



COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LEMAN

REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE
Département de l'Intérieur, de l'Agriculture,
de l'Environnement et de l'Energie
Service cantonal d'écotoxicologie

CANTON DU VALAIS
Département des Transports, de l'Equipelement
et de l'Environnement
Service de la protection de l'environnement

La végétation macrophytique du Léman



Volume A
Rapport



ECOTEC ENVIRONNEMENT S.A.

Janvier 1999

GROUPE DE TRAVAIL :

DIRECTION	Patrick Durand
REALISATION	Alain Demierre
COLLABORATION	Pierre Baumgart
CARTOGRAPHIE	Tanja Robert-Nicoud
MISE EN FORME	Lydiane Lécrivain

TABLE DES MATIERES

RESUME

1. INTRODUCTION	1
2. BUTS DU MANDAT	2
3. METHODOLOGIE	3
3.1. La végétation macrophytique	3
3.2. Données anciennes	4
3.3. Matériel et travail de terrain	5
3.4. Comparaison avec les données de 1975	7
3.5. Secteurs d'étude	8
4. ETAT TROPHIQUE DES EAUX DU LEMAN	9
4.1. Qualité physico-chimique des eaux	9
4.2. Bioindicateurs de qualité des eaux et des sédiments	12
5. ETAT DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU MILIEU	15
5.1. Evolution de l'aménagement des rives	15
5.2. Typologie des rives	15
6. ETAT ACTUEL DE LA VEGETATION MACROPHYTIQUE	17
6.1. Secteur 1 : Versoix-Messery (+ enclave de Céligny)	18
6.2. Secteur 2 : Thonon - Evian	22
6.3. Secteur 3 : Meillerie - Villeneuve	24
6.4. Secteur 4 : Vevey - Cully	28
6.5. Secteur 5 : Lausanne - Morges	30
6.6. Secteur 6 : Rolle - Promenthoux	33
6.7. Les ports - état actuel	35
6.8. Le faucardage	40

6.9. Les algues filamenteuses	43
6.10. Synthèse de l'état actuel	45
6.11. Sites d'intérêt particulier.....	47
7. EVOLUTION ENTRE 1975 ET 1997	50
7.1. Secteur 1 : Versoix-Messery (+ enclave de Céligny).....	50
7.2. Secteur 2 : Thonon - Evian	56
7.3. Secteur 3 : Meillerie - Villeneuve	60
7.4. Secteur 4 : Vevey - Cully	66
7.5. Secteur 5 : Lausanne - Morges	67
7.6. Secteur 6 : Rolle - Promenthoux	69
7.7. Les ports - évolution 1975 - 1997	71
7.8. Synthèse de l'évolution 1975 - 1997.....	74
8. COMPARAISONS AVEC D'AUTRES LACS SUISSES	77
9. CONCLUSIONS	81
10. BIBLIOGRAPHIE	84

ANNEXES (document séparé)

RESUME

Cette étude s'inscrit dans le cadre du plan quinquennal 1996-2000 de la CIPEL. Elle a été financée par la CIPEL, le Service cantonal d'écotoxicologie du canton de Genève et le Service de la protection de l'environnement du canton du Valais.

Les principaux objectifs de ce travail (*chap. 2*) sont de définir l'état actuel de la végétation macrophytique du Léman et de le comparer à l'état de 1975 décrit par Lachavanne & Wattenhofer. De plus, il s'agit de mettre en parallèle l'évolution des macrophytes et du niveau trophique des eaux du Léman.

Cette étude vise également à définir des applications pratiques dans la gestion des rives lacustres.

La méthodologie utilisée (*chap. 3*) se réfère à celle déjà appliquée sur de nombreux lacs suisses. Pour des raisons financières, seuls six secteurs, représentant la moitié du pourtour du lac, ont été étudiés. Dans ces secteurs, les macrophytes émergents, flottants et submergés ont été recensés de manière exhaustive.

Les recensements ont été effectués en été 1997, suite à la couverture de photos aériennes réalisée avec la collaboration de l'Office fédéral de topographie. Les relevés de végétation macrophytique ont permis d'obtenir des résultats concernant plusieurs paramètres comme la profondeur de colonisation, la nature des fonds, la présence d'algues filamenteuses, la surface, la densité et la localisation des herbiers ainsi que la répartition qualitative et quantitative des espèces.

La comparaison des résultats de 1975 et de 1997 est faite sur la base de l'abondance relative des espèces dans les secteurs d'étude.

L'évolution du niveau trophique des eaux du Léman est décrite et son intégration par différents bioindicateurs est brièvement abordée (*chap. 4*). Il en ressort que la restauration progressive de l'état du Léman permet d'atteindre actuellement un niveau mésotrophe des eaux. Toutefois, il est important de considérer la variabilité du niveau trophique local des eaux en zone littorale où se développe, entre autres, la végétation macrophytique.

Certaines données relatives à l'aménagement et la typologie des rives du Léman sont présentées (*chap. 5*). L'artificialisation des rives lémaniques n'est pas un phénomène récent. Les rives naturelles, potentiellement colonisables par les macrophytes émergents (roselière, scirpaie), sont très rares autour du Léman. Les marais côtiers formant une entité fonctionnelle se résument principalement au site des Grangettes (VD). Les principaux types de rive lémanique ont été répertoriés et pris en compte dans six secteurs d'étude répartis autour du lac. Ceux-ci représentent 112 km de rive dont la largeur moyenne est de 180 m. La surface de la beine recensée totalise ainsi quelque 20 km² dont 41% sont colonisés, soit plus de 800 ha de végétation macrophytique.

L'état actuel de la végétation macrophytique est décrit (*chap. 6*) et cartographié (*annexes 15-17*). Les caractéristiques de l'ensemble des zones de végétation sont traitées dans un SIG (ArcView). Une analyse des particularités phytoécologiques par secteur de rive et pour cinq ports est proposée. Les recensements effectués en

été 1997 ont permis de déterminer 23 taxons de macrophytes. L'espèce la plus abondante est nettement *Potamogeton pectinatus*. Il faut noter le développement très important des characées qui sont actuellement bien réparties autour du Léman. Une autre particularité intéressante de la flore aquatique lémanique est l'expansion récente d'*Elodea nuttallii*. Les espèces submergées colonisent les fonds jusqu'à une profondeur de 6-7 m avec quelques exceptions jusqu'à 10 m. Concernant les macrophytes émergents et flottants, il faut noter la pauvreté de la flore lémanique. Les rares roselières aquatiques ne représentent que 1% de l'abondance totale de la végétation macrophytique recensée.

La gestion du faucardage et de ses impacts est abordée relativement aux pratiques actuelles relevées autour du Léman. Il apparaît qu'une coordination entre les différents intervenants doit être mise en place avec comme principaux objectifs une meilleure information concernant les macrophytes, les avantages et les inconvénients des différentes méthodes utilisées ainsi qu'une synthèse des critères environnementaux et juridiques. Cette démarche devrait mener à l'élaboration d'un plan de gestion lémanique du faucardage.

Les principaux sites d'intérêt du point de vue de leur valeur phytoécologique sont identifiés. Il s'agit de la région des Granges (VD), du secteur Rolle-Promethoux (VD), de la Rade de Genève (GE), des baies des Pierrettes et de Morges (VD) ainsi que des ports d'Yvoire (F), Port Choiseul (GE) et Port Ripaille (F). Il est impératif que ces tronçons de rive de valeur élevée fassent l'objet d'une attention particulière dans le cas de futurs aménagements portant atteinte à la zone littorale.

L'évolution des peuplements de macrophytes entre 1975 et 1997 est discuté (chap. 7). L'essentiel des études, concernant la végétation macrophytique lémanique relative à cette période, est synthétisé. Les conclusions les plus intéressantes portent sur la répartition de l'abondance des espèces autour du lac. Ce sont principalement les characées qui font une réapparition très impressionnante, liée à l'amélioration globale de la qualité des eaux. Leur abondance relative a triplé entre 1975 et 1997. D'autre part, *Elodea nuttallii* a presque complètement remplacé *Elodea canadensis*, ce qui est très intéressant du point de vue de la gestion du faucardage. Les espèces en régression sont principalement *Potamogeton perfoliatus* et, dans une moindre mesure, *P. x decipiens*. La situation a peu évolué pour les critères comme la localisation des sites de haute valeur phytoécologique, la richesse floristique et la profondeur de colonisation. Certaines espèces montrent une répartition stable comme *Potamogeton pectinatus* qui reste l'espèce la plus abondante du lac. Les roselières aquatiques, dont le recul était préoccupant, semblent entrer dans une phase de stabilisation, très probablement due, entre autres, à l'amélioration du niveau trophique des eaux.

Une comparaison est faite avec d'autres lacs suisses récemment étudiés (chap. 8). Les lacs de Constance et de Bienne fournissent, en particulier, des données phytoécologiques intéressantes du fait de leur niveau trophique, actuellement inférieur à celui du Léman, mais dont la tendance à l'amélioration est comparable.

L'ensemble des résultats de cette étude, traités par SIG, est disponible auprès de la CIPEL.

1. INTRODUCTION

La végétation macrophytique est un descripteur intéressant permettant de suivre l'évolution de la qualité de la zone littorale lacustre, donc de l'efficacité des mesures de restauration des milieux aquatiques entreprises depuis plusieurs décennies dans le cas du Léman. A l'instar d'autres organismes aquatiques (chap. 4.2), les macrophytes intègrent, dans leur développement, les modifications du milieu, comme la qualité de l'eau et des sédiments. Les macrophytes sont, pour la plupart, des plantes vivaces, fixées au substrat, visibles à l'oeil nu et relativement faciles à identifier. Elles peuvent ainsi être étudiées scientifiquement de manière plus reproductible que, par exemple, le plancton ou les poissons.

Une telle étude constitue un complément nécessaire à l'auscultation par l'analyse physico-chimique, qui représente "*le strict minimum nécessaire pour une interprétation correcte de l'état de santé du lac*" (CIPEL, Programme pour 1995, 20 oct. 1993). En effet, si les paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau reflètent les causes potentielles des phénomènes d'eutrophisation, les organismes bioindicateurs en intègrent les conséquences.

Des études ponctuelles effectuées ces dernières années sur divers sites riverains du Léman montrent une modification sensible des peuplements de macrophytes par rapport au dernier recensement datant de 1972-73 [52]. Cette modification peut être mise en relation avec l'amélioration du niveau trophique des eaux.

La zone littorale fait partie intégrante de l'écosystème lacustre et joue même un rôle essentiel pour certaines biocénoses (la plupart des poissons utilisent la zone littorale à un moment ou à un autre de leur vie). La végétation macrophytique représente une composante importante de l'écosystème littoral, en particulier pour plusieurs espèces de la macrofaune benthique, des poissons et des oiseaux d'eau.

Dans le sens des objectifs du plan d'action Léman 2000, ce nouvel état de référence doit permettre de valoriser, de mieux protéger ou de restaurer les milieux riverains de valeur. Les objectifs se rapportant à la qualité de l'eau pour la baignade concernent également la végétation de la zone littorale qui, par sa prolifération, peut être gênante pour l'utilisateur du plan d'eau; de plus, une bonne connaissance des phénomènes biologiques qui s'y déroulent permet de mieux les expliquer ou les influencer.

2. BUTS DU MANDAT

Dans son programme d'investigations relatives à l'état de santé du Léman, la CIPEL a fait réaliser une étude des macrophytes, publiée en 1975 [52], en complément des études relatives à l'évolution physico-chimique et biologique de ses eaux. Il s'agissait du premier recensement exhaustif de la végétation macrophytique du Léman si l'on excepte le travail synthétique de Forel (1901-1904, [38]).

C'est dans le cadre du plan quinquennal 1996-2000 que la CIPEL a décidé d'actualiser ces données. Elle a été suivie dans sa démarche par les cantons de Genève (Service cantonal d'écotoxicologie, DIAE) et du Valais (Service de la Protection de l'Environnement, DTEE). En 1991 [36], le canton de Vaud avait déjà, pour sa part, fait dresser un inventaire des valeurs terrestres et aquatiques riveraines, comprenant les macrophytes, pour l'élaboration de son plan directeur cantonal des rives vaudoises du Léman.

Cette étude a également pour but de mener une réflexion scientifique plus approfondie en analysant les relations entre l'évolution du niveau trophique des eaux du lac et celle des peuplements de macrophytes. De plus, avec l'utilisation des moyens informatiques actuels, comme les SIG, l'intégration des résultats de l'étude peut se faire dans un cadre plus large.

Les principaux objectifs de cette étude sont les suivants:

- ☛ Etablir un descriptif des caractéristiques actuelles de la végétation macrophytique du Léman du point de vue qualitatif (richesse, répartition) et quantitatif (surface colonisée, abondance).
- ☛ Comparer les résultats obtenus avec ceux de 1975 et mettre en évidence la relation causale entre les mesures de restauration de la qualité de l'eau et les caractéristiques de la végétation macrophytique.
- ☛ Répertorier les sites dont la valeur phytoécologique actuelle est encore insatisfaisante par rapport à leur potentialité et ceux qui méritent protection.
- ☛ Dégager les principales conclusions de l'étude qui pourront être utilisées comme outils dans la gestion intégrée de la zone littorale lémanique.

3. METHODOLOGIE

3.1. La végétation macrophytique

Les plantes aquatiques supérieures, désignées également sous le terme de macrophytes puisque visibles à l'oeil nu, sont taxonomiquement réparties en plusieurs groupes:

- les charophytes (characées)
- les bryophytes (mousses, hépathiques)
- les ptéridophytes (fougères, prêles)
- les spermatophytes (plantes à graines)

Les microphytes, ensemble des algues microscopiques (phytoplancton), vivent en pleine eau et se différencient des macrophytes. Il en va de même des algues filamenteuses, qui utilisent souvent les macrophytes comme support.

Dans l'embranchement des spermatophytes (sous-embranchement des angiospermes), il faut distinguer quatre formes de croissance des macrophytes:

- les plantes émergentes (hélophytes, ex. roseau)
- les plantes flottantes libres (pleustophytes, ex. lentille d'eau)
- les plantes à organes submergés et flottants (rhizophytes à feuilles flottantes, ex. nénuphar)
- les plantes ordinairement submergées (rhizophytes submergés, ex. potamot)

Différents ouvrages de référence ont été utilisés pour la détermination des espèces de macrophytes [2,13,16,17,44,50,74,99]. La nomenclature suit la "Flora europaea" [96] pour les spermatophytes. Par rapport à l'étude de Lachavanne & Wattenhofer (1975), les modifications suivantes sont à noter:

- le roseau commun est *Phragmites australis* (Cav.) Trin. et non plus *Phragmites communis* Trin.
- le scirpe commun ou jonc des tonneliers est le *Scirpus lacustris* L., parfois appelé *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla
- la renoncule lâche *Ranunculus trichophyllus* Chaix était parfois assimilée au groupe *Ranunculus* subg. *Batrachium* (renoncule aquatique)
- le potamot serré *Groenlandia densa* (L.) Fourr. était appelé *Potamogeton densus* L.
- le potamot de Suisse *Potamogeton helveticus* (G. Fischer) W. Koch est considéré comme une variété du potamot pectiné *Potamogeton pectinatus* L.
- les espèces de *Potamogeton pusillus* L., *P. panormitanus* Biv. et *P. berchtoldii* Fieber, à la taxonomie incertaine, sont regroupées sous le nom de *Potamogeton* gr. *pusillus*.

Il est précisé dans le chapitre 3.3 que seules les rives lacustres ont été inventoriées et non les affluents ou les marais voisinant le bord du lac. Ainsi, plusieurs espèces recensées dans d'autres études, en particulier dans celle de 1975 sur les macrophytes du Léman [52,53], ne figurent pas dans la liste des relevés 1997. Il s'agit en particulier des taxons suivants :

- *Alisma plantago-aquatica* L.
- *Myriophyllum verticillatum* L.
- *Nuphar lutea* (L.) Sibth. & Sm.
- *Polygonum amphibium* L.
- Genre *Lemna*
- Genre *Utricularia*

Concernant les charophytes, la taxonomie des espèces est complexe. De ce fait, la contribution d'une spécialiste européenne dans le domaine, Mme. Guerlesquin, de l'Université d'Angers, a permis de déterminer les espèces prélevées. Suite à ces déterminations, la décision de grouper les espèces et variétés taxonomiquement très proches a été prise avec l'assentiment de Mme Guerlesquin. La nomenclature utilisée relève de la compilation de plusieurs auteurs [5,17,50,74,99]. Ainsi, la flore actuelle des charophytes du Léman se résume à trois groupes:

- *Chara* gr. *vulgaris* (*Ch. vulgaris* L., *Ch. contraria* A. Braun, *Ch. denudata* A. Braun)
- *Chara* gr. *globularis* (*Ch. globularis* Thuillier, *Ch. deliculata* Agardh)
- *Nitellopsis obtusa* J. Groves

Il faut noter que les taxons de *Chara* recensés en 1975 [52,53], au nombre de 7 ou de 5 selon les nomenclatures [17,99], peuvent être assimilés aux deux premiers groupes ci-dessus.

3.2. Données anciennes

La principale base de comparaison de la colonisation de la zone littorale du Léman par les macrophytes se réfère aux prélèvements effectués en 1972-73 sur l'ensemble du Léman [52,53-55, 98].

Par la suite, plusieurs études sectorielles ont décrit l'état de la végétation macrophytique du lac, soit localement comme pour la Rade de Genève [32,33,40,58,95], la Pointe-à-la-Bise (GE) [30,18,94], la région de Tougues (F) [26,86], le delta de la Dranse (F) [93], la région des Granges (VD) [31,75,76], pour des études d'aménagement de ports [27,29,28,51], soit encore pour des régions géographiques particulières comme les rives vaudoises [36] ou genevoises [37,60,62].

3.3. Matériel et travail de terrain

Globalement, la méthodologie de recensements in situ se réfère à celle conçue par Lang [65] pour l'étude de la végétation macrophytique du lac de Constance, puis développée à l'Université de Genève pour l'étude de la végétation macrophytique des lacs suisses [61,63].

Cette méthodologie est basée sur l'utilisation de photographies aériennes en couleur. Les prises de vues orthogonales, à une échelle d'environ 1:5'000, couvrent l'ensemble de la zone littorale lacustre et permettent de distinguer tous les peuplements de végétation macrophytique, en particulier les plantes submergées.

Une couverture complète du Léman a été effectuée spécialement pour cette étude. La collaboration étroite entre l'OFT (Office fédéral de topographie, Wabern) et le bureau ECOTEC a permis d'optimiser les conditions techniques afin d'obtenir des photos adaptées aux exigences de l'étude. Les prises de vues aériennes ont été effectuées les 10, 13 et 21 juillet 1997 en 40 lignes de vols représentant 229 photos.

La prospection de la zone littorale cherche à être exhaustive. Celle-ci est parcourue en bateau et toutes les zones de végétation sont répertoriées, soit depuis la surface par observation directe ou avec un aquascope, soit par prélèvement de la végétation au moyen d'un grappin, soit encore par observation en plongée avec scaphandre autonome.

Côté terre, la limite choisie est l'interface eau-terre par niveau moyen des hautes eaux. Les affluents n'ont pas été inventoriés, ni les bras morts et les zones humides. Côté lac, la zone littorale est considérée jusqu'à la profondeur maximale de colonisation pour les herbiers denses (généralement 6-7 m de profondeur dans le Léman). Certaines espèces peuvent se maintenir localement à des profondeurs d'environ 10 m.

Une zone de végétation est définie par un peuplement de plantes aquatiques repérable par photo aérienne, sur laquelle il forme généralement une tache sombre distincte.

La délimitation de zones homogènes se fait selon les critères de la composition spécifique et de la densité (couverture au sol) des peuplements relevés in situ.

Une zone de végétation peut être définie par les critères suivants:

- **la surface** de la zone, délimitée sur le terrain puis calculée et dessinée grâce à un programme de cartographie informatique géoréférée (ArcView);
- **le nom et l'importance relative** de toutes les espèces présentes.

L'indice relatif de colonisation (taux de recouvrement des fonds en %) de chaque espèce dans la zone de végétation est noté selon un code représentant une des cinq classes suivantes :

+	= < 5 %	3	= 41 - 60 %
1	= 5 - 20 %	4	= 61 - 80 %
2	= 21 - 40 %	5	= > 80 %

- **la densité du peuplement**, estimée par observation directe et exprimée par un indice de densité en trois classes traduisant le recouvrement du substrat par la végétation. Les classes correspondent aux catégories suivantes :

- 1 = végétation peu dense
- 2 = végétation moyennement dense
- 3 = végétation dense

- **l'abondance** relative d'une espèce par rapport aux autres présentes dans la même zone de végétation est obtenue par la formule suivante:

Abondance = Surface_{zone} x Densité_{zone} x % relatif de présence de l'espèce

La somme des abondances par espèce est calculée à l'échelle d'une zone de végétation. Ensuite, ces abondances par zones peuvent être regroupées pour un secteur de rive (voir chap. 6 et 7) ou pour l'ensemble du lac. De plus, une abondance peut également s'exprimer par espèce (annexe 15).

De plus, pour l'ensemble du lac, certains paramètres sont considérés :

- **la fréquence d'une espèce**, calculée afin de comparer les différents secteurs de rive étudiés. Elle représente, en pourcentage, le nombre de zones de végétation où l'espèce est présente par rapport au nombre total de zones (à l'échelle d'un port, d'un secteur ou du lac).
- **la richesse floristique**, nombre d'espèces considéré dans les différents peuplements recensés. Elle permet de dresser une liste exhaustive des espèces présentes.

Tous ces résultats sont compilés, soit dans des tableaux synthétiques de type Excel, soit comme composants du traitement cartographique SIG. L'ensemble des données qui ne figurent pas dans ce document - notamment les données informatiques - sont disponibles auprès de la CIPEL.

Par rapport aux différentes publications citées au chapitre 3.2., les innovations techniques utilisées dans cette étude sont les suivantes:

- ➡ utilisation d'un GPS différentiel (Global Positioning System) qui permet de localiser les relevés de terrain en coordonnées suisses;
- ➡ utilisation du logiciel de SIG (Système d'Information Géographique) ArcView (développé par ESRI, Californie, USA). Ce programme permet la gestion d'informations superposées en mode raster (carte topographique scannée et géoréférée) et en mode vecteur (surface de végétation, trame, étiquette, etc.). Les résultats du travail de terrain sont scannés, redressés, géoréférés, puis superposés à un fond de carte topographique ou à une photo aérienne. Différentes informations alphanumériques (commune, surface, coordonnées géographiques, composition en espèces, etc.) sont attribuées à chaque entité cartographiée à travers un tableau de type Excel.

3.4. Comparaison avec les données de 1975

Concernant l'étude de 1975 sur les macrophytes du Léman [52], certains points concernant le traitement des données et les résultats obtenus doivent être précisés:

- l'appréciation de la densité des herbiers se fait selon 5 classes (de 0.5 à 4);
- l'importance relative des espèces est répartie en 20 classes par tranches de 5%;
- la mauvaise qualité des photos aériennes de 1972, qui ont servi de support à la photo-interprétation des relevés de terrain de 1972-73, mène, selon les cas, à une appréciation approximative des contours des zones de végétation. Ce problème est en particulier relevé dans la tentative de comparaison entre les recensements de 1972 et ceux de 1995 sur les rives genevoises [67] où il est précisé que les valeurs de surface colonisée par les macrophytes de 1972 ne sont pas directement utilisables car probablement surestimées d'un facteur de deux;
- il n'a pas été possible d'obtenir les résultats détaillés par zone de végétation, qui ne figurent ni dans les publications ni sur les transparents accompagnant les photos aériennes;
- la méthodologie de 1975 a été modifiée depuis les années 80 [10,11,19-24,47-49,56,59,57].

A partir de ce constat, il a été nécessaire, dans un souci de rigueur scientifique, de limiter la comparaison des résultats de 1975 et de 1997 à l'abondance relative des différentes espèces présentes par photo aérienne (appelée unité cartographique en 1975). Ces comparaisons sur l'évolution de la végétation macrophytique font l'objet du chapitre 7.

3.5. Secteurs d'étude

Le budget alloué ne permettant pas l'étude de l'ensemble des 200 km de rives lémaniques, le choix s'est porté sur un certain nombre de secteurs considérés comme représentatifs de la diversité des rives du lac. La participation financière des cantons de Genève et du Valais a permis d'étudier plus de 100 km de rive répartis en six secteurs (annexe 1). Les critères de choix retenus pour la délimitation des secteurs sont les suivants:

- les six principaux types de rive du pourtour du lac ont été pris en compte (annexe 2). Les facteurs de différentiation concernent la largeur et la profondeur de la beine ainsi que la nature des sédiments;
- la valeur phytoécologique actuelle de la rive estimée en fonction de l'évolution des herbiers mise en évidence dans certaines études [36-37,52];
- l'emplacement des sites en tenant compte des différentes actions mécaniques (vagues, courants) sur les macrophytes;
- la répartition géographique équilibrée des secteurs par rapport à l'ensemble du lac;
- les différentes conditions de développement des macrophytes entre la rive ouverte et les ports. Cinq ports sont étudiés en particulier;
- les secteurs retenus comprennent volontairement des peuplements de qualité variable afin de fournir un échantillonnage représentatif de l'ensemble des herbiers présents autour du lac.

☛ **Les secteurs retenus dans cette étude sont les suivants:**

Rive Ouest du Léman

1) Versoix-Messery (+ Céligny)	38.3 km
--------------------------------	---------

Rive Sud du Léman

2) Thonon-Evian	16.4 km
-----------------	---------

Rive Est du Léman

3) Meillerie-Villeneuve	22.3 km
-------------------------	---------

Rive Nord du Léman

4) Cully - Vevey	10.5 km
------------------	---------

5) Lausanne-Morges	14.1 km
--------------------	---------

6) Rolle-Promenthoux	10.2 km
----------------------	---------

Total	111.8 km
-------	----------

☛ **Les ports étudiés sont les suivants:**

1) Port Choiseul (GE)	2) Creux de Genthod (GE)
-----------------------	--------------------------

3) Yvoire (F)	4) Thonon (F)	5) Ouchy (VD)
---------------	---------------	---------------

4. ETAT TROPHIQUE DES EAUX DU LEMAN

4.1. Qualité physico-chimique des eaux

Un grand nombre d'indicateurs peuvent être utilisés pour caractériser l'état trophique des milieux aquatiques [82,97,39]. Ces indicateurs appartiennent soit au biotope (index morphométriques, bilan oxygène, transparence, nutriments et ions associés), soit à la biocénose (biomasse, chlorophylle *a*, productivité, présence ou absence d'espèces indicatrices, diversité, etc.).

Par exemple, l'OCDE [79] a établi une classification qui repose sur une analyse statistique de résultats obtenus à partir de différents lacs, notamment les lacs alpins. Les corrélations mises en évidence entre les paramètres mesurés ont permis de définir, en se basant sur le phosphore total, la chlorophylle *a* et la transparence, les distributions probables des différentes catégories trophiques (oligotrophie, mésotrophie, eutrophie).

Ces critères, appliqués au Léman (annexe 3), permettent les conclusions suivantes [3]:

- la moyenne annuelle de la concentration en phosphore total indique le passage par des phases oligotrophe (avant 1960), mésotrophe (1961-1969), eutrophe (1970-1992) et de nouveau mésotrophe (1993-1996);
- les autres paramètres (transparence moyenne annuelle, moyenne et maximum annuels de la concentration en chlorophylle *a*) ne montrent pas les mêmes tendances et ne permettent pas d'aboutir aux mêmes conclusions.

Période	Phosphore total (moyenne annuelle)	Transparence (moyenne annuelle)	Chlorophylle <i>a</i> (moyenne annuelle)	Chlorophylle <i>a</i> (maximum annuel)
1957 - 1960	Oligotrophe	Oligotrophe	-	-
1961 - 1969	Mésotrophe	Oligotrophe	Mésotrophe	Mésotrophe
1970 - 1992	Eutrophe	Oligotrophe	Mésotrophe	Mésotrophe
1993 - 1996	Mésotrophe	Oligotrophe	Mésotrophe	Mésotrophe

**Tableau 1 : Etat trophique du Léman selon les critères de l'OCDE
(Anneville & Pelletier, à paraître)**

Cette analyse permet de conclure que les indices de l'OCDE sont trop globaux pour permettre une caractérisation trophique satisfaisante. Selon Anneville & Pelletier (1998): *Les variables proposées par l'OCDE ne permettent pas une approche assez fine de la dynamique du système. En effet, la compréhension du fonctionnement d'un système complexe nécessite une étude à des niveaux d'organisation plus fins. Une approche taxonomique, voire spécifique, est indispensable pour cerner les mécanismes qui contrôlent la réponse globale du lac.*

L'étude des macrophytes du Léman s'inscrit parfaitement dans ce contexte.

Etat du Léman en 1997 et évolution depuis les années 70

Si l'on considère le phénomène de l'eutrophisation comme un enrichissement en substances nutritives et matières organiques ayant comme conséquence une augmentation de la productivité biologique, il est utile de considérer l'évolution des teneurs en nutriments des eaux du Léman ainsi que celle de la production primaire. La réponse d'organismes bioindicateurs à cette évolution est abordée au chapitre 4.2.

Les conclusions de la CIPEL [15] concernant l'état du lac en 1997 sont les suivantes:

- *De nombreux indices, au niveau de la qualité chimique des eaux et de certains organismes benthiques, prouvent une restauration progressive de l'état du Léman.*
- *En ce qui concerne le plancton, il subsiste toujours des problèmes d'équilibre au sein des populations (zooplancton et phytoplancton).*
- *L'objectif à atteindre, une concentration moyenne annuelle de 20 à 30 $\mu\text{P/l}$ dans le Léman, demeure une condition nécessaire afin de sortir de la période d'instabilité biologique.*

En 1997, l'évolution de la teneur en nutriments des eaux est positive (annexe 4). Le stock de phosphore continue à diminuer (- 8% par rapport à 1996) pour atteindre les 3'230 tonnes de phosphore total. La concentration moyenne annuelle au centre du lac est de 38 $\mu\text{gP/l}$ de phosphore total et de 34 $\mu\text{gP/l}$ d'orthophosphates (phosphore biodisponible pour la végétation aquatique). La teneur en azote, en stock ou en concentration est stable depuis le début des années 90. La concentration moyenne 1997 en nitrate biodisponible est de 2.5 mgNO_3/l (0.56 mgN/l).

Il est important de distinguer les interprétations du niveau trophique des eaux basées sur le phosphore total ou sur le phosphore dissous ainsi que dans les eaux superficielles ou sur l'ensemble de la colonne d'eau (309 m de profondeur au point de prélèvement SHL2). En effet, dans la couche superficielle des eaux, le phosphore dissous (orthophosphates disponibles pour les macrophytes) représente la moitié du phosphore total. Sur l'ensemble de la colonne d'eau, il représente 90% du phosphore total.

Il est intéressant de considérer l'évolution des nutriments depuis les années 70 pour la couche superficielle du lac (0 - 10m de profondeur) qui est la plus représentative des conditions du milieu pour les macrophytes même si les mesures sont faites au centre du lac (station SHL2, Grand Lac, annexe 5).

La concentration moyenne annuelle en phosphore dissous (PO_4^{3-}) dans la couche superficielle (0 - 10 m) est de 8 $\mu\text{gP/l}$ en 1997 alors qu'elle était de 26 $\mu\text{gP/l}$ pour les années 1970-75 (réduction de 70%).

La concentration en phosphore total dans la couche superficielle (0 - 10 m) est de 17 $\mu\text{gP/l}$ en 1997 alors qu'elle était de 50 $\mu\text{gP/l}$ pour les années 1970-75 (réduction de 66%).

La concentration moyenne pondérée (sur toute la colonne d'eau de la station SHL2) en phosphore total est de 38 $\mu\text{gP/l}$ en 1997 alors qu'elle était de 75 $\mu\text{gP/l}$ entre 1970 et 1975 (réduction de 49%) (annexe 4).

Il faut noter qu'un brassage hivernal incomplet des eaux du Grand Lac (jusqu'à une centaine de mètres seulement) depuis 1987 limite l'apport interne de phosphore des couches profondes vers la surface.

L'état trophique du Petit Lac est actuellement considéré comme plus satisfaisant que celui du Grand Lac puisque ce sont surtout les couches superficielles qui l'alimentent [100]. Celles-ci sont appauvries en phosphates biodisponibles dès la fin du printemps [15] (annexe 6).

Il est généralement admis que, sous l'influence de divers rejets polluants en provenance de la zone riveraine elle-même ou de l'arrière-pays via l'ensemble des effluents, la qualité des eaux côtières du Léman est variable et souvent moins bonne que celle des eaux du large. Le degré d'eutrophisation des eaux est généralement plus élevé, la contamination bactérienne et en micro-polluants également.

Grâce aux campagnes de mesures effectuées entre 1995 et 1997 par la section d'hydrobiologie du Service cantonal d'écotoxicologie (DIAE, Genève), il est possible de comparer la teneur en phosphore dissous des eaux de la zone littorale relativement à celle du centre du Petit Lac (annexe 7).

Au centre du Petit Lac (station GE3, 0 m de prof.), les concentrations maximales en phosphore dissous sont deux fois moins élevées que dans le Grand Lac et ne dépassent pas 14 $\mu\text{gP/l}$ en 1996 et 1997. Celles-ci restent également inférieures à 10 $\mu\text{gP/l}$ dès le mois d'avril.

Dans la zone littorale genevoise, trois stations sont échantillonnées (prélèvements mensuels en surface):

- station GE1 : Rade de Genève
- station GE12 : Hermance, rive gauche, zone littorale peu polluée
- station GE13 : Vengeron, rive droite, zone littorale polluée

Dans la Rade de Genève, les variations de teneurs en phosphore dissous sont un peu plus importantes qu'au centre du Petit Lac mais la tendance annuelle est comparable en 1996-97.

La zone littorale au niveau d'Hermance (frontière franco-suisse) montre des valeurs comparables à celles du Petit Lac (GE3) et de la Rade (GE1). Avec une moyenne de 5 µgP/l en 1997, la situation est plutôt satisfaisante pour les organismes aquatiques. Il faut noter que, contrairement au Grand Lac (SHL2), il n'y a pas de diminution des concentrations en phosphore dissous dès le printemps. Les apports continus, endogènes et exogènes compensent probablement la consommation par les organismes autotrophes (phytoplancton et macrophytes).

La zone littorale au Vengeron est d'un niveau trophique local régulièrement plus élevé du fait de l'exutoire du cours d'eau (problèmes d'eaux usées peu ou pas épurées). En 1996, les résultats sont comparables aux trois autres stations du Petit Lac (moyenne annuelle de 4 µgP/l). En revanche, en 1997, plusieurs niveaux de pollution élevés (3 pics ≥ 60 µgP/l) ont été observés et montrent que les variations de qualité de l'eau peuvent être très importantes.

4.2. Bioindicateurs de qualité des eaux et des sédiments

4.2.1. Communautés de vers (tubificidés et lumbriculidés)

Les sédiments lacustres ont un effet "mémoire" par rapport à l'évolution du niveau trophique des eaux. Pour définir le degré de restauration des sédiments du Léman, il est possible d'utiliser des organismes intégrateurs de la macrofaune benthique (ou zoobenthos) comme les vers tubificidés et lumbriculidés [14]. La composition du zoobenthos se modifie en effet en fonction de la nature et de l'intensité des perturbations subies par les sédiments.

L'abondance relative des espèces oligotrophes recensées à 40 m de profondeur entre la pointe de Promenthoux et St-Sulpice (Vaud), a montré une augmentation progressive entre 1982 (17%), 1991 (41%) et 1996 (45%). Ces résultats démontrent que l'état des sédiments s'améliore sur les sites visités.

Les valeurs de référence de l'abondance relative des espèces oligotrophes en zone profonde sont les suivantes:

lac oligotrophe > 70%	lac oligo-mésotrophe 50%
lac mésotrophe 35%	lac méso-eutrophe 17%
lac eutrophe 0% .	

Ainsi, selon l'abondance de ces indicateurs présents à 40 m de profondeur, le Léman est passé d'un état méso-eutrophe en 1982 à un état mésotrophe en 1996.

4.2.2. Phytoplancton

Les résultats des études du phytoplancton dans le Léman concernent la zone limnétique. Bien que les conditions du milieu soient différentes dans la zone littorale, ils peuvent être extrapolés à l'ensemble de la zone peu profonde étant donné la relative homogénéité de distribution du phytoplancton.

Le phytoplancton a été utilisé comme bioindicateur de la qualité de l'eau à travers différents paramètres comme sa biomasse, sa production primaire ou encore sa concentration en chlorophylle *a*.

Concernant la diversité des espèces présentes dans le Léman, il est difficile d'utiliser des taxons indicateurs de niveau trophique. Des changements sont observés depuis plusieurs années de suivi scientifique mais leur interprétation reste difficile. La faible durée de vie du phytoplancton dans le milieu et sa vitesse de multiplication reflètent davantage des situations limitées dans le temps qu'une qualité globale du lac.

Sur le plan quantitatif, l'eutrophisation se traduit par un accroissement global de la biomasse et de la production primaire mais les variations saisonnières sont importantes.

Concernant la biomasse maximale de plancton, les classes de niveau trophique généralement utilisées sont les suivantes [6]:

- eaux oligotrophes: $< 3'000 \text{ mg/m}^3$
- eaux mésotrophes: $3'000\text{-}5'000 \text{ mg/m}^3$
- eaux eutrophes: $> 5'000 \text{ mg/m}^3$

L'évolution de la biomasse du Léman est présentée graphiquement en annexe 8. Le lac peut être considéré comme mésotrophe à eutrophe selon les prélèvements de 1976 à 1980. Une amélioration est notée entre le début des années 80 et 90 puis la tendance s'inverse dès 1991.

Le Petit Lac (niveau trophique plus satisfaisant) est essentiellement alimenté par les eaux superficielles du Grand Lac qui sont appauvries en phosphore disponible pour le phytoplancton dès le mois de mai [15].

La production primaire (biomasse végétale produite par unité de surface), intègre l'influence des facteurs climatiques, physico-chimiques ou biologiques et permet ainsi d'évaluer de manière intéressante le niveau trophique des eaux.

Généralement, le niveau trophique des eaux déterminé par la production primaire correspond à des valeurs inférieures à $200 \text{ mgC/m}^2/\text{j}$ pour l'oligotrophie et supérieure à $1500 \text{ mgC/m}^2/\text{j}$ pour l'eutrophie [6]. En 1997, la moyenne annuelle pour le Léman (station SHL2) est de $1095 \text{ mgC/m}^2/\text{j}$ avec un minimum en janvier ($121 \text{ mgC/m}^2/\text{j}$) et un maximum en juillet ($2276 \text{ mgC/m}^2/\text{j}$) [15].

L'évolution de la production primaire du Léman est présentée graphiquement en annexe 9 (station SHL2 entre 1981 et 1996).

4.2.3. Zooplancton

Le zooplancton joue un rôle essentiel dans le fonctionnement du réseau trophique lacustre, par la prédation exercée sur le phytoplancton et comme ressource nutritive pour les poissons. Ce compartiment de la biocénose pélagique peut servir à apprécier les tendances globales de l'évolution du niveau trophique des eaux du Léman.

L'évolution du biovolume sédimenté (station SHL2) est présentée en annexe 10. La tendance générale est à la baisse depuis 1982. Depuis le début des années 90, le Léman est toutefois dans une phase de transition, de déséquilibre prolongé relativement aux organismes biologiques indicateurs.

La répartition des différentes espèces indicatrices (p.ex. rotifères) ne montre pas une évolution marquée du niveau trophique des eaux. Les espèces dominantes sont toujours de type oligo-mésotrophe depuis le début des années 90 [15].

4.2.4. Macrophytes

Les macrophytes sont également utilisés comme bioindicateurs de la qualité du milieu, ceci seulement depuis les années 80. Deux types d'indices biologiques d'évaluation de la qualité globale du milieu, basés sur l'utilisation des végétaux, sont souvent utilisés:

- les indices basés sur le critère présence/absence de certaines espèces reconnues pour leur valeur bioindicatrice. Il faut citer, entre autres, l'indice trophique de Newbold et Holmes [77], rendant compte du niveau trophique des eaux et de la nature du substrat et l'indice français GIS des macrophytes des eaux continentales, en particulier des cours d'eau [43];
- les indices de perturbation basés sur la comparaison d'une situation observée par rapport à une situation biotypologique de référence, et sur la richesse en espèces bioindicatrices de pollution (p.ex. indice de dommage [42]).

Dans le cas du Léman, deux méthodes, basées sur l'index macrophytique de Melzer (premier type) [68-71] et l'index de saprobité (deuxième type) [45], ont été appliquées à la végétation des rives genevoises entre 1972 et 1995 [67]. Ces deux approches ne fournissent pas de résultats probants et, de ce fait, n'ont pas été utilisées dans cette étude.

Parmi les espèces actuellement présentes dans le Léman, aucune n'est considérée comme un bioindicateur performant. La plupart des taxons sont eurytrophes, se développant dans différents types de milieux oligo-mésotrophes à eutrophes [63]. Toutefois, il semble que les characées, d'une manière générale, peuvent être considérées comme de bons indicateurs de la qualité des eaux. Ces végétaux se développent à des concentrations en phosphore ne dépassant pas 20 $\mu\text{gP}_{\text{tot}}/\text{l}$, à l'exception de quelques espèces [5]. Il se trouve que les trois groupes d'espèces présents actuellement dans le Léman sont précisément capables de subsister dans des eaux plus riches en nutriments.

5. ETAT DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU MILIEU

5.1. Evolution de l'aménagement des rives

La destruction des rives naturelles a débuté au XVIIIème siècle, s'est intensifiée au XIXème siècle et la situation actuelle n'a que peu évolué depuis les années cinquante.

Les premiers remblais et consolidations de terrains ont surtout permis de construire des habitations puis des quais, des débarcadères et des ports. Plus tard, ce sont des voies de communications (voies ferrées et routes) qui nécessitent des enrochements sur la rive pour consolider les terrains.

La relation entre les milieux terrestres et aquatiques dépend également du niveau des eaux. Il faut rappeler que depuis la Convention intercantonale de 1884, le marnage annuel du Léman est fixé à 60 cm au maximum en année normale (80 cm en année bissextile), alors qu'il pouvait atteindre plus de 2.5 m avant la régulation.

Actuellement, il reste environ 3% de rives avec marais côtiers entièrement naturels et 23% de milieux semi-naturels (p.ex. prés, cultures). Il faut donc compter avec 74% de rives entièrement artificielles: 40% en murs et enrochements et 34% de quais, ports et voies de communications [80].

Parmi les atteintes récentes aux rives du Léman, il faut considérer quelques aménagements portuaires (p.ex. Pichette-Est, Lutry), de surfaces étanches sur les sédiments (p.ex. port d'Evian), de digues (p.ex. Grangettes) avec des effets directs sur la zone peu profonde ainsi que des extractions de graviers (p.ex. Grangettes) qui ont des impacts directs (perte de surface colonisable) et indirects (modification de la dynamique des vagues) sur les macrophytes.

5.2. Typologie des rives

Selon des calculs informatiques effectués sur des cartes OFT 1:25'000 (tableau 2), il apparaît que les valeurs généralement utilisées pour caractériser le Léman [6,80] sont sous-évaluées en ce qui concerne la ligne de rive. Ainsi, le Léman a un périmètre de 200 km. La France, avec 58.0 km de rive, possède 29% du pourtour du lac. Pour la Suisse, les cantons de Vaud, Genève et Valais représentent respectivement 51%, 16% et 4% du périmètre du Léman (resp. 102.0 km, 32.6 km et 7.6 km).

Comme la rive sud du Léman est globalement plus pentue, la surface de zone littorale comprise entre 0 et 12 m de profondeur est proportionnellement plus faible pour les territoires français et valaisan (21% et 1% du lac). La zone littorale du canton de Vaud représente une surface correspondant à sa proportion de rive (53% de la surface du lac entre 0 et 12 m de profondeur). Pour le canton de Genève, la beine est d'une largeur importante puisqu'elle représente 26% de la surface du lac entre 0 et 12 m de profondeur (annexe 11).

La surface des fonds lacustres colonisables par les macrophytes (limite du mont) ne représente qu'environ 5% de la surface totale du lac. Cette surface d'accueil potentielle a été calculée pour tous les secteurs d'étude (tableau 2). Aux deux extrémités du lac, la limite de la beine colonisable a été déterminée par la profondeur maximale des herbiers actuels, soit environ 6 - 8 m de profondeur. Il est alors possible de calculer une largeur moyenne de la beine qui varie beaucoup d'une région à l'autre. Parmi les secteurs d'étude, la largeur de la beine est minimale entre Meillerie et St-Gingolph avec une moyenne d'environ 15 m et maximale dans la région des Grangettes avec une largeur moyenne de près de 400 m.

Il a été noté dans plusieurs études [19-23,47-49,59] qu'à défaut de pouvoir déterminer la limite du mont, ce sont généralement les lignes bathymétriques des cartes topographiques qui sont utilisées. Pour le Léman, la ligne des 12 m de profondeur est la plus proche du mont et figure sur tout le périmètre du lac (la ligne des 7 m de profondeur ne l'est que localement sur les cartes OFT 1:25'000). Il faut savoir que la localisation de ces lignes bathymétriques date de la fin du XIXème siècle (travaux de A. Delebecque) et qu'elles sont actuellement peu précises, voire carrément fausses.

6. ETAT ACTUEL DE LA VEGETATION MACROPHYTIQUE

L'ensemble des données de terrain récoltées pendant l'été 1997, compilées à l'échelle des six secteurs d'étude, fait l'objet d'un descriptif par secteur présenté dans les chapitres 6.1. à 6.6. La végétation de cinq ports est présentée au chapitre 6.7. Une synthèse de l'état actuel des régions étudiées est proposée au chapitre 6.9.

Différentes représentations cartographiques des résultats figurent en annexe. Les surfaces colonisées par les macrophytes dans les six secteurs, issues du traitement SIG des données, sont présentées sur support de cartes topographiques (cartes-pixel CP25 de l'OFT échelle 1:25'000 agrandies au 1:7'500, annexe 17). La végétation macrophytique des cinq ports recensés est représentée sur support de photo aérienne agrandie (annexe 16). De plus, l'abondance actuelle des espèces du Léman est symbolisée sur différentes cartes du lac (annexe 15).

Les principales caractéristiques des secteurs étudiés, permettant de mieux interpréter les différents résultats mis en évidence, sont présentées dans le tableau ci-dessous.

SECTEUR		Rive (km)	Beine (ha)	Larg. moy. (m)	Herbiers (ha)	% col. beine	Nb esp.	Nb zones (% ds ports)
SECTEUR 1	France	5.7	109	190	57	52%	12	38 (0%)
(Versoix -	Genève	32.6	738	225	284	39%	16	215 (28%)
Messery)	Secteur	38.3	847	220	341	40%	16	253 (24%)
SECTEUR 2		16.4	78	50	18	23%	14	78 (72%)
(Thonon - Evian)								
SECTEUR 3	France	7.1	10	15	-	-	6	-
(Meillerie -	Valais	7.6	28	40	5	18%	11	30 (40%)
Villeneuve)	Vaud	7.6	296	390	41	14%	12	102 (6%)
	Secteur	22.3	334	150	46	14%	16	132 (14%)
SECTEUR 4		10.5	53	50	12	23%	16	66 (23%)
(Vevey - Cully)								
SECTEUR 5		14.1	422	300	221	52%	15	131 (30%)
(Lausanne - Morges)								
SECTEUR 6		10.2	304	300	190	63%	13	96 (8%)
(Rolle - Promenthoux)								
6 SECTEURS		111.8	2038	180	828	41%	22	756 (24%)

Tableau 2 : Principales caractéristiques morphologiques et phytoécologiques des six secteurs d'étude

6.1. Secteur 1 : Versoix-Messery (+ enclave de Céligny)

Ce secteur comprend l'ensemble des rives genevoises et une partie du territoire français, entre Hermance et la pointe de Messery. La couverture des fonds par la végétation macrophytique est comparable entre les deux entités politiques avec environ 10 ha/km de rive.

L'occupation de la beine par les macrophytes montre une valeur moyenne qui correspond à celle du Léman (env. 40%). Toutefois, il faut relever le cas de la Rade de Genève qui représente un intérêt particulier par une couverture végétale abondante et diversifiée.

Les rives genevoises et françaises ont des caractéristiques propres qui les différencient:

- les rives genevoises sont fortement aménagées et possèdent, en particulier, de nombreuses installations portuaires publiques ou privées (28% des herbiers se trouvent dans des ports). Les sites de Port Choiseul et du Creux de Genthod sont traités au chap. 6.7.
A l'inverse, les rives françaises sont restées plus naturelles avec, en particulier, de nombreuses interfaces en plages de galets devant un cordon boisé;
- les rives françaises sont plus propices au développement des macrophytes émergents, en particulier du roseau (*Phragmites australis*). Plusieurs roselières se maintiennent entre Hermance et St-Joseph du Lac;
- les activités humaines dans la zone littorale sont beaucoup plus fortes sur le territoire suisse: navigation, baignade, pêche, faucardage sur la beine et dans les ports, etc.;
- la pression humaine se fait également sentir à travers la densité d'habitation très nettement plus élevée sur territoire suisse. Son effet est sensible sur le niveau trophique local des eaux (voir chap. 4.1.1.).

La profondeur maximale de colonisation se situe généralement vers 6 - 7 m pour les herbiers denses. Une situation intéressante est notée le long de la conduite de pompage du Prieuré (Rade de Genève, rive droite) où des herbiers d'*Elodea nuttallii* ont été recensés à plus de 20 m de profondeur. Cette situation exceptionnelle représente, à notre connaissance, un record pour le Léman.

La fréquence de chaque espèce ainsi que leur abondance relative dans les 253 zones recensées dans le secteur sont les suivantes:

SECTEUR 1		Abondance (%)			Fréquence (%)		
Nom latin	Nom français	S1	GE	F	S1	GE	F
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	45	47	29	74	77	63
<i>Chara</i> gr. <i>globularis</i>	Lustre d'eau	19	20	20	40	45	34
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	14	11	31	44	46	53
<i>Chara</i> gr. <i>vulgaris</i>	Lustre d'eau	6	6	5	21	18	18
<i>Elodea nuttallii</i> St. John	Elodée de Nuttalli	3	3	-	30	35	-
<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	3	3	< 1	9	11	3
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluet	2	3	< 1	21	23	3
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	2	2	3	10	7	8
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	2	2	< 1	26	27	32
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	2	1	6	12	10	26
<i>Nitellopsis obtusa</i> J. Gr.	Lustre d'eau	1	2	-	7	9	-
<i>Phragmites australis</i> Trin.	Roseau commun	1	< 1	6	3	< 1	16
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Cornifle immergé	< 1	< 1	-	< 1	< 1	-
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	Elodée canadienne	< 1	< 1	< 1	2	2	3
<i>Nymphaea alba</i> L.	Nénuphar blanc	< 1	< 1	-	< 1	< 1	-
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	< 1	< 1	< 1	3	2	5

Tableau 3 : Abondance et fréquence des espèces recensées dans le secteur 1

Il apparaît, à travers ces résultats, que *Potamogeton pectinatus* est nettement l'espèce dominante du secteur avec une présence dans les trois-quarts des herbiers et près de la moitié de l'abondance totale.

Les characées sont également bien représentées avec les trois groupes connus dans le Léman qui constituent, dans ce secteur, 26% de l'abondance totale.

Potamogeton perfoliatus est la troisième espèce importante avec une abondance relative supérieure à 10%.

Trois sites abritent encore des roselières lacustres qui, dans l'ordre d'importance décroissante, sont les suivants:

- Chens (F) : 18'000 m²
- Pointe-à-la-Bise (GE) : 5'400 m²
- Céligny (GE) : 1'400 m².

Le site du Creux de Genthod abrite, dans un petit port privé, une des rares zones de *Nymphaea alba* (nénuphar blanc) du Léman. En Suisse et dans l'Ouest du Plateau, cette espèce est classée comme "attrayante" dans la Liste Rouge des plantes menacées de Suisse [64].

6.1.1. Les rives genevoises

Les rives genevoises se distinguent particulièrement par leur fort degré d'aménagement et l'importante densité d'habitation à proximité des rives. Il faut relever que dans la Rade de Genève où la pression humaine est énorme (navigation de plaisance et CGN, baignade, ski nautique, faucardage estival, etc.) et où la quasi-totalité des interfaces est artificielle (murs et enrochements), les conditions d'implantation pour les macrophytes, en particulier une faible profondeur, en font un site d'intérêt majeur à l'échelle du Léman.

Les rives genevoises sont globalement très bien colonisées avec une moyenne de 9 ha/km de rive. L'ensemble de la zone littorale est propice au développement des macrophytes submergés à quelques exceptions près comme, par exemple, la rive droite du lac comprise entre le Vengeron et le Reposoir où des affleurements de molasse en bancs plissés sont peu colonisables par la végétation macrophytique. Seule une couverture importante d'algues filamenteuses est notée en été 1997 sur ce tronçon de rive.

Avec 16 espèces recensées, la richesse floristique des rives genevoises est très importante pour le Léman. Elle est comparable à la richesse de l'autre extrémité du lac.



Figure 1 : Herbier à *Potamogeton lucens* (région de Corsier)

L'abondance relative de chaque espèce dans les 253 zones de végétation ainsi que leur fréquence dans l'ensemble du tronçon cantonal sont présentées dans le tableau 3.

Avec 11 espèces quantitativement bien présentes, les rives genevoises montrent une diversité intéressante par rapport à l'ensemble du lac. Si *Potamogeton pectinatus* représente près de la moitié de l'abondance totale, les characées et *P. perfoliatus* sont également des taxons dominants.

☛ **La Rade de Genève**

La Rade de Genève est un site particulièrement riche en espèces et abondamment colonisé. Considérée entre la Perle du Lac en rive droite et le Port-Noir en rive gauche, la Rade représente 47% de l'abondance des rives genevoises. Elle abrite 12 espèces dont 9 sont présentes dans plus de 10% des herbiers, ce qui est exceptionnel au niveau du Léman. *Potamogeton pectinatus* domine nettement la colonisation des fonds:

<u>Espèce</u>	<u>Abondance relative</u>
<i>Potamogeton pectinatus</i>	53%
<i>Chara gr. globularis</i>	14%
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	9%
<i>Potamogeton x decipiens</i>	6%
<i>Elodea nuttallii</i>	5%
<i>Chara gr. vulgaris</i>	4%
<i>Potamogeton gr. pusillus</i>	4%
<i>Zannichellia palustris</i>	3%
<i>Myriophyllum spicatum</i>	2%
<i>Phragmites australis</i>	<1%
<i>Potamogeton lucens</i>	<1%
<i>Potamogeton crispus</i>	<1%

6.1.2. Les rives françaises

Le tronçon de rive française entre la frontière à Hermance et la pointe de Messery est très contrasté en comparaison des rives genevoises. Si la construction de propriétés riveraines s'accélère ces dernières années, il faut constater que la plupart des interfaces sont encore naturelles. La faible urbanisation de la région limite les aménagements lacustres, en particulier les installations portuaires qui se résument à quelques petits ports privés.

La beine est d'une largeur régulière (env. 200 m) et colonisée par de grandes zones de végétation dont la profondeur peut atteindre 7 m pour certains herbiers denses à characées. La zone très peu profonde à proximité de la rive n'est colonisée que par quelques macrophytes disséminés et est envahie par les algues filamenteuses (en été 1997).

L'abondance relative de chaque espèce dans les 38 zones de végétation ainsi que leur fréquence entre Hermance et Messery sont présentées dans le tableau 3.

Les particularités floristiques de la partie française du secteur sont les suivantes:

- *Potamogeton perfoliatus* est une des espèces dominantes, ce qui n'a pas été observé ailleurs autour du Léman;
- les characées sont bien présentes avec un quart de l'abondance totale;
- *Elodea nuttallii* n'a pas encore fait son apparition, contrairement à tous les autres secteurs étudiés. Cette observation peut s'expliquer en partie par la rareté de sites abrités;
- plusieurs petites roselières sont recensées dans ce tronçon, principalement entre Hermance et St-Joseph du Lac, qui représentent environ 1.8 ha répartis en onze petites unités d'environ 50 m x 30 m.

6.2. Secteur 2 : Thonon - Evian

Ce secteur, entièrement sur territoire français, possède un type de rive très étroite caractéristique de la rive Sud du Léman à l'Est de Thonon (annexe 2).

Ce secteur est particulier pour différentes raisons:

- ➡ la zone littorale étroite n'offre pas une surface d'accueil importante pour les macrophytes submergés;
- ➡ la forte granulométrie des sédiments, fréquemment constitués de rochers et de galets peu colonisables par la végétation aquatique, limite le développement des macrophytes submergés à certaines espèces comme, par exemple, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton perfoliatus* et *P. x decipiens*;
- ➡ la typologie des interfaces n'est pas propice à la colonisation des macrophytes émergents comme le roseau, la massette ou le scirpe; les interfaces naturelles sont souvent constituées d'un cordon boisé derrière une grève caillouteuse (entre Thonon et la Dranse) et les interfaces artificielles sont essentiellement constituées de murs et d'enrochements (entre la Dranse et Evian);
- ➡ près des trois-quarts des herbiers se trouvent dans des zones abritées, essentiellement dans les ports publics (Thonon, Evian), les petits ports privés (entre la Dranse et Evian) et dans la marina de Port Ripaille;
- ➡ le port des Mouettes à Evian (moitié Ouest construite en 1993) a la particularité d'avoir été aménagé, à titre d'essai, avec un géotextile posé sur le fond qui doit empêcher le développement de la végétation aquatique. La profondeur dans le port varie entre 2.5 et 5.5 m (niveau estival du lac 372.2 msm), ce qui n'est potentiellement pas limitant pour les macrophytes. Le géotextile a été posé en 1995 au niveau des estacades sur environ un quart de la surface du nouveau port. Dans cette partie, seuls quelques brins de *Potamogeton* gr. *pusillus* et d'*Elodea nuttallii* ont été recensés. Il semble donc que cette "isolation" des

sédiments soit efficace dans le but recherché. Toutefois, la moitié Est du port, ou "ancien port" (construite dans les années 65), est peu colonisée malgré des fonds naturels et des profondeurs comparables;

- le port de Commerce à Evian (débarcadère CGN), situé environ 500 m à l'Ouest du port des Mouettes est un port ouvert avec une digue au large. Avec des profondeurs de 2 à 5 m, il est densément colonisé, principalement par *Potamogeton pectinatus*, *P. gr. pusillus* et par *Zannichellia palustris*.

La fréquence de chaque espèce dans les 78 zones de végétation ainsi que leur abondance relative dans l'ensemble du secteur sont les suivantes:

SECTEUR 2			
Nom latin	Nom français	Abondance (%)	Fréquence (%)
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	23	28
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	22	72
<i>Chara gr. globularis</i>	Lustre d'eau	16	12
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	13	32
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	8	12
<i>Nitellopsis obtusa</i> J. Gr.	Lustre d'eau	6	14
<i>Potamogeton gr. pusillus</i>	Potamot fluët	4	23
<i>Chara gr. vulgaris</i>	Lustre d'eau	3	5
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	3	17
<i>Potamogeton x decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	1	14
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	1	5
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	<1	5
<i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	Potamot serré	<1	4
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	Renoncule lâche	<1	1

Tableau 4 : Abondance et fréquence des espèces recensées dans le secteur 2

Il apparaît, à travers ces résultats, que *Potamogeton pectinatus* n'est pas la seule espèce dominante bien qu'elle soit présente dans près des trois-quarts des herbiers. La forte proportion de zones de végétation recensées dans les ports révèle une répartition inhabituelle des espèces pour le Léman:

- *P. pectinatus* est surtout abondant dans les grands ports comme Thonon, Port Ripaille et Evian ainsi que dans les petit ports privés entre la Dranse et Evian,
- *Chara gr. globularis* est bien représentée dans la marina de Port Ripaille,
- *Elodea nuttallii* est abondante dans le port de Thonon et dans Port Ripaille.

D'autre part, l'importante abondance relative d'espèces comme *Zannichellia palustris* et *Myriophyllum spicatum* provient du fait qu'elles sont très compétitives dans l'étroite beine littorale en milieu non protégé.

6.3. Secteur 3 : Meillerie - Villeneuve

Ce secteur s'étend sur les territoires français, valaisan et vaudois, représentant trois tronçons de longueur comparable (env. 7 km chacun).

Deux types de rive très particuliers se trouvent à quelques kilomètres l'un de l'autre, à savoir une beine très étroite et pentue dans la partie française (largeur moyenne env. 15 m) et une beine très large sur territoire vaudois entre le Rhône et Villeneuve (largeur moyenne env. 400 m).

De Meillerie à la baie du Bouveret, la rive est étroite et peu hospitalière, entre autres du fait de la forte granulométrie des fonds. Entre le Rhône et Villeneuve, la beine sableuse peu profonde est soumise à de forts vents, principalement le Rebat de Bise et le Vent d'Ouest qui ont un fetch très important. De plus, l'extraction de graviers et de sables à proximité de la rive a créé deux fosses depuis les années 50. Cette perte de la zone littorale peu profonde a pour effet une moindre dissipation de l'énergie des vagues et, par conséquent, une érosion plus marquée entre les fosses de dragage et la rive. D'autre part, les sédiments de type principalement sableux souvent remaniés, même à proximité de la rive, ne sont pas favorables à la majorité des espèces du Léman.

Ce secteur montre ainsi certaines particularités:

- la zone littorale étroite française et valaisanne n'offre pas une surface d'accueil importante pour les macrophytes submergés; la forte granulométrie des sédiments limite le développement à certaines espèces comme, par exemple, *Myriophyllum spicatum*, *P. perfoliatum* et *P. x decipiens*;
- la large beine vaudoise entre le Rhône et Villeneuve possède des caractéristiques limitantes pour l'implantation des macrophytes submergés du fait de son exposition aux vents dominants et du remaniement fréquent des sédiments à faible profondeur;
- la région des Grangettes représente l'un des derniers marais de Suisse formé par un delta lacustre. Ce site doit être considéré comme une relique, la dernière grande roselière aquatique du Léman.

L'abondance relative de chaque espèce dans les 132 zones de végétation ainsi que leur fréquence dans l'ensemble du secteur sont les suivantes:

SECTEUR 3		Abondance (%)			Fréquence (%)		
Nom latin	Nom français	S3	VS	VD	S3	VS	VD
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	65	56	65	76	87	73
<i>Phragmites australis</i> Trin.	Roseau commun	14	-	16	15	-	20
<i>Chara gr. vulgaris</i>	Lustre d'eau	11	7	12	24	30	22
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	3	17	2	18	43	11
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	2	2	2	12	33	6
<i>Elodea nuttallii</i> St. John	Elodée de Nuttalli	2	9	1	15	23	13
<i>Potamogeton gr. pusillus</i>	Potamot fluet	1	3	1	9	27	4
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	1	<1	1	9	10	9
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	1	5	<1	5	20	1
<i>Callitriche species</i>	Callitriche	<1	-	<1	1	-	1
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	Elodée canadienne	<1	<1	-	1	3	-
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	Phalaris roseau	<1	-	<1	1	-	1
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	<1	<1	-	1	3	-
<i>Potamogeton x decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	<1	1	-	3	13	-
<i>Scirpus lacustris</i> L.	Scirpe commun	<1	-	<1	1	-	1

Tableau 5 : Abondance et fréquence des espèces recensées dans le secteur 3

Si *Potamogeton pectinatus* est, comme pour l'ensemble du lac, l'espèce dominante de ce secteur, il est intéressant de constater que *Phragmites australis* a encore une place importante parmi les autres macrophytes. Les characées sont bien présentes entre le Rhône et Villeneuve, dans des conditions qui rappellent la récente colonisation de la Rive Sud du lac de Neuchâtel [66,34,35]. Les douze autres taxons recensés sont peu abondants.

Comme particularités floristiques de la région, il faut relever plusieurs points:

- la seule station lémanique de *Scirpus lacustris* se trouve dans le site des Grangettes;
- le groupe *Chara gr. vulgaris* est le seul représentant des characées dans ce secteur;
- la *Callitriche species* est implantée dans la zone littorale lacustre mais provient probablement du Grand Canal par dérive.

6.3.1. Les rives françaises

Le tronçon de rive française entre Meillerie et St-Gingolph (frontière suisse) est très pauvre en végétation macrophytique.

Les interfaces très pentues en rochers naturels ou en murs et enrochements ne laissent que très peu de possibilités d'implantation pour les plantes émergentes comme *Phragmites australis*.

La zone peu profonde est très étroite et la proximité d'une interface en "dur" crée des contraintes mécaniques importantes ce qui implique, pour les macrophytes submergés, des capacités particulières de résistance à l'arrachement. Certaines espèces possèdent un mode d'enracinement adapté à ces conditions (vagues de forte énergie et granulométrie importante des sédiments). Dans ce sens, les taxons recensés dans ce tronçon sont les suivants (ordre décroissant de fréquence):

- | | |
|--|--------------------|
| • <i>Myriophyllum spicatum</i> L. | myriophylle en épi |
| • <i>Potamogeton x decipiens</i> Nolte | potamot hybride |
| • <i>Potamogeton perfoliatus</i> L. | potamot perfolié |
| • <i>Potamogeton pectinatus</i> L. | potamot pectiné |

Dans le port de Meillerie se trouvent également deux autres espèces, *Zannichellia palustris* et des characées.

Ces espèces ne forment pas d'herbiers denses mais sont disséminées sur les fonds.

6.3.2. Les rives valaisannes

La topographie des rives valaisannes se différencie entre sa partie Ouest (commune de St-Gingolph) qui s'apparente au type de rive française décrit plus haut et sa partie Est (commune de Port-Valais) dont la baie du Bouveret possède une beine plus large avec des fonds à granulométrie plus fine, davantage propice au développement des macrophytes submergés. Il en résulte que 92% de l'abondance totale des rives valaisannes se trouvent dans la baie du Bouveret.

L'abondance relative de chaque espèce dans les 30 zones de végétation ainsi que leur fréquence dans l'ensemble du tronçon cantonal sont présentées dans le tableau 5.

Sur la beine étroite de la commune de St-Gingolph, il faut noter la dominance des *Potamogeton pectinatus*, *P. gr. pusillus*, *P. perfoliatus* et *P. x decipiens* et de *Zannichellia palustris*.

Dans la baie du Bouveret, *P. pectinatus* domine également mais en présence d'importants herbiers de characées, d'*Elodea nuttallii* et de *P. lucens*. Le port du Bouveret est colonisé dans sa partie Est par *P. pectinatus* et *Elodea nuttallii* (et quelques plants d'*Elodea canadensis*) alors que le centre et la partie Ouest sont dépourvus de végétation (substrat envasé ou glaiseux très compact).

L'embouchure du Rhône dans le lac n'est pas favorable aux macrophytes du fait de l'aménagement des rives. Suite à l'endiguement du Rhône effectué entre 1870 et 1880, l'industrie d'extraction de graviers a également modifié la topographie du delta depuis les années 50: première concession d'exploitation de l'embouchure du Rhône en 1947, destruction de l'île en 1957 et barrage flottant sur le Rhône dès 1975 [31].

6.3.3. Les rives vaudoises (Les Grangettes)

La principale particularité de ce tronçon des rives lémaniques est le site des Grangettes qui représente un biotope que valeur internationale. Il est d'ailleurs classé parmi les huit sites suisses de la Convention de Ramsar (zones humides d'importance internationale) et figure dans plusieurs inventaires fédéraux et cantonaux (IFP n° 1502, zone alluviale n° 123, Bas-Marais n° 1378-1380 et 1382, site marécageux n° 289, réserve d'oiseaux d'eau n° 8, site de reproduction des batraciens n° 21, zone d'oiseaux d'eau internationale n° 9, site d'escale pour les limicoles n° 428, réserve Pro Natura et cantonale)[81].

Concernant la végétation aquatique, il faut différencier les macrophytes submergés et émergents. Compte tenu de la très importante surface d'accueil de la zone peu profonde, la colonisation par les espèces submergées est faible (14% d'occupation de la beine). En revanche, les roselières aquatiques sont de loin les plus importantes du Léman avec 5.5 ha colonisant environ 2.6 km de rive. L'ensemble de ce tronçon a également la particularité d'avoir gardé en grande partie l'aspect naturel de ses rives. Ainsi, quelque 85% des interfaces sont naturelles ce qui est unique autour du Léman (43% de roselières, 31% de grèves et de plages, 11% de talus boisés)[31].

L'abondance relative de chaque espèce dans les 102 zones de végétation ainsi que leur fréquence dans l'ensemble du tronçon cantonal sont présentées dans le tableau 5.

Il faut remarquer que les conditions très contraignantes du milieu pour les macrophytes submergés ne permettent le développement que de peu d'espèces, comme, par exemple, *Potamogeton pectinatus*, l'espèce la plus ubiquiste des lacs du Plateau suisse [83]. Les characées, malgré leur mode d'enracinement peu développé (rhizoïdes : filaments très fins), parviennent à s'implanter mais principalement dans la partie la plus profonde de la beine, où la profondeur dépasse les 2 mètres (à plus de 400 mètres de la rive). D'une manière générale, il faut constater que la beine comprise entre la rive et une profondeur de 1.5 m est très peu colonisée pour les raisons physiques et mécaniques citées plus haut.

Concernant les roselières, leur état de santé basé sur leur surface et leur densité est plutôt satisfaisant. Des différences sont toutefois facilement repérables selon les sites d'Ouest en Est, du Rhône à Villeneuve:

- deux petites reliques de roselières se trouvent à l'embouchure du Rhône (env. 200 m² ; non protégée) et du Vieux-Rhône (env. 1300 m² ; protégée par une digue);
- une roselière est morcelée en trois parties à l'ouest du Grand Canal (env. 6500 m² de densité élevée; protégée par des digues);
- la roselière des Grands Larges est constituée d'une entité située à la base Est du Grand Canal (env. 8800 m² en mauvais état; protégée par le canal) et d'une autre devant le camping (env. 8200 m² de densité élevée; protégée par une petite digue). Une petite scirpaie d'environ 100 m² a été déplacée et ainsi préservée lors de la pose du gazoduc;

- la roselière des Grangettes située entre le village des Grangettes et Villeneuve et protégée par un long brise-vagues semi perméable (env. 30'000 m² de densité moyenne à élevée).

L'évolution de ces roselières est discutée au chapitre 7.3.

6.4. Secteur 4 : Vevey - Cully

La typologie des rives de ce secteur correspond à une beine étroite et peu hospitalière, entre autres du fait de la forte granulométrie des fonds constitués essentiellement de graviers et de blocs de rochers jusqu'à la rive (interfaces généralement en murs et enrochements).

La profondeur maximale de colonisation se situe généralement vers 6 m avec quelques herbiers à 7.5 - 8 m (port de Vevey, Pichette). Des plantes isolées se maintiennent jusqu'à 10 m de profondeur (élodée, characées, myriophylle, potamot pectiné).

Ce secteur montre certaines particularités:

- la nature des sédiments limite le développement des macrophytes submergés à certaines espèces comme, par exemple, *P. pectinatus* et *Zannichellia palustris*;
- les installations portuaires (Vevey, la Pichette), avec des fonds plus meubles, abritent d'autres espèces comme *Elodea nuttallii*;
- l'artificialisation des rives, très importante dans ce secteur, empêche la colonisation des berges par les macrophytes émergents.

Les conditions d'implantation des macrophytes entre Vevey et Cully sont les suivantes:

Commune de Vevey: les interfaces sont entièrement artificielles en murs et enrochements; la végétation macrophytique est très pauvre.

Communes de Corseaux et Chardonne: malgré une beine très étroite, des herbiers colonisent la zone peu profonde de manière presque continue; le nouveau port de la Pichette-Est (détruit en 1987 et reconstruit en 1994) est trop profond (jusqu'à 20 m) et seules ses extrémités sont colonisables. Le port de la Pichette-Ouest est moins profond (max. 3.5 m) et densément colonisé (*P. pectinatus* et *Elodea nuttallii*).

Communes de St-Saphorin, Rivaz, Puidoux et Epesses: la zone littorale est homogène avec des fonds caillouteux et rocailleux et des interfaces en enrochements; moins de la moitié de ce tronçon de rive est propice au développement d'herbiers denses. *Zannichellia palustris* et *Myriophyllum spicatum* sont bien représentées dans ce tronçon.

Commune de Cully: la beine est colonisée de manière quasiment continue; *P. pectinatus* et *P. gr. pusillus* y côtoient *Zannichellia palustris*.

L'abondance relative de chaque espèce dans les 66 zones de végétation ainsi que leur fréquence dans l'ensemble du secteur sont les suivantes:

SECTEUR 4			
Nom latin	Nom français	Abondance (%)	Fréquence (%)
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	42	91
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	27	59
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	7	21
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	7	42
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	6	73
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluët	6	53
<i>Chara</i> gr. <i>vulgaris</i>	Lustre d'eau	2	3
<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	2	27
<i>Chara</i> gr. <i>globularis</i>	Lustre d'eau	1	2
<i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	Potamot serré	<1	3
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	<1	3
<i>Potamogeton gramineus</i> L.	Potamot graminée	<1	2
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	<1	3
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	Renoncule lâche	<1	3

Tableau 6 : Abondance et fréquence des espèces recensées dans le secteur 4

Parmi les espèces recensées, il faut noter que peu d'espèces sont abondantes dans ce secteur. Hormis *Potamogeton pectinatus*, l'espèce dominante du Léman et des lacs du Plateau suisse [83], il faut relever la forte proportion de *Zannichellia palustris*. Cette situation est comparable à celle du secteur Thonon-Evian (23% en abondance) et très différente de celle des autres secteurs de l'étude (2-4% en abondance).

Il faut donc corréler la typologie des rives et la compétition interspécifique pour constater, qu'à part *P. pectinatus*, *Zannichellia palustris* est la plus compétitive sur des beines étroites à fortes contraintes mécaniques (réflexion des vagues contre des interfaces artificielles) et à forte granulométrie. Cette espèce possède un large spectre d'adaptation aux conditions du milieu puisqu'on peut la retrouver également sur des substrats limoneux à sableux et dans des eaux à niveau trophique faible à très élevé. En Suisse, elle est bien représentée, spécialement dans les lacs de Thoun et de Zürich [83], bien qu'elle soit considérée, à tort, comme une espèce menacée dans l'Ouest du Plateau [64].

Les characées sont très peu abondantes dans ce secteur comparativement à l'ensemble du Léman.

Parmi les espèces actuellement rares dans le Léman, il faut relever la présence discrète de la renoncule lâche (*Ranunculus trichophyllus* Chaix), des potamots serré (*Groenlandia densa* (L.) Fourr.) et graminée (*Potamogeton gramineus* L.).

6.5. Secteur 5 : Lausanne - Morges

Ce secteur montre plusieurs particularités:

- la zone littorale offre une surface d'accueil importante pour les macrophytes submergés particulièrement dans les zones abritées comme les larges baies de Vidy - les Pierrettes et de Morges. Le taux de colonisation de la beine est très élevé comparativement à l'ensemble du Léman;
- la granulométrie des sédiments est très diversifiée: présence de blocs de rochers (St-Sulpice, Préverenges), de vase (port d'Ouchy, Vidy, Pierrettes) en passant par une dominante de sables et de graviers (Les Pierrettes, St-Sulpice, Préverenges);
- la profondeur maximale de colonisation se situe généralement vers 6 m avec quelques herbiers jusqu'à 10 m devant Morges (élodée, characées, potamot pectiné);
- les principales installations portuaires (Ouchy, Vidy, Pierrettes, Petit Bois, Morges) ont des fonds très vaseux. Les ports d'Ouchy sont décrits en détail au chapitre 6.7.;
- l'artificialisation des rives, très importante dans ce secteur, limite fortement la colonisation des berges par les macrophytes émergents. Plusieurs deltas d'affluents sont corrigés (Venoge, Bief, Morges) et n'ont plus qu'une très faible dynamique alluvionnaire. Les seuls roseaux et massettes du secteur se trouvent à l'embouchure de la Morges.

Les conditions d'implantation des macrophytes entre Lausanne et Morges sont les suivantes:

Commune de Lausanne: les interfaces sont très diversifiées entre Ouchy et la Chamberonne. Les installations portuaires d'Ouchy et de Vidy contrastent avec la plage de Vidy où la beine est large et bien colonisée par les macrophytes, essentiellement par *P. pectinatus* et *P. perfoliatus*.

Commune de St-Sulpice: entre la Chamberonne et la Venoge, la beine est très large, comme devant St-Sulpice où elle s'étend sur 500 m. Malgré des fonds souvent recouverts d'algues filamenteuses, les herbiers sont très étendus, généralement entre environ 50 m de la rive et la limite du mont situé vers 5 m de profondeur. La richesse floristique est intéressante avec dix espèces présentes, dont la dominante est nettement *P. pectinatus*. La présence d'herbiers à *P. lucens* est à relever ainsi que la faible présence des characées.

Commune de Préverenges: entre la Venoge et le Bief, la zone littorale comprise entre la rive et environ 100 m au large est sableuse et dépourvue de végétation. Plus au large, les herbiers sont étendus mais moyennement denses et principalement colonisés par *P. pectinatus* et *P. perfoliatus*.

Communes de Morges et Tolochenaz: la rive sur la commune de Morges est aménagée de manière quasiment continue (murs et enrochements) alors qu'une étroite plage se trouve entre le port du Petit Bois jusqu'au Boiron (commune de Tolochenaz). La beine est large et bien colonisée jusqu'au mont (10 m de profondeur en face de Morges) avec de vastes herbiers bien diversifiés (jusqu'à 7 à 8 espèces par zone). Les characées sont abondantes dans cette partie du secteur (très peu présentes entre le Bief et Lausanne).



Figure 2 : Characées prélevées au grappin (jusqu'à - 10 m de profondeur)

L'abondance relative de chaque espèce dans les 131 zones de végétation ainsi que leur fréquence dans l'ensemble du secteur sont les suivantes:

SECTEUR 5			
Nom latin	Nom français	Abondance (%)	Fréquence (%)
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	63	88
<i>Chara</i> gr. <i>vulgaris</i>	Lustre d'eau	10	18
<i>Chara</i> gr. <i>globularis</i>	Lustre d'eau	6	10
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	5	55
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluet	5	36
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	5	18
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	4	18
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	2	37
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	< 1	17
<i>Nitellopsis obtusa</i> J. Gr.	Lustre d'eau	< 1	1
<i>Phalaris arundinacea</i>	Phalaris roseau	< 1	1
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.	Roseau commun	< 1	2
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	< 1	2
<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	< 1	4
<i>Typha latifolia</i> L.	Massette à feuille large	< 1	2

Tableau 7 : Abondance et fréquence des espèces recensées dans le secteur 5

Potamogeton pectinatus est nettement l'espèce dominante du secteur avec près des deux tiers de l'abondance totale. Dans une moindre mesure, les characées sont également bien représentées. Si la diversité totale est intéressante, 7 taxons sur 15 sont très peu représentés dans le secteur. Parmi ceux-là, il faut relever quelques touffes de massette à feuille large (*Typha latifolia* L., embouchure de la Morge), espèce fréquente autour d'étangs mais très rare sur les rives du Léman.

Concernant les principales installations portuaires, il faut relever les points suivants:

- Ports d'Ouchy: voir chapitre 6.7.
- Port de Vidy: les sédiments du port sont très vaseux (vase noire putride) et les herbiers se trouvent principalement à 2-3 m de profondeur. Seules trois espèces se maintiennent dans ces milieux visiblement très eutrophes: *P. pectinatus* qui domine, *P. gr. pusillus* et *Elodea nuttallii* qui sont également bien représentées. Contrairement à Ouchy, très peu d'algues filamenteuses colonisent les fonds et les macrophytes.
Le petit port situé à l'extrémité Est de la plage de Vidy est envahi par *Elodea nuttallii* colonisant densément des sédiments très vaseux.

- Port des Pierrettes: cette zone abritée possède également des fonds vaseux qui ne sont quasiment pas colonisés par les macrophytes si ce n'est quelques touffes d'*Elodea nuttallii* et de *P. pectinatus* (prof. env. 1.5 m).
- Port de Morges: comme à Vidy, seules trois espèces colonisent les fonds vaseux de ce port, *Elodea nuttallii* qui atteint ici une taille exceptionnelle de 3 m, *P. pectinatus* et *P. gr. pusillus* (prof. 1.5 - 3 m; peu abrité par Vaudaire et vent d'Ouest).
- Port du Petit Bois (nouveau port de Morges): ce port est partiellement envasé et est colonisé essentiellement par *Elodea nuttallii* et les characées (prof. 2.5 m).

6.6. Secteur 6 : Rolle - Promenthoux

Ce secteur est d'un intérêt particulier pour différentes raisons:

- ➡ hormis la ville de Rolle, la zone riveraine est peu aménagée et essentiellement constituée de parcelles agricoles et de propriétés privées. Le type d'interface dominant est naturel et composé d'une plage de graviers devant un cordon boisé;
- ➡ la seule installation portuaire importante est le port de Rolle;
- ➡ la nature des fonds est très diversifiée, avec présence de graviers et de sables (de Gland à Promenthoux), de sables et de limons fins (delta de la Dullive) voire de vase (port de Rolle);
- ➡ la zone littorale est d'une largeur importante, la plus élevée des secteurs étudiés, avec un très fort taux de colonisation de 19 ha/km de rive. Il faut relever la colonisation continue sur l'ensemble des 10 km du secteur, ce qui est exceptionnel pour le Léman;
- ➡ la profondeur maximale de colonisation se situe généralement entre 6 m et 7 m avec quelques herbiers jusqu'à 8 m devant Rolle et Bursinel (characées, *P. pectinatus*);
- ➡ de nombreuses interfaces eau/terre sont encore naturelles, constituées principalement de plages de graviers. Toutefois, les roselières sont absentes de ce secteur pour des raisons diverses liées à l'exposition aux vagues, la présence d'un cordon boisé riverain ou encore par le "jardinage" des parcelles privées au bord de l'eau.

L'abondance relative de chaque espèce dans les 96 zones de végétation ainsi que leur fréquence dans l'ensemble du secteur sont les suivantes:

SECTEUR 6			
Nom latin	Nom français	Abondance (%)	Fréquence (%)
<i>Chara gr. vulgaris</i>	Lustre d'eau	30	51
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	23	81
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	20	74
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	14	35
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	4	23
<i>Chara gr. globularis</i>	Lustre d'eau	3	13
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	2	35
<i>Potamogeton gr. pusillus</i>	Potamot fluet	2	22
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	1	18
<i>Potamogeton x decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	1	3
<i>Nitellopsis obtusa</i> J. Gr.	Lustre d'eau	< 1	< 1
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.	Roseau commun	< 1	< 1
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	< 1	6

Tableau 8 : Abondance et fréquence des espèces recensées dans le secteur 6

La principale particularité floristique de ce secteur est l'importance relative des characées. C'est la seule partie du lac où elles sont plus abondantes que *Potamogeton pectinatus*. D'autre part, les trois groupes taxonomiques de characées sont représentés.

Il faut noter également la forte présence de *P. perfoliatus* et *P. lucens* qui trouvent sur cette large beine des conditions d'implantation particulièrement favorables.

Pour les macrophytes émergents, seuls quelques *Phragmites australis* survivent encore à l'Ouest du delta de la Dullive mais aucune roselière digne de ce nom n'est recensée.

Concernant les principales installations portuaires, il faut relever les points suivants:

- port de Rolle: ce port est très envasé et peu profond (1.5 à 2 m de profondeur). Il est colonisé par *Elodea nuttallii*, *P. pectinatus* et *P. gr. pusillus*, accompagnés de *Zannichellia palustris*, de characées et de *P. x decipiens*;
- port des Vernes: ce petit port à l'Est de Rolle est très envasé et peu profond (< 1.5 m de profondeur) et seuls quelques *Elodea nuttallii* et *P. pectinatus* s'y développent;
- Fleur d'eau, la Tourangelle, le Cottage (ports privés): ces petites zones abritées sont essentiellement colonisées par *P. pectinatus*.

6.7. Les ports - état actuel

La représentation cartographique des zones de végétation des cinq ports décrits ci-dessous est présentée en annexe 16.

Port Choiseul (commune de Versoix - GE)

Ce port est l'un des plus importants du Petit Lac en rive droite avec 500 places à l'eau et 300 places à terre. Il est bien protégé des vents dominants et possède une profondeur d'environ 2.5 m. La végétation macrophytique est faucardée chaque été (Service du lac et des cours d'eau, DIAE).

La richesse floristique dans le port est de 7 espèces:

<u>Espèce</u>		<u>Abondance relative</u>
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	67%
<i>Elodea nuttallii</i> St. John	Elodée de Nuttalli	25%
<i>Nitellopsis obtusa</i> J. Groves	Lustre d'eau	8%
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Cornifle immergé	< 1%
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	< 1%
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	< 1%
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluët	< 1%

La présence de *Nitellopsis obtusa* est très intéressante car très rare autour du Léman. Dans les secteurs étudiés, seul le port de Thonon est également bien colonisé par cette characée. Cette espèce est également rare en Suisse [5] puisqu'elle ne représente que 2% de la fréquence des 27 taxons connus de characées. Elle est principalement présente dans le Léman et le lac de Zürich où elle semble en extension. *Nitellopsis obtusa* préfère les sites calmes et supporte des concentrations assez élevées en nutriments.

Les autres espèces présentes sont caractéristiques des zones abritées et assez fréquentes dans les ports lémaniques (à l'exception du cornifle immergé).

Les herbiers à *Potamogeton pectinatus* et characées sont très denses et la colonisation des fonds est quasiment totale dans l'enceinte du port.

Il faut relever le recouvrement important du fond par les algues filamenteuses, essentiellement du genre *Cladophora*, (chlorophycées, algues vertes) qui sont présentes dans tout le port en été 1997. La prolifération de ces algues est généralement indicatrice de niveau trophique élevé.

Le Creux de Genthod (commune de Genthod - GE)

Ce port est situé dans une petite baie abritée de la Bise et du courant mais n'est pas protégé par des digues. Il propose 150 bouées en pleine eau, à des profondeurs de 15-20 m au centre qui diminuent rapidement vers la rive (1-2 m de profondeur). Ce site est faucardé chaque été (Service du lac et des cours d'eau, DIAE).



Figure 3 : Nupharaie dans un port privé au Creux de Genthod (*Nymphaea alba*)

La richesse floristique dans le port est de 10 espèces:

<u>Espèce</u>		<u>Abondance relative</u>
<i>Chara</i> gr. <i>globularis</i>	Lustre d'eau	63%
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	23%
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	10%
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluet	3%
<i>Nymphaea alba</i> L.	Nénuphar blanc	1%
<i>Chara</i> gr. <i>vulgaris</i>	Lustre d'eau	< 1%
<i>Elodea nuttallii</i> St. John	Elodée de Nuttalli	< 1%
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	< 1%
<i>Nitellopsis obtusa</i> J. Groves	Lustre d'eau	< 1%
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	< 1%

Il faut noter la présence des trois groupes de characées, en particulier *Chara gr. globularis* (*Chara deliculata* Ag.) qui est nettement dominant sur ce site. *Chara denudata* A.Br. et *Nitellopsis obtusa* J. Groves sont également recensés.

Potamogeton lucens est bien implanté; le nénuphar blanc se trouve dans un petit port privé et forme la seule nupharaie lacustre des rives genevoises.

Les macrophytes recensés forment des herbiers moyennement à très denses sur toute la beine peu profonde, comprise entre 1 et 5 m de profondeur.

Le recouvrement du fond par les algues filamenteuses est faible dans la baie en été 1997.

Le port d'Yvoire (commune d'Yvoire - Haute-Savoie)

Suite à son extension récente, ce port de taille moyenne offre 280 places d'amarrage. Il est constitué de deux entités, bien abritées par plusieurs digues. La profondeur varie entre 1.5 m près de la rive à 2.5 - 3 m au centre du port. L'entretien du port a évolué ces dernières années. Suite à des essais infructueux d'arrachage des macrophytes (pelle-araignée et chaînes depuis une barge), ceux-ci sont récoltés manuellement en surface à partir d'un radeau depuis 1995. D'autres travaux hivernaux de dragage sur plusieurs années sont actuellement en cours pour éliminer les limons jusqu'à la couche d'argile (env. 1'500 m³/an). Ceci dans le double but de limiter l'envasement et la prolifération estivale de macrophytes et d'algues.

La richesse floristique dans les deux ports est de 10 espèces:

<u>Espèce</u>		<u>Abondance relative</u>
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	40%
<i>Chara gr. vulgaris</i>	Lustre d'eau	20%
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	18%
<i>Potamogeton gr pusillus</i>	Potamot fluet	12%
<i>Elodea nuttallii</i> St. John	Elodée de Nuttalli	5%
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	2%
<i>Groenlandia densa</i> Fourr.	Potamot serré	2%
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	1%
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	< 1%
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	< 1%

Si *Potamogeton pectinatus* domine dans le port, il faut noter la répartition spécifique bien équilibrée des autres taxons, ce qui est très rarement observé autour du Léman.

La présence de *Groenlandia densa* est actuellement exceptionnelle sur les rives lémaniques; cette espèce est bien implantée à Yvoire.

Les macrophytes recensés forment généralement des herbiers très denses à l'abri des digues. Le petit port Est (port des Pêcheurs) est davantage envasé.

Le recouvrement du fond par les algues filamenteuses en été 1997 est limité dans les deux ports mais plus dense dans la partie Ouest du port principal.

Le port de Thonon (port de Rives, commune de Thonon - Haute-Savoie)

Avec 800 places d'amarrage, le port de Rives à Thonon est, avec celui d'Evian, le plus important de la rive Sud du Léman. Il est bien protégé par une longue digue parallèle à la rive (plus de 400 m) qui laisse toutefois l'eau circuler dans le port, surtout en régime de Bise. La profondeur est importante et varie entre 4 m et 6 m (7 m au bout du débarcadère) avec des fonds à dominante de limons fins et de vase. Au large de la digue extérieure, les fonds sont rocaillieux et la profondeur dépasse les 10 m à proximité de la digue. L'entretien du port est particulier pour le Léman par l'absence de faucardage estival.

La richesse floristique dans le port est de 10 espèces:

<u>Espèce</u>		<u>Abondance relative</u>
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	38%
<i>Elodea nuttallii</i> St. John	Elodée de Nuttalli	21%
<i>Nitellopsis obtusa</i> J. Groves	Lustre d'eau	19%
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	7%
<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte ex Koch.	Potamot hybride	5%
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	4%
<i>Potamogeton</i> gr <i>pusillus</i>	Potamot fluet	4%
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	2%
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	< 1%
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	< 1%

Si *Potamogeton pectinatus* domine dans le port, il faut noter l'importance quantitative de sept autres taxons.

Elodea nuttallii, très abondante dans la moitié Ouest du port, est accompagnée d'herbiers denses de *Nitellopsis obtusa* entre la digue extérieure et les estacades.

Les macrophytes recensés forment généralement des herbiers moyennement à peu denses à l'abri de la digue.

Le recouvrement du fond par les algues filamenteuses en été 1997 est limité dans le port à l'exception des deux ouvertures côté Evian et côté Genève (débarcadère).

Les ports d'Ouchy (commune de Lausanne - VD)

Les ports d'Ouchy possèdent, avec la Rade de Genève, la plus grande concentration du Léman en bateaux privés et des services réguliers. Il est composé de quatre entités d'Est en Ouest:

- le Vieux Port, formant une petite baie en demi-lune, peu abritée en particulier de la Vaudaire et n'offrant que quelques places d'amarrage en pleine eau; ses caractéristiques morphologiques se rapprochent davantage d'une beine ouverte que d'une installation portuaire;
- le port CGN (gare lacustre, interdit aux bateaux de plaisance), avec des fonds à 3-5 m de profondeur régulièrement brassés par les manoeuvres des bateaux du service régulier;

- le port de plaisance, offrant 600 places à l'eau et 150 à terre, bien abrité derrière de larges digues;
- le port marchand, interdit aux bateaux de plaisance, est un grand bassin rectangulaire (env. 300 m sur 150 m) avec des profondeurs de 3 à 5 m.

La commune de Lausanne gère le faucardage des ports d'Ouchy et de Vidy. Jusqu'à 1991, le faucardage mécanique était complété par un traitement chimique des eaux au sulfate de cuivre. Actuellement, le port d'Ouchy est faucardé dans son ensemble chaque été entre les mois de juin et d'août selon le développement de la végétation. Une faucardeuse à tapis (coupe à ciseaux) est utilisée jusqu'à une profondeur d'environ 2 m. A l'extérieur du port, le chenal d'accès au débarcadère pour le bateau électro-solaire est également faucardé.

La richesse floristique dans les ports d'Ouchy est de 10 espèces:

<u>Espèce</u>		<u>Abondance relative</u>
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	63%
<i>Potamogeton gr pusillus</i>	Potamot fluet	14%
<i>Elodea nuttallii</i> St. John	Elodée de Nuttalli	9%
<i>Chara gr vulgaris</i>	Lustre d'eau	4%
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	4%
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	3%
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	2%
<i>Nitellopsis obtusa</i> J. Groves	Lustre d'eau	1%
<i>Potamogeton x decipiens</i> Nolte ex Koch.	Potamot hybride	<1%
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	<1%

Les caractéristiques des quatre parties du port d'Ouchy sont très différentes et déterminent des conditions d'implantation très variées pour les macrophytes:

- le Vieux Port (8 espèces): seule la zone peu profonde proche de la rive est colonisée. On y trouve essentiellement *P. pectinatus* et *Zannichellia palustris*. L'essentiel des herbiers se trouve entre 2.5 et 4 m de profondeur, sur des fonds recouverts par les algues filamenteuses (en été 1997);
- le port CGN (7 espèces): ce site est fortement colonisé par des herbiers denses bien équilibrés avec principalement des characées, *P. pectinatus* et *P. gr. pusillus*, *Zannichellia palustris* et *Elodea nuttallii*. Ceci malgré un recouvrement important d'algues filamenteuses en été 1997;
- le port de plaisance (7 espèces): à l'intérieur des digues de protection, les fonds sont très vaseux (vase noire putride) à des profondeurs de 3 m à 4 m. Si *P. pectinatus* domine, il semble que *P. lucens* et surtout *P. gr. pusillus* supportent bien ces conditions trophiques extrêmes. *Elodea nuttallii* est bien implantée entre les longues estacades;
- le port marchand (2 espèces): *P. pectinatus* forme des herbiers essentiellement monospécifiques et denses avec la présence de quelques *Elodea nuttallii* et un recouvrement important d'algues filamenteuses.

6.8. Le faucardage

Le canton de Vaud se préoccupe de la question du faucardage dans le cadre d'une concertation entre les communes riveraines et le Service des forêts, de la faune et de la nature (DSE-Vaud). Du côté genevois, suite à une demande d'information émanant du Service du lac et des cours d'eau (DIAE-Genève), une collaboration s'est mise en place dès juin 1998 sur la gestion du faucardage (SLCE, ECOTOX, ECOTEC). Partant de ces deux démarches parallèles, il est souhaitable qu'une concertation soit menée au niveau du Léman.

Etat des connaissances

Plusieurs publications scientifiques abordent le sujet et certaines conclusions sont intéressantes:

- les espèces de macrophytes les plus touchées par le faucardage sont celles qui ont un mode de reproduction sexuée. En revanche, une espèce utilisant la reproduction végétative peut même être favorisée par le faucardage. Ainsi, l'expansion des potamots est davantage limitée par le faucardage que celle d'espèces comme la myriophylle ou l'élodée [7-9,78];
- *Elodea nuttallii* est connue pour avoir un pouvoir de régénération très important. Elle peut repousser rapidement, est très compétitive et peut alors être disséminée par le faucardage [41,72];
- les characées peuvent se reproduire sexuellement ou végétativement. Les fragments de plantes coupées peuvent se réenraciner et se développer l'année suivante. Avec une base restant enracinée et/ou des spores de résistance stockées dans les sédiments, le faucardage par coupe ne limite que très partiellement le développement des characées;
- le faucardage a un impact non négligeable sur la faune piscicole [92]. Ce sont principalement les alevins de perches, de gardons et de brêmes présents en été dans les herbiers qui subissent, d'une part une perte en habitat (zone de refuge et de nourrissage) et, d'autre part, une perte en effectif prélevé avec la végétation faucardée ;
- les herbiers peuvent abriter environ un million de macroinvertébrés par tonne de macrophytes. Le prélèvement de ces plantes mène à une perte importante d'abri, de substrat de ponte et de voies d'émergence pour la macrofaune. La colonisation par les algues périphytiques, dont les invertébrés se nourrissent, est également limitée [73];
- les zones faucardées ont des caractéristiques nouvelles qui favorisent les espèces pionnières comme *Elodea nuttallii* dont le développement excessif mène à une banalisation des herbiers [84];
- la pratique du faucardage doit tenir compte de la période de végétation. Il apparaît que plus le faucardage est tardif, plus la repousse est limitée. De plus, il faut veiller à sortir de l'eau le maximum de biomasse en évitant la fragmentation des plantes [1,41,84].

Le cas des rives genevoises du Léman

Depuis plusieurs années, le Service du lac et des cours d'eau du canton de Genève est en charge de limiter la gêne occasionnée par les prolifération des macrophytes dans les ports et les zones de baignade et par l'accumulation d'algues sur la berge.

Concernant les macrophytes, le SLCE dispose de deux faucardeuses (type Muro et Haller) qui sillonnent la quasi-totalité des rives genevoises pendant la période estivale.

Selon les données fournies par le SLCE, il est possible d'estimer la proportion d'herbiers concernés par la pratique du faucardage sur le canton de Genève. Les relevés cartographiés pour cette étude ont été superposés aux zones de passage des machines. Les conclusions suivantes peuvent être avancées:

- sur les 215 zones de végétation macrophytique recensées en 1997, 147 zones (68%) sont concernées, partiellement ou totalement, par le faucardage;
- sur 52 zones dans les ports publics ou privés, 43 (83%) sont faucardées;
- l'ensemble des 13 espèces de macrophytes submergés est concerné;
- pour 8 taxons, sur l'ensemble des zones dans lesquelles ils se trouvent, la fraction faucardée dépasse les 60%:

élodée de Nuttalli	86%	myriophylle en épi	68%
potamot hybride	83%	potamot luisant	68%
zannichellie des marais	79%	potamot pectiné	67%
characées	72%	potamot fluet	63%

Le cas des rives vaudoises du Léman

Des principes d'intervention ont été édictés en 1998 par le Service des forêts, de la faune et de la nature (DSE-VD) suite à une concertation avec les communes concernées. Il s'agit de la région de Morges avec les communes de St-Sulpice, Préverenges, Morges, Tolochenaz et St-Prex. Les objectifs visés sont de définir, pour les différentes zones riveraines concernées, les raisons techniques justifiant le faucardage ou les raisons écologiques pour lesquelles il convient d'y renoncer partiellement ou complètement et de donner les bases juridiques applicables.

Les conclusions concernant les principes d'intervention sont les suivantes:

- ☛ *le faucardage constitue une intervention propre à compromettre les objectifs visés par la loi fédérale sur la pêche (LFP) et est par conséquent soumise à autorisation spéciale au sens de l'article 8, alinéa premier LFP;*
- ☛ *il convient d'éviter tout faucardage des macrophytes aquatiques, sauf justification par des intérêts prépondérants (assurer la sécurité de la navigation dans les ports et les zones d'amarrage légalisées ainsi que leurs accès);*
- ☛ *des interventions légères peuvent également être admises lorsque les nuisances que l'on peut clairement attribuer aux macrophytes sont intolérables, notamment le long de certaines plages ou devant les quais.*

Concrètement, des autorisations spéciales de faucardage ont été attribuées aux communes concernées pour l'année 1998, reconductibles en 1999. Le point de la situation doit être fait après deux années de pratique. Une autorisation comprend exclusivement les travaux destinés à assurer le passage et la sécurité des bateaux dans les voies navigables importantes et à limiter les nuisances excessives devant les plages publiques. Les zones à faucarder sont délimitées et les dommages aux poissons doivent être minimisés.

Le cas du lac de Bienne

Une étude des macrophytes du lac de Bienne de 1996 [41] aborde, entre autres, la question du faucardage. La description des pratiques actuelles montre que de nombreux herbiers de densité moyenne et élevée sont faucardés chaque année sur mandat du Service cantonal des eaux et de l'énergie (WEA-Kt. Bern).

Les herbiers sont faucardés dès que les potamots atteignent la surface, soit de fin juin à début juillet. Certains sites doivent être faucardés plusieurs fois jusqu'en septembre.

Sont traités en priorité les débarcadères des bateaux du service régulier, les installations portuaires et les plages publiques. Les propriétaires de ports privés et les pratiquants de sports nautiques mettent une certaine pression sur le canton pour le faucardage de zones particulières.

Du point de vue des espèces de macrophytes concernées, il est noté que le faucardage des potamots au début de l'été favorise la croissance des élodées par l'élimination de la concurrence pour la lumière et les nutriments. De plus, la dissémination de fragments d'élodées faucardés ou arrachés par les hélices des bateaux est importante. Les élodées ne devraient pas être faucardées ou alors plus tard dans la saison.

Le faucardage des espèces qui servent de site de reproduction ou de grossissement pour la macrofaune et les poissons a un effet néfaste sur des habitats essentiels et par conséquent sur les peuplements.

Certaines mesures sont donc proposées:

- le faucardage peut être toléré dans les lieux d'intérêt public comme les débarcadères, les installations portuaires et les plages;
- dans le cas d'intérêts privés particuliers (école de navigation, club nautique), seul un chenal d'une dizaine de mètres peut être faucardé entre l'estacade et le large. Le traitement de surfaces importantes ne peut être autorisé;
- l'autorisation de faucardage pour les riverains privés ne doit pas être accordée;
- le faucardage doit être effectué le plus tard possible dans la saison malgré un évident conflit d'intérêt avec les utilisateurs du plan d'eau. Une pesée des intérêts doit encore être effectuée.

Propositions

Il est intéressant de noter que des conclusions très similaires sont tirées de situations géographiques différentes. Ainsi, le contexte global de la gestion du faucardage est déjà bien défini. Il semble donc nécessaire de passer à une phase de concertation entre les acteurs puis d'élaboration de bases juridiques à l'échelle du Léman. Un plan de mesures devrait être adopté et ses effets évalués par un suivi biologique sur des secteurs clés.

Dans cette démarche, il faut tenir compte des critères suivants:

- mode de croissance et de reproduction des macrophytes faucardés;
- impact sur la diversité des herbiers;
- impact sur les organismes liés aux macrophytes (algues, macroinvertébrés, poissons, oiseaux d'eau);
- période de faucardage (taux de repousse) et méthode utilisée (hauteur et proportion de coupe, arrachage, propagation);
- limitation du faucardage aux sites les plus sensibles (zones de baignade balisées, ports, chenaux d'accès aux ports);
- impact de mesures plus "radicales" comme la pose de géotextile sur les sédiments (p.ex. port d'Evian), le dragage des sédiments (p.ex. port d'Yvoire) ou le creusement à grande profondeur (p.ex. port de la Pichette-Est).

6.9. Les algues filamenteuses

Les relevés de terrain ont pris en compte la présence d'algues filamenteuses dans l'ensemble des zones de végétation recensées. Une approche qualitative de la colonisation de la zone littorale est effectuée.

Contrairement aux macrophytes, les algues filamenteuses n'ont pas une durée de vie saisonnière mais de l'ordre de quelques jours à quelques semaines.

Les algues filamenteuses ne sont pas déterminables visuellement. De ce fait, l'ensemble des échantillons d'algues recensés n'a pas été déterminé. Seuls quelques échantillons visiblement différents ont été confiés au Service cantonal d'écotoxicologie (DIAE - Genève). Du point de vue systématique, la détermination s'est limitée au genre. Les trois groupes d'algues vertes (chlorophycées) relevés sont les suivants:

- *Cladophora* sp.
- *Spirogyra* sp.
- *Mougeotia* sp.

Il semble que le genre *Cladophora* sp. soit largement le plus abondant autour du Léman.

Il est possible de comparer la situation du Léman avec celle du lac de Constance, suivi par la Commission internationale de protection des eaux (IKGB) [46]. *Cladophora* sp. est également l'algue filamenteuse macroscopique la plus abondante du lac de Constance. Son développement dans la zone littorale montre une expansion globale entre 1967 et 1978 suivie d'une régression entre 1978 et 1993. Comme indicateur de niveau eutrophe des eaux, cette algue montre une évolution bien corrélée avec celle de la qualité des eaux du lac de Constance. *Spirogyra* sp., fréquemment associée à *Mougeotia* sp., est très peu fréquente en 1967 et 1978 puis plus largement répandue en 1993. Il semble que *Spirogyra* sp. indique des eaux moins riches en nutriments que *Cladophora* sp.

La répartition de ces algues par secteur d'étude peut être décrite de la manière suivante:

<u>Secteur d'étude</u>	<u>% de colonisation dans les herbiers à macrophytes</u>
<u>Versoix - Messery</u>	
rives genevoises	45%
rives françaises	65%
<u>Thonon - Evian</u>	40%
<u>Meillerie - Villeneuve</u>	
rives françaises	—*
rives valaisannes	30%
rives vaudoises	5%
<u>Vevey - Cully</u>	55%
<u>Lausanne - Morges</u>	50%
<u>Rolle - Promenthoux</u>	70%

* absence d'herbiers à macrophytes mais abondance d'algues relevée entre Locum et St-Gingolph

Il est difficile de donner une explication simple à la variabilité des différentes valeurs citées ci-dessus car de nombreux facteurs interviennent dans le développement des algues filamenteuses. La qualité des eaux est vraisemblablement un paramètre prépondérant mais d'autres facteurs comme la nature des fonds et les contraintes mécaniques (vagues, courants) jouent également un rôle dans la régulation de la croissance des algues.

Toutefois, la valeur la plus extrême, très faible dans la région des Grangettes (5%), peut s'expliquer par les contraintes mécaniques très particulières dans la zone littorale peu profonde où l'énergie des vagues est limitante pour le maintien des organismes non fixés au substrat. De plus, il est probable que le niveau trophique local des eaux soit relativement faible (tronçon de rive peu urbanisé, apports des affluents limités au Grand Canal [31], action épuratrice des marais côtiers).

6.10. Synthèse de l'état actuel

Dans les six secteurs d'étude, quelque 800 ha d'herbiers se répartissent sur moins de la moitié de la zone littorale colonisable (plus de 20 km²).

La profondeur maximale de colonisation se situe généralement vers 6-7 m bien que quelques herbiers soient observés jusqu'à 10 m. Des herbiers denses à *Elodea nuttallii* ont exceptionnellement été trouvés à plus de 20 m de profondeur, à l'abri d'une canalisation.

La richesse floristique des six secteurs est de 23 taxons dont 3 taxons de characées, 1 espèce fixée à feuilles flottantes, 4 espèces émergentes et 15 espèces submergées (annexe 12).



Figure 4: Roselière aquatique devant les Grangettes (VD)

En 1997, l'abondance relative de chaque espèce dans les 776 zones de végétation (secteurs 1-6 + port d'Yvoire) ainsi que leur fréquence dans l'ensemble des secteurs sont les suivantes:

LEMAN (Secteurs 1-6 + Yvoire)			
Nom latin	Nom français	Abondance (%)	Fréquence (%)
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	47	78
<i>Chara</i> gr. <i>vulgaris</i>	Lustre d'eau	12	22
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	12	45
<i>Chara</i> gr. <i>globularis</i>	Lustre d'eau	11	19
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	5	13
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	4	19
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	3	29
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluët	3	24
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	1	21
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.	Roseau commun	1	4
<i>Potamogeton</i> × <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	1	8
<i>Callitriche</i> sp.	Callitriche	<1	<1
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Cornifle immergé	<1	<1
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	Elodée canadienne	<1	<1
<i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	Potamot serré	<1	2
<i>Nitellopsis obtusa</i> J. Gr.	Lustre d'eau	<1	4
<i>Nymphaea alba</i> L.	Nénuphar blanc	<1	<1
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	Phalaris roseau	<1	<1
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	<1	3
<i>Potamogeton gramineus</i> L.	Potamot graminée	<1	<1
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	Renoncule lâche	<1	<1
<i>Scirpus lacustris</i> L.	Scirpe commun	<1	<1
<i>Typha latifolia</i> L.	Massette à feuille large	<1	<1

Tableau 9 : Abondance et fréquence des espèces recensées en 1997

La répartition géographique des espèces recensées autour du lac est présentée en annexe 15 selon leur abondance.

Les principales caractéristiques phytoécologiques du Léman en 1997 sont les suivantes:

- l'espèce dominante du lac est *Potamogeton pectinatus*, présent dans plus des trois-quarts des herbiers et représentant environ la moitié de l'abondance totale;
- les characées, toutes espèces confondues, ont actuellement une place importante dans la flore aquatique du Léman. Elles sont bien réparties autour du lac, colonisant des sites diversifiés et montrant une nette tendance à l'expansion depuis quelques années;

- seul *Potamogeton perfoliatus* montre également une abondance supérieure à 10% de l'abondance totale. Cette espèce subit actuellement la forte concurrence des characées. Elle ne peut donc se maintenir que dans les parties profondes de la beine et sur les substrats à forte granulométrie;
- cinq autres espèces montrent une répartition que l'on peut qualifier d'intermédiaire. Elles sont bien réparties autour du lac avec une présence relevée dans plus de 10% des herbiers mais avec une abondance inférieure à 10% de l'abondance totale. Il s'agit des *Potamogeton lucens* et *P. gr. pusillus*, de *Zannichellia palustris*, d'*Elodea nuttallii* et de *Myriophyllum spicatum*;
- le Léman est un lac très pauvre en macrophytes émergents. *Phragmites australis* ne représente que 1% de l'abondance totale et les autres espèces recensées (scirpe, massette, phalaris) peuvent être qualifiées de très rares sur les rives du lac;
- sur la beine ouverte, les zones abritées des vagues et du courant pouvant accueillir une flore spécialisée, sont quasiment inexistantes autour du Léman. Ainsi, les nupharaies sur la beine ouverte ont toutes disparu. La plupart des installations portuaires, publiques et privées, sont dépourvues de macrophytes fixés à feuilles flottantes (p.ex. nénuphars) ou libres (p.ex. lentille d'eau).

6.11. Sites d'intérêt particulier

En conséquence des résultats énoncés au chapitre précédent, il se dégage en 1997 autour du Léman plusieurs régions d'intérêt phytoécologique particulier. Il s'agit prioritairement des sites suivants:

- ☛ la région des Grangettes (VD)
- ☛ la rive entre Rolle et Promenthoux (VD)
- ☛ la Rade de Genève (GE)
- ☛ les baies des Pierrettes et de Morges (VD)
- ☛ les ports d'Yvoire (F), Port Choiseul (GE), Ripaille (F)

L'importance de ces régions sur le plan de leur richesse et diversité macrophytique est décrite dans cette étude mais leur valeur en tant qu'écosystème est plus globale. Dans ce sens, il s'agit de veiller à la protection de leur intégrité. Les futurs aménagements prévus dans ces régions devront être particulièrement étudiés sous l'angle des impacts qu'ils engendrent dans des écosystèmes de grande valeur pour le Léman.

Les autres régions du lac montrent des particularités phytoécologiques non négligeables mais elles ne jouent pas un rôle de "réservoir macrophytique" aussi important. En fait, si leur état est globalement satisfaisant, ce sont simplement leurs potentialités qui sont plus limitées.

☛ la région des Grangettes (VD)

- ☛ Ce site représente le dernier marais côtier important du Léman et un des rares encore présent au niveau national. Il est classé dans de nombreux inventaires de protection et mérite la plus grande attention au sens de la sauvergarde des biotopes rares et menacés.
- ☛ La valeur phytoécologique de la région est essentiellement due à la présence de plus de 5 ha de roselières aquatiques mais également à une colonisation importante des fonds par des macrophytes submergés (33 ha), en particulier des characées.
- ☛ Les contraintes pour la végétation macrophytique sont en partie naturelles (exposition aux vents, dynamique des sédiments) mais également aggravées par les interventions humaines (exploitations de graviers et de sables, modifications des apports sédimentaires des affluents, etc.). En revanche, des aménagements de digues ont montré un impact positif sur les macrophytes.

☛ la rive entre Rolle et Promenthoux (VD)

- ☛ La colonisation des fonds est la plus importante et la plus régulière des régions étudiées (63% de la beine couverte, 19 ha d'herbiers/km de rive) du fait de conditions très favorables pour les macrophytes submergés sur une beine large (moy. 300 m) avec des sédiments diversifiés.
- ☛ Les berges sont peu aménagées relativement à l'ensemble du Léman.
- ☛ L'espèce dominante du lac, *Potamogeton pectinatus*, est en régression dans ce secteur au profit des characées, ce qui peut être corrélié à l'amélioration globale et locale de la qualité des eaux.
- ☛ Le développement des characées est considérable.
- ☛ Les potamots à grandes feuilles (*Potamogeton perfoliatus* et *P. lucens*) trouvent ici des conditions intéressantes, peu fréquentes autour du lac.

☛ la Rade de Genève (GE)

- ☛ Dans la Rade de Genève, malgré une pression humaine énorme (navigation de plaisance et CGN, baignade, ski nautique, faucardage estival, etc.) et où la quasi-totalité des interfaces est artificielle (murs et enrochements), les conditions d'implantation pour les macrophytes (faible profondeur, sédiments diversifiés, zones abritées), en font un site d'intérêt majeur à l'échelle du Léman.

- ➡ La flore aquatique est riche (11 espèces) pour la taille du site et surtout équilibrée avec neuf espèces quantitativement bien présentes.
- ➡ Il faut noter le retour en force des characées, bien présentes à la fin du siècle dernier, disparues avec l'élévation du niveau trophique des eaux des années 70 et très récemment à nouveau abondantes. Le cas de la Rade est révélateur de l'intégration des conditions du milieu dans le temps par les macrophytes.

☛ les baies des Pierrettes et de Morges (VD)

- ➡ La colonisation de la large beine est très importante dans ces deux baies avec des herbiers très étendus (plus de 70 ha dans chaque baie), denses et riches (9 à 10 espèces) sur des fonds à texture diversifiée.
- ➡ Les potamots à grandes feuilles sont bien représentés dans ces sites (*Potamogeton perfoliatus* et *P. lucens*) et les characées sont en forte extension devant Morges.
- ➡ Si la large beine est fortement colonisée par les macrophytes submergés, les berges sont très aménagées et les deltas d'affluents (Chamberonne, Venoge, Bief, Morges) sont peu actifs. Les macrophytes émergents sont quasiment absents dans ces deux baies.

☛ les ports d'Yvoire (F), Port Choiseul (GE), Ripaille (F)

- ➡ Ces installations portuaires montrent bien la valeur des zones abritées où le développement des macrophytes est généralement très important en surface et en densité avec la présence d'espèces peu ou pas implantées sur la beine ouverte.
- ➡ Les conditions de croissance que les macrophytes trouvent dans les ports favorisent particulièrement *Elodea nuttallii* et les characées qui font une apparition remarquée dans les ports lémaniques, ceci seulement depuis le début des années 90.
- ➡ Le faucardage semble avoir des impacts importants sur la distribution des espèces dans les ports. Ainsi, *Elodea nuttallii* et les characées semblent favorisées, contrairement à l'effet recherché, par rapport à d'autres espèces comme certains potamots à grandes feuilles. Port Choiseul est un exemple de site faucardé où cette tendance est notée. En revanche, les pratiques plus "légères" dans le port d'Yvoire mènent à une situation plus favorable pour la diversité floristique.

7. EVOLUTION ENTRE 1975 ET 1997

Ce chapitre met en évidence l'évolution de la végétation macrophytique à partir de la situation décrite en 1975 [52], complétée par d'autres études menées ultérieurement dans certaines régions lémaniques.

La comparaison avec l'étude de 1975 se fait sur l'abondance relative des espèces recensées lors des campagnes de terrain de 1972 et 1973. L'unité spatiale utilisée est la photo aérienne prise en 1972, qui recouvre environ 600-800 m de rive. L'abondance des espèces recensées en 1997 a été calculée pour la même unité afin de pouvoir comparer les résultats. Ceux-ci prennent en compte la surface et la densité des herbiers ainsi que le pourcentage de répartition des différentes espèces dans chaque herbier.

Les modalités de comparaison sont décrites dans le chapitre 3.2.

A des fins de cohérence dans la systématique, les trois groupes de characées recensés en 1997 ont dû être regroupés sous le terme "characées".

7.1. Secteur 1 : Versoix-Messery (+ enclave de Céligny)

Les données anciennes relatives aux peuplements de macrophytes de cette partie des rives lémaniques concernent essentiellement le territoire suisse (canton de Genève). Le tronçon français entre Hermance et la Pointe de Messery a fait l'objet d'un recensement de la végétation macrophytique complet en 1993 [26] et partiel au niveau de Tougues en 1986 [86].

L'abondance relative des 16 taxons recensés sur les 28 photos aériennes de 1972 est comparée aux résultats de 1997.

SECTEUR 1	Nom latin	Nom français	Abondance relative (%)					
			1975			1997		
			S1	GE	F	S1	GE	F
	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	37	38	30	45	48	30
	Characées	Lustre d'eau	17	17	13	26	27	25
	<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	25	27	15	14	11	30
	<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	-	-	-	3	3	-
	<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	5	5	5	3	3	<1
	<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluët	<1	1	<1	2	3	<1
	<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	2	1	9	2	2	<1
	<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	5	5	6	2	2	3
	<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	4	4	4	2	1	6
	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.	Roseau commun	2	<1	9	1	<1	6
	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Cornifle immergé	-	-	-	<1	<1	-
	<i>Elodea canadensis</i> Michx.	Elodée canadienne	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	<i>Nymphaea alba</i> L.	Nénuphar blanc	-	-	-	<1	<1	-
	<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	1	1	<1	<1	<1	<1
	<i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	Potamot serré	1	1	<1	-	-	-
	<i>Potamogeton filiformis</i> Pers.	Potamot filiforme	<1	<1	<1	-	-	-
	<i>Potamogeton gramineus</i> L.	Potamot graminée	<1	-	<1	-	-	-
	<i>Potamogeton</i> x <i>nitens</i> Weber	Potamot brillant	1	-	9	-	-	-
	<i>Ranunculus</i> subg. <i>Batrachium</i>	Renoncule aquatique	<1	-	<1	-	-	-

Tableau 10 : Abondance relative des espèces recensées dans le secteur 1 (S1), composé des rives genevoises (GE) et françaises (F), en 1975 et en 1997

Il apparaît nettement que *Potamogeton pectinatus* et les characées ont prospéré au détriment de *P. perfoliatus*. L'abondance relative des autres espèces est globalement stable entre les deux études. Il est toutefois possible de préciser quelques points :

- *Elodea nuttallii* n'est pas présente dans les années 70; actuellement, elle est particulièrement abondante dans les zones abritées comme les ports ou dans la Rade;
- les trois roselières aquatiques d'une certaine importance se trouvent à Chens (F), à la Pointe-à-la-Bise (GE, réserve naturelle gérée par Pro Natura) et à Céligny (GE, port privé):
 - la région de Chens possède plusieurs reliques de roselières riveraines dont le bilan est plutôt négatif avec une surface totale qui est passée de quelque 2.1 ha en 1972 à environ 1.8 ha en 1997. Quelque 0.6 ha ont totalement disparus mais une compensation provient du fait que les roselières toujours en place ont augmenté leur surface de près de 20%;

- la deuxième roselière du secteur par sa taille se trouve à la Pointe-à-la-Bise. D'après les photos aériennes, la surface de roselière aquatique est relativement stable (5'300 m² en 1972, 5'400 m² en 1997). L'effet du barrage flottant qui a remplacé la clôture en 1982 semble être efficace puisque la partie principale protégée est en progression contrairement à la petite partie nord non protégée qui a régressé;
- la troisième roselière se trouve dans l'enclave de Céligny, protégée par la digue d'un petit port privé. Sa surface est également stable (1700 m² en 1972 et 1400 m² en 1997) malgré la pose récente d'enrochements en rive. Un curage du port, prévu en 1999, risque encore de la restructurer.



Figure 5 : Roselière des Fourches (Céligny -GE, port privé) (Photo DTPE - juillet 1995)

Les rives genevoises

L'abondance relative des 13 taxons recensés sur les 22 photos aériennes de 1972, comparée aux résultats de 1997, est présentée dans le tableau 10.

L'évolution de la végétation macrophytique des rives genevoises est comparable à celle de l'ensemble du secteur (voir plus haut).

Les rives genevoises ont fait l'objet de plusieurs études depuis les années 70, soit dans leur intégralité en 1984 [62], 1991 [37] et 1995 [67], soit localement au niveau de la Rade de Genève en 1980 [40], 1988 [95], 1995 [33].

Pour les rives genevoises, l'ensemble des données de 1984 [62] et 1995 [67] n'étant pas disponibles, seules des comparaisons qualitatives peuvent être faites. Ainsi l'évolution des espèces submergées est la suivante:

<u>Espèce</u>	<u>Liste floristique de la zone littorale genevoise</u> <u>présence sporadique (+) ou importante (++)</u>			
	<u>1984</u>	<u>1991</u>	<u>1995</u>	<u>1997</u>
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	+	-	+	+
Characées	(+)	+	++	++
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	+	+	+	-
<i>Elodea nuttallii</i> St. John	-	-	+	++
<i>Groenlandia densa</i> Fourr.	+	+	+	-
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	+	++	++	++
<i>Najas marina</i> L.	-	+	-	-
<i>Potamogeton crispus</i> L.	++	+	+	+
<i>Potamogeton filiformis</i> Pers.	+	-	-	-
<i>Potamogeton gramineus</i> L.	+	+	+	-
<i>Potamogeton gr. pusillus</i>	++	++	++	++
<i>Potamogeton lucens</i> L.	++	++	++	++
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	++	++	++	++
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	++	++	++	++
<i>Potamogeton x decipiens</i> Nolte	++	++	++	++
<i>Zannichellia palustris</i> L.	+	++	++	++

Il apparaît dans cette évolution certains points qui méritent d'être relevés :

- parmi les neuf espèces dominantes en 1997, ce sont surtout les characées qui montrent une progression importante, ceci seulement depuis 1995. Encore en 1991, seuls 10% des zones de végétation contenaient des characées alors que ce pourcentage est passé à 62% en 1997. En 1984, elles étaient considérées comme "menacées de disparition" (abondance relative 1972: 16%, 1984: < 1%);
- c'est entre 1991 et 1997 qu'*Elodea canadensis* a progressivement été remplacée par *Elodea nuttallii*. Actuellement, cette dernière est la seule élodée présente, essentiellement dans les ports et les zones abritées (Port Choiseul, Rade);
- pour les sept autres espèces dominantes, la tendance est à la régression pour *Potamogeton perfoliatus*, *P. lucens* et *P. pectinatus* (inversion de la tendance relevée entre 1972 et 1984) et à l'expansion pour *Myriophyllum spicatum*, *P. gr. pusillus*, *Zannichellia lacustris* et *P. x decipiens*;
- certaines espèces, citées comme étant sporadiquement présentes avant 1997 n'ont pas été retrouvées : *Groenlandia densa*, *Najas marina*, *P. filiformis* et *P. gramineus*. Recensées pour la plupart à quelques rares exemplaires, le fait de ne pas les retrouver d'une année à l'autre ne permet pas de tirer de conclusions sur leur évolution.

Pour les espèces émergentes, la situation est relativement stable depuis les années 80. Le degré élevé d'artificialisation des rives ne permet l'implantation de roselières d'une certaine importance qu'à Céligny (les Fourches) et à Collonge-Bellerive (réserve de la Pointe-à-la-Bise).

☛ La Rade de Genève

A la fin du siècle dernier, environ trois-quarts de la Rade étaient colonisés par la végétation submergée, essentiellement par trois espèces: *P. pectinatus*, *Elodea canadensis* et les characées [58].

L'augmentation progressive de la charge polluante dans le Léman a eu pour conséquence la forte régression de ces deux dernières espèces alors que *P. pectinatus*, plus résistant, s'est répandu dans toute la Rade. Une banalisation des herbiers en 1972 fut ainsi constatée, à l'exception des zones peu profondes et abritées du courant où *P. crispus*, *Zannichellia palustris* et *Groenlandia densa* pouvaient se maintenir. Au centre de la Rade se trouvaient quelques grands herbiers de *P. x decipiens*. Dans son ensemble, la colonisation de la Rade était dominée par l'expansion de *P. pectinatus* (52% en abondance) alors que les characées avaient totalement disparu.

En 1980 [40] et 1984 [60,62], l'envahissement de *P. pectinatus* s'accroît et plus des trois-quarts de la Rade sont colonisés par des herbiers monospécifiques. Quelques zones à *P. x decipiens* se maintiennent dans la veine centrale. Dans les zones calmes, *Elodea canadensis* est en expansion contrairement à *Zannichellia palustris* et à *P. x decipiens* qui sont en régression.

En 1988, *P. pectinatus* maintient sa domination des fonds avec 80% d'abondance relative. Seuls *P. perfoliatus*, *P. lucens* et *P. x decipiens* ont encore une certaine importance quantitative. Il faut noter l'absence, pour la première fois, de *Groenlandia densa* et *Elodea canadensis* [95].

Actuellement, grâce en particulier à l'amélioration de la qualité des eaux, il est possible de constater le retour des characées, considérées globalement comme des espèces sensibles au niveau élevé de pollution.

<u>Espèce</u>	<u>Abondance relative dans la Rade de Genève</u>				
	<u>1972</u>	<u>1984</u>	<u>1988</u>	<u>1995</u>	<u>1997</u>
<i>Potamogeton pectinatus</i>	52%	79%	80%	58%	53%
Characées	-	-	-	4%	18%
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	17%	12%	16%	18%	9%
<i>Potamogeton x decipiens</i>	14%	3%	2%	8%	6%
<i>Elodea nuttallii</i>	-	-	-	4%	5%
<i>Potamogeton gr. pusillus</i>	-	2%	< 1%	4%	4%
<i>Zannichellia palustris</i>	9%	-	-	< 1%	3%
<i>Myriophyllum spicatum</i>	-	< 1%	< 1%	2%	2%
<i>Potamogeton lucens</i>	-	4%	2%	2%	< 1%
<i>Potamogeton crispus</i>	4%	< 1%	< 1%	-	< 1%
<i>Elodea canadensis</i>	-	< 1%	-	-	-
<i>Groenlandia densa</i>	4%	< 1%	-	-	-

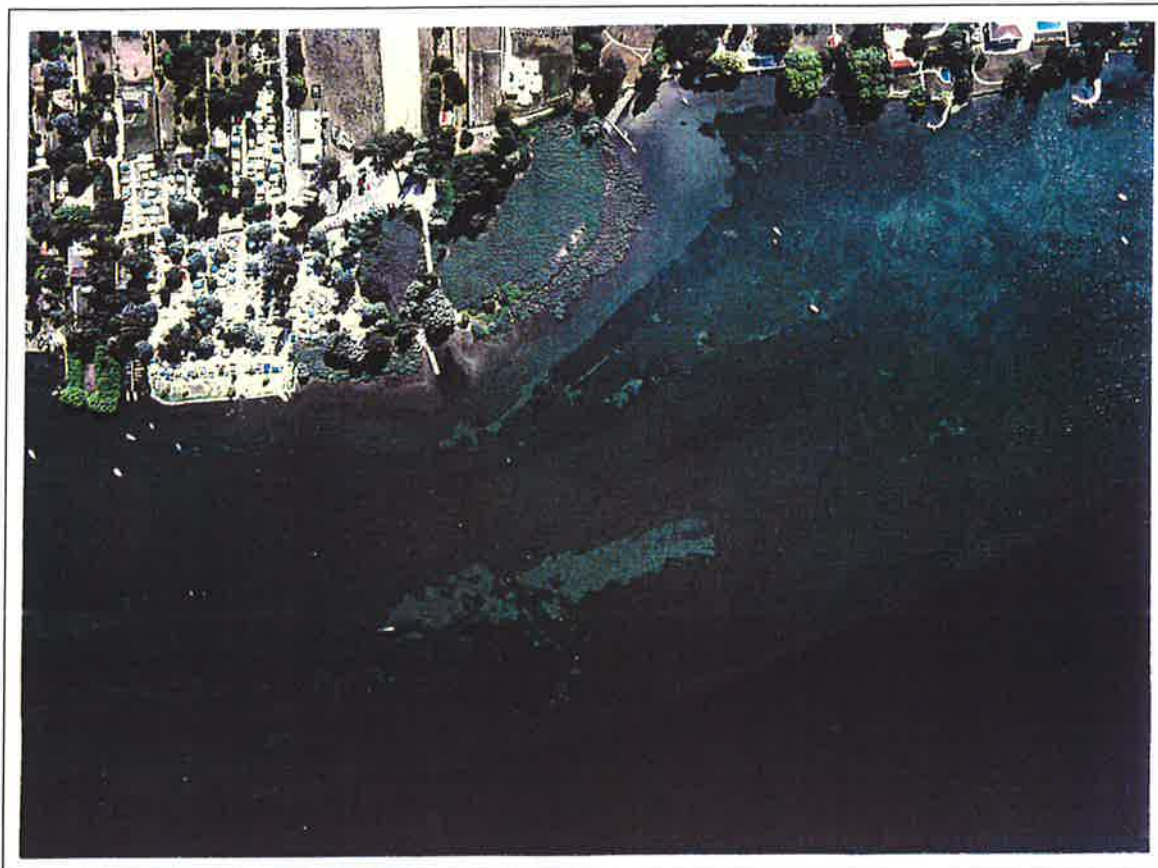


Figure 6 : Région de la Pointe-à-la-Bise (Petit Lac, rive gauche, GE) du 9.8.1972 (ci-dessus) et du 10.7.1997 (ci-dessous) (photos OFT, échelle env. 1:5'000)



Les rives françaises

En comparant l'abondance relative des 16 taxons recensés sur les 6 photos aériennes de 1972 avec les résultats de 1997 (tableau 10), il apparaît les points suivants:

- deux taxons ont doublé leur abondance relative: les characées et *Potamogeton perfoliatus*;
- trois espèces moins abondantes sont en régression: *Zannichellia palustris*, *Myriophyllum spicatum* et *P. x decipiens*;
- cinq espèces, déjà peu fréquentes en 1972, n'ont pas été retrouvées: *P. x nitens*, *Groenlandia densa*, *P. filiformis*, *P. gramineus* et *Ranunculus subg. Batrachium*;
- la régression des roselières aquatiques est de l'ordre de 15% de leur surface (de 2.1 ha à 1.8 ha).

Les données postérieures à 1975 correspondent à des relevés effectués dans le cadre d'études d'impact pour le port de Tougues en 1986 [86] et pour la STEP du Bas-Chablais en 1993 [26].

En 1986, il est fait état de la présence de 5 espèces submergées dans la région de Tougues avec des peuplements dominés par *Potamogeton pectinatus* et *P. perfoliatus* entre 0.5 et 5 m de profondeur. Une comparaison avec les relevés de 1972-73 [52] montrait déjà la régression des roselières aquatiques. L'étude conclut également à l'invasion de *P. pectinatus* et à la quasi-disparition des characées.

En 1993, la situation s'améliore sensiblement avec le recensement de 12 espèces de macrophytes submergés entre Hermance et Messery. *P. pectinatus* est en régression au profit des characées dont la présence des deux groupes *Chara* gr. *globularis* et *Chara* gr. *vulgaris* est confirmée en 1997. La situation des roselières reste préoccupante.

7.2. Secteur 2 : Thonon - Evian

L'abondance relative des 14 espèces recensées sur les 12 photos aériennes de 1972 est comparée aux résultats de 1997 (tableau 11). Cette comparaison entre les deux études est possible avec quelques réserves quant à trois sites particuliers:

- la marina de Port Ripaille s'est fortement aggrandie depuis les années 70;
- le delta de la Dranse n'a pas été recensé à l'intérieur des terres comme en 1975;
- le port des Mouettes à Evian est modernisé depuis 1993.

SECTEUR 2		Abondance relative (%)	
Nom latin	Nom français	1975	1997
<i>Characées</i>	Lustre d'eau	13	25
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	< 1	23
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	14	22
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	-	13
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	23	8
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluët	2	4
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	20	3
<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	16	1
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	5	1
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.	Roseau commun	< 1	-
<i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	Potamot serré	< 1	< 1
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	1	< 1
<i>Ranunculus</i> sp.	Renoncule aquatique	1	< 1
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	Elodée canadienne	1	-
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Cornifle immergé	4	-

Tableau 11 : Abondance relative des espèces recensées dans le secteur 2 en 1975 et en 1997

Il est possible de constater les tendances concernant deux groupes d'espèces dont l'évolution entre 1975 et 1997 est importante et opposée:

- ➡ une tendance à l'extension, dans l'ordre décroissant d'importance, pour les taxons suivants:
 - *Zannichellia palustris*
 - *Elodea nuttallii*
 - *Characées*
 - *Potamogeton pectinatus*
- ➡ une tendance à la régression, dans l'ordre décroissant d'importance, pour les taxons suivants:
 - *Potamogeton perfoliatus*
 - *Myriophyllum spicatum*
 - *Potamogeton* x *decipiens*
 - *Potamogeton lucens*

L'abondance relative des autres espèces est globalement stable entre les deux études. Il est toutefois possible de préciser deux points :

- *Elodea canadensis*, peu abondante mais régulièrement disséminée dans les années 70, a disparu pour faire place à *Elodea nuttallii*; actuellement, celle-ci est particulièrement abondante dans les zones abritées comme Port Ripaille, les ports de Thonon et d'Evian (port du Commerce);
- *Ceratophyllum demersum*, présente ponctuellement dans les ports de Thonon et d'Evian dans les années 70, n'a pas été retrouvée.

Les recensements de 1972-73 ont été élargis au delta de la Dranse (photo aérienne 6374-20) ce qui n'est pas le cas pour cette étude. Cette différence fausse la comparaison des résultats pour quatre espèces dont l'importance est ainsi surestimée par rapport à 1997. La situation en 1972-73 dans le delta de la Dranse était la suivante:

- *Ranunculus trichophyllus* et *Potamogeton crispus* sont abondantes principalement dans ce site;
- plus de la moitié de l'abondance de *P. gr. pusillus* se trouve dans à cet endroit;
- l'abondance de *Myriophyllum spicatum* y correspond au tiers de tout le secteur.

En 1992, une étude a été menée dans la région du delta de la Dranse afin d'évaluer l'impact du rejet de la STEP du SERTE (Syndicat d'Epuration de la Région de Thonon et d'Evian) sur les macrophytes [93]. La présence de 10 espèces de macrophytes a été notée entre St-Disdille et le Mottay (Port Ripaille n'est pas recensé). Toutes ces espèces colonisent la beine en 1997 à l'exception des quelques roseaux de l'embouchure de la Dranse qui ont disparu. En revanche, la disparition des characées, notée entre 1972 et 1992 suite à l'augmentation de l'eutrophisation des eaux, fait place à une recolonisation en 1997.

Concernant l'aménagement de la zone littorale entre Thonon et Evian, il faut noter deux modifications importantes ces dernières années.

Tout d'abord, la marina de Port Ripaille s'est agrandie progressivement depuis le début des années 70. Lors de l'étude de 1975, seule la partie Ouest "Les Saules" existait (env. 1 ha) alors qu'actuellement, la surface en eau est de plus de 5 ha.

Ensuite, le port des Mouettes à Evian s'est également agrandi dans sa partie Ouest dont la construction s'est achevée en 1993. Ce site était le plus colonisé du secteur pour les espèces suivantes:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| - <i>Ceratophyllum demersum</i> | - <i>Elodea canadensis</i> |
| - <i>Potamogeton perfoliatus</i> | - <i>Potamogeton lucens</i> |

Tous ces taxons sont en régression dans le secteur dans les recensements de 1997.



Figure 7 : Région de Port Ripaille (rive sud, Thonon, F) le 10.8.1972 (ci-dessus) et le 13.7.1997 (ci-dessous) (photos OFT, échelle env. 1:6'000)



7.3. Secteur 3 : Meillerie - Villeneuve

L'abondance relative des 12 espèces recensées sur les 16 photos aériennes de 1972 est comparée aux résultats de 1997 (tableau 12). Cette comparaison entre les deux études est facilitée par le fait que l'aménagement de la zone littorale a peu évolué depuis les années 70.

Certains points doivent toutefois être précisés relativement à des sites modifiés ou recensés différemment en 1972-73 et en 1997:

- l'installation portuaire du Bouveret s'est modernisée avec cinq estacades supplémentaires et une entrée de port plus fermée qui limite la circulation d'eau par rapport à la situation des années 70;
- les recensements de 1997 se limitent à la prolongation de la ligne de rive dans les cas du Canal Stockalper, du Vieux Rhône, du Grand-Canal et des Eaux Froides. Ces sites ont été investigués en 1972-73 si bien que certaines espèces présentes uniquement dans ces affluents n'ont pas été prises en compte;
- le barrage flottant à l'embouchure du Rhône ainsi que les digues et andains aménagés entre le Rhône et Villeneuve sont tous postérieurs à 1975.

Pour les macrophytes émergents, il faut noter le cas de *Scirpus lacustris* qui ne colonise plus qu'une station lémanique devant le camping des Grangettes. Les petites scirpaies présentes sur le front de la roselière en 1972-73 ont disparu et la zone actuelle existe grâce à un déplacement effectué lors de la pose du gazoduc et à la présence d'une petite digue de protection.

Pour les macrophytes submergés, il est possible de constater deux tendances concernant plusieurs espèces dont l'évolution entre 1975 et 1997 est importante et opposée:

- une tendance à l'extension, dans l'ordre décroissant d'importance, pour les taxons suivants:
 - *Potamogeton pectinatus*
 - *Characées* (présentes uniquement dans le port de Meillerie en 1972-73)
- une tendance importante à la régression, dans l'ordre décroissant d'importance, pour les taxons suivants:
 - *Potamogeton x decipiens*
 - *Potamogeton perfoliatus*

L'abondance relative des autres espèces est relativement stable entre les deux études.

SECTEUR 3		Abondance relative (%)	
Nom latin	Nom français	1975	1997
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	50	65
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.	Roseau commun	18	14
Characées	Lustre d'eau	2	11
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	9	3
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	-	2
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	-	2
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluet	2	1
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	5	1
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	5	1
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	Elodée canadienne	1	< 1
<i>Phalaris arundinacea</i>	Phalaris roseau	-	< 1
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	< 1	< 1
<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	8	< 1
<i>Scirpus lacustris</i> L.	Scirpe commun	< 1	< 1
<i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	Potamot serré	< 1	-
<i>Potamogeton gramineus</i> L.	Potamot graminée	< 1	-

Tableau 12 : Abondance relative des espèces recensées dans le secteur 3 en 1975 et en 1997

Une étude postérieure à 1975 concernant, entre autres, les macrophytes submergés est le suivi biologique de la zone littorale de Grangettes, relatif à l'exploitation de graviers et de sables [31]. Les principales conclusions de cette étude, dont les recensements datent de 1991, sont les suivantes:

- III ➔ la colonisation de la beine représente quelque 34 ha de macrophytes submergés entre le Rhône et l'Eau Froide dont les trois-quarts se trouvent entre Villeneuve et le Grand-Canal et un quart entre celui-ci et le Rhône.
Cette situation est très similaire à celle de 1997 (33 ha);
- III ➔ la richesse floristique est de huit taxons submergés.
*La seule différence entre 1991 et 1997 est la substitution d'*Elodea nuttallii* à *Elodea canadensis*;*
- III ➔ la végétation est dominée par *P. pectinatus* présent dans 90% des peuplements et dans une moindre mesure par *P. perfoliatus* (30% des peuplements). Les six autres espèces sont rares dans le secteur concerné.
*L'évolution majeure entre 1991 et 1997 est l'expansion des characées quasiment inexistantes encore en 1991 et, dans une moindre mesure, l'apparition d'*Elodea nuttallii*.*

La situation de 1991 est similaire à celle de 1997 et très différente de celle de 1975 lorsque la beine était décrite comme un désert n'abritant que très peu de macrophytes submergés (quelques *P. pectinatus*, *perfoliatus* et *lucens*). La surface colonisée en 1975 est estimée à environ un quart de la situation des années 90. Les facteurs limitants pour la végétation macrophytique incriminés à l'époque étaient

le niveau trophique insuffisant du substrat et les conditions mécaniques trop sévères. En 1991 et 1997, la plus forte colonisation de la zone peu profonde laisse penser que l'hypothèse hydraulique n'est pas satisfaisante puisque les contraintes mécaniques sont toujours aussi importantes. Quant au niveau trophique local des sédiments (limons, sables et graviers), il est peu vraisemblable qu'il soit si faible qu'il limite la croissance des macrophytes submergés. Dans ce sens, l'étude de la colonisation par ces plantes sur la rive sud du lac de Neuchâtel [34,35], dont la typologie est comparable à celle des Grangettes et dont le niveau trophique des eaux est plus faible, montre que des herbiers à macrophytes submergés peuvent être très étendus et denses.

Les roselières des Grangettes

Analyser l'évolution de la surface couverte par les roseaux aquatiques est délicate et requiert des supports photographiques et des méthodes de calculs comparables. Dans ce sens, l'interprétation des surfaces a été refaite à partir des photos de 1972 afin de pouvoir comparer les résultats avec la situation de 1997.

Sur l'ensemble des rives vaudoises entre le Rhône et Villeneuve, la régression des roselières aquatiques est nette avec une perte de 20% de surface colonisée. De 6.8 ha en 1972, celle-ci est passée à 5.5 ha en 1997.

Il est possible de discerner quatre tronçons de rive qui ont suivi des évolutions très différentes:

Tronçon Rhône - Vieux Rhône

Toutes les roselières présentes en 1972 ont disparu, soit plus de 2000 m²; en compensation, une petite roselière est apparue à l'embouchure du Rhône (env. 200 m²). Une digue aménagée en 1977 n'a pas permis le maintien d'une surface de quelque 1100 m².

Tronçon Vieux Rhône - Grand-Canal

Une progression de 14% de la surface couverte par *Phragmites australis* est notée sur ce tronçon entre 1972 et 1997. L'amélioration de la situation est nette à proximité du Grand-Canal où des digues ont visiblement permis le développement des roselières en étendue et en densité. En revanche, d'autres petites roselières ont disparu sur des sites actuellement à l'abri ou non de digues.

Tronçon Grand-Canal - digue des Grangettes

Une progression de 86% des roselières est mesurée sur ce tronçon. Les peuplements proches du Grand-Canal sont actuellement en mauvais état même si la surface colonisée est plus importante qu'en 1972. La digue au niveau du gazoduc, construite en 1996, semble être efficace puisque les roseaux sont plus nombreux et plus denses aujourd'hui. La seule scirpaie actuellement connue autour du Léman se trouve également à l'abri de cette digue.

Tronçon digue des Grangettes - Eau Froide (Villeneuve)

Une forte régression de 40% apparaît dans ce tronçon pourtant protégé par une digue brise-vagues aménagée entre 1976 et 1979. Les roselières de 1972 étaient plus morcellées sur leur front mais elles formaient une bande plus large sur l'ensemble du tronçon.



Figure 8 : Région des Grangettes (VD) le 10.8.1972 (ci-dessus) et le 13 juillet 1997 (ci-dessous) (photos OFT, échelle env. 1:6'000)



L'étude de l'évolution postérieure à 1975 des roselières aquatiques des Grangettes permet de mieux appréhender l'intégration par les roseaux des différentes modifications du milieu.

Un suivi régulier de la région des Grangettes est effectué depuis plusieurs années par M. J.-L. Moret (Musée et Jardin botanique, Lausanne):

- En 1976, la Ligue vaudoise pour la protection de la nature, par sa Commission des Grangettes, et l'Etat de Vaud ont initié un programme de protection et de surveillance des roselières subsistant sur le littoral de la basse plaine du Rhône. Dans ce cadre, la construction de brise-vagues destinés à créer, en avant des roselières, des zones de calme dépourvues de déchets, a été entreprise. Depuis, un suivi de ces ouvrages et des roselières abritées et exposées est en cours [75,76].

L'analyse des roselières entre 1972 et 1991, spécialement axée sur l'impact des dragages, permet d'émettre certaines conclusions [31]:

- la disparition des roselières entre le Rhône et le Vieux Rhône ne semble pas liée à l'exploitation des gravières;
- la fosse du Gros-Brasset a probablement fortement contribué à la disparition de la roselière lacustre;
- la construction d'andains et de digues a eu localement des résultats positifs, en particulier devant le Gros-Brasset, les Grands Larges et les Grangettes.

Les surfaces de roselières en 1991 sont les suivantes:

- 5.1 ha de roselières aquatiques entre le Rhône et Villeneuve (6.8 ha en 1972 et 5.5 ha en 1997),
dont 3.1 ha de roselières aquatiques derrière la digue des Grangettes (5.0 ha en 1972 et 3.0 ha en 1997).

Les roselières aquatiques abritées derrière la digue des Grangettes montrent une évolution intéressante:

- régression marquée entre 1972 et 1980 (de 5.0 ha à 2.3 ha, *méthode de calcul différente Ecotec-Moret [76]*);
- évolution positive entre 1980 et 1992 avec une surface de roselières qui passe de 2.3 ha à 3.1 ha (*méthode de calcul Moret [75,76]*);
- cette même surface passe de 3.1 ha en 1992 à 3.0 ha en 1997 (*méthode de calcul différente Ecotec-Moret [76]*);

Si l'étendue des roselières aquatiques semble se stabiliser depuis le début des années 90, il est possible de détailler certains points. Tout d'abord, l'état des surfaces situées derrière la digue en bon état est stationnaire. En revanche, les roseaux présents derrière la partie affaissée de la digue et dans l'axe des vents dominants montrent un recul plus marqué. Il faut en déduire que l'effet cumulé de la proximité de la fosse de dragage (150 à 300 m de la digue) et de la protection

plus ou moins efficace de la digue a une importance déterminante sur le développement des roseaux. De plus, il a été noté un effet pervers de cette digue sur la qualité physico-chimique des eaux [31]. Il apparaît que le manque de circulation d'eau entre la digue et la rive peut créer une eutrophisation locale qui mène à un affaiblissement des tiges du roseau [76]. En fait, c'est la proportion de parenchyme spongieux qui augmente au détriment du sclérenchyme (tissu de soutien). Ainsi le roseau a une belle stature mais devient plus fragile.

En conclusion, les principaux points à relever dans l'évolution des roselières du delta du Rhône sont les suivants:

- ☛ entre le début du siècle et la fin des années 50, les rives étaient colonisées par les nénuphars blancs et jaunes (*Nymphaea alba* et *Nuphar lutea*) sur le front des roselières et celles-ci montraient une diversité intéressante: roseau (*Phragmites australis*), scirpe (*Scirpus lacustris*), massette (*Typha latifolia*), iris jaune (*Iris pseudacorus*), littorelle (*Littorella uniflora*), renoncule grande-douve (*Ranunculus lingua*) et pesse d'eau (*Hippuris vulgaris*). Actuellement, il ne reste que le roseau et quelques très rares scirpes;
- ☛ l'évolution de la surface des roselières aquatique est complexe. Dans les années 40, les roseaux colonisaient la rive de manière quasiment continue entre le Rhône et Villeneuve. Une forte régression de l'ordre des trois-quarts de leur surface est notée en 1972 [53]. Dans le secteur des Grangettes et selon l'étude de Moret [75,76], la régression continue entre 1976 et 1982 (env. 20%). La tendance s'inverse entre 1980 et 1992 avec une progression des roselières d'environ 35%. En comparant l'étude de Moret relative à la situation de 1992 [76] et les résultats de 1997, la tendance est à la stabilisation;
- ☛ pour le site des Grangettes, la construction de la digue brise-vagues s'est terminée en 1979 (limitation de l'impact des vagues et des déchets flottants);
- ☛ les principales étapes de l'exploitation de gravier dans la zone littorale sont les suivantes: exploitation de la fosse du Gros-Brasset entre 1955 et 1966 et depuis 1985, des Grangettes depuis 1966 et du Grand-Canal depuis 1987;
- ☛ le niveau trophique des eaux du Léman a globalement augmenté jusqu'à la fin des années 70 puis la tendance s'est inversée et son état continue de s'améliorer depuis cette période.

Il faut donc constater un effet conjugué de l'augmentation du niveau trophique des eaux, de l'impact mécanique direct des déchets flottants et indirect des exploitations de gravier pour expliquer la forte régression des roselières jusqu'au début des années 80. Ensuite, l'amélioration de la qualité physico-chimique des eaux et la construction d'ouvrages de protection contre l'érosion ont permis de stabiliser la situation.

7.4. Secteur 4 : Vevey - Cully

L'abondance relative des 8 espèces recensées sur les 11 photos aériennes de 1972 est comparée aux résultats de 1997 (tableau 13). Hormis la construction du port de la Pichette-Est en 1994 (inexistant en 1972-73, détruit en 1987), l'ensemble de la rive entre Vevey et Cully n'a pas été modifiée depuis les années 70.

SECTEUR 4		Abondance relative (%)	
Nom latin	Nom français	1975	1997
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	52	42
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	< 1	27
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	-	7
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	2	7
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	39	6
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluët	1	6
Characées	Lustre d'eau	-	3
<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	5	2
<i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	Potamot serré	-	< 1
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	< 1	< 1
<i>Potamogeton gramineus</i> L.	Potamot graminée	-	< 1
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	1	< 1
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	Renoncule lâche	-	< 1

Tableau 13 : Abondance relative des espèces recensées dans le secteur 4 en 1975 et en 1997

Si *Potamogeton pectinatus*, espèce dominante du Léman, se maintient dans ce secteur, ce n'est pas le cas d'autres taxons:

- *Potamogeton perfoliatus* est en forte régression,
- *Zannichellia palustris* est actuellement bien plus abondante.

Ces deux espèces ayant un spectre trophique très large (valeur bioindicatrice limitée), il est donc difficile de donner une explication simple à cette évolution. La régression de *P. perfoliatus* est globalement remarquée dans l'ensemble du Léman mais avec une proportion maximale dans ce secteur.

L'abondance relative des autres espèces est stable entre les deux études. Il faut toutefois noter, d'une part l'apparition d'*Elodea nuttallii* qui se généralise dans tout le lac et, d'autre part, une moindre avancée des characées qui ne trouvent pas, dans ce secteur, des conditions d'implantation favorables.

Les recensements effectués en 1991 dans le cadre de l'étude des milieux naturels aquatiques de la zone littorale vaudoise du Léman [36] sont synthétisés dans le plan directeur cantonal des rives vaudoises [25].

Il apparaît dans cette étude que le secteur compris entre Corseaux et Cully représente une valeur phytoécologique élevée.

Les paramètres considérés se rapportent essentiellement à une diversité élevée (11 taxons) malgré une beine étroite et à la présence de plantes peu fréquentes ou rares comme le potamot crépu (*P. crispus*) et la renoncule aquatique (*Ranunculus* subg. *Batrachium*).

Ces conclusions corroborent bien celles décrites au chapitre 6.4.

7.5. Secteur 5 : Lausanne - Morges

L'abondance relative des 7 espèces recensées sur les 14 photos aériennes de 1972 est comparée aux résultats de 1997 (tableau 14). Les aménagements créés pendant cette période concernent principalement les installations portuaires comme le delta du Bief (en construction en 1972), la modification du port du Petit Bois (digues extérieures) et des Pierrettes (aggrandissement côté large). Les plages et les embouchures d'affluents n'ont globalement pas été modifiées.

Les abondances relatives des espèces présentes en 1975 et en 1997 sont les suivantes:

SECTEUR 5		Abondance relative (%)	
Nom latin	Nom français	1975	1997
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	67	63
Characées	Lustre d'eau	-	16
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	15	5
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	10	5
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluet	4	5
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	4	4
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	-	2
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	-	< 1
<i>Phalaris arundinacea</i>	Phalaris roseau	-	< 1
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.	Roseau commun	-	< 1
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	< 1	< 1
<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	-	< 1
<i>Typha latifolia</i> L.	Massette à feuille large	-	< 1
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	Elodée canadienne	< 1	-

Tableau 14 : Abondance relative des espèces recensées dans le secteur 5 en 1975 et en 1997

Si *Potamogeton pectinatus* se maintient dans ce secteur, ce n'est pas le cas d'autres taxons:

- *Potamogeton perfoliatus* et *Zannichellia palustris* sont en régression. Si la raréfaction de *P. perfoliatus* est globalement remarquée dans l'ensemble du Léman, l'évolution de la zannichellie est plus complexe avec toutefois une tendance générale à l'expansion;

- les characées font une apparition remarquable, principalement entre le Bief et le Boiron;
- six autres espèces sont recensées en 1997 et pas en 1975: *Elodea nuttallii*, *Myriophyllum spicatum*, *P. x decipiens*, *Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea* et *Typha latifolia*. Ces trois dernières se trouvent à l'embouchure de la Morge qui est dépourvue de végétation émergente en 1975. Cette évolution positive est suffisamment rare autour du Léman pour être soulignée.
La valeur bioindicatrice limitée de ces six espèces ainsi que leur faible abondance, ne permettent pas de tirer de conclusions particulières quant à l'évolution phytoécologique du secteur.

L'abondance relative des trois autres espèces est relativement stable entre les deux études (*P. gr. pusillus*, *P. lucens*, *P. crispus*). Il faut également noter l'apparition d'*Elodea nuttallii* qui se généralise dans tout le lac au détriment d'*Elodea canadensis*. *Elodea nuttallii* est apparue en particulier dans le port de Vidy (partie Ouest) où elle est même devenue envahissante.

Une comparaison des résultats de 1991 et de 1997 est possible, comme pour le secteur précédent, avec les conclusions de l'étude des milieux naturels aquatiques de la zone littorale vaudoise du Léman [36].

Il apparaît que le secteur compris entre Lausanne et Morges représente une valeur phytoécologique faible à élevée selon les tronçons étudiés en 1991:

☛ Ouchy - la Chamberonne: valeur phytoécologique moyenne

La forte proportion de rives aménagées, en particulier pour des installations portuaires, est relevée et opposée à la valeur de la beine assez large et bien colonisée par les macrophytes.

La richesse et la diversité floristique sont semblables à celles de 1997.

*Il faut relever l'évolution des characées d'une part et d'*Elodea nuttallii* d'autre part. Si les characées sont encore absentes en 1991, *Elodea nuttallii* fait son apparition dans le Léman. Parmi les cinq seuls sites colonisés en 1991 sur l'ensemble des rives vaudoises, il est relevé sa forte densité dans le port d'aviron de Vidy qui est proposé comme un site possible d'introduction de l'espèce dans le Léman.*

☛ la Chamberonne - les Pierrettes: valeur phytoécologique élevée

Ce petit tronçon de rive est intéressant par une grande richesse d'espèces, principalement *P. pectinatus*, *P. perfoliatus*, *P. gr. pusillus* et *P. x decipiens*, colonisant une large beine à sédiments fins.

*Cette situation est comparable en 1997 avec une prédominance plus marquée de *P. pectiné*.*

☛ les Pierrettes - St-Sulpice: valeur phytoécologique faible

Ce tronçon de rive est caractérisé par des herbiers étendus mais pauvres en espèces, dominés par *P. pectinatus*.

Cette situation est comparable en 1997.

- ☛ St-Sulpice - Préverenges: valeur phytoécologique moyenne
Ce secteur est typique de l'organisation en ceintures, entre la rive (fonds caillouteux) et le mont (sédiments fins), des macrophytes submergés sur une large beine.
Cette situation est comparable en 1997.
- ☛ Préverenges - le Boiron: valeur phytoécologique élevée
Ce secteur est diversifié concernant la nature des fonds (galets, graviers, sables) et les espèces de macrophytes. La beine est large et densément colonisée. La rareté des marais côtiers vaudois entre Villeneuve et Genève est relevée (quelques roseaux et massettes à l'embouchure de la Morge).
*Cette situation est différente de celle de 1997 essentiellement par le développement des characées et d'*Elodea nuttallii*. En 1991, seules quelques très rares characées sont recensées et *Elodea nuttallii* ne colonise que le port du Petit Bois.*

7.6. Secteur 6 : Rolle - Promenthoux

L'abondance relative des 9 espèces recensées sur les 12 photos aériennes de 1972 est comparée aux résultats de 1997 (tableau 15). Très peu d'aménagements ont été effectués pendant cette période (p.ex. digue de protection à l'entrée du port de Rolle). Il faut relever que le bras mort de la Promenthouse (étang Napoléon) est un site potentiellement intéressant pour les macrophytes (p.ex. roseau, nénuphar blanc) mais n'est actuellement plus en contact avec le lac, même en période de hautes eaux estivales.

Les abondances relatives des espèces présentes en 1975 et en 1997 sont les suivantes:

SECTEUR 6		Abondance relative (%)	
Nom latin	Nom français	1975	1997
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	59	23
Characées	Lustre d'eau	< 1	33
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	30	20
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	1	4
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluet	< 1	2
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	9	14
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	-	2
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	-	1
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.	Roseau commun	-	< 1
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	< 1	< 1
<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	1	1

Tableau 15 : Abondance relative des espèces recensées dans le secteur 6 en 1975 et en 1997

Ce secteur est intéressant et particulier à plusieurs égards:

- ➡ *Potamogeton pectinatus* est en nette régression au profit des characées. Dans les autres secteurs d'étude, *P. pectinatus* progresse ou se maintient. D'autre part, le développement des characées est considérable;
- ➡ la raréfaction de *P. perfoliatus* est globalement remarquée dans l'ensemble du Léman; la zannichellie montre une tendance générale à l'expansion;
- ➡ *P. lucens*, espèce peu répandue dans le Léman, trouve dans ce secteur des conditions d'implantation favorables, probablement les plus intéressantes du lac;
- ➡ trois autres espèces sont recensées en 1997 et pas en 1975: *Elodea nuttallii*, *Myriophyllum spicatum* et *Phragmites australis*. L'élodée se propage rapidement sur tout le périmètre du Léman, en particulier dans les ports, ceci depuis le début des années 90 (cf chap. 8.7.).

Une comparaison des résultats de 1991 et 1997 est possible, comme pour les deux secteurs précédents, avec les conclusions de l'étude des milieux naturels aquatiques de la zone littorale vaudoise du Léman [36].

La rive entre Rolle et Promenthoux représente une valeur phytoécologique moyenne à élevée selon les tronçons étudiés en 1991:

☛ Rolle - Dully: valeur phytoécologique élevée

La surface d'accueil est largement colonisée par les macrophytes submergés qui montrent une répartition riche et équilibrée. Quelques characées sont recensées mais pas d'*Elodea nuttallii*.

La richesse et la diversité floristique sont semblables à celles de 1997.

Les characées sont en forte expansion et Elodea nuttallii fait son apparition au détriment d'Elodea canadensis, présente sporadiquement en 1991.

☛ Baie de la Dullive: valeur phytoécologique moyenne

Ce tronçon de rive est caractérisé par des herbiers plus petits qu'en amont et en aval et moins riches en espèces, dominés soit par *P. pectinatus*, soit par *P. perfoliatus*.

Cette situation est comparable en 1997 avec toutefois une évolution positive de l'équilibre des peuplements illustrée par l'expansion des characées et de P. lucens.

☛ la Dullive - Promenthoux: valeur phytoécologique élevée

La beine caillouteuse et sableuse de ce tronçon de rive est intéressante avec des peuplements étendus et bien diversifiés. On note le développement des characées à la pointe de Promenthoux. Plusieurs petits ports privés abritent une végétation diversifiée.

Cette situation est comparable en 1997 hormis le développement généralisé des characées et d'Elodea nuttallii.

7.7. Les ports - évolution 1975 - 1997

L'évolution de cinq ports autour du Léman est traitée en dehors de l'approche sectorielle détaillée dans les six chapitres précédents. Seul le port d'Yvoire ne fait pas partie des six secteurs d'études. Les conclusions de l'étude de 1975 sont décrites pour les cinq ports et les autres références postérieures sont utilisées afin de mieux appréhender l'évolution de la végétation macrophytique jusqu'à aujourd'hui.

Port Choiseul (commune de Versoix - GE)

Au début des années 70, le port est colonisé principalement par *P. pectinatus* et *P. lucens*. On y trouve également *P. perfoliatus*, *P. gr. pusillus*, *P. crispus* ainsi que quelques *Myriophyllum spicatum*, *Elodea canadensis*, *Zannichellia palustris* et characées [52,53]. Avec 9 taxons, la richesse floristique du port est plus importante qu'en 1997 (6 taxons).

En 1984, il est noté une densification des herbiers et une diminution de la richesse spécifique avec la disparition de *Zannichellia palustris* et de *P. crispus*. *P. lucens* et *P. gr. pusillus* sont en expansion alors que les characées régressent [60,62].

En 1991, seules 3 espèces sont recensées dans le port. *P. pectinatus* qui domine les herbiers, est accompagné de *P. perfoliatus* et *P. lucens* [37].

En conclusion, la tendance ces dernières années est au maintien de *P. pectinatus* et à l'expansion d' *Elodea nuttallii* et des characées, ceci au détriment des potamots à grandes feuilles comme *P. perfoliatus* et *P. lucens*. Ce constat est à mettre en relation avec les pratiques de faucardage.

Le Creux de Genthod (commune de Genthod - GE)

Au début des années 70, le site est principalement colonisé par *P. pectinatus* et *P. perfoliatus*. Dans la zone la moins profonde prolifèrent les potamots à feuilles étroites (*P. pectinatus* et *P. gr. pusillus*) alors que plus au large dominent les potamots à grandes feuilles (*P. perfoliatus* et *P. lucens*) et les characées. Quelques *Myriophyllum spicatum*, *P. crispus* et *Nymphaea alba* sont également recensées dans le petit port privé [52,53]. Avec 8 taxons, la richesse floristique du port est la même qu'en 1997 si l'on regroupe les taxons de characées comme cela est fait dans l'étude de 1975.

En 1984, la situation du Creux de Genthod n'est pas présentée mais il faut relever l'évolution des characées, décrites comme "en voie de disparition" sur l'ensemble des rives genevoises [60,62].

En 1991, 6 espèces sont recensées dans la baie. *P. pectinatus*, qui domine nettement les herbiers, est accompagnée de characées et de *P. perfoliatus*, *P. gr. pusillus* et *P. lucens*. *Nymphaea alba* est toujours présente dans le port privé [37].

En conclusion, la tendance ces dernières années est à la réapparition massive des characées qui avaient disparu au début des années 80. Il est intéressant de noter qu'au Creux de Genthod, la pratique du faucardage a probablement peu d'influence sur les macrophytes, d'une part sur les potamots à feuilles étroites à faible profondeur (repousse l'année suivante) et, d'autre part, sur les characées de petite taille à plus grande profondeur (peu touchées par la faucardeuse). Peut-être les grands potamots (*P. perfoliatus* et *P. lucens*) souffrent-ils ainsi de la concurrence des characées, en particulier lors des premiers stades de leur développement.

Le port d'Yvoire (commune d'Yvoire - Haute-Savoie)

Au début des années 70, le port possède déjà une diversité floristique importante et répartie de manière équilibrée.

Dans le port principal se trouvent 9 taxons dont une présence importante de characées et de *Groenlandia densa*. Dans le petit port Est, trois espèces sont recensées, *P. pectinatus* et *P. x decipiens* plus quelques *P. lucens*. Entre les deux ports, les fonds à structure plus grossière n'abritent que *P. pectinatus* et *P. perfoliatus*. Avec 9 taxons, la richesse floristique des deux ports est comparable à celle de 1997.

La situation n'a pas beaucoup changé dans le port principal; dans le petit port Est, il faut noter la disparition des potamots à grandes feuilles (*P. lucens* et *P. x decipiens*) au profit des characées et d'*Elodea nuttallii*.

En conclusion, la situation à Yvoire est relativement stable. Ceci surtout par le fait que l'importance des characées, qui y était exceptionnelle pour le Léman il y a 25 ans, est beaucoup plus commune actuellement. Concernant le faucardage, son impact semble limité puisque les espèces présentes forment encore des herbiers diversifiés.

Le port de Thonon (port de Rives, commune de Thonon - Haute-Savoie)

En comparant les photos aériennes de 1972 et 1997, on constate que l'intérieur du port a beaucoup changé avec la construction de onze longues estacades (côté Genève) et de la digue du débarcadère.

Au début des années 70, le port présente un intérêt très particulier car il est le seul autour du Léman à être fortement colonisé par les characées (*Chara* gr. *globularis* et *Nitellopsis obtusa*).

Dans le port principal se répartissent 11 taxons dont une présence importante, hormis les characées, de *P. pectinatus*, *P. lucens* et *P. x decipiens*.

Si les autres espèces sont peu abondantes, il faut noter la présence discrète de *Ceratophyllum demersum* qui est caractéristique de cette région du lac mais qui n'est plus recensée en 1997.

Il est difficile de cerner l'évolution phytoécologique du port de Rives du fait des aménagements importants concernant la plus grande partie de la zone abritée. La modernisation des installations a modifié la nature des sédiments et la profondeur. Dès lors, les conditions d'implantation pour les macrophytes ne sont plus comparables entre les études de 1975 et 1997.

Actuellement, avec l'absence de faucardage estival, il faut noter la profondeur importante du port, globalement supérieure à 4 m, qui limite le développement excessif de la plupart des espèces.

Les ports d'Ouchy (commune de Lausanne - VD)

En comparant les photos aériennes de 1972, 1991 et 1997, on constate que les ports d'Ouchy n'ont pas subi de transformations importantes et que les conditions d'implantation pour les macrophytes sont comparables.

Au début des années 70, les ports d'Ouchy ont deux aspects différents avec une forte colonisation du Vieux Port par *P. pectinatus* et une dominance de *P. gr. pusillus* dans les ports de plaisance, de la CGN et le port marchand.

Dans le Vieux Port ne se répartissent que 5 taxons dont une présence importante, hormis *P. pectinatus*, de *P. lucens* et *P. perfoliatus*.

Dans les trois autres ports, la présence généralisée de *P. gr. pusillus* est non seulement rare autour du Léman mais également le signe que le niveau trophique y était déjà très élevé au début des années 70. Cette espèce a fortement régressé au profit de *P. pectinatus* et d'*Elodea nuttallii*.

7.8. Synthèse de l'évolution 1975 - 1997

En considérant les résultats de l'étude 1975 se rapportant aux secteurs étudiés en 1997, ce sont 93 photos aériennes à partir desquelles la couverture de la beine par les macrophytes a été comparée aux résultats de 1997.

La richesse floristique passe de 19 taxons en 1975 à 21 taxons en 1997 (en groupant les characées, annexe 12).

Les abondances relatives des espèces présentes en 1975 et en 1997 sont les suivantes:

LEMAN (secteurs 1-6)		Abondance relative (%)		
Nom latin	Nom français	1975		1997
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	49	→	47
Characées	Lustre d'eau	8	↗	23
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	22	↘	12
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	5	→	5
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	5	→	4
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluet	2	→	3
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	-	↗	3
<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	4	↘	1
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	2	→	1
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.	Roseau commun	2	→	1
<i>Callitriche</i> sp.	Callitriche	-		< 1
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Cornifle immergé	< 1		< 1
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	Elodée canadienne	< 1		< 1
<i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	Potamot serré	< 1		< 1
<i>Nymphaea alba</i> L.	Nénuphar blanc	< 1		< 1
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	< 1		< 1
<i>Potamogeton filiformis</i> Pers.	Potamot filiforme	< 1		-
<i>Potamogeton gramineus</i> L.	Potamot graminée	< 1		< 1
<i>Potamogeton</i> x <i>nitens</i> Weber	Potamot brillant	1		-
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	Phalaris roseau	-		< 1
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	Renoncule lâche	< 1*		< 1
<i>Scirpus lacustris</i> L.	Scirpe commun	< 1		< 1
<i>Typha latifolia</i> L.	Massette à feuille large	-		< 1

* En 1975, les renoncules submergées sont classées dans le groupe *Ranunculus* subgen. *Batrachium*

Tableau 16 : Abondance relative des espèces recensées dans les six secteurs en 1975 et en 1997

L'évolution des macrophytes les plus abondants du Léman depuis 25 ans peut être décrite ainsi:

- ➡ *Potamogeton pectinatus* reste l'espèce la plus répandue et la plus abondante du lac;
- ➡ les characées font une réapparition très impressionnante qui est liée à l'amélioration globale de la qualité des eaux dans la zone littorale. Leur abondance relative a triplé entre 1975 et 1997;
- ➡ *P. perfoliatus* est en nette régression. Cette évolution est probablement liée d'une part à la baisse du niveau trophique des eaux et, d'autre part, à la concurrence des characées. Le *P. x decipiens* suit la même évolution mais de manière moins marquée;
- ➡ *Elodea nuttallii* fait une apparition remarquable et son extension depuis 1991 est très importante. Comme espèce très compétitive, particulièrement dans les ports, son développement est peut-être facilité par l'homme à travers le faucardage et la navigation;
- ➡ les roselières, essentiellement confinées dans la région des Grangettes, ont régressé jusqu'au début des années 80 puis une amélioration est notée, suivie d'une stabilisation dans les années 90. Cette évolution est bien corrélée à celle de la qualité des eaux du lac.

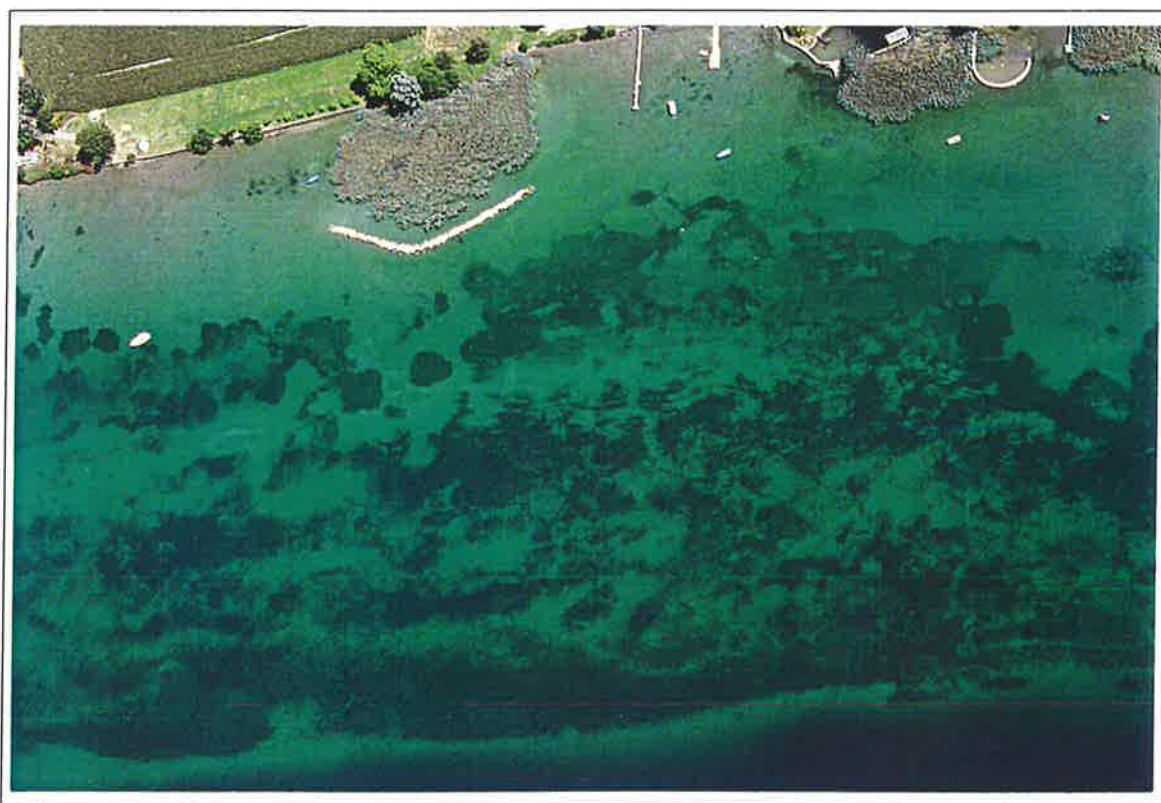


Figure 9 : Zone littorale dans la région de St-Joseph du Lac (F) (photo ECOTEC 1993)

Deux espèces n'ont pas été retrouvées en 1997. Il s'agit de *P. x nitens* Weber (potamot brillant) et de *P. filiformis* Pers. (potamot filiforme).

Ces deux espèces sont déjà rares en 1975 puisque présentes dans moins de 10% des photos aériennes considérées. Ces espèces n'ont jamais été répandues dans les lacs suisses, puisqu'elles ont une fréquence inférieure à 4% dans près de 4'000 relevés effectués entre 1977 et 1988 dans 9 lacs suisses [83]. Leur valeur bioindicatrice est limitée même si *P. filiformis* est considéré comme une plante typique des milieux pauvres en substances nutritives (oligotrophie) [63]. *P. x nitens* est une espèce eurytrophe [60].

L'espèce nouvelle la plus remarquable est sans conteste *Elodea nuttallii*. Absente du Léman dans les années 70, elle est encore très peu répandue en 1991 lorsqu'elle n'est recensée que dans 5 stations, soit moins de 1% des relevés de l'ensemble des rives vaudoises du Léman [36]. Parmi les références récentes dans les lacs suisses, il faut citer le lac de Bienné, étudié en 1995, où seule une suspicion d'apparition est mentionnée [41] et le lac de Constance où *Elodea nuttallii* fait son apparition dans les années 80 et s'est ensuite largement étendue (relevés de 1993) [46]. Historiquement, son introduction en Europe depuis l'Amérique du Nord remonte au début de ce siècle. Plus récemment, sa propagation est vraisemblablement liée à sa culture dans les jardins botaniques et à son utilisation comme plante d'aquarium.

Du point de vue de la valeur bioindicatrice des deux espèces d'élodées, il semble qu'*Elodea nuttallii* ait une amplitude trophique plus étendue et soit plus compétitive dans les secteurs eutrophes, voire hypertrophes (même $> 400 \mu\text{gP-PO}_4^{3-}/\text{l}$). *Elodea canadensis*, apparemment moins compétitive, reste pour sa part inféodée à des eaux claires, mésotrophes ou modérément eutrophes avec un optimum d'apparition correspondant à des teneurs en phosphates des eaux inférieures à $30 \mu\text{gP-PO}_4^{3-}/\text{l}$ [85]. De plus, *Elodea nuttallii* remplace *Elodea canadensis* lorsque la concentration ammoniacale des eaux devient trop élevée [12]. Il faut donc émettre l'hypothèse que le niveau trophique n'est, a priori, pas responsable de l'évolution des deux élodées mais que la meilleure compétitivité d'*Elodea nuttallii* favorise son extension dans le Léman. De plus, la pratique du faucardage et la navigation facilitent sa dissémination par arrachage et fragmentation des plants.

8. COMPARAISONS AVEC D'AUTRES LACS SUISSES

Depuis plusieurs années, certaines études de la végétation macrophytique de lacs suisses ont été menées en utilisant globalement la même méthode que celle appliquée au Léman en 1997. Malgré les périodes d'investigations différentes et les caractéristiques propres à chaque lac, il est possible de les comparer en considérant l'évolution des peuplements de macrophytes et du niveau trophique des eaux.

Il faut savoir que d'autres études récentes ont été réalisées avec des méthodes différentes. Les possibilités de comparaisons avec la présente étude sont limitées et l'évolution de ces lacs n'est pas abordée dans ce chapitre. C'est par exemple le cas du delta de la Reuss (rive sud du bassin uranais du Lac des Quatre-cantons) [4] où des recensements par profils perpendiculaires à la rive ont été effectués.

Lacs du Plateau suisse

L'étude de Perfetta en 1992 [83] est la synthèse la plus récente de l'état de la végétation macrophytique de plusieurs lacs suisses. Près de 4'000 zones de végétation recensées dans 9 lacs entre 1977 et 1988 ont été compilées (lacs de Hallwil, Quatre-Cantons, Zürich, Greifensee, Pfäffikon, Sempach, Thoune, Brienz et Klingnau). Malgré le décalage dans le temps, il est intéressant de situer le Léman par rapport à ces lacs.

En comparant la fréquence des différents taxons (tableau ci-dessous), les principales différences entre le Léman et ces neuf lacs étudiés sont les suivantes:

- parmi les espèces nettement plus fréquentes dans le Léman que dans l'ensemble des autres lacs, il faut signaler:

- <i>Potamogeton pectinatus</i>	- Characées
- <i>Potamogeton lucens</i>	- <i>Zannichellia palustris</i>
- <i>Elodea nuttallii</i>	- <i>Myriophyllum spicatum</i>
- <i>Potamogeton x decipiens</i>	
- les espèces faiblement représentées dans le Léman comparativement aux 9 lacs suisses sont les suivantes:

- <i>Phragmites australis</i>	- <i>Elodea canadensis</i>
- <i>Scirpus lacustris</i>	
- malgré le décalage dans le temps, il est possible de conclure que le Léman est particulièrement pauvre en roselières et scirpaies;
- les characées sont deux fois plus fréquentes dans le Léman. Il faut savoir que cette situation a probablement évolué dans les 9 lacs étudiés mais dans les années 80, seuls les lacs de Zürich, Quatre-Cantons, Thoune et Brienz possédaient des characées.

Le lac de Bienne

Les macrophytes du lac de Bienne ont été étudiés en 1995 [41] et leur évolution est analysée grâce à des relevés antérieurs datant de 1976 et 1986.

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes:

- ☛ l'amélioration de la qualité physico-chimique des eaux depuis les années 70 a des répercussions nettes sur la végétation macrophytique. La teneur en phosphore des eaux diminue fortement depuis une vingtaine d'année (annexe 13) (moyenne annuelle 1995: $< 30 \mu\text{gP-P}_{\text{tot}}/\text{l}$);
- ☛ la surface d'accueil potentielle pour les macrophytes submergés est plus importante en 1995 qu'en 1976 et 1984 du fait de l'augmentation de la profondeur maximale de colonisation qui passe de 3-4 m à 4-5 m (max. 6 m);
- ☛ des espèces typiques de milieux eutrophes comme *Myriophyllum spicatum*, *Ranunculus circinatus* et *Ceratophyllum demersum*, sont en régression;
- ☛ le retour des characées, absentes en 1976 et très rares en 1984, est noté dans le lac de Bienne. Cette évolution est liée à la diminution des teneurs en phosphore des eaux et à une meilleure transparence. Plusieurs espèces (pas toutes déterminées) colonisent les fonds entre 2 et 8 m de profondeur (max. 17 m);
- ☛ des espèces typiques des milieux mésotrophes (p.ex. characées) côtoient des espèces comme *Potamogeton pectinatus*, *P. perfoliatus* et *Elodea canadensis* qui étaient déjà abondantes lorsque le niveau trophique des eaux était plus eutrophe. Les characées puisent essentiellement leurs nutriments dans la phase aqueuse alors que les macrophytes bien enracinés utilisent également le stock contenu dans les sédiments (non étudié). Ainsi, même avec un niveau mésotrophe des eaux, les sédiments peuvent encore fournir suffisamment de nutriments à certaines plantes typiques des milieux riches en éléments nutritifs;
- ☛ les roselières sont en régression. Une perte de plus de 40% de surface de roselières aquatiques est notée entre 1984 et 1995 (de 52 ha à 30 ha);
- ☛ l'écosystème "lac de Bienne" se trouve actuellement dans un état de transition dont l'évolution est difficile à définir. La teneur des eaux en phosphore n'est plus le seul facteur dont il faut tenir compte pour caractériser l'état du lac. D'autres paramètres comme la concentration des eaux en nitrates, la transparence et les variations du niveau d'eau sont à prendre en considération.

Nom latin	Nom français	Lacs CH 1)	Bienne 2)	Léman 3)
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Potamot pectiné	49%	78%	78%
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamot perfolié	37%	28%	45%
Characées	Lustre d'eau	10-15% *	63%	41%
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée de Nuttalli	7%	(-)**	29%
<i>Potamogeton</i> gr. <i>pusillus</i>	Potamot fluët	18%	2%	24%
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myriophylle en épi	2%	5%	21%
<i>Zannichellia palustris</i> L.	Zannichellie des marais	5%	4%	19%
<i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamot luisant	4%	4%	13%
<i>Potamogeton</i> x <i>decipiens</i> Nolte	Potamot hybride	< 1%	1%	8%
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.	Roseau commun	23%	8%	4%
<i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamot crépu	4%	< 1%	3%
<i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	Potamot serré	< 1%	-	2%
<i>Butomus umbellatus</i> L.	Jonc fleuri	< 1%	< 1%	-
<i>Callitriche</i> sp.	Callitriche	< 1%	-	< 1%
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Cornifle immergé	1%	< 1%	< 1%
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	Elodée canadienne	7%	6%	< 1%
<i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	Fontinale	< 1%	< 1%	-
<i>Nuphar lutea</i> Sibth. & Sm.	Nénuphar jaune	2%	< 1%	-
<i>Nymphaea alba</i> L.	Nénuphar blanc	< 1%	-	< 1%
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	Phalaris roseau	1%	-	< 1%
<i>Ranunculus circinatus</i> Sibth.	Renoncule en crosse	< 1%	< 1%	-
<i>Potamogeton filiformis</i> Pers.	Potamot filiforme	4%	15%	-
<i>Potamogeton gramineus</i> L.	Potamot graminée	< 1%	-	< 1%
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	Renoncule lâche	< 1%	-	< 1%
<i>Scirpus lacustris</i> L.	Scirpe commun	9%	< 1%	< 1%
<i>Typha latifolia</i> L.	Massette à feuille large	< 1%	-	< 1%

1): Fréquence des taxons dans 9 lacs suisses (lacs de Hallwil, Quatre-Cantons, Zürich, Greifensee, Pfäffikon, Sempach, Thoune, Brienz et Klingnau) recensés entre 1977 et 1988 (3759 relevés)[83]

2): Fréquence des taxons du lac de Bienne recensés en 1995 [41]

3): Fréquence des taxons du Léman recensés en 1997

* le niveau de détermination des characées n'est pas comparable entre les 9 lacs

** *Elodea nuttallii* n'est pas distinguée d'*Elodea canadensis*

Tableau 17 : Fréquence des différents taxons présents dans 9 lacs suisses, le lac de Bienne et le Léman

Le lac de Constance

Les macrophytes du lac de Constance ont été étudiés, en particulier ces dix dernières années, par Schmieder [87-91]. En 1998, la Commission internationale pour la protection des eaux du lac de Constance (IGKB) publie une étude sur l'évolution des macrophytes submergés entre 1967, 1978 et 1993 [46].

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes:

- l'évolution des macrophytes submergés depuis les années 70 est très bien corrélée à l'amélioration de la qualité physico-chimique des eaux. La teneur en phosphore des eaux diminue fortement depuis une vingtaine d'années (annexe 14) (moyenne annuelle 1997: $< 20 \mu\text{gP-P}_{\text{tot}}/\text{l}$);
- la profondeur maximale de colonisation est en augmentation entre 1967 et 1993 en passant de 7 m à 12 m de profondeur;
- entre 1967 et 1978 (phase d'eutrophisation des eaux), des espèces typiques de milieux eutrophes comme *Zannichellia palustris* et *Potamogeton pectinatus* sont en expansion; certaines espèces comme *Potamogeton gramineus*, *Groenlandia densa* et certaines characées ont totalement disparu;
- le retour des characées, absentes ou peu fréquentes selon les espèces, en 1967 et 1978, est noté dans le lac de Constance en 1993. Cette évolution est liée à la diminution des teneurs en phosphore des eaux et à une meilleure transparence. Plusieurs espèces (pas toutes déterminées) colonisent les fonds entre 2 et 8 m de profondeur.

9. CONCLUSIONS

Les secteurs investigués dans cette étude représentent plus de la moitié du pourtour du lac (le périmètre complet du Léman n'a pas pu être recensé pour des raisons financières et non par choix scientifique délibéré). Une grande variabilité dans la typologie des rives est prise en compte avec une beine très étroite comme dans la région de Meillerie (largeur moyenne de 15 m) ou très large comme dans la région des Grangettes (largeur moyenne de 390 m). Il apparaît que les potentiels d'accueil pour les macrophytes submergés sont très diversifiés, principalement en fonction, d'une part de l'exposition aux vagues et aux courants et, d'autre part, de la nature du substrat.

La méthodologie utilisée s'est montrée bien adaptée à ce type d'étude. D'une part, la bonne qualité des photos aériennes, effectuées spécialement pour ce mandat, s'est avérée déterminante pour la photo-interprétation des surfaces colonisées par les macrophytes. D'autre part, les relevés de terrain exhaustifs dans les secteurs recensés ont permis l'intégration de l'ensemble des résultats phytoécologiques et l'élaboration de cartes dans un SIG.

Le descriptif des caractéristiques actuelles de la végétation aquatique permet de mettre en évidence plusieurs résultats intéressants. La valeur floristique des rives lémaniques réside essentiellement dans la répartition de l'abondance de certains macrophytes. Sur les 23 taxons recensés, seuls 4 représentent une abondance relative supérieure à 10% de l'abondance totale. C'est *Potamogeton pectinatus* qui est l'espèce dominante du lac avec près de la moitié de l'abondance totale. Les characées jouent actuellement un rôle important dans le cortège floristique du Léman. Les characées sont abondantes tout autour du lac. *Chara* gr. *vulgaris* et *Ch.* gr. *globularis* représentent un quart de l'abondance totale des macrophytes recensés. La quatrième espèce, *Potamogeton perfoliatus* est également bien implantée, présente dans près de la moitié des herbiers.

Comparativement à d'autres lacs du Plateau suisse, le Léman est un lac très pauvre en macrophytes émergents et flottants. La région des Grangettes, entre le Rhône et Villeneuve, représente le dernier grand marais côtier lémanique avec 2.6 km de rive, en grande partie naturelle, qui abritent 5.5 ha de roselières aquatiques. Les autres stations où l'on trouve encore du roseau sont beaucoup plus limitées en taille. Toutes les autres espèces recensées (scirpe, massette, phalaris, nénuphar) peuvent être qualifiées de très rares autour du Léman.

L'étude de cinq ports (Port Choiseul, Creux-de-Genthod, Yvoire, Thonon et Ouchy) a mis en évidence une grande diversité des conditions d'implantation pour les macrophytes submergés. La profondeur, la texture des fonds et le faucardage sont les principaux paramètres qui déterminent la répartition des espèces.

Le faucardage, pratiqué de manière très différente selon les régions, a des impacts importants, non seulement sur les macrophytes, mais également sur l'ensemble des organismes qui en dépendent, directement ou indirectement (macrobenthos, poissons, oiseaux d'eau). Les pratiques actuelles ne semblent pas satisfaisantes, ni du point de vue leur efficacité, ni de celui de leurs impacts. Il est donc proposé de mieux informer les différents intervenants sur l'écologie des macrophytes et les impacts des méthodes utilisées. Un plan de gestion lémanique du faucardage devrait être mis en place dans le but d'optimiser les pratiques et d'en définir les limites.

L'apparition d'*Elodea nuttallii* est un bon exemple d'adaptation rapide d'une espèce introduite très compétitive, particulièrement dans les zones abritées comme les ports. L'expansion de cette espèce, notée depuis 1991 dans le Léman, a très probablement été facilitée par les activités humaines comme la navigation et le faucardage.

L'évolution parallèle des macrophytes et du niveau trophique des eaux se matérialise principalement par l'expansion des characées. Ces plantes font une réapparition très impressionnante dans le Léman. Les characées sont davantage sensibles à la qualité physico-chimique des eaux qu'à celle des sédiments. Ainsi, leur réponse à la diminution des concentrations en nutriments dissous est plus rapide que celle d'autres taxons. Relativement aux autres espèces, elles représentent actuellement près du quart de l'abondance totale. En 1975, elles étaient beaucoup plus rares et surtout quasiment absentes du Grand Lac.

Les roselières aquatiques des Grangettes montrent une évolution satisfaisante. Pour expliquer la forte régression notée jusqu'au début des années 80, il est possible de mettre en évidence un effet conjugué de l'augmentation du niveau trophique des eaux, de l'impact mécanique direct des déchets flottants et indirect des exploitations de gravier. Plus tard, l'amélioration de la qualité physico-chimique des eaux et la construction d'ouvrages de protection contre l'érosion ont permis de stabiliser la situation.

Il faut également noter que certains critères phytoécologiques n'ont pas significativement évolué depuis plus de vingt ans. Par exemple, la richesse floristique et la profondeur maximale de colonisation sont comparables entre les études de 1975 et 1997. Il faut en déduire que le Léman est encore dans une phase de transition. Le déséquilibre biologique de l'ensemble de l'écosystème aquatique est encore d'actualité si l'on se réfère à d'autres approches qui tentent de cerner l'évolution de l'état du lac en utilisant des organismes bioindicateurs (phytoplancton, zooplancton, communautés de vers). Autrement dit, si la qualité physico-chimique des eaux s'est améliorée, un effet "mémoire", concernant en particulier la qualité des sédiments pour ce qui concerne les macrophytes, limite encore actuellement l'évolution positive relevée dans cette étude.

Il en résulte que la localisation des principaux sites d'intérêt, du point de vue des macrophytes, est globalement la même en 1975 et en 1997. Ces sites de grande valeur devraient faire l'objet d'une attention particulière dans la gestion des rives du Léman.

Le parallèle fait entre le Léman et les lacs de Bienne et de Constance est très révélateur. Des études récentes sur les macrophytes de ces lacs décrivent un constat similaire à celui du Léman, relativement à l'évolution de la végétation macrophytisque et du niveau trophique des eaux. Par exemple, il est intéressant de noter que l'expansion des characées dans les années 90 est également d'actualité dans d'autres lacs. Ainsi, du fait que le niveau trophique des lacs de Bienne et de Constance est actuellement plus bas que celui du Léman, il est possible d'envisager une évolution comparable pour les macrophytes lémaniques si les objectifs fixés par la CIPEL sont atteints dans les années à venir.

10. BIBLIOGRAPHIE

- [1] ABERNETHY, V.J. et al. 1996 : Response of *Elodea canadensis* Michx. and *Myriophyllum spicatum* L. to shade, cutting and competition in experimental culture. *Hydrobiologia*, 340, 219-224.
- [2] AESCHIMANN, D. & BURDET, H. 1989 : Flore de la Suisse et des territoires limitrophes. *Ed. du Griffon, Neuchâtel*, 597 p.
- [3] ANNEVILLE, O. & PELLETIER, J.-P., à paraître : Vers une amélioration de la qualité des eaux du Léman ? - Evolution comparée d'indices trophiques. *INRA-Thonon*, 16 p.
- [4] AQUAPLUS 1996 : Wasserpflanzenaufnahme Südufer Urnersee. Ergänzungsbericht Characeen; Nährstoffindikation. *Amt für Umweltschutz, Kanton Uri*, 51 p. + 18 p.
- [5] AUDERSET-JOYE D. 1993 : Contribution à l'écologie des Characées de Suisse. *Thèse de l'Université de Genève*, 273 p.
- [6] BALVAY, G. et al., 1984 : Plancton. In: Le Léman, synthèse 1957-1982. *CIPEL, Lausanne*, 261-303.
- [7] BOYLEN, C. W. et al. 1996 : Physical control of Eurasian watermilfoil in a oligotrophic lake. *Hydrobiologia*, 340, 213-218.
- [8] BRECK, J. E. et al. 1979 : Aquatic plants, lake management and ecosystem consequences of lake harvesting. *Proceedings of Conference at Madison, Wisconsin*, 435 p.
- [9] BUDD, J., KILLIE, R.A. & RAMUSSEN, P. 1995 : Morphological characteristics of the aquatic macrophyte *Myriophyllum spicatum* L. in Fish Lake, Wisconsin. *J. Freshwater Ecol.* 10(1), 19-31.
- [10] BURGERMEISTER, G. & LACHAVANNE, J.-B. 1980 : Les macrophytes du Pfäffikersee. *Ber. Schwei. Bot. Ges.*, 90 (3-4), 213-243.
- [11] BURGERMEISTER, G. & LACHAVANNE, J.-B. 1984 : Caractérisation de la végétation macrophytique d'un lac hautement eutrophe: le Greifensee (Suisse). *Schweiz. Z. Hydrol.*, 46 (1), 117:138.
- [12] CARBIENER, R. et al., 1995 : Végétation des eaux courantes et qualité des eaux: une thèse, des débats, des perspectives. *Acta Bot. Gallica*, 142 (6), 489-531.
- [13] CASPER, S.J. & KRAUSCH, H.D. 1981 : Pteridophyta und Anthophyta. In: Süßflora von Mitteleuropa. *Band 23 & 24, edited by Ettl, H., Gerloff, J. & Heynig, H. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart*, 941 p.
- [14] CIPEL 1997 : Rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique. *Programme quinquennal 1996-2000, Campagne 1996*, 229 p.
- [15] CIPEL 1998 : Rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique. *Programme quinquennal 1996-2000, Campagne 1997*, 163 p.
- [16] COOK, C. 1990 : Aquatic plant book. *SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands*, 228 p.
- [17] CORILLION, R. 1975 : Flore des charophytes (Characées) du massif armoricain et des contrées voisines d'Europe occidentale. *Tome IV, Jouve Editeurs, Paris*, 214 p.
- [18] DEMIERRE, A. 1985 : Etude de la biologie du roseau dans la roselière de la Pointe-à-la-Bise. *Diplôme de l'Université de Genève*, 147 p.

- [19] DEMIERRE, A., JUGE, R., LACHAVANNE, J.-B. & PERFETTA, J. 1990 : Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer des Hallwilersees. *OFEFP, Université de Genève*, 92 p. + 3 cartes.
- [20] DEMIERRE, A., JUGE, R., LACHAVANNE, J.-B. & PERFETTA, J. 1990 : Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer des Sempachersees. *OFEFP, Université de Genève*, 86 p. + 3 cartes.
- [21] DEMIERRE, A., JUGE, R., LACHAVANNE, J.-B. & PERFETTA, J. 1991: Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer des Greifensees. *OFEFP, Université de Genève*, 95 p. + 3 cartes.
- [22] DEMIERRE, A., JUGE, R., LACHAVANNE, J.-B. & PERFETTA, J. 1992 : Etat des rives du lac de Zoug, Qualification et Conservation. *OFEFP, Université de Genève*, 101 p. + 3 cartes.
- [23] DEMIERRE, A., JUGE, R., LACHAVANNE, J.-B. & PERFETTA, J. 1993 : Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer des Baldeggersees. *OFEFP, Université de Genève*, 89 p. + 3 cartes.
- [24] DEMIERRE, A., JUGE, R., LACHAVANNE, J.-B., PERFETTA, J. & ARNOLD, P. 1993 : Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer. In Sempachersee. *Ed. Mitt. der Natur. Gesell. Luzern*, 33. Band, 528 S.
- [25] DTPAT/DAIC-VD 1996 : Plan directeur cantonal des rives vaudoises du lac Léman. 3 cahiers, *Canton de Vaud*, 81 p. + cartes et fiches + 23 p.
- [26] ECOTEC 1994 : Etude d'impact du rejet des effluents de la station d'épuration du Bas-Chablais. *Département de la Haute-Savoie, SIVOM du Bas-Chablais*, 54 p.
- [27] ECOTEC 1995 : Garage-parc et Port de Vernex, Etude de l'impact sur l'environnement. *Commune de Montreux (VD)*, 90 p. + annexes.
- [28] ECOTEC 1995 : Port de Corsier (GE), Etude de l'impact sur l'environnement, Rapport d'enquête préliminaire. *ABC Monaco S.A.M. & Lisman Inter Holding B.V.*, 64 p. + annexes.
- [29] ECOTEC 1995 : Port du Vieux Stand, Etude de l'impact sur l'environnement. *Commune de Lutry (VD) et Coopérative du port du Vieux Stand*, 64 p. + annexes.
- [30] ECOTEC 1995 : Réserve naturelle de la Pointe-à-la-Bise : Revalorisation de la roselière lacustre. Dossier explicatif des aménagements projetés. *Commune de Collonge-Bellerive et AGPN*, 14 p. + annexes.
- [31] ECOTEC 1995 : Suivi biologique de la zone littorale des Grangettes en relation avec l'exploitation des matériaux effectuée par Sagrave S.A., *Service des Eaux et de la Protection de l'Environnement du canton de Vaud, Conservation de la Faune, Sagrave S.A.* 89 p. et annexes.
- [32] ECOTEC 1995 : Travaux de dragage de la Rade de Genève, Rapport final de l'étude environnementale. *Services Industriels de Genève*, 36 p. + annexes.
- [33] ECOTEC 1996 : Traversée de la Rade, Rapport d'impact 1ère étape : Traversée de la Rade en tunnel avec liaison au plateau de Frontenex. *DTPE*, 324 p. + annexes.
- [34] ECOTEC, 1996 : Suivi biologique des mesures anti-érosion. *Entreprise e correction fluviale Rive sud du lac de Neuchâtel*, 18 p. + annexes.
- [35] ECOTEC, 1997 : Suivi biologique des mesures anti-érosion. *Entreprise e correction fluviale Rive sud du lac de Neuchâtel*, 22 p. + annexes.
- [36] ECOTEC/DAIC 1992 : Etude des milieux naturels aquatiques de la zone littorale du Léman. Plan directeur des rives du Léman. *Etat de Vaud, Service de l'aménagement du territoire. Volume A Gestion, Conservation et revalorisation*, 24 p. *Volume B Synthèse des données biologiques*, 88 p. + cartes.

- [37] ECOTEC/DIAEE 1993 : Bilan écologique des rives genevoises du Léman. *Volume A Gestion, Conservation et revalorisation*, 44 p. *Volume B Synthèse des données biologiques*, 67 p.
- [38] FOREL F.A. 1904 : Le Léman. Monographie limnologique. 3 Tomes. *Slaktin reprints, Genève*, 715 p.
- [39] FRICKER, H. 1981 : Critical evaluation of the application of statistical phosphorus loading models to alpine lakes. Dissertation. *Nat. Sc., ADAG, Zürich*, 119 p.
- [40] GARCIA, M.-C. 1982 : Etude de la répartition des macrophytes et de la macrofaune benthique de la rade de Genève. *Université de Genève. Travail de diplôme*, 194 p.
- [41] GRUNDER, ING. AG. 1996 : Makrophyten des Bielersees 1995. *Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kt. Bern*, 62 p. + cartes.
- [42] HASLAM, S. M. & WOLSELEY, P. A. 1981 : River vegetation and its identification assessment and management. *Cambridge University-Press, Cambridge*, 154 p.
- [43] HAURY, J. et al. 1997 : Protocole Milieu et Végétaux aquatiques fixes (M.E.V.), validation nationale, GIS "Macrophytes des Eaux continentales". *CEMAGREF Bordeaux-Lyon*, 20 p.
- [44] HESS, H.E., LANDOLT, E. & HIRZEL, R. 1967-1972 : Flora des Schweiz und angrenzender Gebiete. *Birkhäuser Verlag, Basel*, 858 + 956 + 876 p.
- [45] HUSAK, S. et al. 1989 : Freshwater macrophytes as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, 17, 731-735.
- [46] IGKB, 1998 : Submerse Makrophyten der Litoralzone des Bodensees 1993 im Vergleich mit 1978 und 1967. *Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Bericht Nr. 46*, 171 p.
- [47] JUGE, R., PERFETTA, J., LACHAVANNE, J.-B. & DEMIERRE, A. 1988 : Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer des Thunersees. *OFEFP, Université de Genève*, 101 p. + 3 cartes.
- [47] JUGE, R., PERFETTA, J., LACHAVANNE, J.-B. & DEMIERRE, A. 1989 : Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer des Brienersees. *OFEFP, Université de Genève*, 92 p. + 3 cartes.
- [49] JUGE, R., PERFETTA, J., LACHAVANNE, J.-B. & DEMIERRE, A. 1990 : Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer des Pfäffikersees. *OFEFP, Université de Genève*, 79 p. + 3 cartes.
- [50] KRAUSE, W. 1997 : Charales (Charophyceae). In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 18 edited by Ettl, et al (Hrsg.), H. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart*, 202 p.
- [51] LACHAVANNE, J.-B. & LANG, C. 1979 : Rapport d'expertise concernant l'impact de l'aménagement portuaire de Corsier sur la biologie du site. *DTP- Genève*, 74 p.
- [52] LACHAVANNE, J.-B. & WATTENHOFER, R. 1975 : Les macrophytes du Léman. *Conservatoire botanique de Genève, Genève*, 147 p.
- [53] LACHAVANNE, J.-B. 1976 : Contribution à l'étude des macrophytes du Léman. *Thèse de doctorat de l'Université de Genève*, 396 p.
- [54] LACHAVANNE, J.-B. 1977 : Diversité macrophytique des rives du Léman. *Saurea*, 8, 135-150.
- [55] LACHAVANNE, J.-B. 1977 : Evolution de la flore et de la végétation aquatiques du Léman. *Candollea*, 32, 121-132.
- [56] LACHAVANNE, J.-B. 1979 : Les macrophytes du lac de Bienne. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 41/2, *Birkhäuser Verlag, Basel*, 356-373.
- [57] LACHAVANNE, J.-B. & PERFETTA, J. 1985 : Les macrophytes du lac de Zürich. *Beitr. Geobot. Landesaufn. Schweiz.*, 61, 1-79.

- [58] LACHAVANNE, J.-B. & WATTENHOFER, R. 1975 : Evolution du couvert végétal de la Rade de Genève. *Saussurea*, 6, 217-230.
- [59] LACHAVANNE, J.-B., JAQUET, J.-M., JUGE, R. & PERFETTA, J. 1985 : Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer des Vierwaldstättersees. *OFEFP, Université de Genève*, 109 p. + 3 cartes.
- [60] LACHAVANNE, J.-B., JUGE, R. & NOETZLIN, A. 1985 : La végétation aquatique des rives genevoises du Léman, état actuel et évolution depuis 1972. *Unité de biologie aquatique, Université de Genève*, 77 p.
- [61] LACHAVANNE, J.-B., JUGE, R., NOETZLIN, A. & PERFETTA, J. 1985 : Ecological and chorological study of swiss lake aquatic plants: a basic method to determine the bioindicator value of species. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22 (2), 2947-2949.
- [62] LACHAVANNE, J.-B., JUGE, R., NOETZLIN, A. 1986 : Evolution des macrophytes du Léman (rives genevoises - 1972-1984). *Sciences de l'Eau*, 5, 419-433.
- [63] LACHAVANNE, J.-B., PERFETTA, J., NOETZLIN, A., JUGE, R. & LODS-CROZET, B. 1986 : Etude chorologique et écologique des macrophytes des lacs suisses en fonction de leur altitude et de leur niveau trophique. *Université de Genève et FNRS, Genève*, 144 p.
- [64] LANDOLT, E. 1991 : Plantes vasculaires menacées de Suisse. Listes rouges nationale et régionales. *OFEFP, Berne*, 183 p.
- [65] LANG, G. 1967 : Die Ufervegetation des westlichen Bodensees. *Arch. Hydrobiol. Suppl. Bd* 32, 437-574.
- [66] LECOCQ, A. 1995 : Observations des comportements alimentaires de la Nette rousse *Netta rufina*: rôle des Charophytes. *Diplôme de l'Université de Genève*, 101 p.
- [67] LEHMANN, A. 1997 : Apports des systèmes d'information géographique à l'étude des plantes aquatiques submergées en milieu lacustre. *Thèse de l'Université de Genève*, 197 p.
- [68] MELZER, A. 1976 : Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes oberbayerischer Seen. *Dissertationes Botanicae, Band 34, Ed. J. Cramer, Vaduz*, 190 p. + annexes.
- [69] MELZER, A. 1988 : Der Makrophytenindex. Eine biologische Methode zur Ermittlung der Nährstoffbelastung von Seen. *Münich, Techn. Univ. München*, 249 p.
- [70] MELZER, A. 1992 : Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes Oberbayerischer Seen. *Diss. Botanicae*, 34, 190-?.
- [71] MELZER, A. 1993 : Die Ermittlung der Nährstoffbelastung im Uferbereich von Seen mit Hilfe des MakrophytenIndex. *Bayerische Landesanstalt f. Wasserforschung, Oldenburg*, 156-172.
- [72] MESTERS, C. 1997 : Polluted Dutch transboundary streams: effects on aquatic macrophytes. *Utrecht University*, 127 p.
- [73] MONAHAN, C. & CAFFREY, J. M. 1996 : The effect of weed control practices on macroinvertebrate communities in Irish Canals. *Hydrobiologia*, 340, 205-211.
- [74] MOORE, J.A. 1986 : Charophytes of Great Britain and Ireland. *B.S.B.I. Handbook No 5, Bot. Soc. of the Brit. Isles, London*, 140 p.
- [75] MORET, J.-L. 1982 : Evolution des roselières lacustres de la région des Granges entre 1976 et 1982. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.*, 84.3, 261-274.
- [76] MORET, J.-L. 1997 : L'évolution des roselières lacustres des Granges (VD, Suisse) entre 1980 et 1992. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.*, 76.2, 185-195.

- [77] NEWBOLD, C. & HOLMES, N. T. H. 1987 : Nature conservation: water quality criteria and plants as water quality monitors. *Water Pollut. Control*, 86 (2), 345-364.
- [78] NICHOLS, S. A. & LATHROP, R. C. 1994 : Impact of harvesting on aquatic plant communities in Lake Wingra, Wisconsin. *J. Aquat. Plant Manage.*, (32), 33-36.
- [79] OCDE, 1982 : Eutrophisation des eaux: méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. *OCDE, Paris*, 165 p.
- [80] OFEFP 1992 : Intégration des considérations d'environnement dans la gestion des zones côtières du Léman. *Cahier de l'Environnement No 188, Nature et paysage*, 197 p.
- [81] OFEFP 1996 : Rapport Ramsar Suisse. *Cahier de l'Environnement no 268 Nature et paysage*, 112 p.
- [82] PAVONI, M. 1963 : Die Bedeutung des Nannoplanktons im Vergleich zum Netzplankton. *Schweiz. z. Hydrol.*, 25(2), 219-341.
- [83] PERFETTA, J. 1992 : Contribution à l'étude phytocénologique des groupements végétaux aquatiques des lacs suisses. *Thèse de l'Université de Genève*, 148 p. + annexes.
- [84] PIETERSE, A. H. & MURPHY, K. J. 1990 : Aquatic weeds. The ecology and management of nuisance aquatic vegetation. *Oxford University Press.*, 593 p.
- [85] ROBACH, F. 1996 : Relations entre la végétation aquatique et la qualité de l'eau en plaine d'Alsace. Rôle particulier du phosphore. *Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Institut de Botanique, Strasbourg*, 121 p. + annexes.
- [86] SAILLET, F. et al., 1986 : Etude d'impact pour l'implantation du port de Tougues. *INRA - Thonon*, 58 p.
- [87] SCHMIEDER, K. 1991 : Veränderungen der submersen Makrophyten-vegetation des Bodensee-Untersees innerhalb der vergangenen 20 Jahre als Spiegelbild der trophischen Entwicklung. *Verhandl. Ges. f. Ökologie (Freising-Weihenstephan) 1990*, 20, 537-542.
- [88] SCHMIEDER, K. 1992 : Submerse Makrophyten als Indikatoren der Nährstoffbelastung des Bodensees-Untersees. *VDI-Berichte*, 901, 1137-1154.
- [89] SCHMIEDER, K. 1993 : Räumliche Zonierung und saisonale Veränderungen der submersen Vegetation zweier Transekte des Bodensees-Untersees. *Ber. Inst. Landschafts-Pflanzenökologie Univ. Hohenheim*, 2, 129-138.
- [90] SCHMIEDER, K. 1995 : Submersed macrophytes of two habitats in Lake Constance (Untersee) and their relations to chemical composition of surface and sediment interstitial water. *Acta bot. Gallica*, 142(6), 651-657.
- [91] SCHMIEDER, K. 1997 : Littoral zone - GIS of Lake Constance: a useful tool in lake monitoring and autecological studies with submersed macrophytes. *Aquatic Botany*, 58, 333-346.
- [92] SERAFY, J. & HURLEY, L. 1994 : Mechanical removal of *Hydrilla* in the Potomac River, Maryland: local impacts on vegetation and associated fishes. *J. Fresh. Ecol.*, 9 (2), 135-143.
- [93] SOGREAH, 1992 : Etude de la végétation aquatique au voisinage du delta de la Dranse. *LEBA, Université de Genève*, 9 p.
- [94] SOMMARUGA, M. 1990 : Elaboration d'un système d'information géoréférencée pour la diagnose écologique d'une zone côtière du Léman: la Pointe-à-la-Bise. *Diplôme de l'Université de Genève*, 115 p.

- [95] STEINMANN, Y. 1990 : Elaboration d'un système d'Information géoréférée pour le suivi et la diagnose écologique d'une zone côtière du Léman: la Rade de Genève. *Diplôme de l'Université de Genève*, 96 p.
- [96] TUTIN, T.G. et al. 1980 : *Flora europaea, Cambridge University Press, Cambridge*, 5 vol.
- [97] VOLLENWEIDER, R. 1968 : Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation. *OCDE Paris*, 182 p.
- [98] WATTENHOFER, R. 1984 : Macrophytes. In: *Le Léman, synthèse 1957-1982. CIPEL, Lausanne*, 337-353.
- [99] WOOD, R. & IMAHORI, K. 1965 : *Monograph of the Characeae. 2 Tomes. Cramer Verlag, Weinheim*. Tome 1. 904 p., Tome 2: env. 400 p.
- [100] ZAHNER, P. & VERNET, J.-P. 1984 : Dynamique du système lacustre. In: *Le Léman, synthèse 1957-1982. CIPEL, Lausanne*, 55-63.