprinidés dont le gardon et le chevaine constituent l'essentiel de l'effectif.

## LES PREOCCUPATIONS LIEES A L'ENVIRONNEMENT NATUREL ET HUMAIN

### Inserion des ouvrages dans le paysage

Pour faciliter l'insertion de ces ouvrages dans l'environnement, la Compagnie a entrepris, depuis plusieurs années, en liaison avec le Laboratoire de Botanique et de Biologie Végétale de l'Université de Grenoble, des études et des essais destinés à mieux connaître le milieu naturel et à choisir les espèces les plus propices à sa reconstitution après travaux.

Des espèces ligneuses et des mélanges de graines herbacées ont été sélectionnés pour répondre aux caractéristiques des différents milieux artificiels créés par les travaux en liaison avec la pente, l'exposition, la nature du substrat, la profondeur de la nappe phréatique.

Actuellement, sur chaque aménagement, plusieurs centaines d'hectares sont enherbés et plusieurs dizaines de milliers d'arbres sont plantés pour accélérer la cicatrisation du milieu en le reconstituant sous ses différents aspects : prairie naturelle, prairie arborée, forêt riveraine, peupleraie.

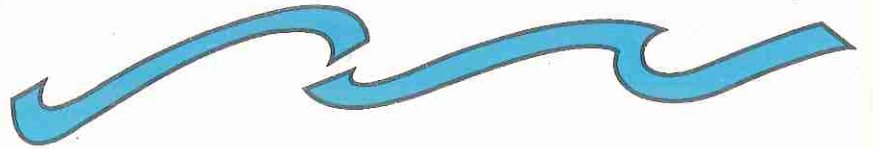
Des architectes paysagistes apportent leurs conseils à la Compagnie pour reconstituer ces diverses unités en liaison avec les zones bordières de l'aménagement.

### Préoccupations d'ordre biologique

- L'avifaune

Le Rhône représente un axe migratoire important. Les aménagements ont créé des zones d'hivernage de qualité (secteur de La Voulte, réserve de Printegarde, le secteur en amont du barrage de la retenue à Péage-de-Roussillon, le plan d'eau de Massignieu-les-Rives où l'on a pu dénombrer 13000 oiseaux





en hiver).

L'aménagement a accru de manière considérable l'étendue des zones humides en aval de la Drôme. Il n'est malheureusement pas sûr qu'une étude plus approfondie de ces aspects ne ferait pas apparaître aussi quelques points moins positifs.

#### - Faune terrestre

La faune terrestre a fait l'objet d'études et de recherches sur place dans trois axes principaux :

+ le grand gibier dont les zones de passages ont été inventoriées et reconstituées lorsque nécessaire (exemple du canal d'aménée de Chautagne) ;

+ le castor qui s'est maintenu, voire développé, en liaison avec les travaux de la Compagnie ; aussi et surtout en raison de la protection dont il est l'objet ;

+ la loutre, espèce en voie de disparition qui pourrait être réintroduite.

#### - La faune piscicole et la pêche

Pour des raisons diverses, parfois mal connues (impact de la pêche, pollution croissante du Rhône et de son estuaire), mais aussi en liaison avec les aménagements du Rhône (dragage des zones de frayères, obstacle mécanique à leur migration), la plupart des espèces migratrices encore récemment présentes dans le Rhône jusqu'à des points très à l'amont, ont disparu (Esturgeon) ou plus ou moins fortement régressé (Lamproie marine, Alose).

Afin de favoriser leur déplacement, des ouvrages de franchissement ont été construits : échelles à poissons de Beaucaire et du seuil du Gard, écluses à poissons des barrages de Vallabregues, Avignon et Caderousse ; dispositifs d'attraits dans les écluses de ces mêmes aménagements ; écluse à poissons du barrage de Savières ; rivière artificielle du seuil de Yenne ; passe à bassins successifs du seuil des Molottes.

L'étude menée sur l'aménagement de Belley permet d'observer, du fait de la modification des hauteurs d'eau dans le lit court-circuité, une augmentation des populations d'ombres communs, espèce très prisée par les pêcheurs à la mouche ; cette particularité induit un

développement de la pêche dans cette région, et un intérêt touristique particulier.

Afin de compenser les déficits de production que pourraient engendrer ses aménagements, la CNR verse chaque année des indemnités correspondant à l'alevinage, pour l'ensemble du Rhône, d'environ 300 000 truites et 140 000 ombres communs.

Elle a financé également la mise en place d'une importante éclosérie dans le département de l'Ain.

#### La navigation de tourisme et de plaisance

Le Rhône aménagé a contribué à la progression de la navigation de plaisance entre Lyon et la mer. On compte actuellement plus de 2 000 passages par an, avec un maximum mensuel ayant atteint à Beaucaire 523 bateaux de plaisance.

Le développement du tourisme fluvial s'amplifie avec l'arrivée sur le Rhône de bateaux à passagers, certaines croisières se faisant sur un seul aménagement sans franchissement des ouvrages tandis que d'autres relient par exemple Lyon à Avignon.

En 1986, la Compagnie a installé 4 appontements spécialisés pour ce type de navigation, ce qui augmente les possibilités d'accès qu'offrent déjà les bases de loisirs.

Les retenues sont également propices à l'exercice des loisirs nautiques : planche à voile, ski nautique, etc... On dénombre, sur le Bas-Rhône, 36 bases nautiques.

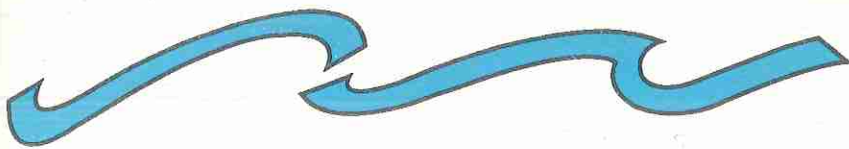
La canalisation du Rhône a conservé et adapté les centres de plein air et de loisirs préexistants aux nouvelles conditions hydrauliques et a aussi offert de nouvelles possibilités en supprimant bon nombre des aspects dangereux du fleuve dans son état antérieur.

Dernièrement un nouveau type de réalisation connaît un vif succès : il s'agit des rivières artificielles à canoë-kayak, c'est le cas des aménagements de Belley (Yenne), de Péage-de-Roussillon (Saint-Pierre-de-Boeuf) et de Saultz-Brenaz.

#### Protection contre les crues

Les endiguements construits le long du Rhône pour réaliser l'aménagement du fleuve protègent des surfaces importantes de terrains contre les inondations.





De Lyon à la mer 13 470 ha sont totalement protégés contre les crues du Rhône, et 27 750 ha le sont partiellement ; seuls 1 130 ha, sur une superficie totale de 42 350 ha estimée inondable en l'absence de tout aménagement, conservent une situation inchangée.

Cette protection est d'abord utile pour les nombreuses agglomérations riveraines qui, même lorsqu'elles restent vulnérables aux crues, le sont moins fréquemment qu'autrefois et dans des conditions moins destructrices.

Elle joue aussi un rôle très positif en faveur de l'agriculture car elle permet son développement dans de nombreux secteurs où il n'était pas possible autrefois.

### **L'assainissement des villes riveraines et du bassin du Rhône**

Le Rhône constitue l'exutoire naturel de tous les effluents urbains et industriels de son bassin.

Il faut signaler les efforts très importants faits par les collectivités locales depuis une vingtaine d'années pour le recueil et l'épuration de ces effluents.

Ces travaux ont été assez souvent liés à ceux de l'aménagement du Rhône qui en ont parfois été l'occasion.

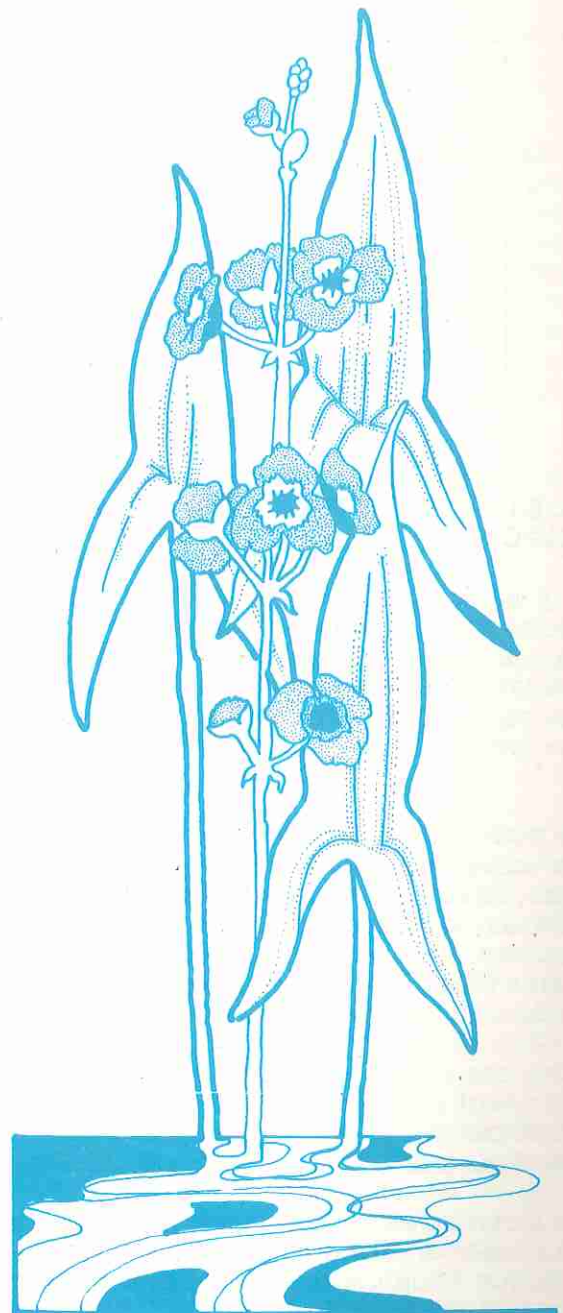
### **CONCLUSIONS**

L'aménagement du Rhône et le type d'ouvrages qui y fut construit, a certes modifié le paysage et la dynamique du fleuve avec des conséquences sur le milieu naturel préexistant.

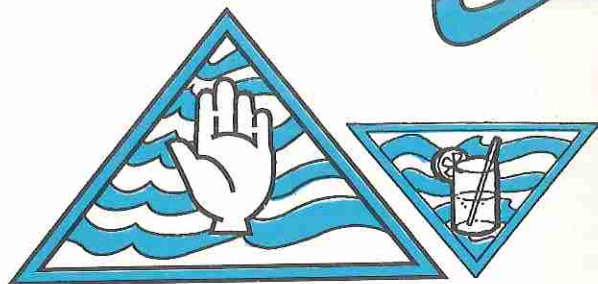
Néanmoins, ces aménagements à buts multiples ont permis, sur le plan agricole, de protéger de vastes surfaces contre les crues, de stabiliser la nappe phréatique et d'améliorer les possibilités d'irrigation.

Dans le domaine de l'énergie, la production du Rhône atteint 16 milliards de kWh en année moyenne. Elle constitue actuellement plus de 20 % de la production hydraulique nationale. La voie navigable à grand gabarit établie sur 310 km entre Lyon et la Mer Méditerranée permet l'accès toute l'année aux convois de 3 000 à 5 000 T et aux navires fluvio-maritimes, ce type de transport permet également le développement de certaines communes riveraines du fait des zones portuaires et industrielles aménagées.

Enfin, les préoccupations grandissantes à l'égard des problèmes d'environnement ont incité les aménageurs à prendre conscience de l'importance de la faune et de la flore pour le maintien des équilibres naturels ainsi que de l'insertion des ouvrages dans le paysage, tout en développant, à la demande des riverains, des zones de loisirs et de sports nautiques.







## 4.5 RESERVES D'EAU POTABLE

### LES BESOINS

L'eau, richesse naturelle et facteur essentiel de développement, a longtemps paru inépuisable. L'approvisionnement en eau pose des problèmes de quantité et de qualité en raison de son rôle croissant pour les besoins d'hygiène,

de confort domestique, agricoles et industriels. Les origines de ces eaux sont diverses. A titre d'exemple, nous donnons ci-après, en millions de mètres cubes et en pourcentage, les origines des eaux potables distribuées dans la région Rhône-Alpes pour l'année 1985.

Origine	Volumes en millions de m <sup>3</sup>	Pourcentage par rapport	
		au total	aux eaux de surface
Consommation totale	188	100	-
Eaux souterraines	177	94	-
Eaux superficielles	11	6	100
Plans d'eau	9,3	5	85
Cours d'eau	1,7	1	15

Origine des eaux potables (Rhône-Alpes 1985)

### MOBILISATION ET REGULATION DE LA RES-SOURCE

Pour des raisons de qualité physique (température) et chimique (moins soumises à pollution), les eaux souterraines sont les sources privilégiées pour l'alimentation en eau potable des populations. Malheureusement elles ne se rencontrent pas partout en quantité suffisante.

Les eaux courantes, malgré leur taux de pollution souvent plus élevé prennent alors le relais, mais s'avèrent insuffisantes pendant les périodes d'étiage, avec des situations qui peuvent devenir critiques lors de déplacements démographiques saisonniers importants.

Dans ces cas-là et malgré les défauts qu'ils cumulent (température élevée, pollution maximale) on est souvent contraint de faire appel aux plans d'eau, naturels ou artificiels.

Les lacs naturels ont l'avantage d'exister ; malheureusement, pour leur utilisation, s'établit presque toujours une compétition entre objectifs contradictoires qu'il est difficile de concilier.

Les retenues artificielles peuvent en théorie être mieux ciblées ; une certaine concurrence reste tout de même pratiquement toujours inévitable.

### GRILLE DE QUALITE

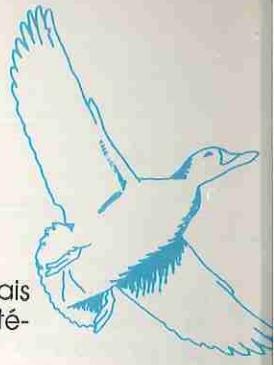
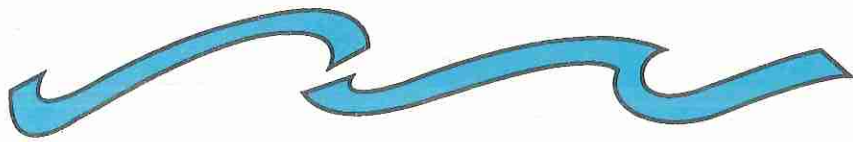
En règle générale, pour ne pas dire toujours, les eaux de surface, donc celles des plans d'eau, ne répondent pas directement, à l'état brut, aux critères de potabilité. Elles doivent être traitées, pour éliminer ou réduire tel ou tel élément indésirable.

Suivant la qualité de l'eau brute, les traitements seront plus ou moins complexes, plus ou moins coûteux. En simplifiant un peu, on peut retenir trois niveaux de traitement, classés par ordre de complexité et de coût croissant :

- Catégorie 1 : filtration grossière et désinfection (chloration).

- Catégorie 2 : on y ajoute deux échelons intermédiaires : une décantation après préchloration, coagulation et floculation ; une filtration fine à travers un massif de sable.





- Catégorie 3 : aux étapes ci-dessus très soigneusement conduites, vient s'ajouter, après le filtre à sable, un affinage sur filtre à charbon actif.

La Communauté Economique Européenne a établi une grille de qualité, qu'on peut se procurer auprès des services compétents de l'administration ou des Agences de Bassin et qui, selon le niveau de traitement visé, fixe pour les principaux éléments présents dans l'eau, les limites supérieures admissibles dans l'eau brute.

### ALTERATION DE LA RESSOURCE

A la différence des eaux courantes (rivières ou fleuves), dont la qualité varie tout au long de leur parcours et suivant leur régime hydraulique, celles des retenues et lacs se renouvellent plus lentement et présentent des qualités plus constantes, cependant sujettes à évolution.

Les processus d'altération de la ressource en eau, propres aux plans d'eau sont principalement liés à deux phénomènes :

#### **l'eutrophisation**

On a examiné au chapitre 31 ce qu'était l'eutrophisation, quelles étaient ses causes et ses effets sur les plans d'eau. On peut insister un peu sur ses conséquences concernant la potabilité de l'eau. La turbidité liée ou non à la présence d'algues, la couleur, le fer ou le manganèse, compliquent le traitement, en particulier la décantation et la filtration. Les algues seules ou combinées au chlore secrètent des produits au goût désagréable, voire franchement toxiques. On redoute également une diminution d'efficacité et de pérennité de la stérilisation par le chlore. Il peut en découler des développements de moisissures et de champignons dans les réseaux de distribution.

#### **la sédimentation**

Ses facteurs peuvent être d'origine interne, produits de l'activité biologique favorisée par l'eutrophisation ; ou externes, dus à l'érosion des sols du bassin versant. L'intensité de ce phénomène est liée à des paramètres naturels : conditions climatiques (orages), nature géologique et pente du sol ; ou artificiels : la déforestation, les façons culturales l'accélèrent. L'effet principal en est le comblement de la cuvette lacustre, la réduction de sa capacité

utile, sa disparition à terme. Mais la sédimentation n'est pas sans altérer la qualité de la masse d'eau.

### TRAITEMENT

#### **Contraintes particulières**

Les caractéristiques propres d'une retenue (stratification-lenteur du renouvellement) conduisent le traicteur à des interventions spécifiques :

- adaptation de la hauteur de la prise d'eau dans la retenue en fonction du niveau du plan d'eau et de sa stratification ;

- dispositifs de traitement multiples et souples afin de faire face aux variations saisonnières de qualité, voire aux pollutions accidentelles dont les effets sur la retenue sont trop durables pour qu'on puisse se permettre d'attendre leur extinction naturelle. Ils doivent éliminer successivement tous les éléments indésirables, en allant des plus gros aux plus fins, de ceux qui sont apparents à ceux qui sont difficilement analysables (odeurs - saveurs).

Sans prétendre à l'exhaustivité, nous allons en examiner quelques uns.

#### **Particules en suspension**

Ce sont notamment les algues et des éléments vivants. Suivant leur prolifération, on peut être amené à procéder par dégrillage, tamisage, flottation.

#### **Particules fines et colloïdes**

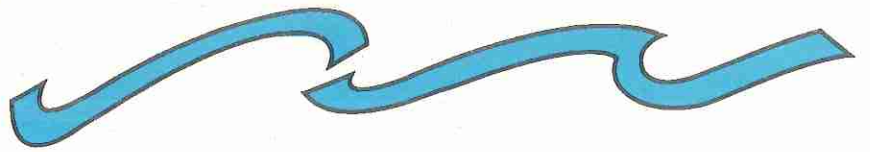
La décantation naturelle s'est produite dans le plan d'eau. Pour les particules et colloïdes restants, il sera nécessaire d'accélérer le processus par adjonction de réactifs chimiques dits de coagulation et de floculation ; non sans avoir au préalable, stoppé toute activité biologique par introduction d'un agent oxydant : composé de chlore, ozone, permanganate ; voire d'un algicide : sulfate de cuivre.

Après cette étape on peut en général faire l'économie d'une décantation et passer directement à la filtration sur sable ou produits composites.

#### **Désinfection**

Pour éliminer les germes pathogènes on utilise,





après filtration, un agent désinfectant choisi en fonction de son efficacité, de son coût, de ses possibilités de mise en oeuvre : eau de javel ou rayons ultraviolets pour les plus petites installations, jusqu'à l'ozone pour les plus grandes, en passant par le chlore et ses dérivés.

Le dosage des réactifs est très important. Il permet de réduire les effets secondaires indésirables, notamment les mauvais goûts, et d'assurer une rémanence du pouvoir bactéricide dans les réseaux de distribution.

### Goût - Odeur

Goûts et odeurs apparaissent fréquemment dans les eaux en provenance des retenues. On les élimine en général en deux étapes. On oxyde d'abord à l'ozone naissant (produit sur place) ou (et) au bioxyde de chlore. On filtre ensuite sur charbon actif en grains.

Ce matériau intercepte une grande diversité de molécules ; il faut donc le régénérer fréquemment. C'est pourquoi on lui préfère dans certains cas une addition temporaire (pendant l'apparition du mauvais goût) de charbon actif en poudre avant la filtration.

### Fer et manganèse

Ces éléments indésirables, assez souvent rencontrés dans les eaux des retenues, provoquent, à concentration suffisante, après aération de l'eau, l'apparition des tâches couleur rouille ou de particules noirâtres. Leur élimination, dans des conditions et par un traitement spécifiques aujourd'hui bien maîtrisés, fait appel à des réactifs d'oxydation en milieu d'acidité (pH) bien déterminé.

### Minéralisation - Equilibre ionique

Les eaux des retenues sont généralement peu minéralisées. Elles peuvent nécessiter des corrections d'acidité, surtout après adjonction d'un flocculant. Le traitement peut aller d'un simple apport de chaux ou de soude, jusqu'à une reminéralisation lorsque les risques de corrosion métallique font craindre la possibilité de saturnisme (plombémie).

### Schéma d'une filière de traitement

La filière schématisée ci-après correspond à un traitement complet fréquemment rencontré pour des installations moyennes (180 m<sup>3</sup>/h - 10 000 habitants) en région cristalline où les eaux de retenue sont peu minéralisées.

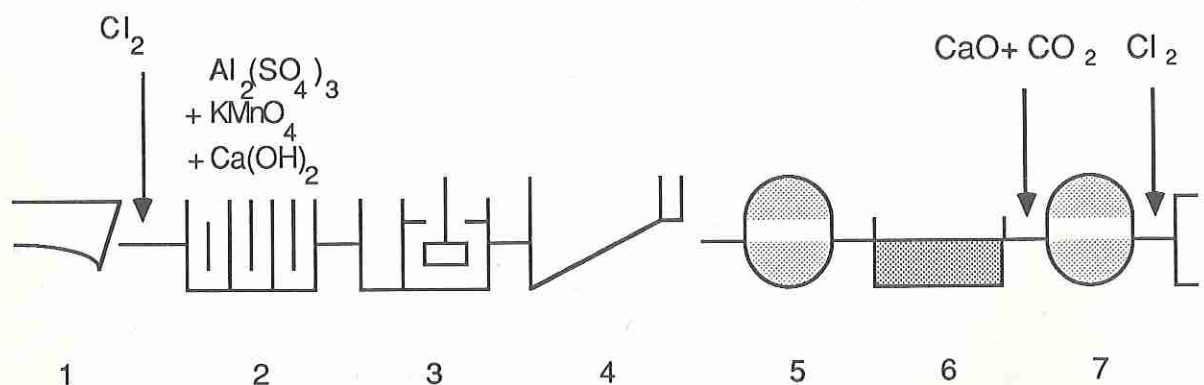


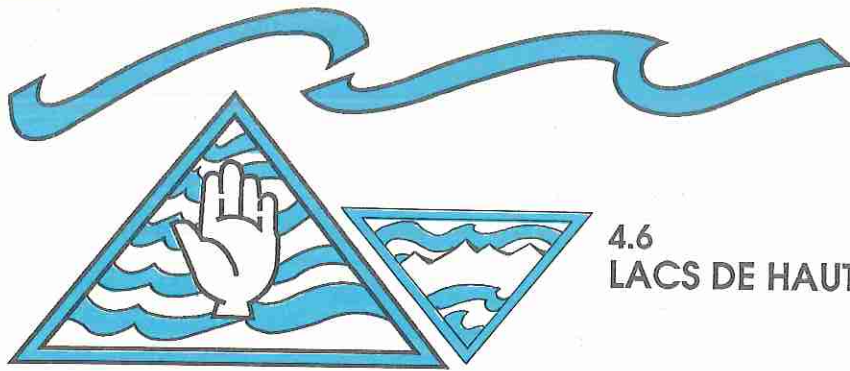
Schéma d'une filière de traitement

#### Légende :

1 : Prise d'eau à la retenue - Préchloration  
2 : Floculation au sulfate d'aluminium (48 mg/l), éventuellement permanganate et chaux  
3 : Agitation lente, 20 m<sup>3</sup> en 4 bacs

4 : 4 décanteurs longitudinaux de 110 m<sup>3</sup>, pouvant être court-circuités  
5 : Tour d'ozonation de 25 m<sup>3</sup> (ozoneur de 800 g/h)  
6 : 4 filtres à sable ouverts de 4 x 9 m<sup>2</sup>  
Injection de gaz carbonique (20,5 mg/l) et lait de chaux (32 mg/l)  
7 : Post ozonation





## 4.6 LACS DE HAUTE MONTAGNE

Notre propos, au cours de ce chapitre, consistera à dégager les particularités des lacs naturels de haute montagne des Alpes françaises du nord par rapport aux grands lacs subalpins, d'altitude inférieure à 500 mètres : Léman, Annecy, Le Bourget, Aiguebelette ... et aux retenues hydroélectriques, bien que certaines soient implantées vers 2000 mètres : Plan d'Amont (2078 m), Mont Cenis (1979 m), Chevril (1794 m) ...

Du fait des dimensions, le plus souvent restreintes, de ces lacs de haute altitude et de la quasi absence de stratification thermique stable dans la plupart d'entre eux, nous élargirons la définition donnée au chapitre 1, aux plans d'eau présentant une profondeur supérieure à trois mètres et une superficie supérieure à un demi hectare.

Dans ce contexte nous évoquerons les caractéristiques morphométriques et physico-chimiques de ces lacs, ainsi que certaines difficultés techniques inhérentes à leur étude. Nous aborderons quelques unes de leurs caractéristiques biologiques au niveau des producteurs (macrophytes et phyto-plancton) et des consommateurs (zoo-plancton, invertébrés) ainsi que quelques résultats d'adaptation d'espèces de Salmonidés (Ombles en particulier) empiriquement introduites dans ces lacs.

Outre une meilleure connaissance intrinsèque de ces lacs de montagne qui offrent par leurs seules qualités esthétiques un véritable attrait touristique en été, nous proposerons une classification sommaire, à partir de l'exemple des lacs de Vanoise, dans la perspective d'apporter quelques consignes de gestion, notamment à l'usage des sociétés de pêche.

Nous insisterons enfin sur la fragilité de ces milieux d'altitude inaptes à recevoir et dégrader convenablement des effluents touristiques tels que ceux issus des refuges de montagne, ainsi que les inconvénients inhérents aux captages de leurs eaux qui, du fait des marnages qu'ils induisent, diminuent leur productivité biologique déjà faible naturellement.

### SITUATION ET ORIGINE DES LACS DE HAUTE MONTAGNE

En examinant la carte des Alpes, on observe

tout d'abord qu'il y a peu ou pas de lacs à l'intérieur des massifs préalpins calcaires, à quelques rares exceptions près : lacs de Lessy et de Benit dans les Bornes, lac de la Thuille dans les Bauges.

On constate ensuite qu'il y a très peu de plans d'eau entre 1000 et 2000 m d'altitude. En revanche, il existe des "populations" de lacs dans les massifs cristallins externes : dans le massif de Belledonne (les fameux Sept Laux), dans le Beaufortain et les Aiguilles Rouges, entre 2100 et 2400 m d'altitude.

Enfin le même phénomène de "grégarité" s'observe dans les massifs internes tels que la Vanoise où les lacs sont répartis autour des appareils glaciaires, à une altitude moyenne de 2500 m.

Nous pouvons ainsi déduire que la plupart des lacs de haute montagne sont d'origine glaciaire.

On notera deux cas principaux :

1. les lacs de surcreusement, établis dans une dépression du substratum, les roches les plus tendres ayant été affouillées par le lit d'un glacier, par exemple le lac du Mont-Coua.
2. les lacs de barrage, retenus derrière des dépôts morainiques abandonnés par les glaciers (moraine frontale plus souvent que latérale, exemple : lac du Grand Fond, de Chasseforêt...).

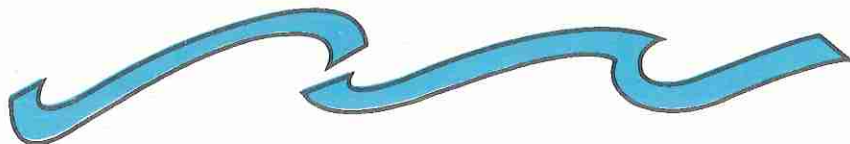
#### Autres origines :

La dépression du substratum peut être due aux actions de dissolution dans le cas de roches telles que les gypses ; on a alors un lac de doline. Exemple : le lac de Tignes.

La dépression du substratum peut être liée à une structure géologique de type synclinal. Exemple : le lac de la Roche Ferran. Le barrage qui retient le lac peut être lié à un écroulement. Exemple : en Vanoise, le lac Rond (inférieur), sous la Grande Casse.

Enfin certains lacs ont une origine mixte :  
- à la fois de surcreusement glaciaire et de surélévation morainique,





- d'origine tectonique et de barrage...

### **CARACTÉRISTIQUES MORPHOMÉTRIQUES DE LA CUVETTE LACUSTRE**

Les lacs naturels de haute montagne présentent en moyenne des caractéristiques morphométriques restreintes : superficie, profondeur maximale. Outre l'altitude particulièrement élevée des plans d'eau de Vanoise (2500 m) leurs caractéristiques morphométriques, définies à partir d'un échantillon d'une trentaine de lacs, sont conformes à celles des autres lacs alpins français (Edouard, 1983) ; aussi les prendrons-nous en exemple.

#### **Profondeur maximale de la cuvette lacustre**

La moyenne des profondeurs maximales enregistrées en hautes eaux (après la fonte des neiges, en début d'été) est inférieure à 10 mètres ; elle s'établit autour de 9 mètres.

Si l'on fait abstraction du lac de Tignes (37,50 m), situé en zone périphérique, le lac le plus profond sondé en Vanoise est le lac supérieur du Merlet (29 m) ; sur les trente plans d'eau étudiés, dix seulement dépassent 10 mètres de profondeur dont le lac de la Plagne (19 m) et les lacs du Lou et Noir de Sainte-Foy qui atteignent tous deux 17 mètres.

N.B. : la profondeur d'un lac de montagne est relativement constante lorsque son déversoir est superficiel, cas le plus fréquent (variation inférieure à 40 centimètres entre les hautes eaux, après la fonte des neiges, et l'étiage de l'automne). Dans le cas d'émissaire sous lacustre, le niveau du lac peut varier considérablement et atteindre un marnage égal ou supérieur à 4 mètres (exemple du lac inférieur du Merlet qui passe de 17 à 13 mètres de profondeur à l'automne).

#### **Superficie de la cuvette lacustre**

La superficie moyenne, calculée dans le cas des lacs de Vanoise, à partir de photos aériennes s'établit autour de 3 hectares ; les plus grands lacs atteignant 7 à 8 hectares (lac de la Plagne : 7,6 ha et lac du Lou : 6,9 ha).

N.B. : le marnage d'un lac peut affecter considérablement sa superficie ; ainsi le lac inférieur du Merlet, déjà cité, peut varier quasiment du simple au double.

### **CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA CUVETTE LACUSTRE**

#### **La transparence**

Cette mesure simple, réalisée à l'aide du disque de Secchi, permet d'apprécier en première approximation, par le biais de la quantité de phytoplancton, le niveau trophique d'un lac. Cependant, dans le cas des lacs de haute montagne, cette méthode se heurte fréquemment à deux difficultés "contradictoires" :

+ Cas des lacs très transparents alimentés par des sources :

La transparence correspond à la profondeur de la plupart de ces lacs, le disque restant visible jusqu'au fond, parfois à plus de 12 mètres. Exemple : le lac Rond du col de La Vanoise.

+ Cas des lacs turbides :

Les lacs ayant conservé des rapports étroits avec les appareils glaciaires (lacs pro- et juxtaglaciaires) sont presque toujours turbides du fait de particules minérales en suspension ; leur transparence est inférieure à 3 mètres, ne traduisant en rien leur productivité qui est souvent extrêmement faible. Exemples : lacs Blancs du Carro et de Poiset, lac Long, lac de Chasseforêt...

N.B. : comme nombre de paramètres, la transparence varie dans le temps pour un même plan d'eau ; ainsi au lac du Mont-Coua a-t-on relevé 9 m de transparence en début d'été et seulement 3,40 m courant Août.

#### **La température**

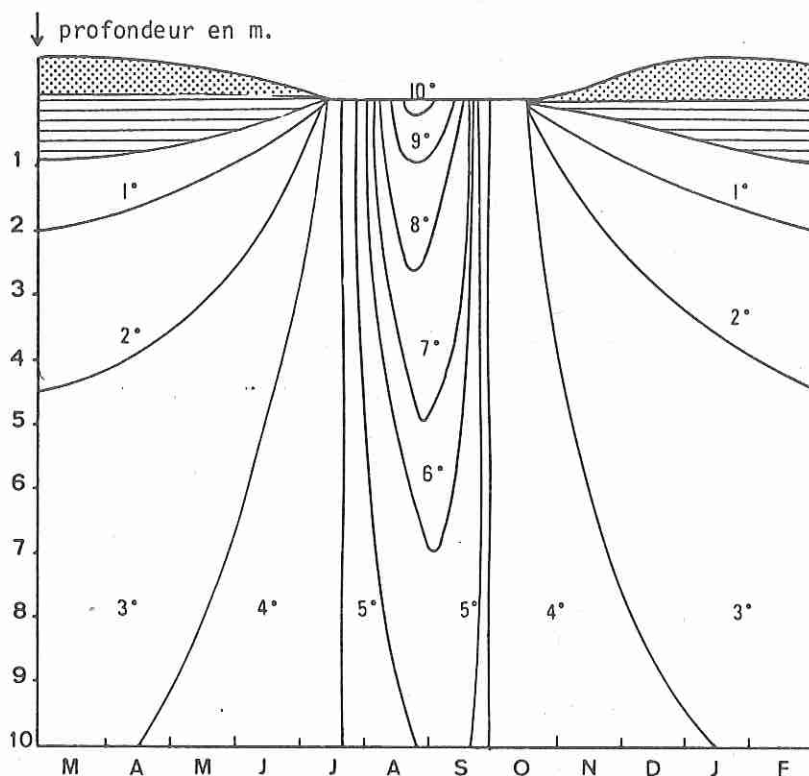
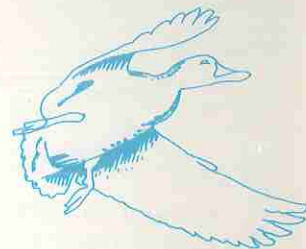
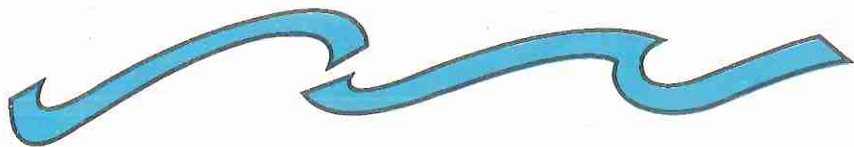
Dans la plupart des lacs de haute montagne les relevés de températures, pratiqués au cours de cycles annuels, permettent de dresser des profils thermiques qui diffèrent à plusieurs titres de ceux offerts par les grands lacs subalpins.

Sur le schéma de la page suivante qui présente l'évolution des profils thermiques au cours de l'année 1977-1978 dans le lac du Mont-Coua (2672 m) on notera en particulier :

- l'absence de véritable thermocline tout au long de l'année,

- les deux périodes d'isothermie (températures





Evolution des profils thermiques au cours de l'année 1977-1978 dans le Lac du Mont Coua (2672 m)  
(inspiré de Caplançq et Laville)

homogènes dans toute la masse d'eau) courant Juillet et fin Septembre,

- l'inversion de "stratification" des eaux sous le bouclier de glace en hiver puisque à cette période les eaux les plus "chaudes" (4° C) s'observent au fond, alors qu'en été ces eaux qui ne dépassent guère 10° C "flottent" en surface,

- ce cycle thermique établi au lac du Mont-Coua correspond au schéma le plus couramment observé dans les lacs de haute montagne (lacs di ou bimictiques).

Il ne faut cependant pas exclure que des lacs de faible profondeur, fortement soumis aux actions des vents, subissent des refroidissements importants au cours d'un été et présentent un caractère polymictique. Enfin les eaux de certains lacs situés vers 2900 m peuvent rester toute l'année en-dessous de 4° C ; nous avons alors des lacs monomictiques froids.

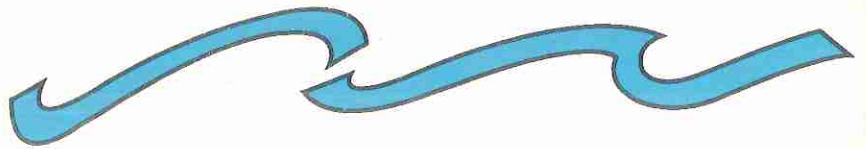
Exemple : le lac du Grand-Fond.

### L'oxygène dissous et le pourcentage de saturation

Pour les lacs de montagne comme pour ceux de plaine, l'oxygène dissous présente un intérêt fondamental pour tout organisme vivant. On analysera en altitude ce paramètre avec la méthode chimique de Winkler plutôt qu'à l'aide d'un oxymètre électronique dont l'emploi par grands froids est problématique.

Si en été les quantités d'O<sub>2</sub> enregistrées sont en général supérieures à la saturation, au fond de quelques plans d'eau on note toutefois dès cette saison un déficit en oxygène qui traduit la décomposition de la matière organique. Exemple : lac Blanc de Termignon, lac Noir de Sainte-Foy. Inversement au fond de certains lacs, exemple Roche Ferran, on a relevé une sursaturation en oxygène (147 % contre 132 % en surface) qui pourrait être induite par la présence d'algues filamenteuses sur le fond. Cependant c'est en période hivernale, malgré les difficultés d'accessibilité et celles rencontrées pour perforer la couverture de glace, qu'il convient de surveiller particuliè-





rement le déficit en O<sub>2</sub> dissous. En effet ce déficit peut être tel (en l'absence d'apport d'eau et après consommation de l'oxygène dissous présent à l'automne) qu'il peut entraîner le fameux "Winter-kill" = mortalité hivernale, constaté en Amérique du Nord.

Ceci pourrait expliquer des échecs successifs d'introduction de poissons dans certains plans d'eau. A titre d'exemple, au cours de la période allant de Novembre 1976 à Juin 1977 nous avons enregistré au lac du Mont-Coua les valeurs suivantes d'oxygène dissous (moyenne à partir de 2 à 3 échantillons).

Date	Oxygène dissous en mg/l		
	En surface sous la glace	à 4 m de profondeur	à 9 m de profondeur
01-11-1976	10,36	9,87	5,00
27-02-1977	8,16	2,31	0,13
30-05-1977	9,57	0,80	0,00
19-06-1977	9,41	0,80	0,02

Teneurs en oxygène dissous au Lac du Mont Coua

### Minéralisation globale

Concernant ce paramètre, nous avons constaté pour le massif de la Vanoise un très large gradient de minéralisation :

- des lacs très peu minéralisés comme les lacs du Carro (< 20 mg/l) ;
- des lacs correspondant à la moyenne des eaux douces continentales (= 80 mg/l) ;
- enfin des lacs très minéralisés (lac de la Roche Ferran) atteignant jusqu'à 400 mg/l de minéralisation globale au niveau des eaux de fond.

L'interprétation de ces résultats peut être abordée en examinant la constitution lithologique des différents bassins versants.

En effet les lacs les moins minéralisés sont établis sur les gneiss du Grand Paradis ainsi que les schistes lustrés.

Ceux offrant une minéralisation moyenne présentent des bassins versants partiellement ou entièrement constitués de calcaire, calcaires dolomitiques.

Enfin les lacs de type séléniteux sont en rapport, au niveau de leur bassin versant géologique, avec des gypses (sulfates de Calcium) qui entraînent un "excès" de minéralisation.

N.B. : nous n'examinerons pas ici en détail les différents sels dissous (ions) qui contribuent individuellement à ce large éventail de minéralisation ; nous indiquerons seulement que :

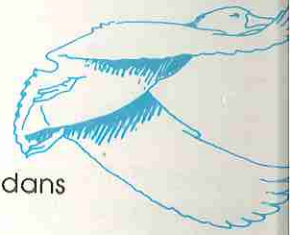
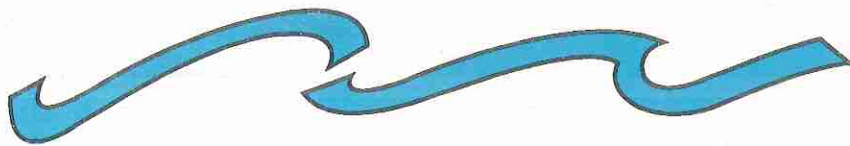
- le Calcium varie d'un lac à l'autre dans les mêmes proportions que la minéralisation globale ;
- le titre alcalimétrique complet permet de scinder aisément les lacs en deux catégories :
  - . les lacs établis sur substrats silicatés : TAC < 2° français,
  - . les lacs établis sur substrats calcaires : 4° < TAC < 9° français ;

- enfin insistons sur le fait que les gypses sont à même de créer "des surprises" lorsqu'ils ne sont pas affleurants, pouvant rendre des eaux "pures de montagne" impropres à la consommation humaine avec des quantités de sulfates supérieures aux normes impératives pour la fabrication de l'eau potable (250 mg/l). Exemple : lac de Tignes, du Pelve, de la Roche Ferran.

### CONDITIONS CLIMATIQUES

Avant d'examiner les caractéristiques biologiques principales des lacs de haute altitude, il paraît nécessaire d'évoquer brièvement les





conditions climatiques qui y règnent, notamment la persistance du bouclier de glace qui recouvre ces plans d'eau.

En effet la production primaire ne peut s'effectuer convenablement sans de bonnes conditions de lumière (photosynthèse) et de température, ce qu'une couverture de glace et de neige pouvant atteindre 2 m d'épaisseur ne peut assurer.

N.B. : si l'altitude conditionne grandement la durée du bouclier de glace, il faut considérer toutefois que la situation topographique de certains plans d'eau comme le lac de la Valette à Pralognan, peut largement contribuer à augmenter de plus d'un mois cette persistance du gel.

On peut considérer en première approximation que la durée du gel est de l'ordre de 8 mois vers 2400 m, 9 mois vers 2600 m, 10 mois vers 2800 m.

## LES PRODUCTEURS

### Les macrolimnophytes

Dans les lacs de montagne, les macrolimnophytes (grandes plantes immergées) ne jouent souvent lorsqu'elles sont présentes, qu'un rôle accessoire vis-à-vis de la production primaire. Il convient néanmoins de citer à titre d'exception la famille des Characées dont certaines espèces constituent localement de véritables prairies sous-lacustres qui offrent un abri efficace aux invertébrés ou aux poissons et servent de support aux algues unicellulaires (périphyton). Citons dans ce cas, le lac du Lou (2035 m) situé dans la vallée des Bellevilles ainsi que le lac de la Plagne de Peisey-Nancroix (2144 m). Ces Characées parviennent à coloniser des pièces d'eau jusque vers 2500 m.

Parmi les phanérogames, les monocotylédones les plus fréquemment observées appartiennent au genre *Potamogeton* (*gramineus*, *pusillus* et *rufescens*) ainsi qu'au genre *Sparganium* : *Rubanier* qui envahissent les plans d'eau relativement chauds, aux berges faiblement inclinées.

Parmi les dicotylédones, seule la *Renoncule aquatique* est fréquente et parvient à s'épanouir à plus de 2700 m.

### Le phytoplancton

Les algues phytoplanctoniques constituent avec les algues benthiques la presque totalité

du niveau des producteurs dans les lacs de haute altitude.

L'étude du peuplement phytoplanctonique d'une trentaine de lacs de Vanoise a permis de répertorier plus de 300 taxons différents.

Un premier classement de ces lacs à partir du groupe d'algues dominant et de leur richesse spécifique fait apparaître deux catégories principales de plans d'eau :

1. les lacs à Diatomées qui ont une faible richesse spécifique (3 à 15 espèces) ; ce sont les lacs les plus grands et les plus froids (les moins productifs) ;
2. les lacs à Desmidiées présentant de 20 à 45 espèces ; ce sont des plans d'eau de faibles dimensions, ceux qui se réchauffent le mieux et qui sont en cours d'évolution vers le stade de tourbière.

N.B. : avec une centaine de taxons identifiés, les algues benthiques ont conduit à la même classification large de lacs à Diatomées, à Desmidiées et de plans d'eau intermédiaires sans prédominance nette.

Nous retiendrons enfin que le climat alpin exerce un contrôle plus quantitatif que qualitatif sur cette flore algale avec un fort pourcentage de taxons qui se rencontrent dans un seul plan d'eau.

## LES CONSOMMATEURS

### Les invertébrés

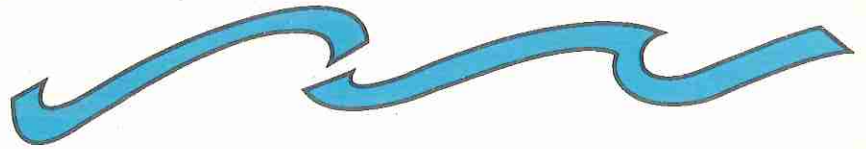
Les invertébrés occupent dans la chaîne alimentaire des lacs un rôle fondamental étant donné qu'ils sont vecteurs et transformateurs de matière et d'énergie entre l'échelon producteur (macrophytes et phyto-plancton) et les différents niveaux de consommateurs.

Les invertébrés ont dans cette chaîne alimentaire des lacs de montagne des places diverses ; ils peuvent être détritiques, herbivores, carnivores, omnivores ou parasites.

Parmi les invertébrés les plus courants dans les lacs de haute altitude nous insisterons sur ceux qui exercent qualitativement et quantitativement les rôles les plus importants en particulier vis-à-vis des communautés de poissons introduits artificiellement.

Pour mémoire nous citerons aux côtés des





"macro" invertébrés, les Nématodes et les Tardigrades, organismes de très petites dimensions qui participent dans les horizons superficiels des sédiments à la dégradation de la matière organique.

Si la Planaire, *Crenobica alpina*, s'observe sous les pierres à la périphérie de nombreux lacs de montagne, elle ne joue, tout comme la sangsue localisée aux lacs les plus chauds, qu'un rôle écologique accessoire.

A l'inverse des précédentes, les oligochètes sont présents en abondance dans les sédiments meubles de tous les lacs d'altitude prospectés. De par la biomasse qu'ils constituent, leur action sur les sédiments et le rôle de proie qu'ils assurent, ils occupent une place importante.

Parmi les mollusques, outre les gastéropodes tels que les limnées qui peuvent selon les conditions de température et de minéralisation être localement abondantes, il convient de mentionner dans bon nombre de lacs de haute altitude la présence de petits bivalves du genre *Pisidium* qui sont susceptibles d'être ingurgités par les poissons.

Chez les Arthropodes, les Arachnides sont représentés par de petits hydracariens jusque dans des plans d'eau voisins de 2700 m d'altitude. Cependant ce sont les crustacés planctoniques et les insectes diptères aux stades larvaires qui retiendront le plus notre attention.

#### Les crustacés planctoniques

Eu égard au phytoplancton (300 taxons), la richesse spécifique des crustacés planctoniques des lacs de haute altitude peut paraître faible puisque nous avons identifié moins de 20 espèces réparties entre Cladocères (*Daphnies* en particulier) et Copépodes.

En moyenne la richesse spécifique des lacs de haute altitude se situe autour de 3 crustacés planctoniques avec part équivalente de Cladocères et de Copépodes ; moyenne comparable à celle enregistrée dans d'autres massifs montagneux tels que les Rocheuses.

Une analyse multidimensionnelle des données a permis de corréliser la présence des différentes espèces de crustacés avec le facteur température de l'eau ; les lacs de faibles dimensions, les plus chauds, étant ceux qui abritent le plus d'espèces.

Il n'est peut-être pas vain de rappeler que les

stades jeunes des poissons sont, pour leur développement, étroitement dépendants de la qualité et de la quantité de ces crustacés zooplanctoniques.

#### Les insectes

Certains s'observent assez aisément à la périphérie des lacs : les coléoptères aquatiques dont *Agabus solieri* qui semble le plus commun et les hémiptères (punaises) qui sont des hôtes sporadiques. Cependant, ce ne sont pas ces espèces qui sont prépondérantes. En effet, les rôles principaux sont tenus par les larves des trichoptères dont certaines espèces se nymphosent dès la débacle de la glace, et surtout les larves de Chironomidés qui sont présentes dans les sédiments meubles de tous les lacs et qui occupent tant qualitativement que quantitativement la première place.

Il faut insister sur ce fait et dire que la majorité des contenus stomacaux des poissons introduits dans les lacs de montagne, en dehors d'éléments exogènes, sont composés de larves et de nymphes de Chironomidés.

#### Les poissons

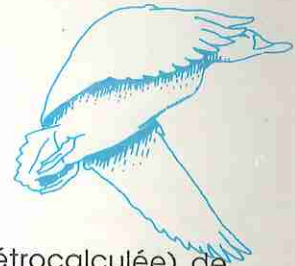
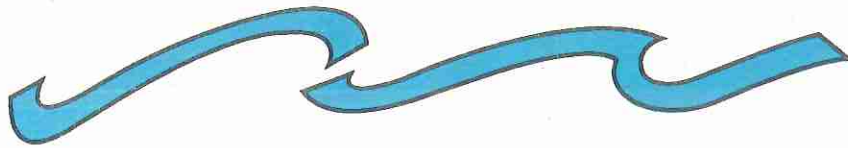
Dans la plupart des lacs de montagne il n'existait pas à l'origine de peuplements piscicoles, du fait des difficultés de communication avec le réseau hydrographique, inhérentes à la structure voire à l'absence d'émissaires superficiels.

Les peuplements piscicoles existant aujourd'hui dans ces lacs résultent donc d'introductions le plus souvent empiriques, selon les aspirations des sociétés de pêche, ou au gré du marché des piscicultures ou de certaines modes concernant des espèces nord-américaines...

Devant ce défaut de gestion et par le fait également que la pêche continue à s'exercer au sein d'espaces protégés tels que les parcs nationaux, nous avons tenté d'apprécier l'acclimatation de certaines espèces introduites afin d'en tirer des enseignements pratiques.

Dans cet esprit nous rapporterons brièvement les résultats de trois études concernant l'acclimatation de l'Omble de fontaine au lac Noir de Sainte-Foy (2483 m), de l'Omble chevalier au lac des Bataillères (2424 m) et de l'Omble du Canada au lac du Mont-Coua (2672 m). Précisons que ces trois plans d'eau sont situés sur des substrats silicatés et que leurs caractéristiques morphométriques sont proches des





moyennes observées pour les lacs de haute altitude : 3 ha et 9 m de profondeur en ce qui concerne Bataillères et Mont-Coua, ou un peu supérieures : 4,55 ha et 17 m pour Sainte-Foy.

N.B. : les études de croissance en longueur ont été réalisées après détermination de l'âge des poissons, capturés au filet, à partir des otolithes.

Résultats :

Croissance en longueur (rétrocalculée) de trois espèces d'Ombles : Omble de fontaine, Omble chevalier, Omble du Canada dans trois lacs de haute altitude des Alpes françaises.

(N : effectif des échantillons) (LT : longueur totale des poissons en mm)

GROUPE D'AGE	Ombles de Fontaine (lac Noir de Ste Foy) Alt : 2483 m	Ombles Chevalier (lac des Bataillères) Alt : 2420 m	Ombles du Canada (lac du Mont-Coua) Alt : 2672 m
	N ; LT	N ; LT	N ; LT
I	53 ; 68	31 ; 55	33 ; 61
II	52 ; 119	31 ; 82	27 ; 161
III	47 ; 167	30 ; 111	26 ; 231
IV	43 ; 196	29 ; 135	23 ; 297
V	5 ; 250	29 ; 151	13 ; 353
VI		21 ; 168	5 ; 368
VII		8 ; 184	4 ; 408
VIII			4 ; 436
IX			4 ; 465
X			4 ; 493
XI			4 ; 518
XII			4 ; 542
XIII			4 ; 567
XIV			1 ; 525

Croissance en longueur de trois espèces d'Ombles dans trois lacs de haute altitude des Alpes françaises

## DISCUSSION

### Croissance en longueur

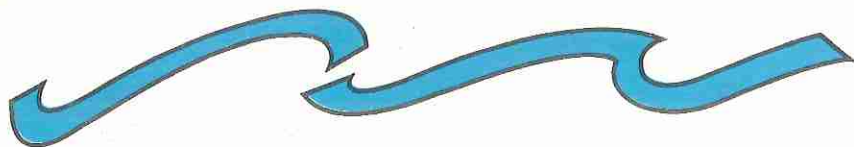
La croissance en longueur du Saumon de fontaine, au lac Noir de Sainte-Foy est comparable à celle observée dans des lacs canadiens comme le lac Matamek au Québec (environ 200 mm à 4 ans). En revanche la croissance de l'Ombles chevalier au lac des Bataillères apparaît très faible ; elle s'apparente à ce que l'on nomme improprement le "nanisme" de l'Ombles chevalier (environ 150 mm à 4 ans). La croissance de l'Ombles du Canada au lac du Mont-Coua est quant à elle comparable à celle observée par Magnin et Coll (1978) dans le territoire de la Baie James entre 50 et 55° de latitude Nord, au Québec (environ 300 mm à 4 ans).

### Coefficient de condition

La relation qui existe entre la longueur et le poids d'une espèce reflète le métabolisme général du poisson et permet d'apprécier le résultat d'une introduction dans un lac donné. La "condition" du poisson est d'autant meilleure que le coefficient calculé se rapproche de 1 ou dépasse cette valeur.

Dans le cas des Ombles de fontaine capturés au lac Noir de Sainte-Foy, le coefficient moyen est légèrement supérieur à l'unité (1,085) ce qui semble traduire une assez bonne acclimatation des individus pêchés aux contraintes de ce plan d'eau. La même constatation peut être faite pour les Ombles du Canada pêchés au lac du Mont-Coua (coefficient de condition moyen de 0,950).





En revanche la valeur moyenne des coefficients de condition calculée pour les Ombles chevaliers du lac des Bataillères s'établit à 0,78 ; ce qui dénote leur très faible embonpoint au même titre que celui observé dans d'autres lacs de haute altitude (Pechlaner, 1966).

#### Régime alimentaire

L'examen des contenus stomacaux a révélé à l'époque des études et pour les trois cas, une nette prédominance d'éléments de la faune endogène : larves et nymphes de diptères Chironomides (85 % pour les Ombles de fontaine, 90 % pour les Ombles chevaliers et la quasi totalité des contenus stomacaux des Ombles du Canada).

A titre d'exemple, le contenu stomacal d'un Omble du Canada de 2420 grammes contenait 60 grammes de nymphes soit plus de 10 000 individus d'une même espèce.

#### Reproduction

Concernant la reproduction, on a pu établir que les gonades se développaient dès l'âge de 3 ans chez les mâles d'Omble de fontaine et de 4 ans chez les femelles. Cette "précocité" de la maturité sexuelle, déjà notée pour les Terres Australes et Antarctiques, semble aller de pair avec une croissance relativement rapide et une faible longévité puisque les individus âgés de 5 ans et plus, paraissent très peu représentés dans notre échantillon du lac Noir de Sainte-Foy.

Pour l'Omble chevalier au lac des Bataillères, les sujets qui atteignent ou dépassent 150 mm, âgés de 5 ans et plus, présentent des gonades matures et participent à la reproduction fin septembre, début octobre.

En ce qui concerne les Ombles du Canada au lac du Mont-Coua, l'âge de la reproduction a été établi à partir de 8 ans seulement pour quelques sujets et de 9 ans pour la plupart.

#### Consignes de gestion

Ces quelques résultats suffisent à démontrer que des études préalables concernant les capacités biologiques des lacs de haute montagne sont indispensables avant tout aménagement piscicole et que certains plans d'eau sont inaptes à accueillir des poissons.

En outre, la législation actuelle concernant les

tailles réglementaires de capture des différentes espèces d'Omble dans les lacs d'altitude n'est pas toujours adaptée puisque, par exemple :

- il est impossible de capturer des Ombles chevaliers de taille réglementaire (23 cm) au lac des Bataillères, ceux-ci n'atteignant jamais cette dimension !

- inversement il paraît regrettable de pouvoir capturer des Ombles du Canada à 35 cm avant même qu'ils soient parvenus à l'âge de se reproduire !

#### **CONCLUSION**

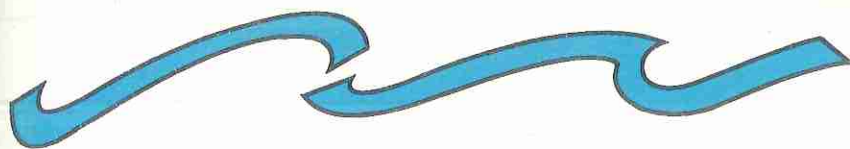
Nous pouvons considérer que nous possédons actuellement une meilleure connaissance des lacs de haute altitude, de leurs origines glaciaires et de leurs caractéristiques morphométriques et biologiques, ces dernières malgré tout plus complexes que ce que l'on pouvait imaginer du fait des contraintes climatiques qui isolent ces plans d'eau sous une couverture de glace plus de la moitié de l'année.

Cependant il faut insister sur le fait qu'il n'y a pas une seule entité "lac de haute altitude" mais à l'inverse, une très grande diversité de situations du fait notamment du substratum des bassins versants qui draine vers ces lacs des eaux de qualité physico-chimiques très différentes. Par conséquent, il convient de bien distinguer un lac dont les eaux peuvent comporter tout juste 10 mg/l de minéralisation globale d'un plan d'eau où il y a apports de sulfates et dont les eaux peuvent dépasser 400 mg/l de sels totaux dissous.

Outre la physico-chimie, il est nécessaire afin d'apprécier les capacités biotiques d'un plan d'eau d'altitude de bien connaître son régime de température ; c'est en effet ce facteur qui régit en premier lieu qualitativement et quantitativement la majorité des compartiments de la chaîne alimentaire en particulier celui des crustacés planctoniques et des insectes diptères tels que les Chironomidés dont on a vu l'importance fondamentale.

Dans la perspective d'élaborer une typologie des lacs de haute altitude en vue de leur gestion, nous avons dans le cadre d'un programme du ministère de l'Environnement traité au moyen d'analyses multidimensionnelles, des données morphométriques, physico-chimiques et biologiques des lacs d'altitude des espaces protégés de Haute-Savoie, de





La Vanoise, des Ecrins, du Mercantour, de la Corse et des Pyrénées. Les résultats de cette typologie ont permis de distinguer 4 grandes catégories de lacs selon un gradient de productivité ; celles-ci seront détaillées plus avant dans un cahier technique spécifique aux lacs de haute altitude des espaces protégés, à paraître prochainement.

La catégorie A comprend des lacs de dimensions supérieures à la moyenne dont la température estivale en surface ne dépasse guère 8° C. Ces lacs qui demeurent souvent en connexion avec les appareils glaciaires sont très peu productifs et offrent une très faible diversité biologique : 5 espèces pour le phytoplancton avec dominance de Diatomées, un à deux crustacés planctoniques dont *Cyclops abyssorum* F. *tatricus*.

Ces lacs sont impropres à la vie piscicole et les tentatives réalisées jusqu'ici, exemple la Truite fario au lac Blanc de Polset, ont donné des résultats déplorables.

Notons enfin que parmi ces lacs, certains sont apparus il y a une cinquantaine d'années seulement suite au dernier retrait des glaciers (exemples : lac des Evettes, de l'Arpont, de Chasseforêt).

La catégorie B comporte des lacs de dimensions moyennes offrant des températures estivales en surface de 8 à 12° C.

Les études d'acclimatation des Ombles de fontaine, chevaliers et du Canada présentées ici ont porté sur des plans d'eau de cette catégorie encore pauvre : une dizaine d'espèces pour le phytoplancton et 3 à 4 espèces pour les crustacés planctoniques dont *Arctodiaptomus alpinus*. Leur faible productivité ne permet pas une forte pression de pêche et, nous l'avons vu, peut engendrer des problèmes importants de croissance pour l'Ombre chevalier.

La catégorie C regroupe les lacs de plus petites dimensions dont les eaux de surface en été dépassent 12° C. Ces lacs sont plus productifs avec une trentaine d'espèces phytoplanctoniques parmi lesquelles les Desmidiacées sont dominantes et 4 à 5 espèces de crustacés dont souvent *Daphnia longispina*.

Ces lacs permettent, à condition qu'ils soient gérés convenablement (proscrire le "put and take" : dépôts et retraits de poissons portions),

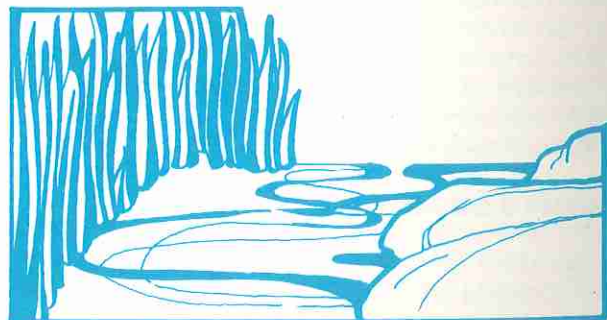
une adaptation convenable d'espèces indigènes comme la Truite fario.

La catégorie D s'apparente davantage aux lacs-tourbières qu'aux lacs proprement dits. Ces plans d'eau sont envahis par les Macrophytes aquatiques ; la diversité des espèces du phytoplancton comme dans le cas du lac du Lait peut dépasser 80 espèces. Ces lacs du fait de leur trop faible volume sont impropres à la gestion piscicole, par contre ils nécessitent d'être conservés intégralement du fait de leur grande richesse biologique.

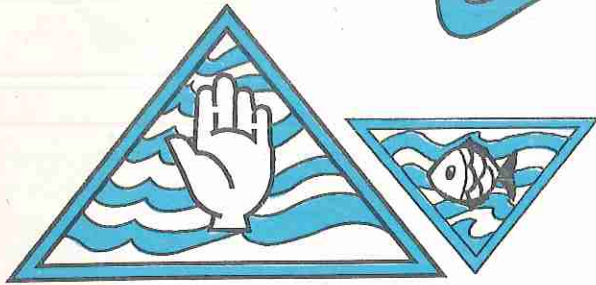
Ces quatre catégories qui structurent en fait un "continuum" de lacs depuis les plans d'eau "ultra-oligotrophes" jusqu'aux lacs-tourbières, devraient servir de guide pour des aménagements piscicoles plus respectueux des potentialités souvent faibles des plans d'eau d'altitude. Nous aimerions cependant insister sur le fait que ces lacs ne doivent pas se réduire au simple terme halieuthique car leur beauté constitue une richesse et un attrait touristique irremplaçables pour nos montagnes.

Du fait de leur origine glaciaire, il ne se forme plus à notre échelle de temps de nouveaux lacs de montagne. Aussi doit-on éviter de les considérer, à l'occasion d'aménagements touristiques, comme des réservoirs d'eau potable peu coûteux. Capturer un lac d'altitude n'est pas sans conséquence sur son équilibre biologique très précaire du fait de la simplicité de sa chaîne trophique. Il en est de même du déversement des effluents qui, plus encore que dans les grands lacs subalpins, peuvent entraîner une eutrophisation rapide.

On respecte sans doute davantage ce que l'on comprend mieux. Souhaitons que ces quelques pages permettent aux différents gestionnaires des lacs d'altitude, Communes, Associations de Pêche, Directions Départementales de l'Agriculture... de mieux les connaître et donc de mieux les protéger.







## 4.7 QUELQUES ASPECTS PISCICOLES

### LES POISSONS DES LACS

La population piscicole des lacs varie en fonction de divers paramètres.

Bien qu'il soit très difficile de les classer tous par ordre d'importance nous pensons qu'à l'origine, l'altitude, la géologie et la topographie étaient les principaux facteurs qui influent sur le métabolisme de ces plans d'eau. L'action de l'homme (pollutions, barrages, vidanges, marnages), n'est intervenue que plus tard, et de façon très diversifiée suivant les plans d'eau.

On peut tenter du point de vue piscicole un classement très grossier des lacs en fonction de l'altitude :

- + lacs de haute montagne (au-delà de 2000 mètres)
- + lacs d'altitude moyenne (de 1000 à 2000 mètres)
- + lacs de plaine (au-dessous de 1000 mètres)

#### Les lacs de haute montagne

Ce sont en général des plans d'eau naturels où l'influence de l'homme ne s'est pas fait sentir, encore que certaines stations de sports d'hiver soient tentées par ces réserves d'eau. Ils sont généralement peuplés de truites farios et arc-en-ciel, d'omble chevaliers, saumons de fontaine, ombles du Canada et parfois vairons introduits artificiellement.

La productivité piscicole y est très variable. La reproduction de la truite y est très aléatoire car elle nécessite une migration dans un cours d'eau, en général impossible en raison de la situation géographique : les émissaires de ces lacs présentent des pentes souvent trop fortes pour permettre une remontée des géniteurs. On observe néanmoins dans certains plans d'eau une reproduction naturelle des ombles chevaliers et saumons de fontaine coïncidant dans certains cas avec un phénomène de nanisme inexplicé.

#### Les lacs d'altitude moyenne

Ils peuvent être naturels, artificiels ou mixtes (ex : lacs naturels aménagés ou noyés par une retenue EDF).

Ces plans d'eau sont en général tous peuplés de salmonidés indigènes : (truites fario, ombles chevaliers), ou exotiques (truites arc-en-ciel, saumons de fontaine, ombles du Canada). Le vairon et d'autres cyprinidés existent dans certains lacs.

Ces poissons sont arrivés naturellement par les affluents ou ont été introduits par l'homme. Bien souvent, l'influence de l'homme se fait durement sentir : pollution, vidanges, marnages. La qualité des émissaires et l'exposition sont aussi des éléments importants de la vie piscicole. Comme pour les lacs de haute altitude la reproduction de la truite est aléatoire et celle de l'omble chevalier varie suivant les plans d'eau.

#### Les lacs situés à moins de 1000 mètres d'altitude

La nature de leur population piscicole varie en fonction de leur état trophique : poissons blancs ; population mixte.

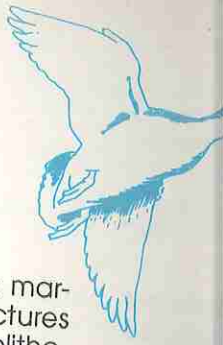
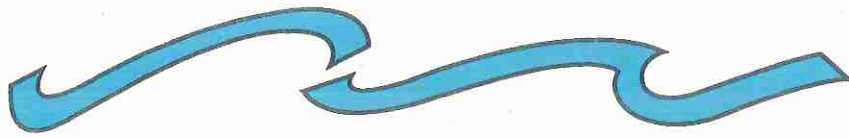
Dans ce cas, aux côtés des salmonidés déjà cités dans les plans d'eau d'altitude, on trouve les corégones (lavaret - féra) qui sont des poissons lacustres aimant les eaux froides des lacs profonds et les poissons blancs des lacs : carpe, gardon, tanche, brème, rotengle, vairon, goujon, vandoise, chevaine, hotu, ablette, bouvière, loche, lotte, anguille, spirilin, ainsi que les carnassiers d'accompagnement : brochet, sandre, perche.

#### L'ALEVINAGE

La reproduction de certaines espèces de poissons, de la truite en particulier, pose, on l'a vu, quelques problèmes dans les lacs où elle est insuffisante pour la pression de pêche exigée. On fait donc appel assez souvent à l'empoisonnement artificiel, dont la forme la plus courante est l'alevinage.

Il est opportun, avant l'alevinage d'un plan d'eau, que soient préalablement menées des études comprenant au minimum des analyses physico-chimiques et des inventaires biologiques permettant d'évaluer les potentialités piscicoles.





Les déversements d'alevins sont à réaliser à l'époque la plus favorable pour leur adaptation au milieu naturel. Dans tous les cas, les poissons déversés doivent être d'un état sanitaire satisfaisant. Il est recommandé à cet effet de s'approvisionner aux salmonicultures inscrites au contrôle sanitaire officiel. On trouvera aussi des indications précieuses dans la publication du Docteur Charles DARTIGUES parue dans le bulletin de liaison du Conseil Supérieur de la Pêche (C.S.P.) de décembre 1987 (n° 54).

Lorsque l'opération est effectuée par les Associations Agréées de Pêche et Pisciculture (A.A.P.P.), le respect des règles administratives et techniques peut être garanti par la présence d'un garde commissionné de l'administration mis à la disposition des Fédérations Départementales de Pêche. Cet agent émet un avis permettant au responsable de l'alevinage de prendre toute décision motivée et rédige un procès-verbal de déversement dans lequel la prise en compte de divers caractères apparents des alevins autorise une approche de leur état sanitaire.

Lorsque ce n'est pas le cas, pour les plans d'eau directement gérés par un particulier par exemple, la responsabilité technique et réglementaire incombe au propriétaire. La réussite ou l'échec sera lié à la façon de procéder. La réglementation varie avec le statut juridique du plan d'eau ; dans certains en particulier, l'introduction de certains poissons ou écrevisses est interdite (ex : poissons chats, écrevisses américaines). Les Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) de chaque département sont à la disposition des usagers pour tous renseignements en la matière.

Une bonne gestion des populations piscicoles après alevinage suppose un suivi qu'on peut concevoir de diverses façons :

- par le contrôle et le relevé des captures par les pêcheurs,
- par l'établissement de carnets de pêche remplis par tous les pêcheurs ou par un échantillon représentatif de ceux-ci,
- par les pêches aux engins (filets, nasses),
- par les sondages de pêche électrique dans les plans d'eau peu profonds,
- par pêche de sondage aux filets multimaillles,
- par échosondage dans les grands plans d'eau.

Ces inventaires de populations piscicoles peu-

vent être complétés par des marquages de poissons, des lectures d'écaillés (scalimétrie ou otolithométrie), des analyses des contenus stomacaux, etc...

## LA PISCICULTURE ET LA PECHE PROFESSIONNELLE

### Généralités

L'aquaculture occupe une place importante et croissante dans les programmes de développement rural, en particulier en région Rhône-Alpes, contribuant ainsi au maintien d'activités dans de nombreuses zones à moindres potentialités agricoles. On l'y rencontre sous trois formes classiques : la salmoniculture, la pisciculture en étang et la pêche professionnelle.

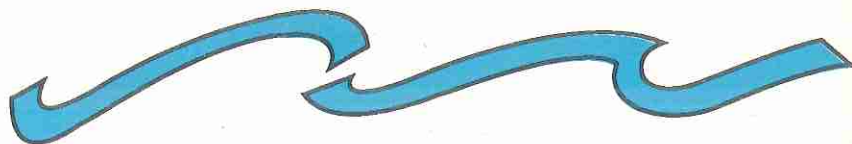
On s'intéressera ici surtout aux deux dernières. La salmoniculture n'est certes pas sans intérêt. La France, avec 30 000 t/an est le premier producteur mondial. C'est une activité où certaines régions comme la Bretagne et l'Aquitaine en particulier, se sont taillées la part du lion ; la région Rhône-Alpes, avec ses 2 000 t/an, ne représente que 7 % de la production nationale. Cette culture d'autre part se pratique exclusivement en eau courante.

### La pisciculture en étang

Il s'agit là d'une activité régionale traditionnelle très ancienne. Dans la Dombes (Nord Est de Lyon) en particulier, les premiers étangs datent du 12ème siècle ; ils y ont fleuri du 14ème au 18ème où ils ont atteint leur apogée, 20 000 ha, pour retomber aux 10 000 actuels. Bien en retard sur l'évolution de l'agriculture, la modernisation de la pisciculture en étang est un souci récent ; elle est loin d'être achevée. Les pratiques de la fertilisation (amendements calcaïques, engrais azotés et phosphorés, recyclage de lisiers et fumiers) ont amélioré les rendements. Des efforts ont été faits pour mieux commercialiser les produits, basés sur une meilleure présentation gastronomique ; citons en particulier le filet de carpe royale bien accueilli par le marché. Reste à les soutenir par une production mieux étalée dans le temps.

Sur les 150 000 ha d'étangs disponibles en France, 80 00 environ sont exploités, produisant annuellement de 6 000 à 8 000 t de poissons, des carpes pour l'essentiel (60 à 65 %). Le





reste est constitué de gardons, tanches, rotengles et brochets. La région Rhône-Alpes avec 2 500 t de production annuelle se place très bien en ce domaine. Les étangs y sont localisés dans la Dombes (10 000 ha - 1 500 à 2 000 t) et le Forez (Nord-Ouest de Saint-Etienne : 1 500 ha).

Malgré l'amélioration des rendements et des pratiques commerciales, l'exploitation de ces étangs est fondée sur un savoir faire très traditionnel qui varie un peu de la Dombes au Forez. La gestion de l'eau, plus rare, en provenance directe de la pluie, est plus rigoureuse dans la Dombes, où il n'est pas rare d'avoir une chaîne d'étangs qui se vident, au moment des pêches, les uns dans les autres ; dans le Forez, et malgré une pluviométrie moindre, l'alimentation par un réseau hydrographique bien entretenu ne pose pas de problème.

L'alevinage se fait dans des étangs spéciaux où les jeunes se développent avant de grossir dans les étangs de pêche ; ils y sont capturés par vidange.

Dans la Dombes, la période d'"à sec" est utilisée pour les cultures (avoine, maïs, etc...).

Le poisson est commercialisé soit pour le repeuplement (pêche de loisir), soit pour la consommation axée sur la carpe pour laquelle il existe deux types de débouchés : le marché français et celui de l'exportation (Allemagne surtout, mais aussi Italie, Belgique, Luxembourg).

A l'exportation, la carpe se livre vivante en camions spécialement équipés, soit par des organismes coopératifs (Coopepoisson, 01800 Méximieux), soit par des transporteurs spécialisés, le plus souvent étrangers. La base de la consommation française est le filet de carpe royale dont le seul fournisseur régional est Coopepoisson.

#### La pêche professionnelle

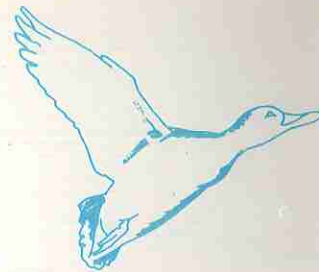
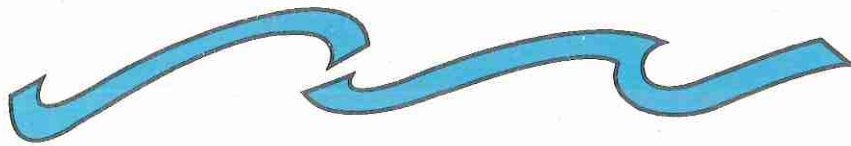
En Rhône-Alpes il reste quelques pêcheurs professionnels sur le Rhône et la Saône, et, surtout, ce qui nous intéresse ici, sur les trois grands lacs que sont le Léman, le Bourget et Annecy, où ils sont d'ailleurs en forte concurrence avec les pêcheurs amateurs.

Le tableau ci-après permet de se faire une idée relativement précise de l'importance de cette activité sur ces lacs, et de la nature des prises.

	Léman français	Annecy	Le Bourget
Nombre de pêcheurs professionnels	46	6	24
Nombre de pêcheurs amateurs au filet (avec licence)	300	850	100?
Nombre d'espèces de poissons	23	14	20
Total des prises annuelles par les pêcheurs professionnels, en tonnes (valeurs moyennes)	310	25	110
Corégone (%)	14	70	1
Perche (%)	34	10	69
Truite (%)	4	2	4
Omble (%)	1	3	1
Gardon (%)	37	} 15	} 25
Autres (%)	10		

Pêche et importance des prises dans trois lacs rhônalpins





Il semble bien que cette activité soit en régression.

Le nombre de pêcheurs professionnels se réduit, leur âge moyen augmente ; les prises diminuent en tonnage et en qualité. Ce déclin n'est d'ailleurs pas régulier et ne se fait pas sans soubresauts : à Annecy, on note en particulier un rajeunissement du corps des pêcheurs professionnels ; de 1942 à 1975, des modifications tant réglementaires que techniques (généralisation de l'usage du filet nylon monofil, utilisation de moteurs à ralenti, emploi de congélateurs) associées à un accroissement de la demande (loisirs et tourisme) ont entraîné surtout sur le Léman de fortes augmentations des prises annuelles, qui ont d'ailleurs considérablement rechuté depuis.

Des efforts pour améliorer la situation sont pourtant poursuivis, en particulier dans trois domaines :

- Le repeuplement : l'Etat, à partir des piscicultures domaniales ou d'autres origines, effectue

dans ces lacs des déversements considérables de poissons "nobles" : corégone, omble, truite fario ou arc-en-ciel, brochet, à divers stades de leur développement.

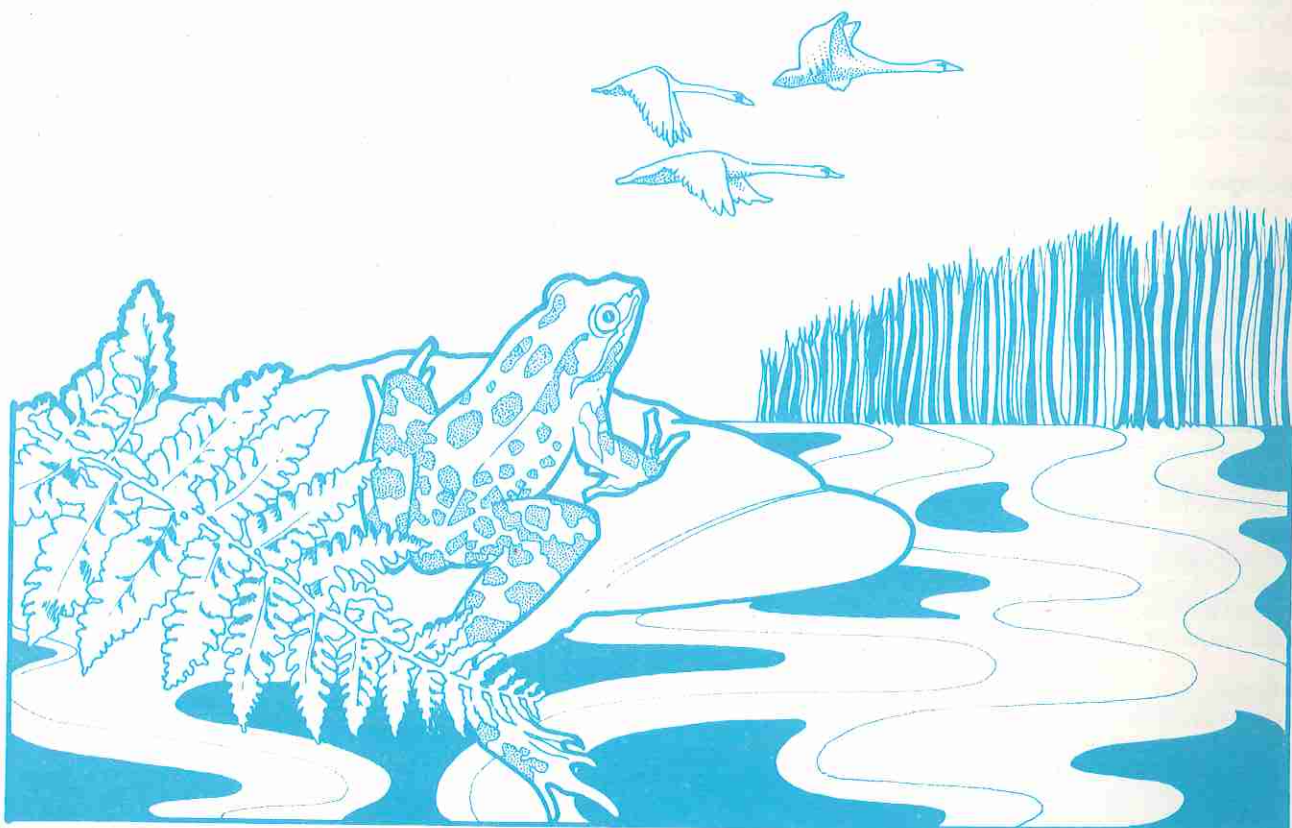
Par exemple, au cours de la saison 86-87 cet effort a dépassé les 8 000 000 d'individus au Léman, les 300 000 à Annecy, les 50 000 au Bourget.

Il reste que ce sont en général d'autres espèces, comme la perche au Léman, qui assurent la majeure partie des revenus des pêcheurs.

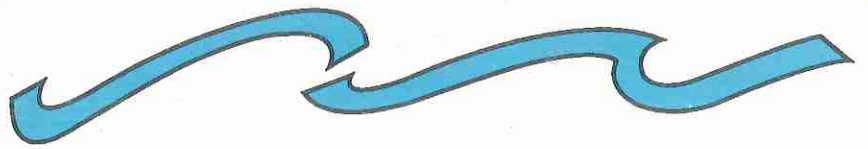
- La commercialisation d'espèces plus abondantes, comme le gardon, jusqu'à aujourd'hui pas ou peu pêché.

Cela passe par la mise au point de produits et la recherche de marchés.

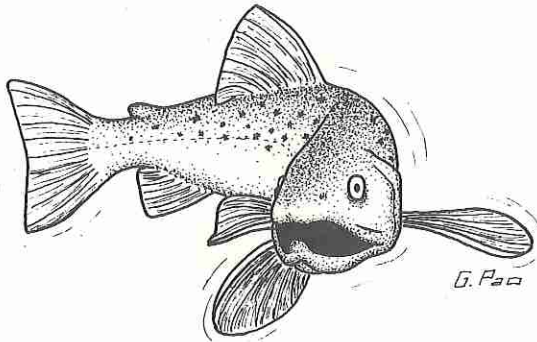
- Une meilleure gestion des plans d'eau, associant les utilisateurs, pêcheurs professionnels et amateurs, les administrations chargées de la réglementation de la pêche (DDAF), des organismes scientifiques (INRA).







## FICHE SIGNALÉTIQUE DE QUELQUES ESPÈCES COURANTES



### LA TRUITE

*Salmo trutta* (Linné 1766)  
Famille : salmodidés

#### Noms communs :

Français : Truite de rivière  
Anglais : Brown trout  
Allemand : Bach Forelle  
Italien : Trota

#### Origine :

. autochtone dans les cours d'eau de montagne de l'Europe centrale et occidentale.

#### Taille :

. 40 à 50 cm pour 5 à 6 livres  
. peut atteindre 20 livres en lac

#### Biologie :

. sédentaire, mais fait cependant une courte migration vers l'amont à l'époque de la reproduction.  
. fréquente les eaux pures dont le taux d'oxygène doit être supérieur à 6 à 7 milligrammes par litre.  
. carnivore (poissons, crustacés, vers, larves, insectes tombant à la surface de l'eau)

#### Reproduction :

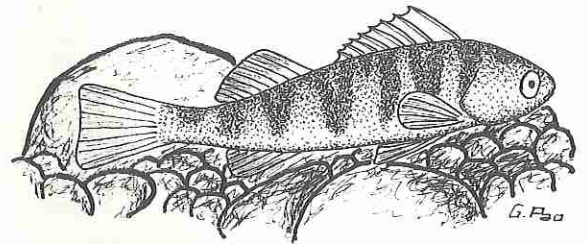
. en période hivernale (novembre-décembre)  
. la maturité sexuelle est à 3 ans pour les femelles  
. recherche des zones favorables (graviers, oxygène)  
. la femelle creuse une petite cuvette à l'aide de sa queue dans laquelle elle dépose ses oeufs que le mâle vient féconder.  
. les oeufs sont ensuite recouverts de gravier.

#### Pêche :

. au vif (ver)  
. au lancer (cuiller-poisson casqué)  
. à la traîne (en surface - au plombier)  
. au filet

#### Gastronomie :

meunière, au bleu, à la crème, frite



### LA PERCHE

*Perca fluviatilis* (Linné 1766)  
Famille : Percidés

#### Noms communs :

Français : Percot - Barsch  
Anglais : Perch  
Allemand : Barsch  
Italien : Perca

#### Origine :

. autochtone dans la partie Nord de la France  
. puis son aire de répartition s'est étendue vers le sud

#### Taille :

. en moyenne 20 à 35 cm pour 1 à 3 kg

#### Biologie :

. vit en bancs dans son jeune âge  
. carnassière toujours en mouvement  
. au printemps, de mars à mai, la femelle pond 100 000 oeufs par kg de son poids en longs cordons qui s'accrochent à des supports immergés.

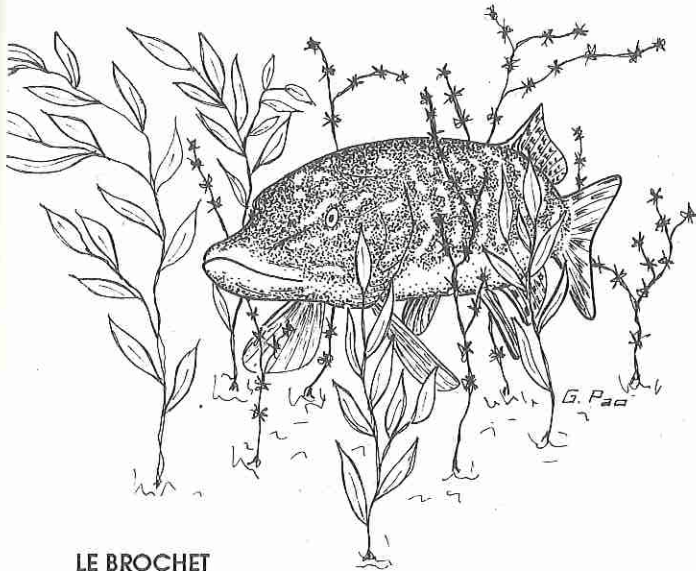
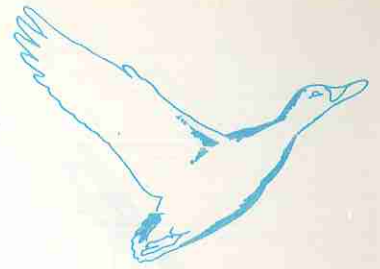
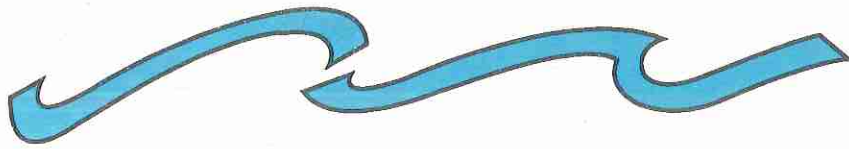
#### Pêche :

. Sportive :  
. à la ligne flottante, (vif, ver, asticot, portebois)  
. au lancer (cuiller tournante)  
. à la dandinette (tétine de surface)  
. à la traîne (plombier)

#### Gastronomie :

en filet, frite, en belgnet, en friture (jeunes)





## LE BROCHET

Esox Lucius ( Linné 1758)  
Famille : Esocidés

### Noms communs :

Français	: Bec de canard
	: Brouchet
Jeunes	: Sifflet - Poignard
Anglais	: Pike
Allemand	: Hecht
Italien	: Luccio

**Origine :**  
. autochtone en France

**Taille :**  
. 1 mètre pour les mâles  
. 1,30 pour les femelles pour une dizaine de kilos maximum

**Biologie :**  
. aime les eaux lentes  
. solitaire d'un tempérament paresseux  
. se tient à l'âffut  
. la reproduction est printanière (février mars) dans les prairies inondées  
. la femelle pond de 15 à 20 000 oeufs par kilo de son poids  
. les oeufs de 2 à 2,5 mm de diamètre sont adhérents aux végétaux immergés  
. l'incubation dure de 10 à 12 jours  
. les alevins restent fixés aux végétaux par des organes adhésifs jusqu'à résorption de la vésicule vitelline

**Pisciculture :**  
. de repeuplement : déversement d'alevins  
. en étang : associés à des poissons-fourrage.

**Pêche :**  
. à la ligne flottante : au vif  
. au lancer :  
- à la cuiller tournante ou ondulante  
- au rappala  
- au poisson casqué  
. à la traîne : cuiller en surface

**Gastronomie :**  
au court bouillon, au beurre, au vin blanc, en quenelles, en gratin







4.8

## ACTIVITES AUTOUR ET SUR UN GRAND PLAN D'EAU - PROTECTION DE SON ENVIRONNEMENT

### EXPLOITATION ET PROTECTION

#### La fréquentation, la meilleure des choses, ...

Un plan d'eau, en particulier si sa superficie est importante, est une richesse à exploiter sur le plan économique. Il faut donc y attirer le plus possible de touristes, sans dépasser une densité optimale, en étalant donc leur visite dans le temps.

Comme la plupart des phénomènes de masse, la fréquentation d'un plan d'eau dépend de facteurs qu'il n'est pas toujours facile d'analyser objectivement.

Mais la qualité du milieu et de l'accueil sont sans doute deux des plus importants.

La qualité du plan d'eau proprement dit présente divers aspects dont un certain nombre ont été évoqués dans d'autres chapitres de ce cahier technique.

Ceux qui concernent plus particulièrement le tourisme sont relatifs à ce qui est visible : couleur de l'eau, propreté du plan d'eau et des plages ; ou à ce qui peut porter atteinte à la santé des visiteurs.

Rentre aussi en ligne de compte la qualité de l'environnement plus ou moins immédiat, ce que l'on appelle le site.

Celle de l'accueil n'est pas moins importante. Elle dépend des moyens d'accès, de la capacité et de la qualité de l'hébergement et de la restauration, et surtout, ce qui est plus spécialement l'objet de ce chapitre, de la diversité des activités qui y sont offertes.

#### et la pire ...

La foule est destructrice et polluante vis-à-vis du milieu. Elle participe aux causes d'agression examinées par ailleurs : apports, effluents, etc..

Et elle est d'autant plus dangereuse qu'elle est plus nombreuse, plus concentrée, plus proche du plan d'eau. Les règles d'occupation, les mesures de contrôle et de protection devront donc être d'autant plus strictes.

Elle est aussi agressive vis-à-vis de l'individu.

Une surfréquentation, (cas du Lac d'Annecy avec un population de pointe de 150 000 personnes en été) peut nuire à la qualité du séjour : hébergements saturés, campings sauvages, équipements de loisirs insuffisants. Sans parler de la pollution "immobilière" contre laquelle il a fallu imaginer des protections spécifiques que nous examinerons un peu plus loin.

### QUELQUES ACTIVITES POSSIBLES

#### Pêche et promenades

La pêche de loisir se pratique sur berges, sur jetée, sur ponton ou sur bateau. Encore qu'elle concerne infiniment plus de personnes que la pêche professionnelle (10 000 sociétaires au Lac du Bourget, contre une vingtaine de professionnels), il y a parfois conflit entre les deux activités.

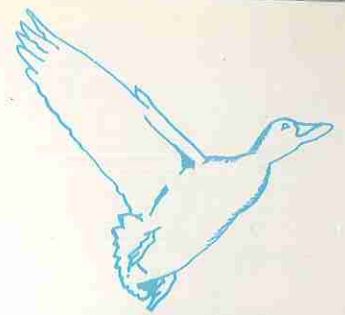
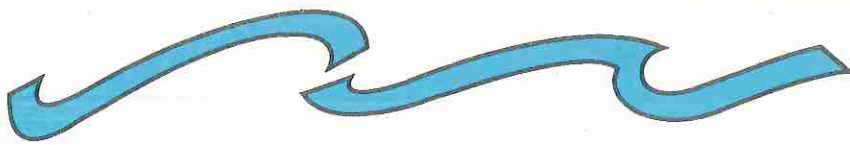
Les randonnées pédestres, promenades et jogging, permettent, outre le maintien de la forme physique, la découverte de la flore et de la faune locale.

Des efforts ont été faits pour faciliter ces activités autour des lacs d'Annecy et du Bourget.

Pour le premier, il existe un réseau de sentiers balisés sur chaque montagne l'environnant, au Veyrier, à la Tournette, au Chambon, Taillefer, Semnoz, etc... Leur liaison par un sentier de randonnée contournant le lac avec gîtes d'étape et centres d'accueil est en cours d'aménagement.

Au Bourget, l'Office National des Forêts (ONF) a balisé un sentier de randonnée qui rejoint le GR 9 au niveau du massif de la Dent du Chat. La "Maison du lac", Association qui a son siège à l'Aquarium d'Aix-les-Bains, programme, à l'attention des vacanciers et curistes, des stages de pêche, de découverte de la faune et de la flore, et propose un montage audiovisuel intitulé "Autour du Lac du Bourget". L'aquarium lui-même permet au public de découvrir, dans un bâtiment attrayant, 42 espèces de poissons d'eau douce de France, dont les 33 qui peuplent le lac du Bourget.





## Baignade et activités annexes

La baignade est sans aucun doute une des activités les plus prisées et les plus courues autour d'un plan d'eau. Elle implique, outre les qualités générales évoquées plus haut, quelques sujétions particulières.

Les eaux où on la pratique doivent d'abord répondre à quelques normes réglementaires (décret 81-324 du 7.4.81), portant plus spécialement sur l'hygiène. En particulier elles ne doivent pas contenir plus de 2 000 coliformes fécaux, ni plus de 10 000 coliformes totaux par 100 ml.

La qualité bactériologique d'une eau dépend bien sûr de la présence ou non de sources de pollution potentielle, mais aussi d'autres facteurs secondaires tels que les courants, l'orientation des vents dominants, l'ensoleillement, la profondeur de l'eau et la nature des fonds.

Les prélèvements et les résultats des analyses sont réalisés par la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) et transmis aux Maires et Etablissements Publics Intercommunaux concernés. Ces résultats doivent être portés à la connaissance du public par affichage sur les lieux de baignade et par tout autre moyen de communication approprié (panneaux, presse, radio locale...).

Bien sûr l'agrément de la "plage" ne peut qu'améliorer le côté attractif de la baignade : profondeur de l'eau progressive (pente 6 à 7 % maxi) ; fonds sableux ; orientation Sud - Sud-Ouest, abritée des vents dominants ; et depuis quelques années, une tendance confirmée aux plages "vertes" engazonnées au détriment des grèves sableuses boudées par les amateurs de bronzage.

Naturellement, les zones réservées aux baigneurs doivent être interdites ou inaccessibles aux bateaux, à la pêche et sans doute très prochainement aux planches à voile qui créent quelques conflits et font courir quelques risques aux nageurs et aux jeunes enfants.

A la baignade il faut associer des activités annexes telles que bronzage, lecture, détente, sports et jeux de plage pour enfants ou adultes.

De plus en plus et depuis quelques années se développent en bordure des plans d'eau des parcs de loisirs nautiques avec piscine, plongeoir, toboggan, trampolino, etc...

## Activités nautiques

Certaines ne sont pas ou peu réglementées, par exemple **la navigation à la voile seule** : voiliers, dériveurs (chaque année, le Lac du Bourget accueille près d'une dizaine de régates nationales et internationales - rencontres AIX-TURIN par exemple) ainsi que la planche à voile et petites embarcations telles que canots à rames, canoës kayaks, périssoires, pédalos, etc... (le Lac d'Aiguebelette est devenu depuis 1986 une base régionale d'aviron)

Tous ces engins doivent être équipés d'un gilet de sauvetage homologué pour chaque personne à bord. La réglementation concernant les planches à voile est un peu différente : du 1er mai au 31 octobre, son utilisateur est dispensé du gilet de sauvetage ; mais hors cette période, il doit ajouter une combinaison isothermique au gilet.

Toute **navigation à moteur** est soumise à une réglementation locale, nationale, voire internationale (le cas du Léman) ou européenne (Code Européen des voies de navigation intérieures), que ce soit :

- pour le ski nautique (une zone du Lac du Bourget est réservée et balisée pour cette activité : initiation, entraînement, compétition avec slalom et tremplin,

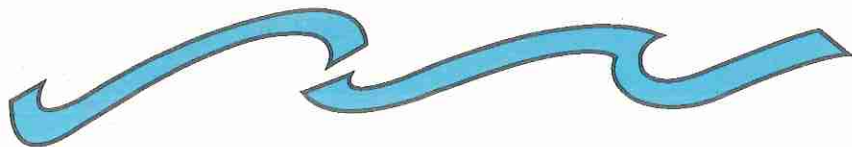
- pour les canots à moteur de navigation de plaisance, in ou hors-bords, de moins ou de plus de 10 cv.

Dans le cas des moins de 10 CV un permis de navigation n'est pas nécessaire. Pour les plus de 10CV ce document est délivré, après cours pratique et théorique réglementaire, par le Service de la Navigation de Lyon, représenté localement par la Subdivision de l'Equipement d'Aix-les-Bains ou d'Annecy.

- pour la navigation commerciale : les mêmes services délivrent des autorisations de naviguer pour bateaux à passagers, sur proposition des Agents du Service des Voies Navigables, avec le concours d'experts, après vérifications techniques et visites périodiques de conformité par la Commission de Surveillance de Lyon.

La réglementation locale de la navigation sur les lacs du Bourget et d'Annecy a fait l'objet d'arrêtés préfectoraux que chacun peut consulter au siège des administrations chargées de la police des eaux (Direction





Départementale de l'Équipement) et qui sont affichés sur place.

Ils précisent en particulier le type d'appareil à utilisation restreinte ou interdite, les limitations de vitesse, les règles de stationnement des bateaux, les diverses zones d'utilisation, la signalisation, les règles applicables à la navigation, aux activités diverses, à la pêche.

On notera qu'est interdite sur le Lac du Bourget, sauf à titre exceptionnel lors de manifestations et avec autorisation préfectorale, l'utilisation d'engins de plaisance rapides à moteur, de scooters d'eau, de planches à moteur, d'hydroglisseurs, de bateaux à coussin d'air, de gyroptères, d'hydravions, d'ULM, d'hélicoptères, de parachutes ascensionnels.

Les plans schématiques joints résument les principales directives de ces règlements.

Faire cohabiter sur les lacs toutes ces activités, notamment nautiques, n'est pas sans poser quelques problèmes.

Une certaine disproportion existe entre les places réservées au stationnement des bateaux (3 000 à Annecy, 2 200 au Bourget) et le nombre des embarcations qui peuvent naviguer ensemble sur le plan d'eau (1 000 et 3 ou 400).

Un certain niveau de saturation peut donc être théoriquement atteint.

En réalité on constate plutôt des conflits localisés ou momentanés en raison des caractéristiques différentes des embarcations : tonnage et vitesse ; ou entre activités diverses, qui s'excluent mutuellement ou dont la coexistence est une source de danger : motonautisme, ski nautique, natation.

### **PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT**

Les espaces proches d'un plan d'eau sont toujours très convoités. Il est donc indispensable de les protéger contre l'appropriation de l'homme, contre une utilisation irrationnelle ou destructrice du sol et de son environnement. Aussi des mesures sont-elles mises en place qui se traduisent par des textes ou des actions réglementaires au travers de documents tels que plan d'urbanisme directeur (PUD), plans d'occupation des sols (POS), zones de protection du site, schémas directeurs d'aménagement et d'urbanisme (SDAU), zones d'environnement protégé (ZEP).

La loi d'orientation foncière de 1967 a donné aux Communes en général et à celles riveraines des lacs en particulier un premier moyen de défense, le Plan d'Urbanisme Directeur (PUD).

Le principe de la protection des zones naturelles présentant un intérêt écologique était retenu, mais les zones d'urbanisation étaient mal définies et laissaient, pour les bords des lacs, des possibilités de construction considérables.

### **LE POS ET SON APPLICATION PARTICULIÈRE AU LAC DU BOURGET**

L'apparition des POS vers les années 1974/1976 a permis aux collectivités de contrôler la situation, de maîtriser les sols, d'enrayer la spéculation très forte sur les versants des lacs.

Les zones naturelles de marais, blaches, rose-lières, bois, forêts entourant le Lac du Bourget ont été inventoriées et classées en zones de protection du site, interdites à toute construction.

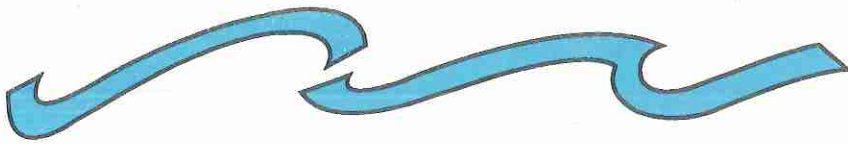
Les zones urbanisées ou à urbaniser, proches du plan d'eau, ont fait l'objet d'une réglementation particulière dans le cadre des POS et des dispositions spéciales architecturales sont applicables à tout permis de construire à l'intérieur d'un périmètre de protection du site autour du Lac du Bourget (site inscrit à l'inventaire des sites naturels à protéger en 1973 par arrêté ministériel).

Pour faciliter l'application de ces dispositions réglementaires, une consultance architecturale gratuite a été mise en place au sein du groupement des communes ayant compétence en matière d'urbanisme autour du Lac du Bourget.

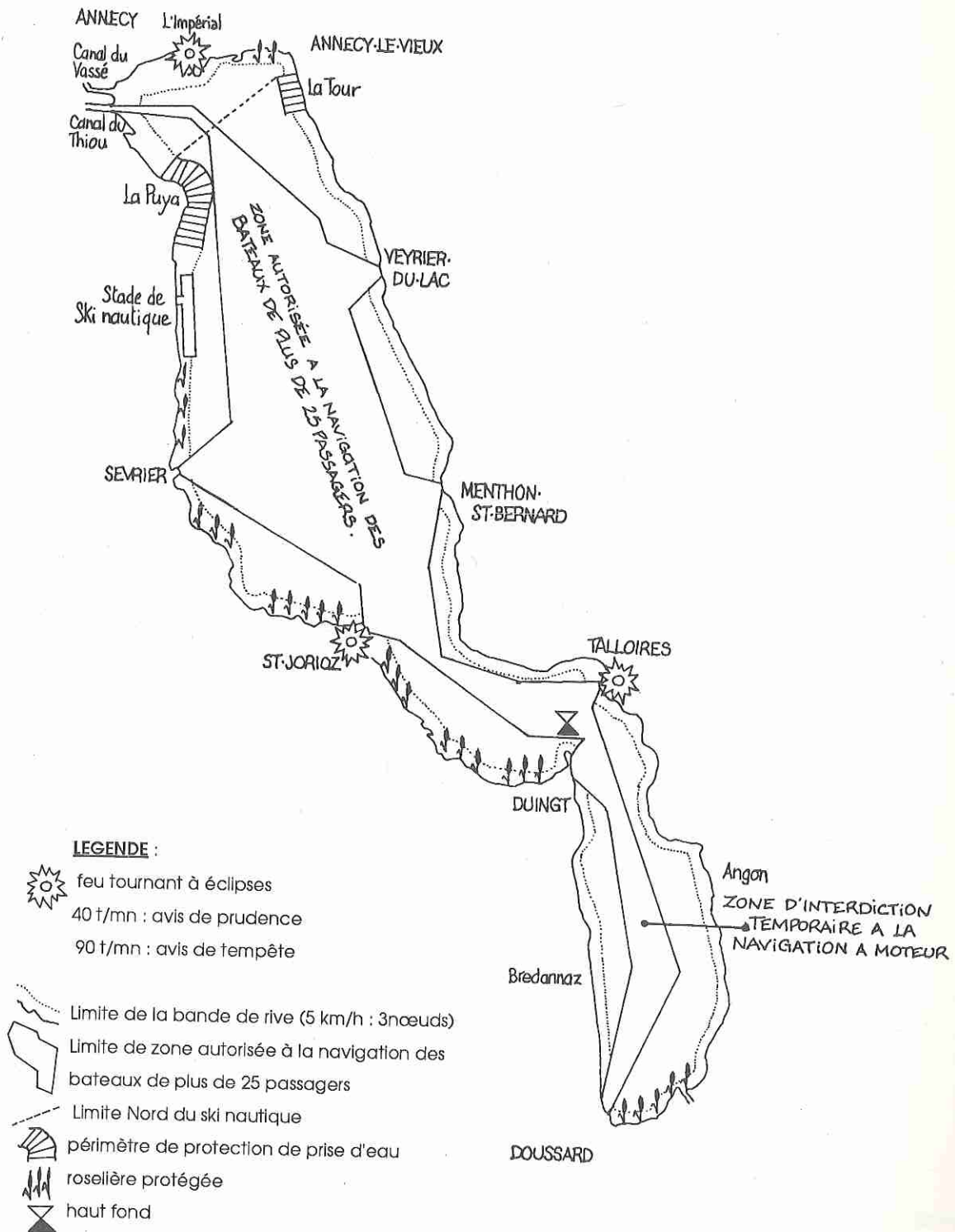
Tous les permis de construire situés à l'intérieur du périmètre protégé sont examinés chaque semaine par l'Architecte Consultant rémunéré par l'État et la Collectivité Locale et visés par l'Architecte des Bâtiments de France par délégation du Ministre de l'Environnement.

Dès la parution des décrets d'application de la Directive du Littoral en date du 25.8.79 (décret n° 79-716), une zone de 100 m de recul par rapport au rivage, interdite à la construction, a été mise en place sur le plan de zonage du POS de chaque commune riveraine du Lac du Bourget, à l'exception naturellement des zones agglomérées (hameau, lotissement, ZAC...) existantes déjà construites.



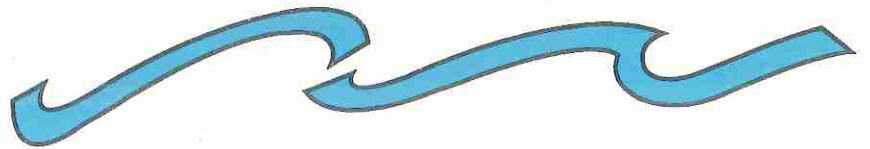


# LAC D'ANNECY

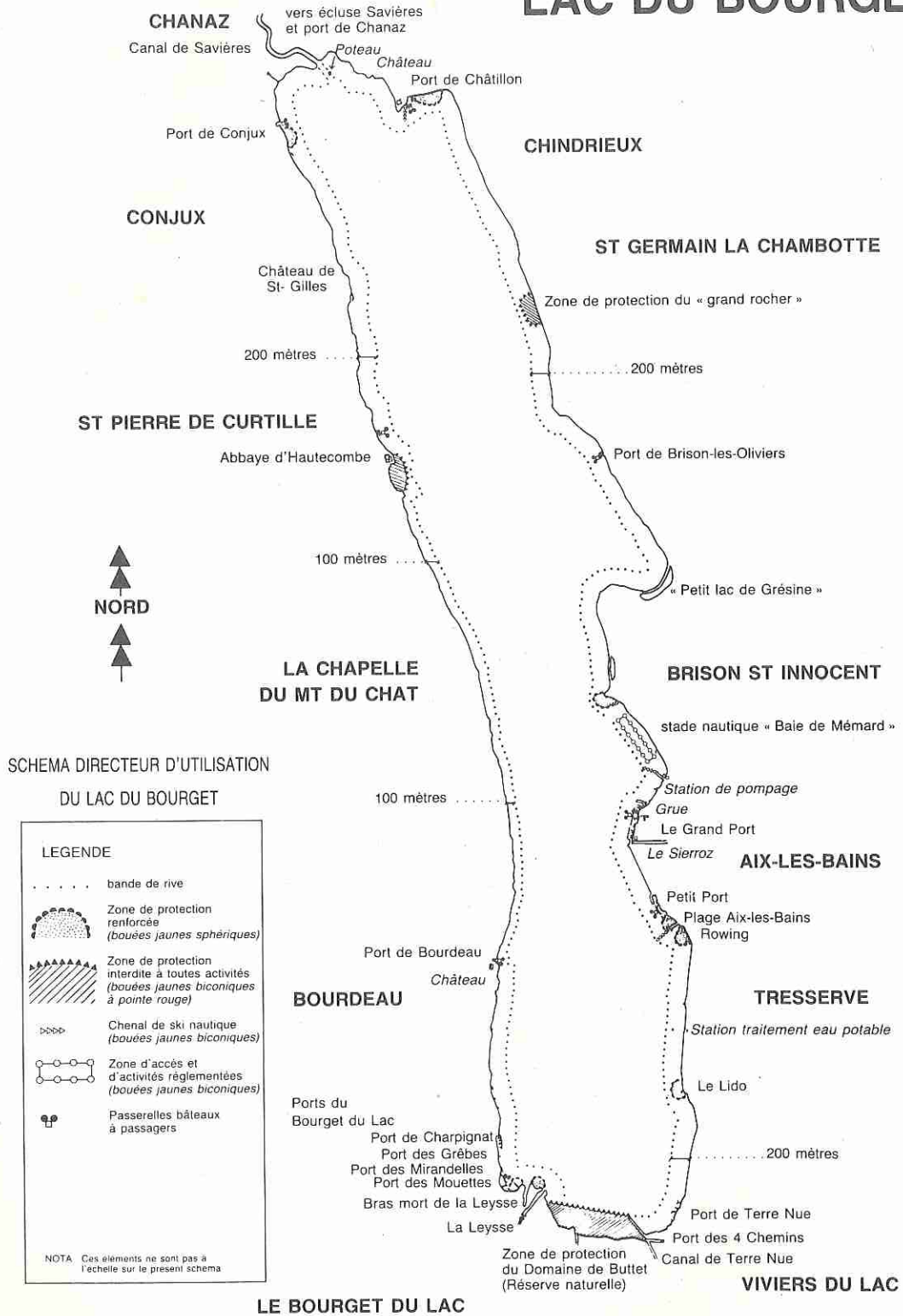


Circulation et balisage du Lac d'Annecy



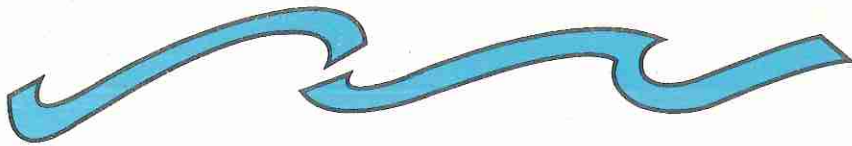


# LAC DU BOURGET



Circulation et balisage du Lac du Bourget





## LES RESERVES FONCIERES ET LE CONSERVATOIRE DU LITTORAL

Parallèlement au POS, des démarches de classement de roselières ou de marais en réserves naturelles ont été entreprises mais n'ont pas encore abouti à ce jour. Il en est de même pour un projet d'arrêté de biotope concernant le "Triangle de Terre Nue" à signer par le Préfet de Savoie.

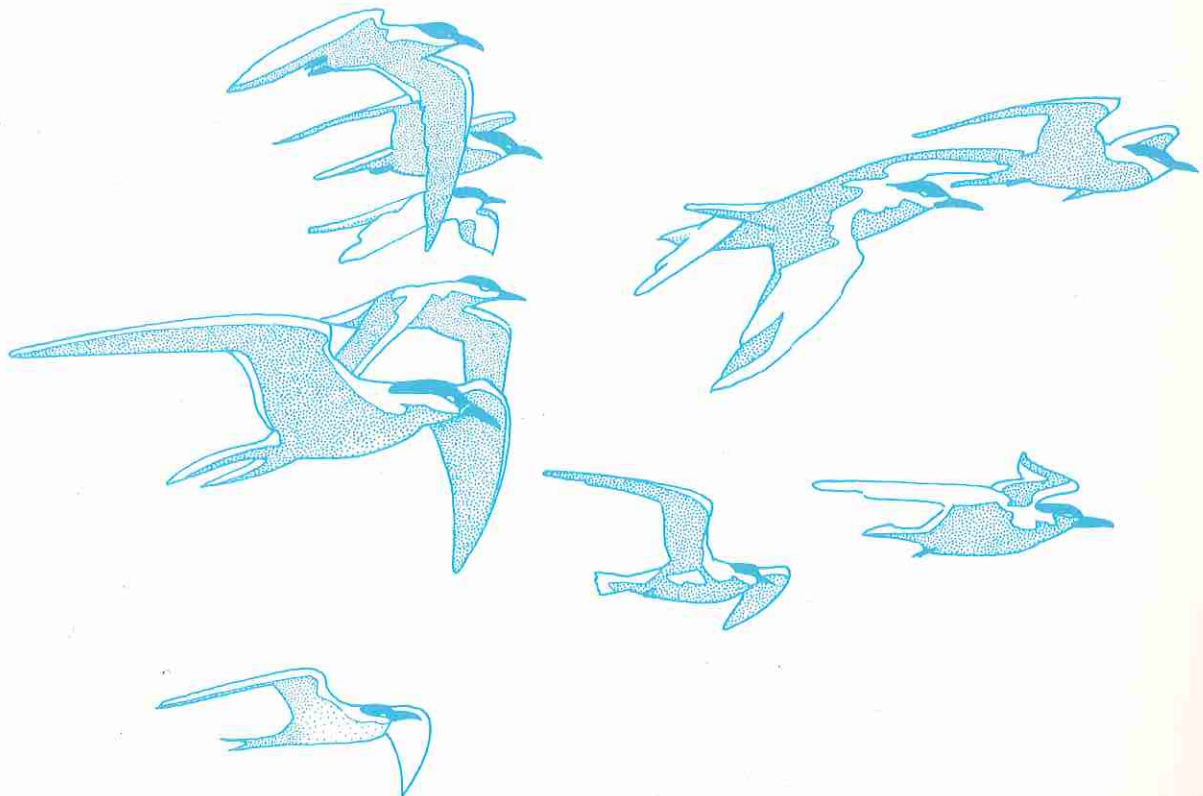
La constitution de réserves foncières par l'acquisition de propriétés privées au bord du lac a été entreprise dès 1975 avec le concours financier de la Région Rhône-Alpes, du Département de la Savoie et du SIVOM du Lac du Bourget. Cet effort qui a déjà permis de maîtriser près de 120 000 ha, se poursuit actuellement.

Le Conservatoire du Littoral, en collaboration

avec les collectivités locales, s'efforce de son côté, à des fins diverses (réserve naturelle de chasse et de pêche, parc ornithologique pédagogique), de préserver quelques propriétés riveraines du lac, en particulier près du grand port à Aix-les-Bains et au Sud du lac.

Le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie a financé, en 1983, sur le site du lac, une étude lourde d'environnement. Elle sert, non seulement de base de réflexion lors des révisions des POS, mais aussi dans le domaine de la récupération des terres incultes et de leur mise en valeur.

A partir de l'exemple du lac du Bourget, le plus grand des lacs naturels entièrement français, on appréciera la diversité des mesures qui peuvent contribuer à la protection de l'environnement et à la conservation d'autres sites également remarquables.



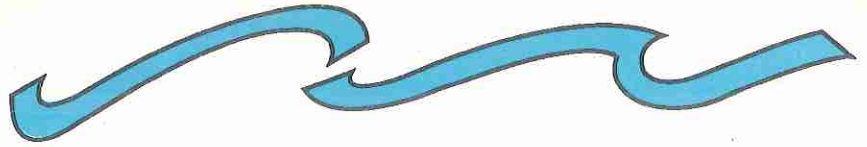




## **ANNEXES**

- I - Quelques aspects administratifs**
- II- Les fichiers lacs**
- III- Bibliographie**
- IV- Quelques adresses utiles**
- V- Coordonnées et activités des organismes représentés au groupe de travail de l'IGGE**
- VI- Glossaire**





## I - QUELQUES ASPECTS ADMINISTRATIFS

Les relations entre l'eau en général, et les plans d'eau en particulier, et l'Administration sont complexes. Aussi conseillons-nous aux usagers de s'adresser pour ces questions, aux représentants locaux des administrations concernées, dont les principaux sont :

- . les Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF)
- . les Directions Départementales de l'Équipement (DDE)
- . les Services Régionaux d'Aménagement des Eaux (SRAE)

Nous allons tout de même tenter de baliser quelque peu le dédale.

### LOIS ET REGLEMENTS

Sur le plan juridique les eaux sont soumises à deux statuts différents suivant qu'elles sont :

**Domaniales** : ce sont les cours d'eau et plans d'eau navigables et flottables (suivant la définition ancienne). Ils font partie du Domaine Public de l'État (ex. Le Bourget).

**Non domaniales** : toutes les autres. Elles sont susceptibles d'appropriation privée (ex. Le Lac de Paladru).

Qu'elles soient domaniales ou non, les eaux sont soumises à une réglementation générale qui regroupe les moyens législatifs et administratifs nécessaires à leur gestion.

Cette réglementation est d'une grande complexité et met en oeuvre des textes parfois fort anciens, dont les principaux sont rappelés ci-après :

#### Réglementation ancienne :

- Règlements d'eau datant de l'Ancien Régime (encore en vigueur)
- Les Codes comportant des articles relatifs à l'eau :
  - + Code Civil (Législation Napoléonien-ne) (Propriété des cours d'eau et servitudes)
  - + Code Rural (1898) (Police des eaux non-domaniales et pêche)
  - + Code du Domaine Public Fluvial (Navigation Interne et Police des Eaux Domaniales)
  - + Code de la Santé Publique (Salubrité publique, alimentation en eau, eaux usées, baignade)
  - + Code des Communes (Obligation des collectivités dans le domaine de l'eau).

#### Réglementation récente

- Loi du 16 décembre 1964, dite "loi sur l'eau". Elle traite du régime et de la répartition des eaux, de la lutte contre leur pollution dans le but de satisfaire l'ensemble des usagers. C'est la base de la législation moderne sur l'eau.
- Loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature. Concerne l'eau puisqu'elle traite de la protection des espaces naturels, de la préservation des espèces et du maintien des équilibres biologiques.
- Loi du 19 juillet 1976 relative aux Établissements classés pour la protection de l'Environnement. Elle remplace le texte datant de 1917 et concerne les Établissements industriels et agro-alimentaires.
- Loi du 15 juillet 1980 relative aux économies d'énergie

mais qui concerne la protection de certains cours d'eau, notamment à poissons migrateurs.

- Loi du 29 juin 1984, dite "Loi pêche" relative à la pêche et à la gestion des ressources piscicoles en eau douce (ancien titre II du Code Rural).

### MOYENS DISPONIBLES POUR L'APPLICATION DE LA REGLEMENTATION

En schématisant quelque peu on peut les classer sous deux rubriques :

- Les Services Administratifs de l'État,
- Les Commissions ou Comités Divers, les Collectivités et Établissements Publics.

Et ils se situent à tous les niveaux de l'appareil administratif : National, Bassin, Régional, Départemental et Communal.

#### Services administratifs

Le tableau joint en donne la liste à peu près complète et résume leur fonction.

- Au niveau national il n'y a pas moins d'une dizaine de ministères concernés. Peut-être peut-on mentionner spécialement :
  - + Le Ministère de l'Environnement qui depuis 1976 joue un rôle de coordination.
  - + Le Ministère de l'Agriculture et celui de l'Urbanisme, du Logement et des Transports qui se partagent traditionnellement la police des Eaux.

- Au niveau des Bassins (grands bassins hydrologiques) le Préfet de la région siège du Bassin, anime une structure administrative légère de coordination.

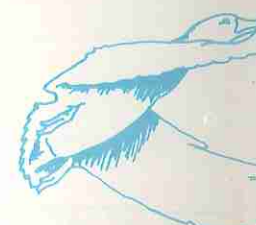
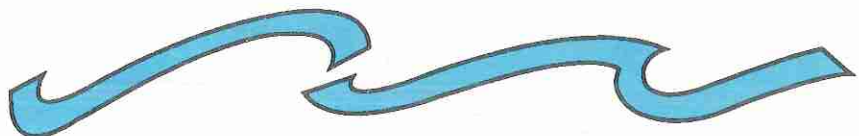
- Au niveau régional, 8 ministères possèdent des Directions Régionales, qui pour les 3 ministères cités au niveau national sont :
  - + Le SRAE (Service Régional d'Aménagement des Eaux) pour l'Environnement.
  - + La DRAF (Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt) pour l'Agriculture.
  - + La DRE (Direction Régionale de l'Équipement) pour l'Urbanisme, le Logement et les Transports.

- Au niveau départemental, les 8 mêmes ministères disposent de directions. Les 2 principales sont :
  - + La DDAF (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt).
  - + La DDE (Direction Départementale de l'Équipement).
- + Pour l'environnement, DDAF et DDE se partagent sa représentation départementale pour ce qui concerne les problèmes de l'eau.

#### Commissions et Établissements

- Au niveau national (animés par le Ministère de l'Environnement)
  - + Comité National de l'Eau
  - . Créé en application de l'art. 15 de la loi du 16.12.1964.
  - . Composition : usagers, conseillers généraux et municipaux, Administrations de l'État.
  - . Donne son avis sur les projets d'aménagement et la répartition des eaux ayant un caractère national et sur les problèmes communs concernant plusieurs bassins.





- + Comité Interministériel de la Qualité de la Vie (CIQV)
  - . Créé en application du décret du 2 décembre 1982.
  - . Examine les questions nécessitant une coordination interministérielle en matière d'eau.

- + Mission Interministérielle de l'Eau
  - . Créée en application du décret du 5.04.1968 (Texte en cours de modification).
  - . Assiste le Ministère de l'Environnement pour préparer les délibérations du Comité Interministériel de la Qualité de la Vie, donne son avis sur les crédits à inscrire aux budgets des différents ministères et relatifs à l'eau, examine les projets de lois, décrets, arrêtés réglementaires et circulaires sur l'eau.

- + Comité Interministériel de développement et d'aménagement rural (CIDAR)
  - . Examine les projets d'aménagement rural et décide des aides à y apporter si le domaine de l'eau est concerné.

#### - Au niveau du Bassin (ex. Bassin Rhône-Méditerranée-Corse)

- + Comité de Bassin
  - . Créé en application de la loi du 16.12.1964, art.13.
  - . Composition : représentants des régions et collectivités locales, usagers et personnes compétentes, représentants de l'Etat et des milieux socio-professionnels. Les représentants des deux premières catégories détiennent plus des deux tiers des sièges.
  - . Le Comité est consulté sur toutes les questions faisant l'objet de la loi ; il oriente la politique de l'Agence (taux des redevances).
  - . Le Comité de bassin a créé des commissions géographiques.

- + Agence de Bassin
  - . Créée en application de la loi du 16.12.1964, art. 14.
  - . Etablissement public et administratif doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière ; dirigé par un conseil d'administration composé d'un président nommé par décret, de représentants des régions et des collectivités locales, des usagers, de l'Etat, de personnalités qualifiées et d'un représentant du personnel.
  - . L'Agence perçoit des redevances de prélèvement et de pollution de l'eau et accorde des aides aux collectivités et industriels pour travaux d'amélioration de la ressource de lutte contre la pollution et d'aménagement des rivières.

- + Mission Déléguée de Bassin
  - . Créée en application du décret du 5.4.1968 (texte en cours de modification).
  - . Prépare pour chaque bassin les travaux de la mission interministérielle de l'eau.
  - . Donne son avis sur les problèmes d'aménagement dans le bassin (barrages, centrales nucléaires, compagnies d'aménagement, cartes d'objectifs de qualité).

- + Délégation de Bassin
  - . Créée par décret du 8 mai 1981.
  - . Assure la cohérence des actions de l'Etat en matière de police des eaux.
  - . Mission de conseil auprès des services administratifs de l'Etat.

#### - Au niveau régional

- + Le Conseil Régional
  - . Action dans le domaine de l'Environnement et du cadre de vie comportant un chapitre sur la politique de l'eau (suivi qualitatif et quantitatif, diagnose écologique des lacs, assainissement).
  - . Action de recherche en écologie appliquée avec étude du cycle de l'eau.

- + Le Comité Technique de l'Eau
  - . Créé en application du décret du 5.4.1968 (texte en cours de modification).
  - . Coordonne les études nécessaires à l'établissement de l'inventaire des ressources en eau, à la connaissance des consommations et des phénomènes de pollution.
  - . Harmonisation des programmes d'aménagement des ressources et d'utilisation des eaux
  - . Appui du Préfet de Région pour préparation des programmes d'équipement dans le domaine de l'eau (programmes d'études coordonnées dans le domaine de l'eau).
  - . Le Service Régional de l'Aménagement des Eaux assure le Secrétariat Général du Comité.

#### - Niveau départemental

- + Le Conseil Général
  - . En application de la loi du 2 mars 1982, relative aux droits et libertés des Communes, des Départements et des Régions, le Département exerce certaines compétences en matière d'eau, notamment programmation des travaux d'alimentation et d'assainissement des communes rurales, petite hydraulique. Il dispose du Service d'Assistance Technique, de Conseil et de Formation pour le fonctionnement des stations d'épuration (SATESE).

- + Le Conseil Départemental d'Hygiène
  - . Créé en application de l'art. L.776 du Code de la Santé Publique et de l'arrêté du 22.1.68 composé d'élus (conseillers généraux, maires) d'usagers et de représentants d'administration. Le Conseil Départemental d'Hygiène est obligatoirement consulté lors de l'instruction de tous déversements soumis à autorisation au titre de la police des eaux ainsi que lors de l'instruction préalable à l'autorisation d'une installation classée.

#### - Niveau communal (Villes, Communes, Syndicats mixtes ou intercommunaux)

- + Les Maires sont investis de pouvoirs de police au nom de l'Etat pour des problèmes de sécurité (inondations) et de santé publique (alimentation en eau potable et assainissement).
- + Les collectivités locales ont en charge la construction et l'exploitation des réseaux d'eau et d'assainissement.

#### REGLEMENTATION DE LA PECHE DANS LES LACS

A l'exception de quelques lacs (7 en Rhône-Alpes, dont le Bourget et Annecy) pour lesquels une réglementation spécifique locale peut être édictée, les plans d'eau sont soumis aux mêmes règles de pêche que les cours d'eau. Les deux textes sont :

- la loi "Pêche" du 29.6.84,
- la circulaire du Ministère de l'Environnement du 16.9.87.

Nous allons essayer d'en dégager les aspects essentiels. Mais leur complexité, les exceptions et cas particuliers qu'ils souffrent, rendent leur application difficile. Heureusement de nombreux organismes (voir ci-après) sont à la disposition des usagers pour tous renseignements.

#### Champs d'application

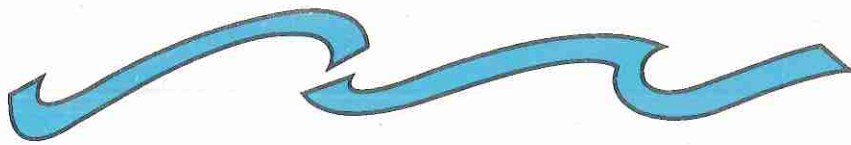
Ces textes concernent les eaux douces. Les "eaux closes", qui ne peuvent avoir de relation même occasionnelles ou accidentelles avec le réseau hydrographique général, n'y sont pas soumises. Les autres, dites "eaux libres", peuvent être domaniales ou non domaniales. Dans les pre-



ORGANISATION ADMINISTRATIVE FRANÇAISE DANS LE DOMAINE DE L'EAU  
LES SERVICES DE L'ETAT

Premier Ministre Coordination interministérielle Plan et aménagement du territoire - Risques naturels(inondations)										
Niveau National	Ministère des Affaires Sociales et de la Solidarité Nationale	Ministère de l'Agriculture	Ministère du Commerce, de l'Artisanat et du Tourisme	Ministère de l'Education Nationale	Ministère de l'environnement	Ministère de l'Intérieur et de la Décentralisation	Ministère du Redéploiement Industriel et du Commerce Extérieur	Ministère des Relations Extérieures	Ministère de la Recherche et de la Technologie	Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des transports
	Santé publique baignade, eaux potables, assainissement	Ressource, réglementation et usage dans le milieu rural maîtrise de l'eau en agriculture (cours d'eau, drainage, irrigation	Promotion des loisirs liés à l'eau (canoë-kayak, etc ...)	Diffusion de l'information dans les écoles, travaux de recherche dans les Universités	Coordination, réglementation (police de la pêche), financement d'études de recherches fondamentales ou appliquées	L'eau et les collectivités territoriales	Contrôle des installations classées, tutelle BRGM (eaux souterraines)	Coordination des actions et des règlements pour les eaux internationales (fleuves frontaliers et traversant plusieurs pays)	Etudes dans le domaine de l'eau par l'intermédiaire d'organismes sous tutelle	Equipements sanitaires des zones urbaines, police des eaux, navigation fluviale
Préfet de région siège du Bassin Coordonnateur										
Niveau du Bassin	Centralisateur de Bassin	Centralisateur de Bassin Ingénieur Général du GREF Chargé du Bassin			Délégué de Bassin Service Hydrologique centralisateur	Centralisateur de Bassin	Centralisateur de Bassin			Service de la Navigation Centralisateur de Bassin
	Préfet de région									
Niveau Régional	Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales	Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt. Service de l'Aménagement des Eaux	Direction Régionale du Temps Libre	Université Faculté des Sciences Facultés des Lettres	Délégation Régionale à l'Architecture et à l'Environnement. Service Régional de l'Aménagement des Eaux	Secrétariat Général pour les Affaires Régionales	Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche. Service géologique régional BRGM			Direction Régionale de l'Equipement Service de la Navigation
	Préfet Commissaire de la République de Département									
Niveau Départemental	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt	Direction Départementale du Temps Libre	Etablissements scolaires primaires et secondaires	Direction Départementale de l'Agriculture et de l'Equipement	Direction de l'Administration Générale Bureau de l'Environnement	Subdivisions départementales de la Direction régionale de l'Industrie et de la Recherche			Direction Départementale de l'Equipement Subdivisions territoriales Subdivision du Service Navigatio
Niveau mental	Contrôle eaux de consommation, assainissement, baignade	Police des eaux contrôle des étaissements hydrauliques	Promotion et contrôle des loisirs liés à l'eau	Formation Education Information	Actions de police des eaux et de la pêche, et de lutte contre la pollution	Police des eaux	Contrôle des installations classées Indus.			Police des eaux et de la pêche





mières, qui font partie du domaine public, le droit de pêche appartient à l'Etat. Dans les secondes, c'est le propriétaire du plan d'eau qui le détient ; mais, en règle générale, il n'est propriétaire ni de l'eau ni du poisson qui s'y trouve.

Cette réglementation concerne la pêche amateur effectuée à la ligne. Les conditions de pêche aux engins, amateur ou professionnelle, ressortent de règles particulières sur lesquelles il est conseillé de se renseigner localement.

Les règles diffèrent quelque peu suivant l'une ou l'autre des catégories dans laquelle le plan d'eau est classé. La première comprend ceux qui sont principalement peuplés de salmonidés ; la seconde tous les autres.

### Règles et formalités essentielles

Les périodes d'interdiction de la pêche correspondent aux périodes de reproduction des poissons ; elles sont fixées par décret mais peuvent être allongées par les Préfets. Les heures de pêche, taille et captures, nombre de captures pour certaines espèces, sont réglementées. La vente du poisson par les pêcheurs amateurs aussi bien aux lignes qu'aux engins, constitue un délit de pêche.

Dans les lacs considérés comme eaux libres, les pêcheurs sont soumis à des obligations générales :

- faire partie d'une association de pêche et de pisciculture agréée (A.A.P.P.) de son choix ;
- verser en plus de sa cotisation statutaire des taxes annuelles dites piscicoles (taxe de base et supplément suivant les catégories piscicoles et le mode de pêche).

### Centres d'information

On peut prendre connaissance de toutes les dispositions relatives à l'exercice de la pêche :

- auprès de la Préfecture et du Service chargé de la Police de la Pêche de la DDAF ;
- auprès de la Fédération Départementale de Pêche ;
- auprès des Associations Agréées de Pêche et de Pisciculture (AAPP) ;
- et enfin dans les Mairies où sont affichés :
  - + l'arrêté réglementaire permanent,
  - + l'avis annuel rappelant les périodes d'interdiction.

## II- LES FICHIERS

Posséder une liste de tous les plans d'eau, savoir où ils sont, connaître leur état et tenir ces renseignements à jour, voilà une ambition sans doute légitime, peut-être trop ambitieuse. Divers organismes se sont pourtant attelés à la tâche, en utilisant la technique, souple et efficace, du fichier informatique.

L'échantillonnage analysé ici vise soit directement les lacs, soit des données qui peuvent les concerner et à un caractère national ou régional.

### LES FICHIERS CONCERNANT LES LACS

#### Fichiers nationaux

- Le fichier national du Ministère de l'Environnement

C'est le plus ancien ; il date des années 1970. Il répertorie plus de 3000 "lacs, étangs et retenues" de superficie supérieure à 1 ha et sur tout le territoire national.

Malheureusement les renseignements qu'il donne sont sommaires, assez souvent entachés d'erreurs et pour le moment figés à la date de constitution du fichier. Ils ont été enregistrés sur support magnétique.

Le Ministère de l'Environnement en a tiré pour les plans d'eau supérieurs à 10 ha, une carte de situation et un état classé par superficie décroissante.

Quelques-uns des graphiques présentés plus bas ont été réalisés à partir des données de ce fichier.

- Le fichier des lacs de montagne

Sa constitution a été confiée au CEMAGREF par le Ministère de l'Environnement.

Territorialement il est limité aux zones reconnues de montagne par les textes officiels (altitude supérieure à 700 m, 600 m dans les Vosges et (ou) pente moyenne supérieure à 20 %).

Il comporte essentiellement deux parties :

+ un inventaire exhaustif réalisé sur carte IGN au 1/25 000° de tous les plans d'eau, quelles que soient leur nature et leur surface. Leur nombre est d'environ 2250 (dont 2000

naturels), surtout localisés dans les Alpes (1100) et les Pyrénées (900), les autres massifs, Jura, Vosges, Corse et Massif Central se répartissant le reste dans cet ordre.

Les données recueillies sont très limitées : situation, superficie, altitude, quelques éléments d'hydrologie. Les plans d'eau y sont classés par département et par commune, mais leur traitement informatique autorise toute autre sorte de classement, par massifs, surface, altitude, etc...

+ des fiches individuelles, qui ne concernent que les lacs naturels d'une superficie supérieure à 0,5 ha. Leur nombre est de l'ordre de 1150 dont 550 dans les Alpes et 480 dans les Pyrénées ; le solde se répartit, dans l'ordre, dans le Jura, le Massif Central, les Vosges et la Corse.

L'objectif final est de donner à ce fichier les mêmes qualités qu'à celui de l'Agence de Bassin RMC avec toutefois des renseignements de nature un peu différente. Mais leur support en est encore resté au stade du papier.

#### Fichiers de bassin : le fichier Agence RMC

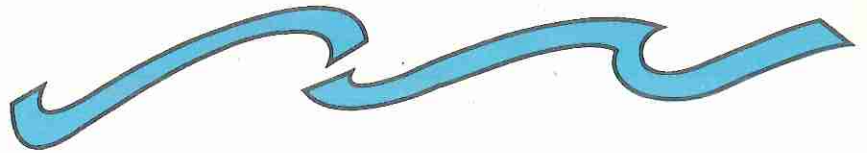
L'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse a répertorié tous les plans d'eau de son bassin, d'une superficie supérieure à 1 ha ou à usage de réserve d'eau potable.

Ce fichier présente un certain nombre de caractéristiques intéressantes se rapportant généralement aux plans d'eau d'une superficie supérieure à 10 ha :

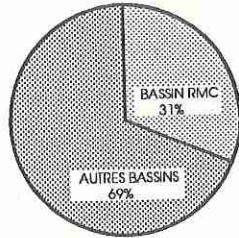
- il est documenté avec des renseignements géographiques et physiques (morphologie, climatologie, géologie, hydrologie), socio-économiques (statut juridique, usages), de qualité (physicochimie, biologie, bactériologie) et fait référence à un vaste fond bibliographique,
- il est vivant, en permanence mise à jour,
- il est accessible à partir d'un centre serveur informatique.

Nous reproduisons ci-après quelques graphiques résumant quelques données de ce fichier, comparées ou non à celles du fichier national, et un tableau de ses plans d'eau d'une superficie supérieure à 100 ha avec quelques-unes de leurs caractéristiques physiques.





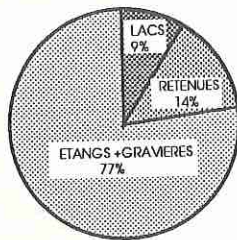
## REPARTITION DES PLANS D'EAU AU NIVEAU NATIONAL



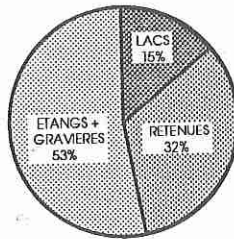
Cette répartition regroupe tous types de plans d'eau (lacs naturels, retenues, étangs d'eau douce et saumâtre, gravières) d'une superficie supérieure à 10 ha. On notera que le bassin RMC contient à lui seul 1/3 environ des plans d'eau du territoire national.

## REPARTITION PAR TYPES DE PLANS D'EAU (superficie > 10 ha)

FICHER NATIONAL

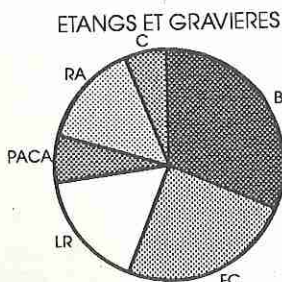
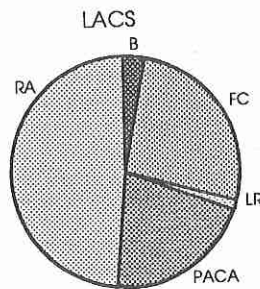
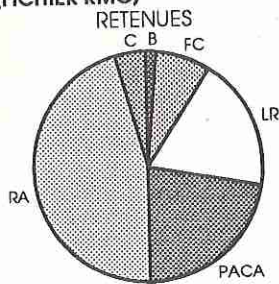


FICHER RMC



(533 plans d'eau)  
La superficie est toujours supérieure à 10 ha. La moitié des plans d'eau du bassin RMC est constituée d'étangs et gravières.

## REPARTITION PAR TYPES DE PLANS D'EAU ET PAR REGION (FICHER RMC)



B = Bourgogne  
FC = Franche-Comté  
C = Corse  
LR = Languedoc-Roussillon  
RA = Rhône-Alpes  
PACA = Provence-Alpes-Côte d'Azur

On constatera la part importante des lacs et retenues de la région Rhône-Alpes.

## LES FICHIERS DONNEES

### Fichiers nationaux : le fichier hydrométrique ARHMA

Il concerne les données hydrométriques de multiples cours d'eau répartis sur tout le territoire national ; et ne touche donc aux lacs qu'indirectement par le biais de leurs affluents ou émissaires.

Il recueille les hauteurs d'eau enregistrées en permanence à diverses stations et leurs valeurs de tarage (débits correspondants aux niveaux). Il peut en retour fournir des débits instantanés ou moyens sur diverses périodes (jours-mois-an, etc).

Ce fichier est actuellement géré par l'ordinateur central du Ministère de l'Agriculture et sert localement en principe pour les Services Régionaux d'Aménagement des Eaux (SRAE). Mais il a vocation à devenir interministériel et à regrouper en particulier les données issues du Ministère de l'Environnement et de l'EDF.

### Fichiers de Bassin (Agence de Bassin RMC)

#### - Données qualitatives

Il s'agit des caractéristiques physicochimiques ou biologiques des eaux superficielles (cours d'eau), recueillies essentiellement par le Réseau National de Bassin et de sources diverses.

Du fichier ainsi constitué on peut extraire, outre les données brutes, diverses informations élaborées : nombre de prélèvements ou d'éléments observés, valeurs particulières (mini - maxi - moyennes), estimation de la qualité par comparaison à des bornes de référence, répartition par classes, graphiques divers, etc. L'interrogation peut porter sur les éléments, les périodes, les lieux (stations, cours d'eau, département, secteur hydrologique).

#### - Données hydrométriques

C'est, sur le plan régional, une sorte de répétition du fichier ARHMA, avec deux différences essentielles. Les données d'entrée se situent à un niveau plus grossier, l'élément de base n'étant plus le débit instantané, mais le débit moyen journalier, parfois mensuel. Par contre la chronique est beaucoup plus ancienne et le réseau de stations de mesures locales plus dense ; plus de 1800 stations actuellement en fonctionnement ou désactivées ont été inventoriées.

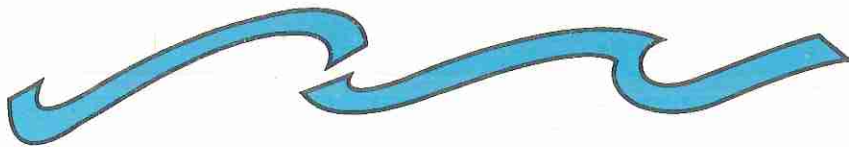
Comme pour les données qualitatives et avec la même gamme de possibilités d'interrogation, on peut en obtenir données brutes et renseignements élaborés.

#### - Données pluviométriques

Il ne s'agit encore que d'un projet qui fonctionnerait sensiblement comme le précédent.

Ces fichiers sont tous implantés sur l'ordinateur de l'Agence RMC qui les tient à jour. Les renseignements sont fournis à l'extérieur soit par envoi de supports divers (listing, bande magnétique, disquette), soit par interrogation directe à partir d'un terminal.

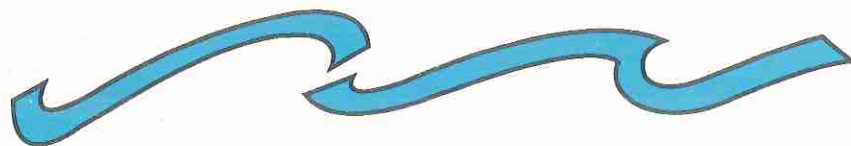




**CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES PRINCIPAUX PLANS D'EAU DU FICHER RMC  
(LACS ET RETENUES DE SUPERFICIE SUPÉRIEURE À 100 HECTARES)**

Départ.	Nom	B. versant (ha)	Superficie (ha)	Volume (Mm <sup>3</sup> )	Prof. max. (m)	Temps séjour	Type
01	Génissiat	1091000	350	53	70	3,0 jours	Retenue
	Cize-Bolozon	256000	300	1,5	15,5	-	Retenue
	Allement	263000	225	19	19,5	2,4 jours	Retenue
	Nantua	5030	140	40,1	43	10 mois	Lac
04	Castillon	655	450	149	95	4 mois	Retenue
	Greoux	181900	330	78,6	54	25 jours	Retenue
	Quinson	166100	190	19,5	54	7 jours	Retenue
	Escale	696000	200	15	-	-	Retenue
	Sisteron	632600	118	6,2	35	-	Retenue
	Espinasses	375500	121,5	7,9	-	-	Retenue
05	Serre-Ponçon	360000	3200	1270	129	6 mois	Retenue
07	Saint vallier	-	624	35	-	-	Retenue
	Beauchastel	-	376	30	14	8 heures	Retenue
13	Cadarache	1008000	122	12,5	-	-	Retenue
20	Calacuccia	12700	107	25	68	2 mois	Retenue
	Tolla	132	115	37	98	-	Retenue
21	Grosbois	2960	120	9,2	22,3	-	Retenue
	Panthier	2220	120	8,1	14	-	Retenue
25	Saint Point	-	398	81,6	45	6,6 mois	Retenue
26	B. les Valence	6645000	490	25	11	8 heures	Retenue
	Donzère	-	406	20	16	12 heures	Retenue
	Baix	-	330	40	15	6 heures	Retenue
	Pizoncon	1322000	243	13	13	-	Retenue
	Montélimar	-	250	45	16	6 heures	Retenue
	B. Montheux	1175000	110	3	-	24 heures	Retenue
	Vanelle	1152500	150	3,9	23	-	Retenue
30	Vallabrègues	-	1100	80	-	12 heures	Retenue
	Ceyrac	4400	163	-	15	-	Retenue
	Ste Cécile d'Ang.	10900	100	11	34	-	Retenue
34	Salagou	7600	800	125	51	-	Retenue
	Avène	12500	194	33	63	4 mois	Retenue
38	Monteynard	205000	657	275	135	-	Retenue
	Vaugris	5170000	500	22	13	8 heures	Retenue
	P. Roussillon	-	500	45	15	14 heures	Retenue
	Paladru	4800	390	97,2	36	4 ans	Lac
	Sautet	101800	348	107,7	126	-	Retenue
	Beauvoir	1013800	215	-	10	19 heures	Retenue
	ND. de Commiers	207000	165	33,6	40	-	Retenue
	St Hilaire	1100500	140	6	22	-	Retenue
	Chambon	-	140	50,8	136	-	Retenue
	Saint P. de Cognet	-	125	27,5	75	-	Retenue
	Laffrey	-	124	28,2	40	28 mois	Lac
38	Pierre-Chatel	-	101	-	11	-	Lac
	Grand'Maison	-	-	137	-	-	Retenue
39	Vouglans	112000	1600	605	100	6 mois	Retenue
	Coiselet	-	380	36	37	-	Retenue
	Chalain	3050	231	46,6	34	10 mois	Lac
	Abbaye	630	100	3,6	28	-	Lac
48	Villefort	-	136	27,7	75	-	Retenue
52	Vingeanne	8650	194	8,1	8,4	6 mois	Retenue
66	Matemale	3200	230	20,5	37	-	Retenue
	V. de la Raho	670	201	17,5	-	-	Retenue
	Bouillouses	3360	190	17,5	18	-	Retenue
	Vinca	94000	177	24,6	52	-	Retenue
	Puyvalador	-	114	10	36	-	Retenue
70	Champagney	-	116	13	33	-	Retenue
73	Bourget	56000	4462	3620	146	7 ans	Lac
	Mont-Cenis	-	661	326,7	95	-	Retenue
	Aiguebelette	5500	545	166	71	3 ans	Lac
	Roselend	1650	304	185,6	150	-	Retenue
	Chevril	42000	270	225	180	9 mois	Retenue
	Bissorte	-	117	39,5	63	-	Retenue
74	Leman	797500	58236	89000	309	12 ans	Lac
	Annecy	27800	2700	1123	81	4 ans	Lac
83	Sainte-Croix	159100	2182	767	100	9 mois	Retenue
	Saint-Cassien	13100	374	60	51	80 jours	Retenue
84	Caderousse	-	564	43	21	-	Retenue
	Avignon	-	520	40	22	-	Retenue
	Cadarache	119200	110	3,1	-	-	Retenue





### III- BIBLIOGRAPHIE

#### 1 - LISTE NON EXHAUSTIVE D'OUVRAGES DE BASE

- \* Diagnose rapide des milieux lacustres (CEMAGREF - 1987)
- \* Gestion piscicole de lacs et retenues artificielles (Gerdeaux et Billard - INRA - 1985)
- \* Actes du colloque sur les lacs naturels (CEMAGREF Aix-les-Bains - 1978)
- \* Les lacs de montagne - Inventaire diagnostique d'un patrimoine national (CEMAGREF Lyon - 1985)
- \* Le lac du Bourget - Exemple de lutte contre l'eutrophisation (CEMAGREF - BALLAND)
- \* Modélisation en écologie : méthodologie et application aux écosystèmes lacustres (Thèse GENTIL - GRENOBLE 1981)
- \* "Pour l'amour d'un lac" (Michel TISSUT - Fédération des Associations de Protection du Lac d'Aiguebelette - 1987)
- \* Limnologie - Etude des eaux continentales (B. DUSSART - Ed. GAUTHIER-VILLARS - 1986)
- \* Caractérisation et essai de restauration d'un écosystème dégradé : le lac de Nantua (Publication INRA - J. FUILLADE - 1985)
- \* Le Léman - Synthèse 1957 - 1982 - CIPEL
- \* "Nous n'avons qu'un Léman" (Publication ASL - 1983)
- \* Etude d'Environnement de la Périphérie du lac du Bourget (DRAE - Conseil Régional Rhône-Alpes - 1985)
- \* Vers les lacs de Savoie (Editions GLENAT - COUPE et MARTINOT - 1987)
- \* Vers les lacs du Dauphiné - de Belledonne au Viso (Editions GLENAT - COUPE 1984)
- \* Actes du Colloque Franco-Suisse sur la Protection des Lacs (TSM Annecy - 1978)

\* Fichier des principaux plans d'eau du bassin RMC - Brochure d'information (AFB RMC - 1983)

\* Ecologie de quatre lacs naturels du Briançonnais : Physico-chimie (T 1) - Peuplement piscicole (T 2) - Invertébrés et végétaux aquatiques (T 3) - Végétation terrestre environnante (T 4) (CEMAGREF 1985)

\* Passé - présent et futur de l'exploitation piscicole des grands lacs français (M. LAURENT ENEF - 1982)

\* Cahier Technique de l'ACTA : "Les plantes aquatiques" (1987)

\* Eutrophisation, pollution nutritionnelle et restauration des lacs (G Barroin 1980), in "La pollution des eaux continentales" Editions P. Pesson - Fauthier - Villars 75-96

\* La pollution des lacs (MEYBECK Université Paris VI - 1978)

\* Le traitement des sédiments en limnologie opérationnelle (Barrouin G.) Revue Française des Sciences de l'Eau (1984) 225-308.

#### 2 - LISTE NON EXHAUSTIVE DE REVUES

- \* Bulletin de liaison du Conseil Supérieur de la Pêche
- \* Hydrologie continentale
- \* Bulletin français de pisciculture
- \* L'eau et l'industrie
- \* Génie rural
- \* La Houille blanche
- \* Techniques - Sciences - Méthodes
- \* Annales de limnologie
- \* Eaux de Rhône-Méditerranée-Corse

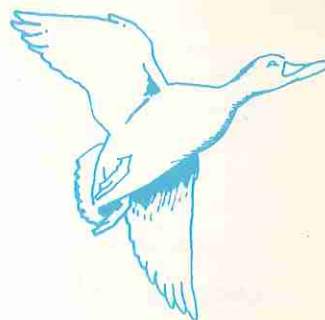
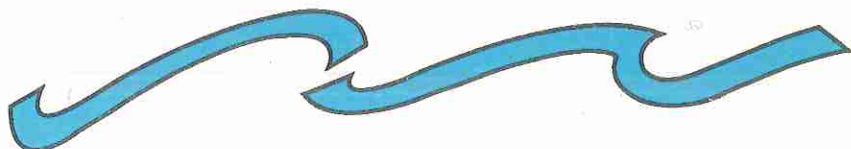
#### 3 - SERVICES DOCUMENTAIRES POUVANT ETRE CONSULTES

Les bibliothèques, banques de données des Organismes suivants peuvent être consultées :

- \* AFEE (Association Française pour l'Etude des Eaux, cf annexe IV)
- \* Agence de Bassin RMC
- \* CEMAGREF
- \* CNR
- \* CSP
- \* EDF
- \* INRA DE THONON
- \* SOGREAH
- \* SRAE
- \* ECOTHEK (sur Minitel 36.16 code IDEAL)

(cf. coordonnées  
en annexe IV et V)





## IV- QUELQUES ADRESSES UTILES (Liste non exhaustive)

### ADMINISTRATION ET SERVICES PUBLICS

#### - Niveau national

\* Ministère de l'Environnement. Direction de l'Eau et de la Prévention des Pollutions.  
14, Bd du Général-Leclerc. 92524 Neuilly/Seine Cédex  
Tél : 16 (1) 41 58 12 12

#### - Niveau régional

\* Agence Financière de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse.  
31 rue J. Guesde 69310 Pierre-Bénite  
Tél : 78 50 16 40 / 78 39 48 48

\* Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (CEMAGREF).  
3 quai Chauveau. 69009 Lyon  
Tél : 78 83 49 48

\* Compagnie Nationale du Rhône (CNR)  
2 rue André Bonin 69316 Lyon Cédex 04  
Tél : 72 00 69 69

\* Conseil Supérieur de la Pêche (CSP). Délégation Régionale.  
285 rue du 4-Août. 69100 Villeurbanne Tél : 78-84-48-89

\* Délégation Régionale à l'Architecture et à l'Environnement (DRAE) Rhône-Alpes.  
19 rue de la Villette. 69425 Lyon Cédex 3  
Tél : 72 33 04 28

\* Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt (DRAF).  
55, rue Mazonot 69426 Lyon Cedex 03  
Tél : 78 95 05 55

\* Direction Régionale de l'Équipement (DRE)  
55, rue Mazonot 69426 Lyon Cedex 03  
Tél : 78 60 25 43

\* Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche (DRIR) Rhône-Alpes.  
11 rue Curie. 69456 Lyon Cédex 06  
Tél : 78 52 25 03

\* Entente Interdépartementale pour la Démoustication  
73310 CHINDRIEUX - Tél : 79 54 21 58

\* Institut National de la Recherche Agronomique (INRA).  
Station d'Hydrobiologie Lacustre.  
Institut de Limnologie BP 11F. 74203 Thonon-les-Bains  
Cédex Tél : 50 71 49 55

\* Parc National des Ecrins - 7, rue du Colonel Roux 05000  
GAP - Tél : 92 51 40 71

\* Parc National du Mercantour - 23, rue d'Italie - 06000  
NICE - Tél : 93 87 86 10

\* Parc National de la Vanoise - 135, rue du Dr Juliland -  
BP 705 - 73007 CHAMBERY Cedex - Tél : 79 62 30 54

\* Service régional d'Aménagement des Eaux (SRAE).  
3 quai Chauveau 69009 Lyon Tél : 78 83 88 77

\* Secrétariat Régional du Patrimoine Naturel Rhône-Alpes.  
Départements : Haute-Savoie, Savoie, Isère, Drôme.  
Muséum d'Histoire Naturelle. - 1 rue Dodonnaire. 38000  
Grenoble - Tél : 76 44 05 35

\* Secrétariat Régional du Patrimoine Naturel Rhône-Alpes.  
Départements : Ain, Ardèche, Loire, Rhône. Centre  
d'études des Sciences de l'Environnement.  
Université de Lyon I. 43 Bd du 11-Novembre. 69622  
Villeurbanne Cédex - Tél : 78 89 81 24 (poste 41-22)

\* Electricité de France (EDF)

Groupe Régional de Production Hydraulique "Savoie"  
(Haute Savoie, Savoie sauf Vallée de l'Arc)  
19 av. du Parmelan BP 970  
74019 Annecy Cédex  
Tél : 50 65 80 20

Groupe Régional de Production Hydraulique "Alpes"  
(Savoie-Vallée de l'Arc, Isère, Vercors, Drome, Vallée de  
l'Isère)  
37 rue Diderot BP 43  
38040 Grenoble Cédex  
Tél : 76 48 84 44

Groupe Régional de Production Hydraulique "Rhône"  
(Ceux limitrophes à l'ensemble du fleuve Rhône)  
5 rue des Cuirassiers BP 3102  
69399 Lyon Cédex 03  
Tél : 78 71 33 33

Groupe Régional de Production Hydraulique  
"Méditerranée"  
(Hautes Alpes, Alpes de Hautes Provence, Vaucluse, Var,  
Vaucluse, Alpes Maritimes)  
140 Avenue Viton BP 540  
13401 Marseille Cédex 9  
Tél : 91 75 88 00

. Région d'Équipement Alpes Lyon (REAL)  
3,5 rue Ronde BP 1034  
73010 Chambéry  
Tél : 79 75 60 60

- Dans chaque département, se renseigner auprès des :

\* Préfectures

\* Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt  
(DDAF)

En particulier en Savoie : Station d'études Hydrobio-  
logiques du Lac du Bourget  
200 Av du Petit Port 73100 Aix les Bains - Tél : 79 61 08 22

\* Direction Départementale de l'Équipement (DDE)

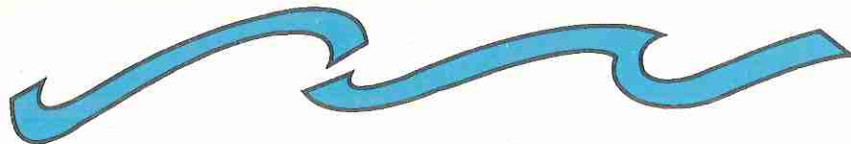
\* Direction Départementale des Affaires Sanitaires et  
Sociales (DDASS)

### COLLECTIVITES TERRITORIALES

Se renseigner auprès :

\* de la Région Rhône-Alpes (Conseil Régional).  
76 route de Paris. 69260 Charbonnière-les-Bains  
Tél : 78 92 40 00





\* des départements (Conseil Général)

#### ORGANISMES PROFESSIONNELS ET ASSOCIATIFS

- \* Association Française pour l'Etude des Eaux (AFEE)  
21-23 rue de Madrid - 75008 PARIS - Tél (1) 45 22 14 67
- \* Association Rhône Alpes (ARALEBP) Faculté des Sciences Université Claude Bernard  
43, Bd du 11 novembre BP 18 69622 Villeurbanne Cédex  
Tél : 78 89 51 24
- \* Chambre Syndicale Nationale des Entreprises et Industries de l'Hygiène Publique.  
10, rue de Washington 75008 Paris
- \* Fédération Rhône Alpes des Associations de Protection de la Nature (FRAPNA) Université Lyon 1  
43, Bd du 11 novembre BP 18 69622 Villeurbanne Cédex  
Tél : 78 94 93 26
- \* Fédération Nationale des Syndicats d'Assainissement (VANID).  
12, rue de Milan. 75009 Paris
- \* Institut International de Gestion et de Génie de l'Environnement (IIGGE)  
BP 128 2 Bd de la Route du Roi 73101 Aix les Bains Cédex  
Tél : 79 88 20 00
- \* Syndicat National des Industries du Traitement des Eaux Résiduaires (SNITER).  
10 rue Washington. 75008 Paris  
Tél : 16 (1) 45 63 70 40
- \* Syndicat National des Produits de Traitement et d'Assainissement de l'eau.  
3, avenue du Président-Wilson. 75116 Paris  
Tél : 16 (1) 47 23 99 54
- \* Chambre Syndicale des Sociétés d'Etude et de Conseil (SYNTEC).  
Maison de l'Ingénierie. 3 rue Léon-Bonnat. 75016 Paris
- \* Pour les associations agréées de Pêche et de Pisciculture, et les Fédérations Départementales de Pêche, consulter le CSP.

#### UNIVERSITES

- \* Université de Savoie  
BP 1104 73011 Chambéry  
Tél : 79 69 27 18  
-Laboratoire de Biologie  
-Laboratoire de Chimie Analytique

#### LABORATOIRES AGREES (\*) SUSCEPTIBLES D'EFFECTUER CERTAINS TYPES D'ANALYSES D'EAU

(\*) L'agrément n'est donné que pour une durée déterminée. Des modifications à cette liste peuvent donc survenir. Se renseigner auprès des administrations départementales : DDAF - DDASS - DDE)

#### AIN

Laboratoire d'Analyses des Eaux.  
47 Bd de Bron. 01000 Bourg-en-Bresse - Tél : 74 22 00 56

#### ARDECHE

Laboratoire d'Analyse des Eaux. Centre de Recherche sur le diabète et les maladies de la nutrition.  
2 av. Expilly. 07600 Vals-les-Bains  
Tél : 75 94 60 44

#### DROME

- \* Laboratoire Vétérinaire Départemental.  
20 rue Léon-Blum. 26000 Valence  
Tél : 75 44 33 31
- \* CEA Pierrelatte  
BP 38 26701 Pierrelatte Cédex - Tél : 75 50.43 82

#### ISERE

- \* Laboratoire Régional d'Analyses des Eaux. Hôpital de la Tronche. - Domaine de la Merci. 38700 La Tronche  
Tél : 76 42 05 73
- \* Centre Technique de l'Industrie des Papiers-Cartons et Celluloses - BP 7110 38020 Grenoble Cédex  
Tél : 76 44 82 36
- \* APAVE Grenoble.  
16 av. de Grughllasco. 38431 Echirolles Cédex  
Tél : 76 33 33 33

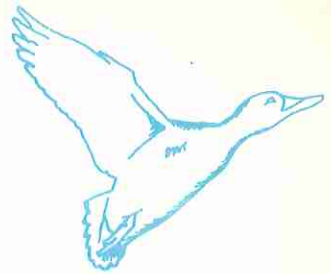
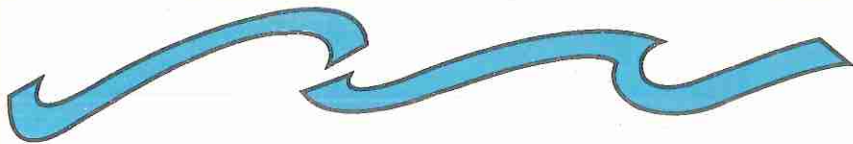
#### LOIRE

Laboratoire Municipal.  
6 rue Montyon. 42000 Saint-Etienne  
Tél : 77 74 22 46

#### RHONE

- \* Association Lyonnaise des Propriétaires d'Appareils à vapeur et électriques (ALPAVE).  
BP 3. 69811 Tassin La Demi Lune Cédex  
Tél : 78 34 81 25
- \* Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (CEMAGREF).  
3 quai Chauveau. 69009 Lyon  
Tél : 78 83 49 48
- \* Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE).  
BP 48. 69672 Bron Cédex  
Tél : 78 41 81 25
- \* Laboratoire Régional de la Compagnie Générale des Eaux (CGE).  
75 rue Cuvier. 69414 Lyon Cédex  
Tél : 78 52 44 34.
- \* Centre d'Industrialisation Rhône-Poulenc Décines (CID).  
BP 5. 69150 Décines  
Tél : 72 05 20 20
- \* Centre Technique du Cuir (CTC).  
BP 7001. 69432 Lyon Cédex 07  
Tél : 78 69 50 12
- \* Institut Pasteur.  
77 rue Pasteur. 69365 Lyon Cédex 07.  
Tél : 78 72 35 09
- \* Institut de Recherche Hydrogéologique (IRH)  
24 av. Dauphine 69360 Serezin sur Rhône  
Tél : 78 02 17 42
- \* Laboratoire Pourquery  
93 Bd du Parc d'Artillerie 69007 Lyon  
Tél 78 61 21 16
- \* Ecole Nationale Vétérinaire,  
rue Saint Bel. Marcy l'Etoile - BP 31 - 69792 Charbonnière Cédex  
Tél : 78 87 00 84





\* Service d'Hygiène et de Santé de Lyon. Laboratoire d'Analyses.  
60 rue de Sêze. 69606 Lyon  
Tél : 78 52 13 24

\* Service Régional d'Aménagement des Eaux (SRAE). 3  
quai Chauveau. 69009 Lyon  
Tél : 78 83 88 77

#### SAVOIE

Laboratoire Départemental d'Analyses.  
28, place du Forum. 73000 Chambéry-le-Haut.  
Tél : 79 70 22 30

#### HAUTE-SAVOIE

\* Institut National de la Recherche Agronomique. Station  
d'Hydrobiologie lacustre. - Institut de Limnologie -  
BP 11F. 74203 Thonon Cédex - Tél : 50 71 49 55

\* Laboratoire du Syndicat Intercommunal des Communes  
Riveraines du Lac d'Annecy - BP 739. 74000 Annecy Cédex

\* Laboratoire du Syndicat d'Épuration des Régions de  
Thonon-les-Bains et d'Évian-les-Bains.  
Z.I. de Vongy. 74200 Thonon-les-Bains - Tél : 50 26 21 22

\* Service de Microbiologie. Laboratoire des Eaux.  
Centre Hospitalier. 74012 Annecy - Tél : 50 88 33 35

## V- COORDONNÉES ET ACTIVITÉS DES ORGANISMES REPRÉSENTÉS AU GROUPE DE TRAVAIL DE L'IIGGE

#### Administration et établissements publics

\* Agence Financière de Bassin Rhône-Méditerranée-  
Corse  
31 rue Jules Guesde, 69310 Pierre-Bénite - Tél : 72 39 48 48  
Établissement Public de l'État chargé d'aider financière-  
ment et techniquement la lutte contre la pollution de  
l'eau et l'aménagement rationnel de la ressource

\* Centre d'Études du Machinisme Agricole du Génie Rural  
des Eaux et Forêts (CEMAGREF)  
3 quai Chauveau, 69009 LYON  
Tél : 78 83 49 48  
Recherche appliquée et appui technologique aux admi-  
nistrations et services publics à la plupart des activités  
liées à l'agriculture et en particulier la qualité de l'eau.

\* Compagnie Nationale du Rhône (CNR)  
2 rue André Bonin, 69316 Lyon Cédex 04 - Tél : 72 00 69 69  
Concessionnaire de l'aménagement du Rhône français  
pour la production d'électricité, la navigation et les utilisations  
agricoles de l'eau.

\* Conseil Supérieur de la Pêche (CSP) Délégation  
Régionale  
285 rue du 4 Août, 69100 Villeurbanne  
Tél : 78 84 48 89  
Gestion de la Pêche dans les régions de Bourgogne-  
Franche Comté et Rhône-Alpes.

\* Electricité de France (EDF)  
- Groupe Régional de Production Hydraulique "Alpes"  
BP 43 38040 Grenoble Cédex  
Tél : 76 48 84 44  
- Région d'Équipement Alpes Lyon  
BP 1034 - 73010 Chambéry - Tél : 79 75 60 60  
Conception, réalisation et exploitation des ouvrages  
hydroélectriques.

\* Institut de Limnologie - Institut National de la Recherche  
Agronomique (INRA)  
BP 11 - 74203 Thonon les Bains Cédex - Tél : 50 71 49 55  
Étude et gestion des lacs et plans d'eau en relation avec  
leur bassin versant

\* Parc National de la Vanoise (PNV)  
135 rue du Dr Julliard, 73000 Chambéry - Tél : 79 62 30 54

\* Service Régional d'Aménagement des Eaux (SRAE)  
- SRAE Rhône-Alpes  
3 quai Chauveau, 69009 Lyon  
Tél : 78 83 88 77  
- SRAE Franche Comté  
BP 951 - 25021 Besançon Cedex  
Tél : 81 80 52 99

Suivi de la qualité des eaux superficielles - Chimie -  
Hydrobiologie - Gestion du réseau hydrométrique -  
Hydrogéologie - Eaux souterraines - Karst -  
Aménagements hydrauliques agricoles - Assainissement.

\* Station d'Études Hydrobiologiques du Lac du Bourget  
200 avenue du petit Port 73100 Aix les Bains  
Tél : 79 61 08 22  
Sensibilisation des particuliers à l'environnement -  
Organisation d'activités liées à la protection et à la ges-  
tion des milieux aquatiques naturels - Création de  
l'Aquarium du Lac du Bourget.

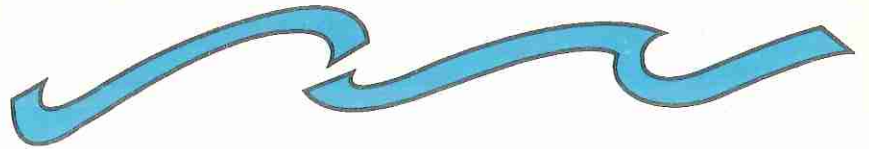
\* Université de Savoie, Laboratoire de Biologie  
BP 1104 - 73011 Chambéry Cédex  
Tél : 79 69 27 18  
Étude de la matière végétale en milieu aquatique stag-  
nant - épuration des eaux par les plantes - Activité globa-  
le des biocénoses.

#### Collectivités territoriales

\* Syndicat Intercommunal des Communes Riveraines du  
Lac d'Annecy (SICRLA)  
BP 739 - 74000 Annecy Cédex  
Tél : 50 57 15 23  
Syndicat à vocations multiples dont les principales sont  
l'assainissement du lac d'Annecy, le traitement des  
ordures ménagères par incinération, l'aménagement des  
rives du bassin versant du lac d'Annecy.

\* Syndicat Intercommunal du lac du Bourget  
6 rue de Tunis 73100 Aix les Bains  
Tél : 79 35 00 51  
Assainissement - Eau potable - Urbanisme - Bâtiments  
publics - Ports - Aménagement de loisirs - Zones d'activités  
- Transports urbains et scolaires - Établissements scolaires.





### Organismes privés et associations

\* Fédération des associations de Protection du Lac d'Aiguebelette (FAPLA)  
Le Murgeret<sup>®</sup> Naces 73470 Novalaise - Tél : 79 28 70 33  
Information, documentation, conseil, animation liés à la protection du lac d'Aiguebelette et de son littoral.

\* Institut International de Gestion et de Génie de l'Environnement (IIGGE) - 2 boulevard de la Roche du Roi  
BP 128 - - 73101 Aix les Bains Cédex - Tél 79 88 20 00  
Information, documentation, formation, communication au service des collectivités locales et de tous les autres acteurs de l'environnement.

\* SOGREAH,  
BP 72 X - 38042 Grenoble Cédex  
Tél : 76 33 40 00  
Études, conseil, maîtrise d'œuvre, ingénierie dans le domaine de l'hydraulique agricole et urbaine, des barrages et aménagements fluviaux.

\* Association pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Rhône Alpes (ADAPRA)  
(Bureaux au CEMAGREF de Lyon)  
Concertation entre les différents partenaires de la profession. Promotion des produits d'eau douce, recherche et développement concernant la production piscicole.

## VI- GLOSSAIRE

**Autotrophie** : (voir eutrophie)

**Beine** : zone à pente faible, de profondeur telle que l'action des vagues y devienne insensible, en tout cas insuffisante pour y entretenir une érosion sensible, d'étendue variable, en bordure des rives des lacs, et qui se raccorde au fond naturel, vers le large, par un talus à pente raide. Ce phénomène est dû à l'érosion des berges par la houle qui accumule sur ce "plateau" les matières "arrachées" aux bordures (chapitre 21)

**Benthos - Benthique** : le benthos est l'ensemble des animaux et des plantes qui vivent sur le fond, sur le substrat d'un lac, d'un fleuve ou de l'océan. L'adjectif correspondant est benthique : la faune benthique comprend tous les animaux qui vivent en liaison étroite avec le substrat, au moins pendant une partie de leur cycle de vie

**Biomasse** : poids de matière vivante par unité de milieu à un instant donné. On peut calculer la biomasse d'une espèce en pesant l'échantillon récolté et en le rapportant à une surface (en général g/m<sup>2</sup>). Le poids mesuré est plus souvent un poids vif (ou poids frais), mais peut être aussi un poids sec ou un poids de cendres

**DBO-DCO** : (demande biochimique (DBO) et chimique (DCO) en oxygène).

Les micro-organismes minéralisent la matière organique qui se trouve dans l'eau en consommant de l'oxygène qui y est dissous. Pour une eau donnée on peut mesurer cette consommation naturelle, telle qu'elle aurait lieu en principe in situ : c'est la demande biologique en oxygène total (DBOT). La durée de la mesure peut être très longue. Aussi la limite-t-on généralement à 5 jours. C'est la DBO<sub>5</sub>. On peut aussi minéraliser cette matière organique par voie purement chimique en lui fournissant artificiellement de l'oxygène. Le procédé est plus rapide, mais ne mesure pas le même phénomène. On utilise pour cela un oxydant puissant (bichromate de potassium) ; et on mesure l'oxygène qui lui est "empruntée". C'est la DCO.

Les deux méthodes ne permettent que d'estimer la "pollution" organique de l'eau. En effet des phénomènes parasites peuvent perturber les procédés; la présence de toxiques diminue la DBO, celle de substances minérales réductrices augmente la DCO.

**Epilimnion - hypolimnion - métalimnion - thermocline** : ce sont des termes qui définissent diverses couches ou niveaux d'un lac thermiquement stratifié (chap. 2.1)

\*l'epilimnion est la couche supérieure, chaude, à température quasi constante et à épaisseur variable suivant les saisons (5-15 m)

\*l'hypolimnion est la couche inférieure, froide, à température également peu variable. Il se situe suivant les saisons, en-dessous de 15 ou 30 m

\*le métalimnion est la couche intermédiaire à température rapidement variable : son épaisseur est de l'ordre de 10 à 15 m

\*la thermocline : strictement parlant, est la surface, située à l'intérieur du métalimnion, lieu géométrique des points d'inflexion de la courbe représentative de la température en fonction de la profondeur. Dans la pratique on confond souvent les deux termes : métalimnion et thermocline

**Euphotique** : (voir Trophogène)

**Eutrophie - Hypereutrophie - Mésotrophie - Oligotrophie - Trophie - Ultraoligotrophie - Eutrophisation** : d'une racine grecque ayant un rapport avec la "nourriture", on attribue en général au terme trophie deux sens dans le domaine de l'étude des lacs.

Une chaîne, un réseau, un système trophique définit l'ensemble des échelons qui se nourrissent les uns des autres :  
\*le premier chaînon se construit, se "nourrit" en faisant la synthèse de la matière minérale, on dit qu'il est autotrophe ou producteur. C'est le phytoplancton, ou la production primaire ;

\*les chaînons suivants se nourrissent de celui qui les précède, ils sont hétérotrophes ou consommateurs. Ce sont le zooplancton et les invertébrés, les poissons, les vertébrés supérieurs, etc...

\*un état, un niveau trophique définit l'état d'un lac suivant l'utilisation qu'il fait de sa "nourriture" disponible (fertilisants) : phosphore, azote, carbone ; autrement dit en fonction de sa faculté de fabriquer du végétal, de sa productivité. Suivant qu'elle est très faible, faible, moyenne, forte ou très forte, on parle d'ultraoligotrophie, d'oligotrophie, de mésotrophie, d'eutrophie, d'hypereutrophie.

Lorsqu'un lac passe d'un degré inférieur à un degré supérieur, on dit qu'il s'eutrophise, qu'il y a eutrophisation.

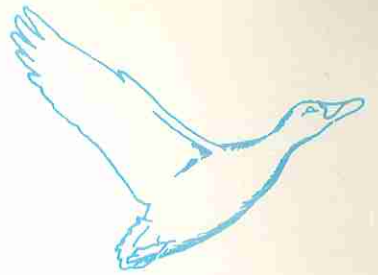
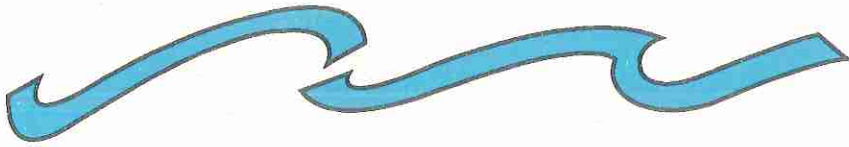
**Hétérotrophie** : (voir Eutrophie)

**Hypereutrophie** : (voir Eutrophie)

**Hypolimnion** : (voir Epilimnion)

**Kjeldahl (Azote)** : du nom du chimiste qui a mis au point le procédé. Désigne une méthode d'analyse de certaines formes de l'azote réduit (azote organique et ammoniacal) ou ces formes elles-mêmes.





**Lénitique - Lotique** : une zone lénitique (ou lenticue) dans un cours d'eau correspond à un faciès où la vitesse du courant est faible ou nulle. Ce terme s'oppose à lotique qui définit une zone à courant rapide.

**Limnologie - Limnologue - Limnologique** : la limnologie est la science qui étudie les lacs ; le limnologue, celui qui en fait sa spécialité ; l'adjectif limnologique s'applique à tout ce qui a trait à cette science.

**Limnophile - Rhéophile** : le terme de limnophile s'applique aux organismes qui ont tendance à préférer les zones calmes, lénitiques. S'oppose à rhéophile qui définit ceux que recherchent les milieux lotiques.

**Lotique** : (voir lénitique)

**Macrophytes - Microphytes** : les macrophytes désignent la végétation aquatique à enracinement, donc localisée dans les zones à faible profondeur. En général de grande taille, d'où le préfixe "macro", par opposition aux algues, végétation aquatique non enracinée et de taille plus ou moins microscopique, ou microphytes.

**Mésologie - Mésologique** : concernent la science du milieu au sens large.

**Mésotrophie** : (voir Eutrophie)

**Monomictique** : caractéristiques courantes des lacs des zones tempérées comme la France (par exemple : le Lac du Bourget) qui ne se stratifient qu'une fois l'an, en été (on dit monomictiques chauds) et ne se mélangent qu'une fois en hiver. Si le climat est plus rigoureux, que le lac gèle fortement et durablement, il y a deux périodes de mélange, au printemps et à l'automne, et deux de stratification, en été et en hiver ; le lac est dit dimictique.

**MST - MD** :

\*les matières sèches totales (MST) mesurent la concentration (en mg/l par exemple) de la totalité des éléments, en suspension ou dissous, contenus dans l'eau. C'est ce qui reste après séchage, évaporation de l'eau.

\*les matières décantables (MD), en général affectées d'un temps, assez souvent 2 h, représentent le volume (en ml/l par exemple) des matières en suspension contenues dans l'eau et qui ont décanté dans le temps donné.

**Necton** : organismes vivants dans l'eau, s'y déplaçant à leur gré, et capables de résister aux courants (les poissons par exemple).

**Pélagique** : s'applique à un phénomène, à un organisme de pleine eau. S'oppose à benthique.

**Photosynthèse** : production par les végétaux verts (supérieurs ou inférieurs, algues par ex.) de substances organiques à partir de substances minérales (eau, gaz carbonique, azote, phosphore...) grâce aux pigments chlorophylliens utilisant l'énergie lumineuse. Ce processus dégage de l'oxygène, d'où sursaturation élevée en oxygène dans les zones à forte production primaire.

**Potamique** : se rapporte aux eaux courantes, synonyme en quelque sorte de lotique.

**Oligotrophie** : (voir Eutrophie)

**Phytoplancton - Plancton - Zooplancton** : Le plancton désigne les organismes vivants de pleine eau, sans enracinement et dont les moyens de déplacement propres sont nuls ou limités. Ils peuvent être végétaux, c'est le phytoplancton ou animaux, c'est le zooplancton.

**Plancton** : (voir phytoplancton)

**Taxon - Taxonomique** : le taxon est l'unité systématique de détermination des organismes étudiés. Si par exemple le niveau de détermination choisi est l'espèce, le genre, la famille, etc, et qu'on ait trouvé x espèces, genres ou familles, on dit qu'on a trouvé x taxons. L'adjectif taxonomique s'applique à ce qui concerne les taxons.

**Rhéophile** : (voir Limnophile)

**Thermocline** : (voir Epilimnion)

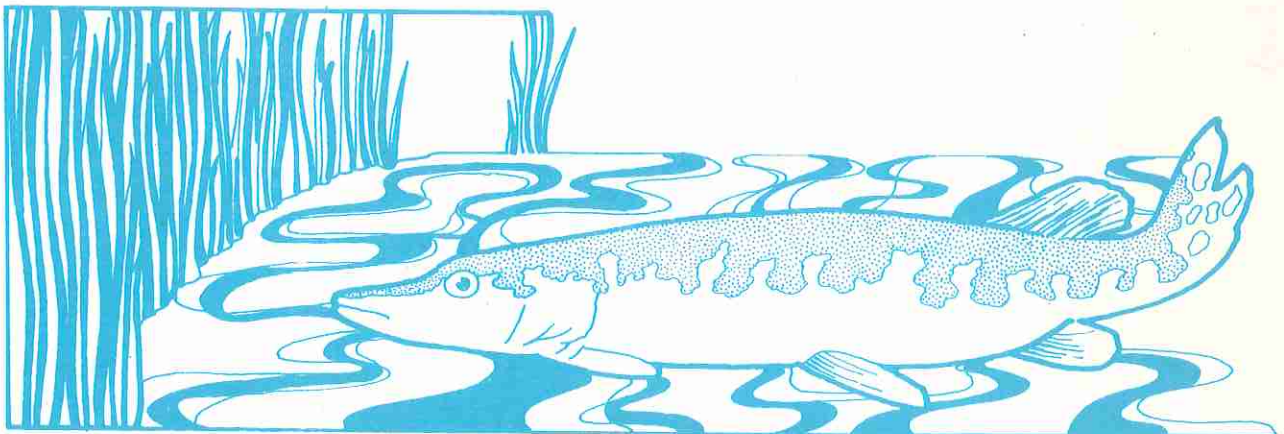
**Trophie** : (voir Eutrophie)

**Trophogène** : définit la couche lacustre où se réalise la production primaire par consommation de fertilisants (voir Eutrophie). Cette production étant liée à la présence de lumière solaire (voir Photosynthèse), on appelle aussi "euphotique" la zone où elle se produit, zone de surface plus ou moins confondue avec l'épilimnion.

**Tropholytique** : définit à l'inverse la couche profonde, l'hypolimnion en général, où, en dehors de tout éclairage solaire, se décompose et se minéralise la matière organique. Ce processus consomme de l'oxygène, d'où une sous-saturation assez commune dans ces zones.

**Ultra-oligotrophie** : (voir Eutrophie)

**Zooplancton** : (voir Phytoplancton)





*Coordination technique* : Frédéric Bonhoure - Tél. 79.88.20.00

*Réalisation* : François Aulas - Tél. 79.25.25.58

*Graphismes* : Isabelle Buylaere - Tél. 79.85.41.88

*Mise en pages Micro-Edition* : Editions GAP - Tél : 79.33.02.70

*Imprimerie* : Arc-Isère - Tél : 79.84.30.76

*Photo de couverture* : Lac du Bourget (cliché CGE)

---

ISBN N° 2.907347.09.8

Dépôt légal 4<sup>e</sup> trimestre 1988



## A qui s'adresse ce document ?

Non seulement à l' élu local qui rêve de créer un plan d'eau sur sa commune, ou à son voisin qui a bien du mal à gérer le sien, mais aussi à un public varié: l'industriel riverain d'un lac ou implanté sur son bassin versant, le pêcheur professionnel ou amateur, le navigateur de plaisance, l'aménageur, l'économiste, le responsable du tourisme et ses clients, ou, pourquoi pas, le promeneur solitaire ...

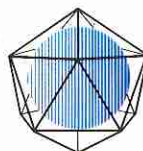
Si l'ouvrage ne peut guère enrichir ses connaissances dans son domaine de prédilection, le lecteur sera cependant confronté, tout au long des chapitres à d'autres préoccupations que les siennes, à des approches différentes mais tout aussi légitimes de la vie d'un lac, de ses usages.

De là naitra, c'est notre espoir, une perception globale de l'environnement lacustre, indispensable préalable à une harmonie entre le souci de préservation des uns et la volonté de développer des autres.

Le groupe de travail de l'IIGGE



agence de bassin  
rhône-méditerranée-corse  
31, rue Jules Guesde  
69310 Pierre Bénite  
Tél : 72.39.48.48



Institut International de Gestion et  
de Génie de l'Environnement  
BP 128 - 73101 Aix-les-Bains Cédex  
Tél : 79.88.20.00