

Le tour des grands Lacs Alpains naturels en 80 questions

Ouvrage collectif sous la direction de
Bernard Montuelle et Anne Clémens

Lac d'Annecy

Léman

Lac du Bourget

Lac d'Aiguebelette

ZABR

Zone Atelier Bassin du Rhône

OBSERVATOIRE DES LACS ALPINS - OLA

Préambule

Voici *Le Tour des grands lacs alpins naturels en 80 questions*, un ouvrage centré sur quatre grands lacs naturels que sont le Léman et les lacs du Bourget, d'Annecy et d'Aiguebelette.

L'idée de sa réalisation est née de la volonté de scientifiques de la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR), mobilisés en particulier au sein de l'Observatoire des Lacs alpins, et des gestionnaires des 4 grands lacs alpins de s'engager dans une démarche de diffusion et de partage des connaissances acquises sur leur territoire de recherche ou de gestion.

Cet ouvrage, soutenu par de nombreux acteurs régionaux, a pour ambition de donner aux citoyens, une information scientifique et technique compréhensible afin de leur faire découvrir les différentes facettes de ces milieux lacustres et de leur donner des clés de lecture pour comprendre leur fonctionnement, leur richesse et les modes de gestion mis en œuvre.

Organisé en questions, il s'inscrit dans la lignée du *Rhône en 100 questions*, livre également porté par la ZABR et édité par le GRAIE en 2008. Les questions abordées dans cet ouvrage ont été formulées conjointement par les scientifiques, les gestionnaires et des riverains des différents lacs.

Les réponses, rédigées à plusieurs mains, discutées en comité de rédaction, visent à apporter au lecteur des connaissances scientifiques et techniques sur ces territoires emblématiques pour leur permettre d'en apprécier leurs richesses biologiques, culturelles, touristiques, environnementales, économiques ainsi que leur valeur patrimoniale.

Trait d'union de connaissances entre quatre territoires lacustres, nous espérons que ce travail de mise en commun des savoirs acquis à l'échelle de chaque lac, soit un jalon pour des actions partagées au sein du réseau des grands lacs alpins naturels, une contribution à la prise de conscience de la fragilité de ces milieux et que chaque lecteur prenne plaisir à découvrir, au fil de ces questions, des facettes méconnues de ces lacs.

Bernard Montuelle, Directeur de l'UMR CARTELE, Co-Président de la ZABR
Anne Clémens, Directrice de la ZABR

Remerciements

Le Tour des grands lacs alpins naturels en 80 questions a rassemblé plus de 80 professionnels de l'eau qui ont accepté de mettre en commun leurs connaissances sur les lacs, en fonction de leur discipline et de leur rôle dans la gestion de ces espaces, et de partager leur savoir avec toutes les personnes intéressées par la vie de ces étendues d'eau et leurs multiples fonctions.

Nous remercions chaleureusement le comité de rédaction* et les responsables de chapitres** pour leur engagement soutenu sans lequel ce travail n'aurait pu aboutir :

* Carole Birck, ASTERS • Cyril Bourg, DREAL Rhône-Alpes • Sébastien Cachera, CISALB – Magali Condamines, CIPEL • Jean Guillard, INRA CARRTEL • Stéphane Jacquet, INRA CARRTEL • Renaud Jalinoux, CISALB • Audrey Klein, CIPEL • Alain Martinet, Région Rhône-Alpes • Bernard Montuelle, INRA CARRTEL • Emmanuel Naffrechoux, Université de Savoie-Mont-Blanc, EDYTEM • Lionel Navarro, Agence de l'Eau RMC • Thomas Pelte, Agence de l'Eau RMC • Gwladys Perrillat, SILA • Damien Zanella, SILA.

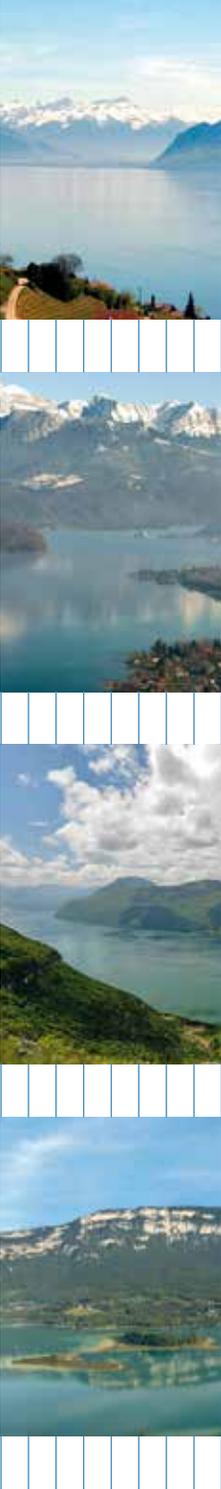
** Orlane Anneville, INRA CARRTEL (chapitre 8) • Cyril Bourg, DREAL Rhône-Alpes (chapitre 3) • Sébastien Cachera, CISALB (chapitre 4) • Anne Clémens, ZABR (chapitres 5 et 9) • Jean-Marcel Dorioz, INRA CARRTEL (chapitre 9) • Jean Guillard, INRA CARRTEL (chapitre 4) • Renaud Jalinoux, CISALB (chapitre 6) • Stéphane Jacquet, INRA CARRTEL (chapitre 2) • Audrey Klein, CIPEL (chapitres 1 et 7) • Bernard Montuelle, INRA CARRTEL (chapitre 1) • Emmanuel Naffrechoux, Université de Savoie-Mont-Blanc, EDYTEM (chapitre 3) • Lionel Navarro, Agence de l'Eau RMC (chapitre 3) • Thomas Pelte, Agence de l'Eau RMC (chapitre 8) • Damien Zanella, SILA (chapitres 2 et 6).

Nous adressons nos plus vifs remerciements à tous les rédacteurs, cités dans le sommaire, qui ont accepté de se prêter au jeu des questions sur les lacs alpins naturels et de consacrer une part de leur temps à leur écriture. Leur patience, au fur et à mesure des versions, a permis de réaliser cet ouvrage présentant les multiples facettes des 4 grands lacs alpins naturels.

De même, l'illustration a pu s'accomplir grâce à la mobilisation de nombreuses bibliothèques professionnelles et privées. Sollicitées parfois à maintes reprises, nous les remercions pour leur aide. Nous remercions également, chaleureusement, toute l'équipe du GRAIE, notamment Aurore Boulanger, qui a recueilli avec rigueur et patience les illustrations de l'ensemble de l'ouvrage.

Enfin, la réalisation de ce livre a été possible grâce au soutien et à la participation active de la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (CIPEL), le Comité InterSyndical pour l'Assainissement du Lac du Bourget (CISALB), le Syndicat Mixte du Lac d'Annecy (SILA), l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, l'Unité Mixte de Recherche du Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques et Écosystèmes Lacustres (UMR CARRTEL) et l'Observatoire des Lacs alpins (OLA), la Communauté de Communes du Lac d'Aiguebelette (CCLA), la Région Rhône-Alpes, l'Arc Environnement, ainsi que d'EDF.

Bernard Montuelle, Directeur de l'UMR CARRTEL, Co-Président de la ZABR
Anne Clémens, Directrice de la ZABR



Avant-propos

Qu'est-ce qu'un lac ?

Bernard Montuelle, INRA CARRETEL

Qu'est-ce qu'un lac ?

Lac, plan d'eau, étang... Autant de termes du langage courant, dont les définitions usuelles se chevauchent partiellement et ne sont pas toujours utilisées à bon escient. Qu'est-ce qu'un lac ? Comme pour beaucoup de questions simples, la réponse ne l'est pas... Un lac peut avoir plusieurs définitions complémentaires, partiellement recouvrantes et qui éclairent en fait la complexité de cet écosystème.

Sur un plan physique, un lac est une cuvette, naturelle ou artificielle, remplie d'eau, avec le plus souvent un exutoire qui est généralement une rivière (s'il est directement relié à la mer, on parlera alors plutôt de lagune). C'est la définition donnée par François-Alphonse Forel, fondateur de la limnologie* : « *On désigne par un lac une masse d'eau stagnante sans communication directe avec la mer, située dans une dépression du sol fermée de tous côtés* ». Cette définition qui a environ 140 ans, n'a que peu changé et reste très générale. Il existe de fait une très grande variété de lacs : certains sont salés (par exemple, le Grand Lac Salé aux États-Unis; la mer Morte au Proche-Orient), mais la majorité des lacs sont constitués d'eau douce. Certains sont profonds et d'une taille gigantesque (le lac Baïkal, en Sibérie, atteint 1637 mètres de profondeur pour plus de 23 000 km²; le lac Victoria, en Afrique, couvre 68 000 km², mais avec une profondeur maximale modeste de 83 m), alors que d'autres ne dépassent pas quelques mètres de profondeur (le lac Balaton en Hongrie : profondeur maximale 12,5 m, pour une profondeur moyenne de 3,2 m et une superficie de 592 km²) ou ne font que quelques hectares (par exemple les petits lacs d'altitude dans les Alpes). Le plus grand d'entre eux est en fait appelé mer : il s'agit de la mer Caspienne, dont la surface de 371 000 km² est équivalente à plus des 2/3 de celle de la France !

Laurent Touchart, géographe limnologue, donne une définition plus précise d'un lac, comme étant « *un plan d'eau continental (séparé de la mer, dominé par son bassin d'alimentation et développant son caractère propre), dont la superficie, la profondeur ou le volume sont suffisants pour provoquer une zonation, un étagement ou une régionalisation des processus limnologiques* ».

D'autres scientifiques essayent de cataloguer les lacs en se basant sur des mesures telles que la profondeur relative (profondeur pondérée par le critère de superficie et notée Zr) ou l'indice de creux moyen qui dérive de ce Zr . Cet indice permet de classer les lacs en très plats, plats, normaux, creux et très creux. Pour résumer, les scientifiques tentent de regrouper les lacs en cherchant des critères objectifs, car au-delà de la simple classification, celle-ci permet également de donner, rapidement et de façon synthétique, une image des caractéristiques lacustres.

Qu'entend-on par « fonctionnement d'un lac » ?

Un lac ne peut pas se réduire qu'à sa description physique : il est le lieu de très nombreux phénomènes physico-chimiques et biologiques, qui vont caractériser son fonctionnement, c'est-à-dire l'ensemble des processus qui modifient sa

composition biochimique et la biodiversité qu'il héberge, sous l'influence des changements environnementaux. Les lacs s'adaptent ainsi en permanence aux conditions de leur environnement géographique.

Les plans d'eau en général, et a fortiori les lacs (milieux dits lenticques), ont un fonctionnement spécifique, différent de celui des cours d'eau (milieux dits lotiques). Leur situation géographique (latitude, longitude, altitude) est bien sûr un élément essentiel dans le fonctionnement lacustre, tout comme le bassin versant qui les alimente et contrôle la qualité des eaux qui en sont issues. En particulier, la profondeur et la température d'un lac sont des caractéristiques physiques qui ont des conséquences importantes sur leur fonctionnement écologique : stratification ou non des couches d'eau avec la profondeur et la saison, gradients de température entre la surface et le fond, volume de la zone éclairée (ou zone photique, lieu de la photosynthèse). Bien sûr, l'influence de ces caractéristiques lacustres est à relativiser par d'autres facteurs tels que la turbidité de l'eau, la situation géographique du lac ou encore la diversité des habitats physiques (nature des fonds et des zones littorales). Leur position de cuvette en fait des réceptacles privilégiés des flux émis depuis leur bassin versant, et en particulier des flux de polluants de toutes natures (pesticides, médicaments, nutriments, etc.).

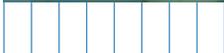
De nombreux lacs dans le monde sont ainsi en situation de pollution chronique ou aiguë, avec des impacts environnementaux et humains parfois sévères. Les grands lacs alpins naturels, objets de cet ouvrage, font figure de bons élèves car grâce aux actions de restauration et aux mesures volontaristes de protection, le Léman, les lacs du Bourget et d'Annecy ou encore d'Aiguebelette présentent globalement, à l'heure actuelle, un bon état écologique.

Sur le plan de la biologie, les lacs abritent une faune et une flore diversifiée et originale : depuis les micro-organismes aux poissons, en passant par les macrophytes et les oiseaux, il existe de nombreuses espèces spécifiques aux milieux lacustres. Il est important de comprendre que les lacs sont des systèmes dynamiques, en évolution permanente, qui s'adaptent aux modifications de leur environnement, malgré l'impression de stabilité qu'ils peuvent donner. Les changements de biodiversité progressifs (sur plusieurs centaines voire milliers d'années) témoignent de ces processus adaptatifs tout à fait naturels. Des changements rapides, visibles sur quelques années, témoignent plutôt de ruptures environnementales brusques et intenses, généralement considérées comme néfastes et souvent dues à l'homme : pollutions fortes, proliférations d'espèces invasives, changement climatique, etc.

Plusieurs chapitres de cet ouvrage apportent des éléments d'information précis sur cette extraordinaire imbrication de processus physiques, chimiques et biologiques et sur la diversité des organismes.

Le lac : carrefour d'usages

Les lacs ont toujours attiré les hommes et leur société, pour des raisons d'usages : ressource en eau potable et alimentaire, raisons de défenses, mais aussi pour les voies de communication qu'ils représentent. L'ensemble des usages que l'on peut faire des systèmes lacustres a conduit à des visions contrastées de ces milieux, en fonction des perceptions que l'on en a : lieux de ressources alimentaires (pêche), réservoir d'eau (boisson, irrigation), transport et échanges commerciaux, tourisme, etc.



La notion, assez récente, de « services écosystémiques », traduit l'ensemble des services rendus par ces écosystèmes aux sociétés humaines. Cette notion pose la question de la durabilité dans le temps de ces services et la coexistence de bouquets de services (à savoir la coexistence d'usages multiples) permettant à chaque être humain de tirer un bénéfice des milieux lacustres, sans pour autant mettre en péril leur pérennité. Un débat existe sur la nécessité d'attribuer ou non une valeur marchande aux services rendus par les écosystèmes. Les lacs n'échappent pas à ce débat : comment équilibrer les pressions d'usage ? Comment maintenir la biodiversité et la qualité écologique ? Comment maintenir une production piscicole suffisante ? Comment transmettre aux générations futures des lacs en bonne santé, tout en soutenant nos propres usages ? Sur ce point également, cet ouvrage apporte des éclairages variés sur ces différents services rendus par les lacs.

Ce qu'il faut retenir :

Les lacs sont des masses d'eau extrêmement diversifiées. Ils abritent une importante biodiversité et sont au cœur d'enjeux essentiels pour l'Homme, de la ressource en eau (potable, irrigation...) et en biodiversité, à la pêche, en passant par leur attrait récréatif ou culturel.

Les lacs sont des milieux vivants à l'équilibre fragile et en constante évolution, qui, face à de nouveaux défis environnementaux (micropolluants, changement climatique, espèces invasives), nécessitent une surveillance et une veille scientifique permanente. Ces connaissances scientifiques sont indispensables aux gestionnaires pour pouvoir prendre des mesures de gestion adaptées afin de garantir leur pérennité.

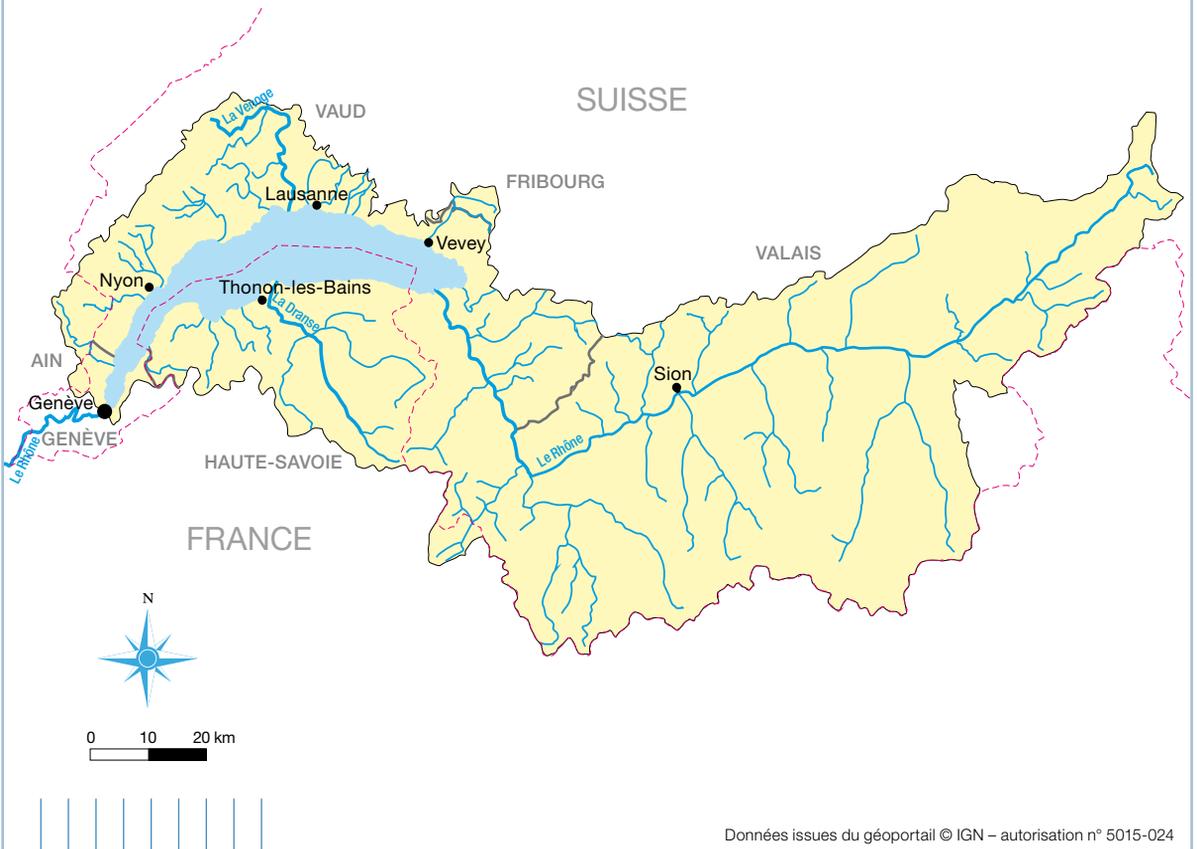
*Limnologie : science des eaux continentales et des organismes qui y vivent.



LE LÉMAN



© J.-M. Zehwegger



Données issues du géoportail © IGN – autorisation n° 5015-024

Superficie du lac : 580,1 km²

Volume : 89 km³

Longueur : 72,3 km

Largeur : 14 km

Profondeur max. : 309,7 m

Profondeur moyenne : 152,7 m

----- Frontière

Temps de séjour des eaux dans le lac : 11,3 ans

Altitude : 372,05 m

Âge du lac : 35000 ans

Propriétaires : Côté français : État
Côté suisse : cantons

Structure de gestion ou de veille (date de création) : Commission
Internationale pour la Protection des Eaux du Léman – CIPEL (1962)

■ Limite du bassin versant — Limite cantonale



LE LAC DU BOURGET



© CISALB



0 5 km



Superficie du lac : 44 km²

Volume : 3,6 km³

Longueur : 18 km

Largeur : 3,5 km

Profondeur max. : 146 m

Profondeur moyenne : 85 m

Temps de séjour des eaux dans le lac :
9 ans

Altitude : 232 m

Âge du lac : 25000 ans

Propriétaire : État français

Structure de gestion ou de veille (date
de création) : Comité intersyndical
pour l'assainissement du lac
du Bourget – CISALB (1994) –
Communauté d'agglomération du lac
du Bourget – CALB (2007)

 Limite du bassin versant



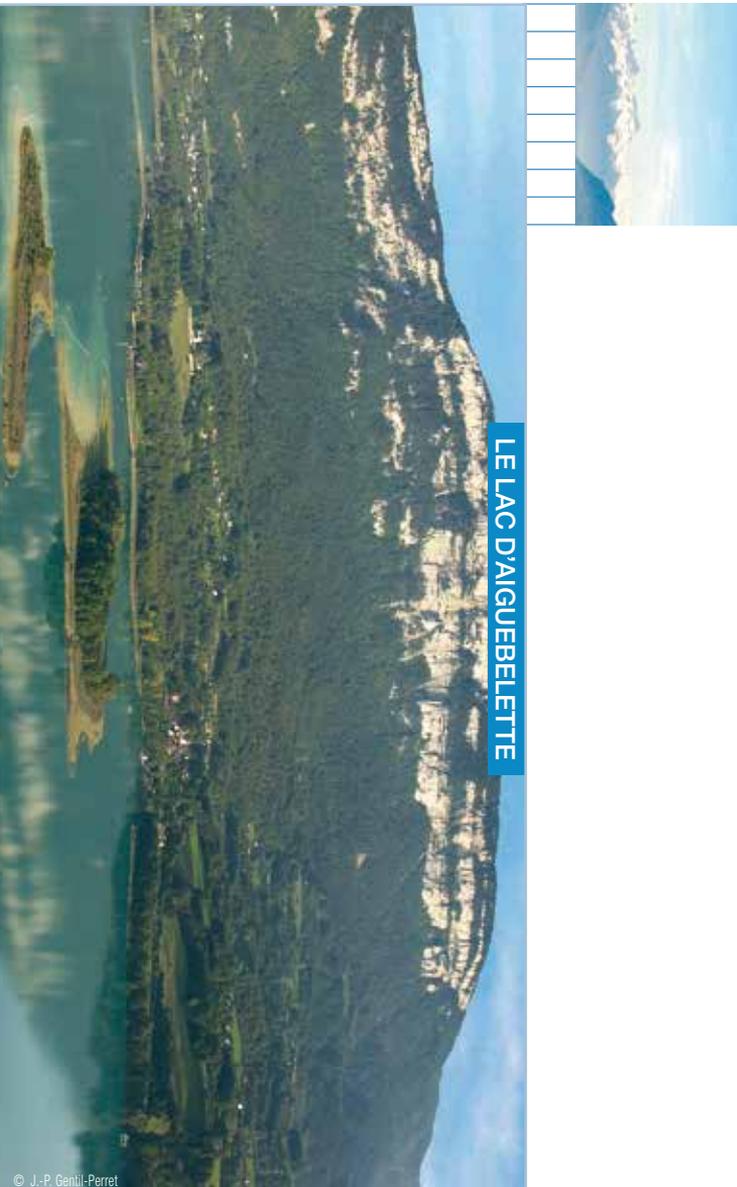
Données issues du géoportail © IGN – autorisation n° 5015-024

LE LAC D'ANNECY



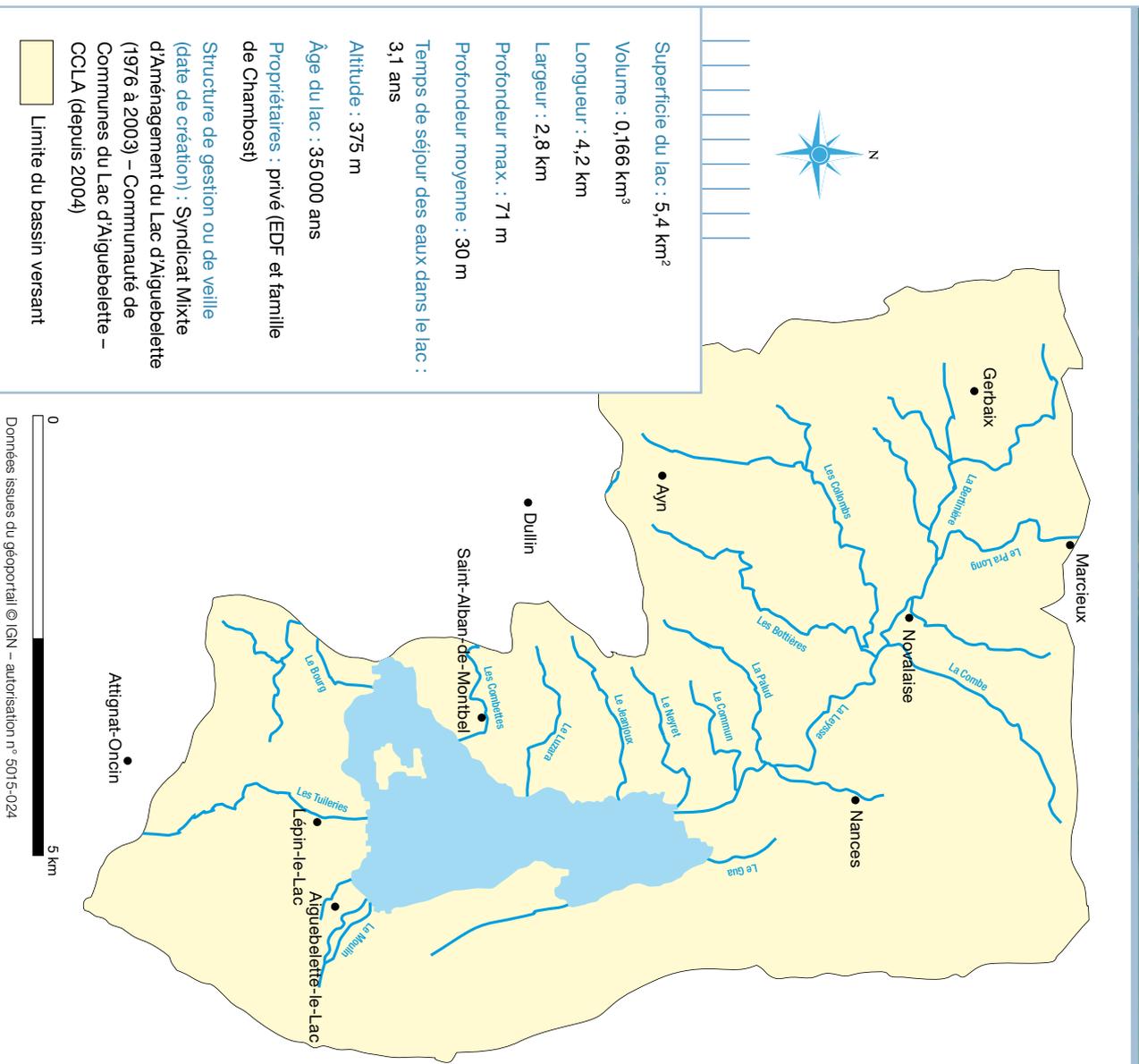
© L. Pourtalet - Office de tourisme d'Annecy





LE LAC D'AIGUEBELETTE

© J.-P. Gentil-Perret



Superficie du lac : 5,4 km²

Volume : 0,166 km³

Longueur : 4,2 km

Largeur : 2,8 km

Profondeur max. : 71 m

Profondeur moyenne : 30 m

Temps de séjour des eaux dans le lac :
3,1 ans

Altitude : 375 m

Âge du lac : 35000 ans

Propriétaires : privé (EDF et famille
de Chambost)

Structure de gestion ou de veille
(date de création) : Syndicat Mixte
d'Aménagement du Lac d'Aiguebelette
(1976 à 2003) – Communauté de
Communes du Lac d'Aiguebelette –
CCLA (depuis 2004)

 Limite du bassin versant

0  5 km
Données issues du géoportail © IGN – autorisation n° 5015-024



Le lac du Bourget, depuis la Chambotte © M. Bouron

Naissance et transformation

Naissance et transformation des lacs : du temps des mammouths à nos jours

► Jean-Luc Loizeau, Université de Genève, Institut Forel • Anne Guyomard, SIAC GéoPark Chablais • Danielle Decrouez, Contamine-sur-Arve • Gérard Nicoud, Université Savoie-Mont-Blanc, EDYTEM •

Au regard des temps géologiques, les lacs sont pour la plupart éphémères et disparaissent en quelques milliers ou dizaines de milliers d'années, remplis par l'accumulation de sédiments. La formation des grands lacs alpins est essentiellement l'héritage des nombreuses périodes glaciaires qui ont touché les Alpes depuis le début du quaternaire, il y a environ 2,6 millions d'années. L'évolution des formes lacustres que l'on connaît actuellement résulte essentiellement de la dernière glaciation, celle dite du Würm (il y a entre -110000 et -14000 ans) et de la période post-glaciaire.

Les lacs ont des origines variées

Ils peuvent être dus :

- à la tectonique des plaques (lac Baïkal en Sibérie);
- à l'activité volcanique (lac Pavin dans le Massif Central);
- aux écroulements rocheux et aux coulées de boue barrant une vallée (lac des Brenets dans le Jura);
- à l'abrasion des roches par la glace et les eaux s'écoulant à la base du glacier (la majorité des lacs alpins ou des grands lacs nord-américains);
- à la dissolution des roches par des eaux légèrement acides (ancien lac de la Girotte dans le Beaufortain);
- à l'activité des rivières, à un creusement éolien ou à des courants côtiers.

Les grands lacs alpins ont comme origine l'érosion par les glaciers qui descendaient des Alpes et qui atteignaient plusieurs centaines de mètres d'épaisseur (1 200 m au niveau de Genève pour le glacier du Rhône).

Les lacs alpins peuvent avoir une histoire géologique différente

Le Léman

La première trace d'un bassin lacustre dans la région lémanique remonte à près de 800000 ans à l'altitude de 800 m. Après le maximum de la dernière glaciation du Würm, il y a environ 35000 ans, le front du glacier du Rhône

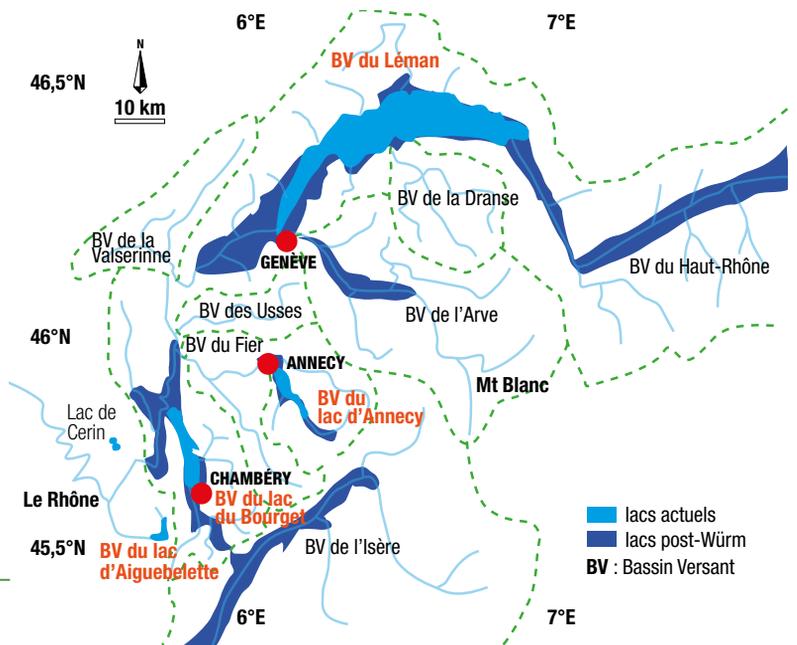


Fig. 1 – Les lacs avec leur extension maximale et leur extension actuelle (source : E. Chapron, 1999)

s'est retiré à 5 km en aval de Genève. L'hypothèse d'un lac, à l'altitude de 470 m, au niveau de Fort-l'Écluse est avancée. Après un recul à l'amont d'Évian-les-Bains, le glacier est revenu à Genève dans un lac existant à l'altitude de 410 m. Quand le glacier se retire définitivement dans le Valais il y a 18000 ans, l'extrémité orientale du Léman est au niveau du verrou de Saint-Maurice, à une altitude de 405 m (372 m aujourd'hui). L'abaissement de l'altitude de l'exutoire*

par érosion et le comblement progressif avec les apports de matériaux par les cours d'eau (dont le Rhône) réduisent la surface du lac jusqu'à sa forme actuelle (photo 1).



Photo 1 – Le Léman, vue aérienne depuis la Dôle (© J.-M. Zellweger)

Le lac du Bourget

Il subsiste des traces d'un lac hérité de la glaciation du Riss. À la fonte des glaciers de l'Isère, il y a environ 25000 ans, un lac s'est formé à une altitude de 280 m, soit 50 m au-dessus du niveau actuel, formant une étendue d'eau de plus de 200 km² entre Seyssel et Chambéry-Challes-les-Eaux. Ce lac s'est partiellement comblé, avec des dépôts essentiellement glaciaires, puis avec les alluvions de la Leysse et de l'Hyères au sud, du Sierroz et du Tillet à l'est, du Séran, du Fier et surtout du Rhône vers le nord. Après ce comblement, qui s'est arrêté il y a 13000 ans, des plaines alluviales et des tourbières se sont développées au nord (de Chautagne et de Lavours) et au sud (marais de la Motte-Servolex) et le Rhône s'est détourné vers l'ouest. Le lac actuel d'une longueur de 18 km se trouve à 232 m d'altitude.



Photo 2 – Lac d'Annecy (© Le Taillefer Production)

Le lac d'Annecy

L'existence d'un lac plus étendu que l'actuel, entre Cran-Gevrier et Lovagny, à une altitude ayant varié de 510 à 440 m, est attestée de la fin de la période glaciaire du Riss jusqu'au début du Würm, il y a environ 65000 ans.

À la fin de la dernière glaciation du Würm, la fonte rapide du puissant flux de glace issu

du massif du Mont-Blanc (glacier de l'Arve s'écoulant par le val d'Arly), du Beaufortain (glacier du Beaufortain) et d'une partie de la Tarentaise (glacier de l'Isère) a engendré de nouveau un lac, estimé à 63 km² (la surface du lac représente aujourd'hui 27 km²) à l'altitude de 460 m (446 m aujourd'hui). Le lac d'Annecy s'étendait vers le sud jusqu'au niveau de Saint-Ferréol, était plus large à la hauteur de Saint-Jorioz et s'avancé jusqu'à Chaumont et au nord de l'actuel cours du Fier. À cette époque, ce cours d'eau se jetait dans le lac et formait un delta, à l'emplacement actuel de la ville d'Annecy. Le Fier a abandonné le lac définitivement il y a environ 8000 ans, probablement à cause de l'activité de la faille du Vuache* (photo 2).

Le lac d'Aiguebelette

Il résulte de l'érosion de la molasse (sable cimenté par du calcaire argileux) par le glacier würmien de l'Isère débordant par-dessus la montagne de l'Épine. Le lac s'étendait plus au nord qu'actuellement.

Exutoire Cours d'eau évacuant les eaux d'un lac.

Faille du Vuache Cassure qui va de Fort-l'Écluse au lac d'Annecy.

Ce qu'il faut retenir

Les lacs alpins, résultats de l'érosion des roches par les glaciers ont généralement une durée de vie de quelques dizaines de milliers d'années. À l'époque des mammoths, ils étaient nettement plus grands qu'aujourd'hui (fig. 1) et beaucoup ont déjà disparu.

Que nous raconte l'étude des sédiments d'un lac ?

► Jean-Philippe Jenny, Université Savoie-Mont-Blanc, EDYTEM • Jean-Luc Loizeau, Université de Genève, Institut Forel •

L'analyse des longues séries de données (plus de 50 ans) peut expliquer les trajectoires d'évolution des systèmes lacustres et définir certaines conditions environnementales passées. Les archives sédimentaires permettent de reconstituer l'histoire des lacs sur le long terme (de 100 à 10000 ans).

Qu'est-ce qu'une archive sédimentaire ?

Les sédiments lacustres sont formés de l'accumulation et de la transformation de particules issues du bassin versant* (particules liées à l'érosion) ou produites dans la colonne d'eau* (particules de matière organique, dites autochtones). Le lac du Bourget a ainsi accumulé plus de 200 m de sédiments depuis le dernier retrait glaciaire et livre une histoire longue d'au moins 10000 ans : c'est ce que l'on appelle une « archive sédimentaire ». Les sédiments lacustres sont exceptionnels car, dans certaines conditions (grande profondeur d'eau, stabilité des sédiments...), ils peuvent constituer une archive continue.

Grâce à la proximité des sources sédimentaires (bassin versant), les archives lacustres présentent des taux de sédimentation élevés (1000 fois plus qu'en milieu marin !) permettant des reconstitutions précises. Les varves, strates de sédiments déposées à un rythme annuel, constituent un bel exemple de ce type d'archive (fig. 1) et sont présentes dans les lacs du Bourget, d'Annecy et du Léman.

Quelles informations peut-on extraire de ces sédiments ?

- **Les sédiments** enregistrent à la fois l'évolution du bassin versant et le fonctionnement du lac lui-même.
- **L'étude des fossiles**, des pigments d'algues ou l'analyse d'ADN, permet de déterminer les espèces passées et de reconstituer leurs assemblages, qui renseignent sur les conditions écologiques antérieures du lac.
- **L'analyse des matériaux** provenant du bassin versant permet de reconstituer l'évolution du paysage végétal autour du lac par l'étude des pollens, du régime des crues ou celui des apports de contaminants.

Ainsi, nous savons que les lacs du Bourget, d'Annecy et le Léman, ont connu de fortes modifications depuis environ deux siècles (avec une accélération depuis 50 ans), de leurs propriétés physico-chimiques et écologiques.

Ces perturbations résultent principalement de l'activité humaine : aménagement des cours d'eau et du paysage, rejets de nutriments (eutrophisation*) et autres pollutions (cas du mercure dans certains sédiments du Léman), introduction de poissons, réchauffement climatique (voir question 8-03 : *Les lacs sont-ils menacés par le changement climatique ?* ; question 8-06 : *L'évolution de l'occupation des bassins versants peut-elle changer l'état des lacs ?*).

Les analyses des sédiments révèlent une augmentation progressive depuis le début du xx^e siècle de la production de matière organique liée à la prolifération d'algues. Les fossiles indiquent des changements progressifs dans les assemblages d'espèces planctoniques (diatomées, cladocères). La géochimie des archives indique que, depuis 60 ans, le fond des lacs s'est appauvri en oxygène. Ce changement a ainsi conduit à la disparition partielle des larves de chironomes (cousin du moustique) des sédiments. Les espèces de la zone pélagique (zone littorale) indiquent une meilleure qualité du milieu.

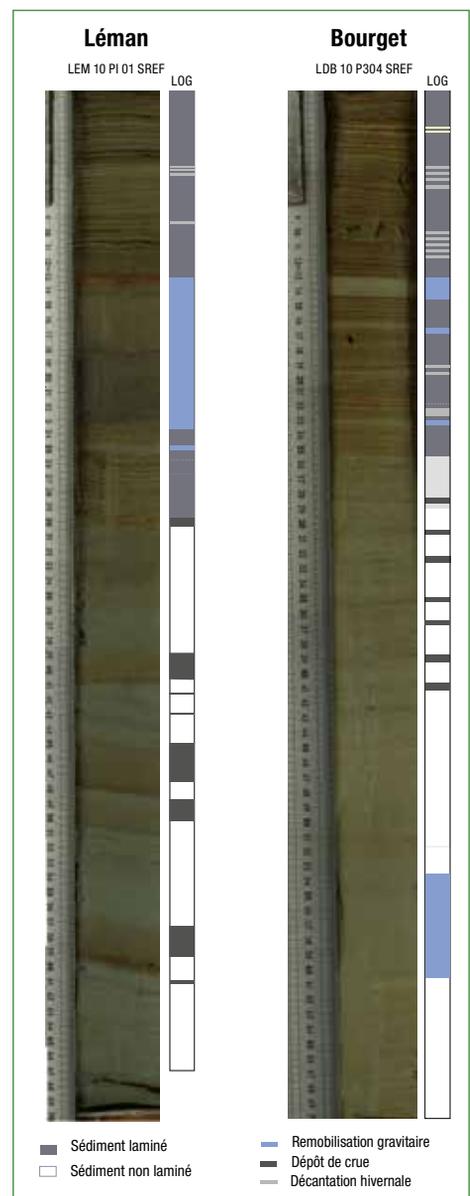
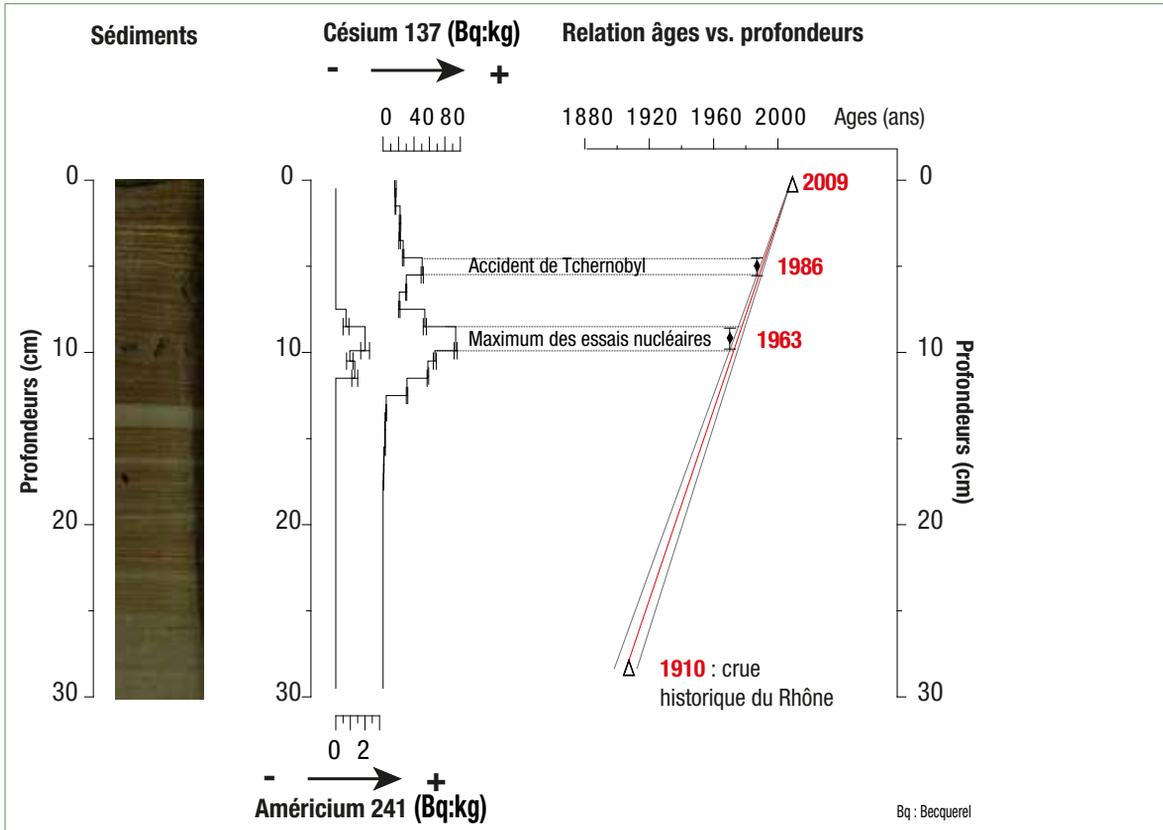


Fig. 1 – Coupe de deux carottes sédimentaires, l'une prélevée dans le lac du Bourget, l'autre dans le Léman. Ces carottes présentent des varves au sommet (source : J.-P. Jenny)



Comment dater les sédiments ?

Pour avoir des observations exploitables, les sédiments lacustres doivent être datés. Deux méthodes sont utilisées : la détermination de l'âge des sédiments par mesure de la décroissance d'activité d'éléments radioactifs et l'identification dans le sédiment d'un événement dont on connaît l'origine et la date. La mesure d'éléments radioactifs reste la plus utilisée, avec le carbone 14 comme élément le plus connu.

D'autres éléments naturels comme le plomb 210 permettent de dater les sédiments déposés au cours du dernier siècle (fig. 2). D'autres marqueurs sont également utilisés, comme l'apparition de pollen de marronnier dans la région du lac du Bourget (vers 1850) ou les cendres volcaniques provenant de l'éruption il y a 11 000 ans du Laachersee (Allemagne) et retrouvées dans les sédiments du Léman.

Bassin versant Ensemble d'un territoire drainé par un cours d'eau et ses affluents, délimité par une ligne de relief ou de partage des eaux.

Colonne d'eau Représentation verticale du volume d'eau, compris entre les interfaces eau/sédiments et eau/atmosphère.

Eutrophisation Enrichissement excessif du milieu aquatique en nutriments qui se traduit par l'envahissement de l'eau par une production végétale surabondante.

Fig. 2 – Modèle âge/profondeur des sédiments du lac du Bourget déterminé à partir des radioéléments du plomb-210, de l'américium-241 et du césium-137. Les pics de concentration caractéristiques sont observables pour le maximum des retombées des essais nucléaires dans l'atmosphère en 1963 et pour l'accident de Tchernobyl en 1986. Le sommet des sédiments est daté à l'année 2009, date de prélèvement de la carotte (source : J.-P. Jenny)

Ce qu'il faut retenir

Chaque strate de sédiment a acquis une signature biogéochimique unique lors de sa formation. Celle-ci renseigne sur les conditions passées et rend possible la reconstitution des trajectoires environnementales du lac et de son bassin versant sur le long terme.

Ce regard vers le passé permet d'estimer l'ampleur des changements actuels et d'évaluer la véritable part d'implication des facteurs de forçages environnementaux : le climat, l'érosion des bassins versants, la teneur en nutriments.

Combien de temps faut-il pour renouveler les eaux d'un lac ?

► Jean-Luc Loizeau, Université de Genève, Institut Forel • Bernard Montuelle, INRA CARTELE •

Les lacs sont des lieux de stockage de l'eau et en particulier des eaux issues de leur bassin versant. Le climat, la surface, la nature du bassin versant, mais aussi le volume de la cuvette lacustre déterminent le temps de résidence de l'eau dans cette cuvette.

Comment calculer le temps de séjour théorique ?

Le temps nécessaire au renouvellement des eaux d'un lac dépend de plusieurs paramètres : le volume d'eau stocké dans la cuvette lacustre, les apports hydriques entrants (affluents, pluies...) et les flux d'eau sortants du système (niveau de l'exutoire qui détermine le volume, évaporation, captage d'eau...) (fig. 1 et 2).

Le temps de séjour théorique moyen de l'eau dans le bassin T_s (ou temps de résidence, temps de renouvellement) est le temps nécessaire au renouvellement complet des eaux d'un lac. On l'obtient en faisant le rapport entre le volume du lac (V en m^3) et le débit moyen annuel entrant incluant tous les apports (D en m^3/s), soit la formule $T_s = V/D$ (Temps de séjour = Volume/Débit).

Le volume du lac est déterminé à partir de la carte bathymétrique du bassin, à savoir la mesure des profondeurs et du relief lacustre.

Pour calculer le débit moyen annuel entrant, tous les apports hydriques doivent être pris en compte, incluant l'ensemble des rivières, les pluies directes sur le lac, les sources sous-lacustres et le ruissellement. Ainsi les eaux d'un grand bassin avec proportionnellement peu d'apports auront un temps de séjour très long, jusqu'à plusieurs dizaines voire plusieurs centaines d'années (350 ans pour le lac Baïkal). À l'inverse, de petits plans d'eau très irrigués auront des temps de séjour très courts, de l'ordre de quelques jours à quelques semaines (36 semaines pour le lac de Nantua). Pour simplifier, on peut illustrer ce concept en imaginant le temps qu'il faudrait pour remplir à ras bord une baignoire initialement vide (photo 1).

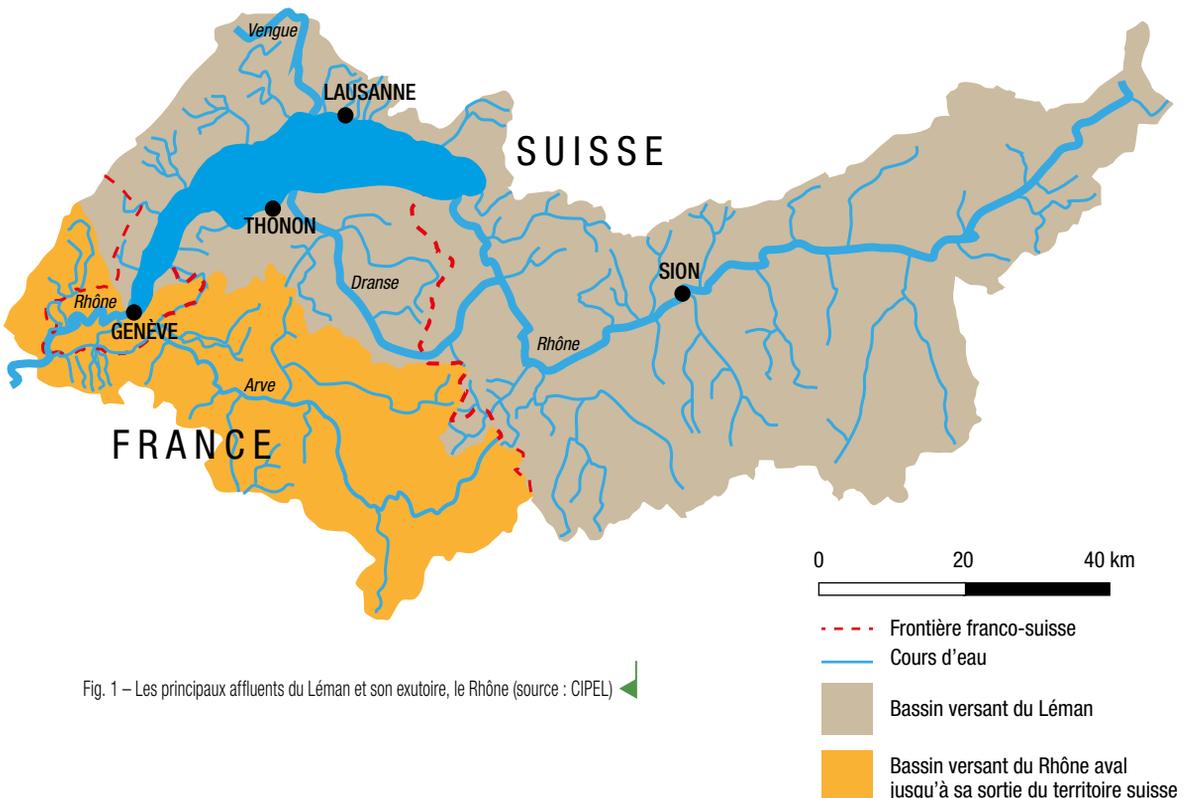


Fig. 1 – Les principaux affluents du Léman et son exutoire, le Rhône (source : CIPTEL) ◀

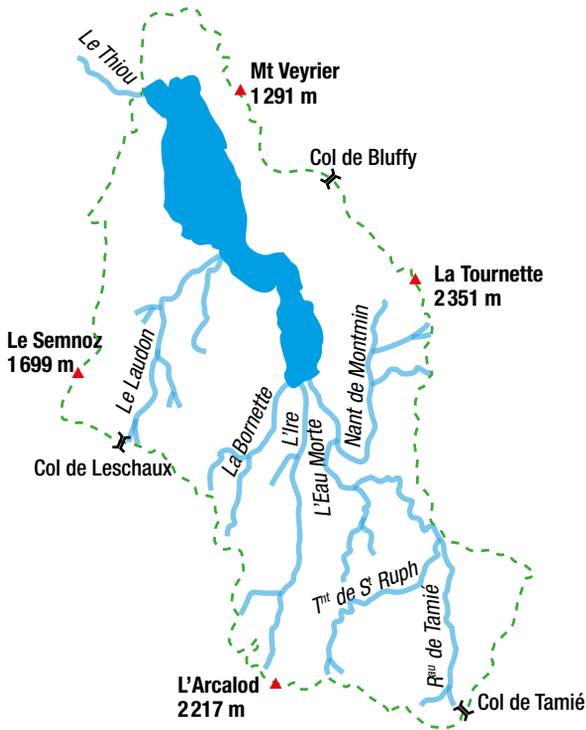


Fig. 2 – Les principaux affluents du lac d'Annecy (source : SILA)

Une valeur théorique... et en réalité ?

Le temps de séjour théorique de l'eau est, dans le Léman de 11,3 ans (environ 75 % des eaux du Léman proviennent du Rhône), dans le lac d'Annecy de 3,8 ans, dans le lac du Bourget de 9 ans et de 3,1 ans pour le lac d'Aiguebelette. Toutefois, ces valeurs sont théoriques, car les lacs ne sont pas des masses d'eau uniformes mélangées de manière homogène tout au long de l'année.

Le temps pendant lequel une molécule d'eau va rester dans le lac dépend du lieu de son introduction : à la surface avec la pluie, plus en profondeur par insertion des eaux provenant des rivières, ou proche du fond par les apports des sources.

Dans le Léman, par exemple, les masses d'eau se structurent en trois couches dont les temps de séjour moyens varient entre 2 ans (0-50 m), 10 ans (50-250 m) et 20 ans (250-309 m). Ces temps de séjour peuvent changer en fonction du brassage hivernal total ou partiel (voir question 1-04 : *Quand les lacs se retournent-ils dans leur cuvette ?*).

Quelle importance a le temps de résidence pour le fonctionnement du lac ?

Le temps de séjour est une donnée fondamentale à connaître pour comprendre le fonctionnement physique, chimique et biologique d'un lac. Il conditionne la circulation des nutriments et des polluants dans les lacs et l'inertie du système (sa capacité à réagir plus ou moins rapidement à un événement externe).

Un lac présentant un court temps de résidence verra son bassin rapidement contaminé par une pollution externe, mais sera également rapidement nettoyé. Inversement, un lac ayant un long temps de séjour sera plus lentement affecté, mais mettra plus de temps pour retrouver une situation saine.



© GRAIE

Photo 1 – Illustration du temps de séjour de l'eau dans un réservoir.

Soit une baignoire de 200 litres de volume et un robinet dont le débit est de 10 litres/minute. Le temps de séjour est-il de : 15 minutes ? 20 minutes ? 25 minutes ?

Réponse à la question : $200 \text{ l} / 10 \text{ l min}^{-1} = 20 \text{ minutes}$. Si le robinet coule plus longtemps, c'est l'inondation assurée s'il n'y a pas de trop plein.

Ce qu'il faut retenir

Le temps de séjour des eaux dans les lacs dépend pour l'essentiel de son volume et des flux hydriques entrants. Ce temps, différent selon les lacs et pouvant varier au sein des différentes couches d'eau d'un même lac, est un des déterminants de la qualité chimique et de l'écologie des systèmes lacustres.

Quand les lacs se retournent-ils dans leur cuvette ?

► Bernard Montuelle, INRA CARRTEL • Audrey Klein, CIPEL •

Les lacs sont souvent considérés comme des étendues d'eau calmes, par opposition aux cours d'eau. Dans les faits, tempêtes et apports d'eau par les affluents sont parfois forts et entraînent turbulences et mélanges de masses d'eau. Un autre moteur de ces brassages est la différence de température qui existe entre les couches d'eau d'un lac.

Un peu de physique

La densité de l'eau varie en fonction de sa température : c'est à 3,98 °C très précisément que l'eau est la plus dense (quasiment 1 000 g/l, pour de l'eau douce, au niveau de la mer). Au-dessus de cette température, la densité de l'eau diminue (997 g/l à 25 °C). Des abaques (graphiques montrant la relation entre 2 paramètres) permettent de relier précisément température et densité de l'eau. Par gravité, les eaux froides, plus denses, vont se trouver sous les eaux plus chaudes. Ceci explique deux phénomènes caractéristiques des lacs : la stratification de leurs eaux à certaines périodes et leur retournement, leur mélange ou brassage.

La température des lacs dépend de celle de l'air, du vent et de son insolation. En été, le soleil provoque un réchauffement des eaux de surface. Progressivement au cours du printemps et de l'été, il s'installe un gradient thermique stable entre la surface et le fond. On définit 3 zones thermiques (fig. 1) :

- l'épilimnion est la couche superficielle réchauffée. L'eau, mise en mouvement par le vent permet une homogénéisation partielle de la température dans cette zone, dont l'épaisseur varie selon la saison ;
- le métalimnion est la zone intermédiaire où la température décroît rapidement : son épaisseur est de l'ordre de 10 à 15 m ;
- l'hypolimnion est la couche inférieure, toujours froide et à température peu variable, qui se situe en fonction des saisons entre 15 et 30 m sous la surface des lacs.

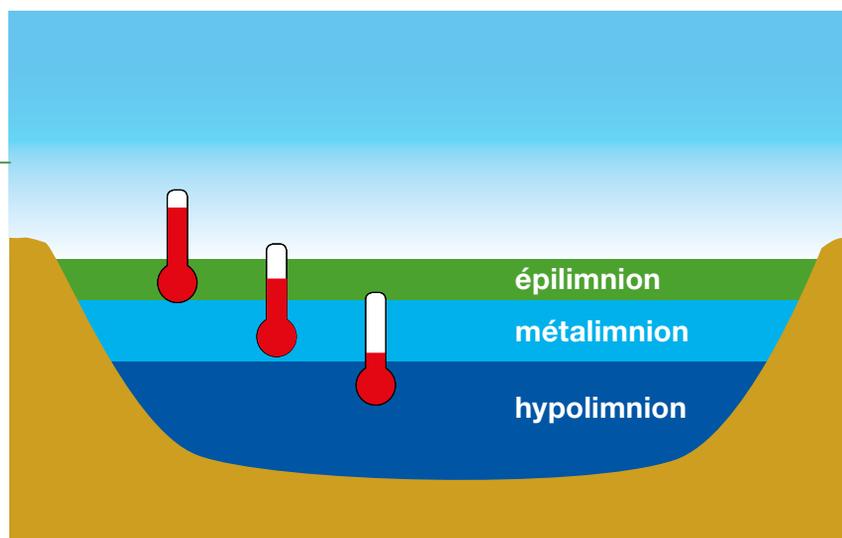
Comment se produisent le retournement et le brassage des lacs ?

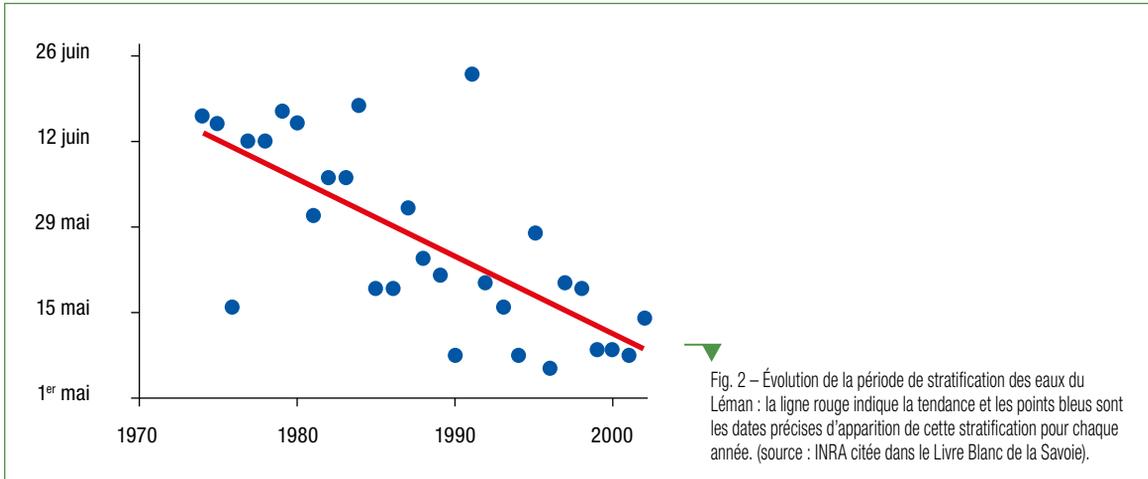
Dans les grands lacs, les températures changent fortement au cours d'un cycle annuel. Au cours de l'automne et de l'hiver pour le Léman et à l'automne et au début de l'hiver pour le lac d'Annecy, les eaux de surface se refroidissent et les températures de surface deviennent plus froides que celles des couches inférieures (qui ont dans les grands lacs une température assez stable quelle que soit la saison).

Tous les lacs se retournent-ils ?

Le phénomène de brassage est généralement présent dans les grands lacs alpins. On parle de lac monomictique quand il y a un brassage par an (cas des lacs du Bourget et d'Annecy), polymictique s'il y en a plusieurs par an.

Fig. 1 – Les trois zones de la stratification thermique (source : AE RMC)





Dans le Léman, de la fin de l'hiver au début du printemps, compte tenu des différences de température entre la surface froide et le fond plus chaud, les masses d'eau de surface, plus froides et donc plus denses, s'enfoncent sous les couches plus chaudes. Le déclenchement de ce phénomène peut être facilité par la présence de vent. Moins un hiver est froid et moins le brassage sera important. Le brassage peut ne pas s'effectuer jusqu'au fond comme cela a été le cas sur le Léman entre 2007 et 2011. Selon l'intensité de ce brassage et les conditions météorologiques de printemps, la stratification thermique se reconstituera plus ou moins rapidement au cours du printemps suivant. Le changement climatique a tendance à avancer la date de stratification, en partie en lien avec la réduction des brassages hivernaux (fig. 2).

Sur le lac d'Annecy, de fin décembre à début mars, toute la colonne d'eau est à la même température. Le vent met en mouvement les masses d'eau permettant un réel brassage.

D'autres facteurs tels que la forme de la cuvette lacustre, la température de l'air et l'intensité des vents viennent compliquer les phénomènes hydrauliques de type : seiches*, courants, arrivées de gros affluents comme le Rhône dans le Léman (voir question 1-05 : *Y a-t-il des courants et des marées dans les lacs ?*).

Le brassage hivernal est fondamental pour le fonctionnement écologique d'un lac

Lors de leur descente vers le fond, les eaux froides riches en oxygène vont réoxygéner le milieu. Les éléments nutritifs du fond sont remobilisés et redistribués dans la colonne d'eau, notamment dans la zone euphotique (zone éclairée où s'effectue la photosynthèse).

Le brassage modifie les échanges entre l'eau et les sédiments, ce qui permet de maintenir une biodiversité au fond des lacs (poissons, invertébrés).

Ce qu'il faut retenir

Dans les grands lacs alpins, les changements de densité de l'eau liés aux changements saisonniers de température entraînent, en fin d'hiver, le mélange des eaux de surface froides et bien oxygénées avec celles du fond, plus chaudes.

Ceci permet le maintien d'une vie diversifiée au fond des lacs et dans les sédiments, mais aussi dans les couches supérieures grâce au brassage qui permet leur fertilisation par les éléments nutritifs redistribués depuis le fond.

Seiche Phénomène d'oscillation de la surface des lacs sous l'action du vent.

Y a-t-il des courants et des marées dans les lacs ?

► Ulrich Lemmin, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) •

Les lacs ne sont pas des masses d'eau immobiles et uniformes : l'eau s'y déplace sous l'influence de phénomènes variés et bien identifiés. Il existe des mouvements turbulents de quelques millimètres en quelques secondes et des transferts de grandes masses d'eau sur plusieurs kilomètres en quelques jours. Comment s'organisent tous ces mouvements ?

Des grands facteurs qui influent sur le déplacement de l'eau

Le mouvement des masses d'eau est déclenché par le vent et conditionné par la forme du bassin, la stratification thermique (voir question 1-04 : *Quand les lacs se retournent-ils dans leur cuvette ?*), et dans les grands lacs, par la force dite de Coriolis*.

Les lacs sont des écosystèmes de haute valeur de plus en plus sollicités comme réservoirs d'eau potable. Le devenir de polluants ou de contaminants dissous dans ces milieux va être contrôlé par l'ensemble des mouvements d'eau, à différentes échelles. Une bonne connaissance de l'hydrodynamique des lacs est donc un élément essentiel pour comprendre le mélange des substances biogéochimiques, ainsi que l'identification de zones où des contaminants seraient susceptibles de séjourner.

Le vent transfère son énergie à l'eau par frottement et déplace la couche d'eau près de la surface dans la direction du vent. À l'intérieur de la colonne d'eau, cette énergie est transférée vers le bas par frottement provoquant ainsi des mouvements de masses d'eau à l'intérieur du lac.

Les vents provoquent des mouvements aléatoires

Une circulation à grande échelle

Les masses d'eau près de la surface, transportées dans la direction du vent, induisent des mouvements de masses d'eau opposés dans les couches de fond. Cette circulation est perturbée localement par les variations de direction et de force du vent. La stratification thermique et la force de Coriolis modifient également ces mouvements et peuvent générer des structures complexes de grands tourbillons, tournant dans des sens différents.

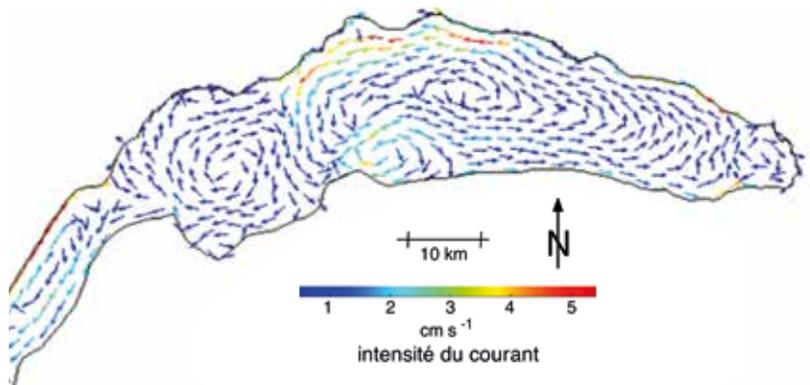


Fig. 1 – Carte des directions et des vitesses moyennées sur la colonne d'eau dans le Léman pendant un événement de vent de Nord-Est. On note la présence de tourbillons. La couleur des flèches indique la vitesse du courant (source : U. Lemmin)

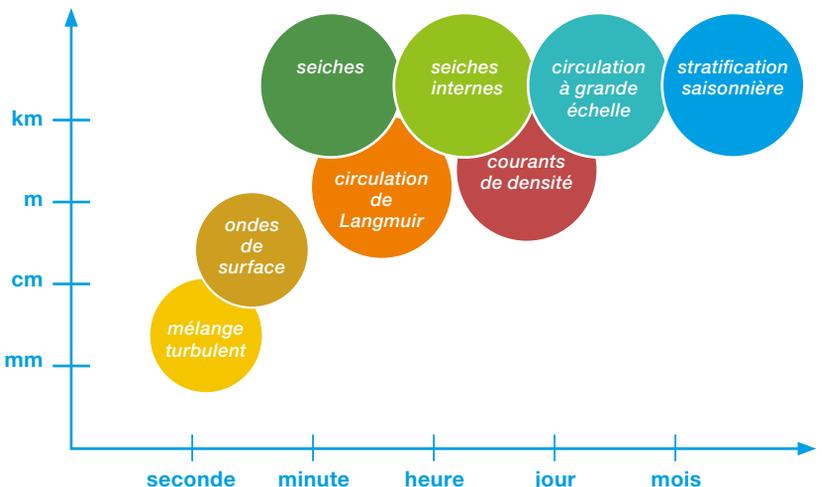


Fig. 2 – Représentation schématique des différents mouvements de l'eau dans les lacs. L'échelle de temps indique la durée du phénomène, l'échelle spatiale, son ampleur. Le diamètre des cercles indique l'étendue sur laquelle ces phénomènes se manifestent. À titre d'exemple, la durée des courants de densité peut varier de quelques heures à plusieurs jours et leur taille s'échelonne en mètres à des kilomètres (source : U. Lemmin)

Des mélanges turbulents

Le frottement causé par des gradients de vitesse dans les tourbillons à grande échelle génère de la turbulence. Celle-ci induit des mouvements à petite échelle qui mélangent les masses d'eau localement, horizontalement et verticalement. Entre la circulation à grande échelle et la turbulence à petite échelle, on trouve aussi de nombreux processus intermédiaires comme la circulation de Langmuir* ou les courants de densité (écoulement d'eau de densité plus faible que la masse d'eau du lac) qui se produisent sporadiquement et contribuent aux mouvements des masses d'eau.

Les vents provoquent des mouvements périodiques

Les ondes de surface

Les ondes de surface sont progressives et se déplacent avec le vent. Elles peuvent affecter la dynamique des 10 premiers mètres de la colonne d'eau. Lors de forts vents, elles peuvent déferler, contribuant ainsi de manière significative à l'échange de gaz et de chaleur entre l'air et l'eau.

Les seiches de surface

Les seiches de surface sont des ondes stationnaires à l'échelle du bassin. Le vent pousse les masses d'eau vers la côte, provoquant une inclinaison de la surface. Elles ont peu d'importance dans la dynamique des lacs.

Les seiches internes

Pendant la saison stratifiée (voir question 1-04 : *Quand les lacs se retournent-ils dans leur cuvette ?*), une thermocline* se forme. Les eaux de surface s'accumulent à une extrémité du lac sous l'effet du vent. Cette masse d'eau en excès pousse la thermocline vers le bas à l'extrémité du lac sous le vent, ce qui provoque une inclinaison de la thermocline le long de l'axe du lac. Les oscillations de la thermocline commencent dès que le vent cesse, avant de se stabiliser progressivement. Leurs amplitudes peuvent atteindre plusieurs mètres et produisent d'importants mouvements périodiques des masses d'eau se déplaçant en sens inverse au-dessus et en dessous de la thermocline. Dans les grands lacs, la force de Coriolis transforme ces seiches internes en ondes, appelées ondes de Kelvin, qui se déplacent autour du périmètre du bassin du lac.

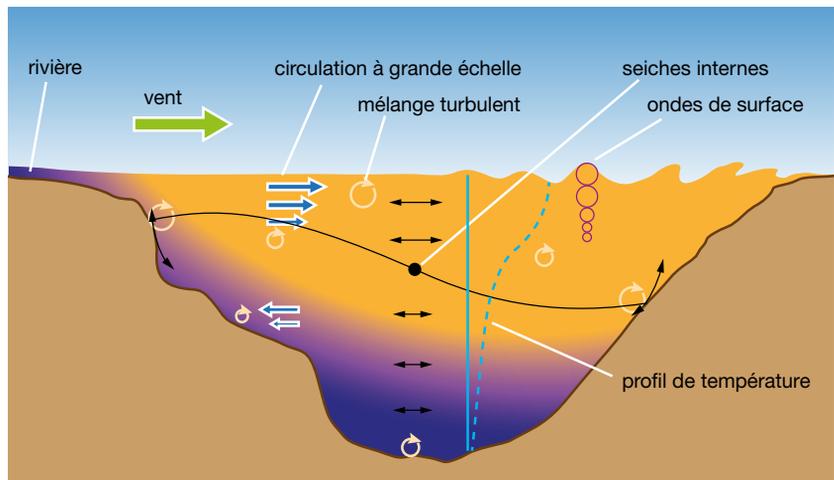


Fig. 3 – Représentation des mouvements aléatoires et périodiques présents dans les lacs stratifiés (source : U. Lemmin)

Des marées sur les lacs ?

Les marées, causées par l'attraction lunaire, ne sont visibles qu'en présence de grandes masses d'eau. Les lacs alpins, y compris le Léman sont trop petits pour générer des phénomènes de marées visibles.

Force dite de Coriolis Force due à la rotation de la terre qui induit un mouvement vers la droite par rapport à la direction du vent.

Circulation de Langmuir Série de tourbillons contre-rotatifs à axe horizontal dans la couche supérieure du lac alignée au vent.

Thermocline Couche de transition thermique rapide entre les eaux de surface (chaudes) et les eaux profondes (froides).

Ce qu'il faut retenir

Les lacs sont des masses d'eau en perpétuel mouvement. Ces mouvements, à petite échelle ou à celle du lac, créent des masses d'eau qui ont une certaine hétérogénéité en termes de température et de composition chimique. La connaissance de l'hydrodynamique des lacs est donc importante.

Les lacs et le Rhône, quelles relations hydrologiques ?

► Renaud Jalinoux, CISALB • François Pasquini, État de Genève •

Le Rhône traverse le Léman, effleure le Bourget et passe à distance des deux autres lacs. En régime hydrologique courant, les relations sont claires, chacun contribuant au débit du Rhône. En période de crue, comme en période de sécheresse, les relations sont plus compliquées.

Trois configurations différentes

Après 165 km parcourus depuis leur source dans le glacier du Gothard, les eaux du Rhône se fondent dans celles du Léman. 70 km plus loin, à Genève, le fleuve renaît.

Avec le lac du Bourget, le Rhône entretient une relation réciproque; le canal de Savières, long de 4,5 km et reliant les deux masses d'eau, peut couler dans les deux sens. L'eau des lacs d'Annecy et d'Aiguebelette ne coule que dans un sens, des lacs vers le Rhône, via respectivement le Fier et le Guiers (fig. 1).

Les relations entre lacs et Rhône en régime moyen

Le débit moyen du fleuve est de 182 m³/s à l'entrée du Léman et de 250 m³/s à sa sortie, à Genève. Ces 68 m³/s supplémentaires sont apportés par les rivières drainant le bassin versant du Léman (2 767 km²).

En aval du lac, le débit croît avec les deux principaux apports haut-savoyards de l'Arve (74 m³/s) et du Fier (41 m³/s) pour atteindre 335 m³/s à Pougny puis 418 m³/s à Brens. La contribution des trois lacs français est bien plus faible : 8,2 m³/s pour le Thiou (exutoire du lac d'Annecy), 13 m³/s pour le canal de Savières (exutoire du lac du Bourget) et 1,7 m³/s pour le Thiers (exutoire du lac d'Aiguebelette). L'apport des trois lacs ne représente que 4 % du débit moyen annuel du Rhône à Lyon (600 m³/s avant la confluence avec la Saône).

Le débit du Rhône, en quittant la Savoie, est constitué à 45 % d'eau provenant du Rhône à l'amont du Léman, à 17 % du bassin lémanique (dont la Dranse) et à 18 % de l'Arve (fig. 2).



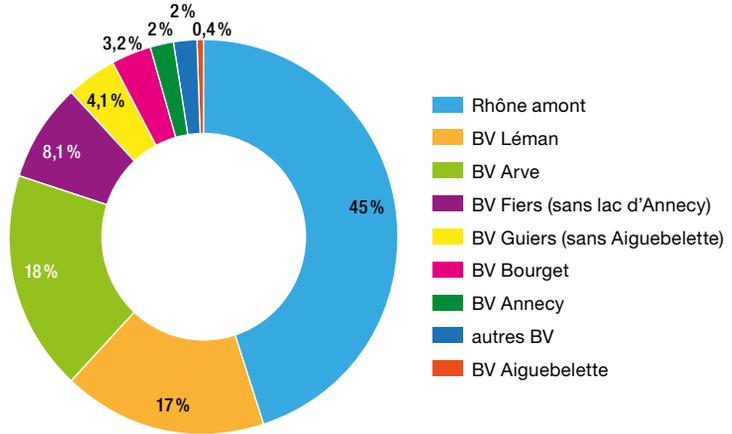
Fig. 1 – Situation du Rhône et des lacs alpins (source : R. Jalinoux)

La crue de février 1990

En période de crue, les lacs jouent un rôle important, en stockant temporairement l'eau apportée par les bassins versants. Leur capacité d'écrêtement (de rétention des eaux) dépend des apports du bassin versant et de la superficie du lac. Monter de 10 cm le niveau d'eau des lacs équivaut à stocker un volume de 58 millions de m³ dans le Léman, de 4,5 millions de m³ dans le lac du Bourget, de 2,7 millions de m³ dans le lac d'Annecy et de 0,5 million de m³ dans le lac d'Aiguebelette.

Lors de la crue du 13 au 17 février 1990, centennale sur le Haut-Rhône français, le stockage dans les lacs et l'étalement de l'eau dans les zones inondables ont permis de réduire le débit de la crue en aval. Les lacs sont montés respectivement de 0,28 m sur le Léman, de 0,70 m sur le lac d'Annecy, de 2,50 m sur le lac du Bourget. Ce sont près de 300 millions de m³ qui ont été ainsi stockés dans les lacs ! L'inondation naturelle de la plaine de Chautagne et la montée du lac du Bourget permettent, à eux seuls, d'écrêter jusqu'à 35 % du débit de pointe d'une très forte crue du Haut-Rhône (885 m³/s sur 2500 m³/s).

Fig. 2 – Contributions des différents bassins versants au débit moyen du Rhône après sa confluence avec le Guiers (source : R. Jalinoux)



La sécheresse et la canicule de l'été 2003

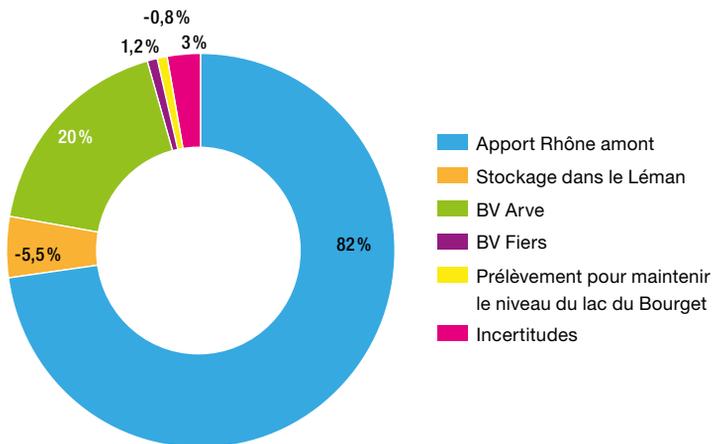
En période d'étiage*, les lacs alpins ne sont pas d'un grand recours pour gonfler le débit du Rhône. Lors de l'été 2003 (fig. 3), le déficit de précipitations a fait chuter les débits d'apport des bassins versants. La canicule a amplifié l'évaporation sur les lacs.

À la mi-août, le lac d'Annecy a baissé de 0,49 m et celui d'Aiguebelette de 0,53 m. Les deux autres lacs ont subi des sorts bien différents.

Le niveau du lac du Bourget a été maintenu à son niveau d'été grâce à un apport de 15 m³/s du Rhône pendant 3 semaines. Sans cette intervention de la Compagnie Nationale du Rhône prévue dans la consigne d'exploitation du barrage de Savières (voir question 6-05 : *Comment et pourquoi le niveau des lacs est-il régulé?*), le lac aurait baissé de 1 m.

Le Léman, malgré une forte évaporation, a été alimenté par la fonte des glaciers du Rhône amont dont l'eau a été stockée (près de 175 millions de m³ d'eau) dans trois grands barrages suisses pour être turbinée plus tard en hiver, lors des pointes de consommation énergétique.

Fig. 3 – Contributions des différents bassins versants au débit moyen du Rhône après sa confluence avec le Guiers lors de l'été 2003 (juin, juillet et août) (source : R. Jalinoux)



Ce qu'il faut retenir

Le Rhône entretient avec chaque lac alpin des relations hydrologiques différentes, liées aux situations géographiques rencontrées. Lors des inondations, les lacs ont un rôle d'écrêteur de crue du Rhône. En période d'étiage, les lacs d'Annecy et d'Aiguebelette voient leur ligne d'eau baisser tandis que celles du lac du Bourget et du Léman sont maintenues artificiellement.

Étiage Période de l'année où le niveau d'un lac atteint son point le plus bas.

Les lacs engendrent-ils un microclimat ?

► Jean-François Georgis, Université Toulouse III, Laboratoire Aérologie • Gilles Bruno, Météo-France, Chamonix •

Les lacs peuvent-ils modifier localement les conditions atmosphériques et favoriser des phénomènes météorologiques particuliers? Il suffit d'observer l'attrait des rives des lacs lors des chaleurs estivales ou de se laisser aller à la rêverie devant la dissipation des brumes automnales au-dessus d'un lac pour se convaincre de leur influence locale sur le climat. Pour le démontrer, il faut étudier les propriétés physiques de l'eau en contact avec l'air.

Le lac comme climatiseur naturel

L'eau se trouve naturellement sous trois formes distinctes : solide (glace), liquide, vapeur. Le passage de l'état solide à liquide, puis vapeur (lorsque l'eau s'évapore) nécessite un apport de chaleur. Ces changements d'états successifs, dans l'ordre indiqué, se produisent donc lorsque l'eau, quelque soit son état, est en contact avec un air plus chaud. Le transfert de chaleur qui s'opère alors de l'air vers l'eau abaisse localement la température de l'air. D'où la sensation de relative fraîcheur ressentie au voisinage d'un plan d'eau soumis au phénomène d'évaporation, lors des chaudes journées d'été.

L'eau, surtout en phase liquide, est caractérisée par sa grande inertie thermique. En 24 heures, alors que la température de l'air peut être élevée en journée et fraîche la nuit, celle de l'eau ne varie quasiment pas. Pour la même raison, le changement de température de l'eau au fil des saisons n'est pas aussi rapide que pour l'air. Le contraste thermique entre l'air et l'eau est d'autant plus perceptible que le volume d'eau est grand. Un lac peut donc être considéré comme un réservoir accumulant de la chaleur l'été (essentiellement le jour) pour en libérer lorsque la température de l'air est plus faible (essentiellement l'automne et l'hiver). Voilà pourquoi le Léman, qui est le plus grand lac d'Europe Centrale, est aussi celui où le climat est le plus doux.

Le lac comme convecteur naturel

Lorsque la température de l'eau est supérieure à celle de l'air, le lac peut être considéré comme une source locale de chaleur. C'est le cas l'hiver, mais aussi l'été et l'automne entre le coucher du soleil et son lever le lendemain. L'air, au contact de la surface du lac, subit alors un réchauffement. Cet air plus chaud, donc plus léger que la masse d'air environnante monte, en altitude. La chaleur puisée au niveau du lac est alors transmise aux couches supérieures de l'atmosphère. Ce chauffage par convection cesse à une certaine altitude. En montant, l'air se refroidit.

Brume, brouillard, nuages : de l'eau dans le gaz !

Lorsque l'eau s'évapore, l'air qui est un mélange gazeux s'enrichit en vapeur d'eau. À partir d'un certain seuil, la vapeur d'eau en excès dans l'air se transforme spontanément en liquide : c'est le phénomène de condensation. Ce seuil est d'autant plus vite atteint que la température de l'air est basse. Aussi, l'hiver ou



Photo 1 – Le lac du Bourget en été (© CISALB)



Photo 2 – Coup de vent sur les roselières de la rive ouest du lac d'Annecy (© D. Zanella – SILA)

Températures moyennes des postes de mesures les plus proches des 4 lacs alpins

Hiver (déc.-fév.)	Minimum	Maximum	Moyenne
Novalaise (Aiguebelette)	-1,8	6,3	2,2
Vogland (Bourget)	-0,6	7,0	3,2
Cran-Gevrier (Annecy)	-1,5	6,5	2,5
Évian-les-Bains (Léman)	0,9	5,5	3,2

Été (juin-août)	Minimum	Maximum	Moyenne
Novalaise (Aiguebelette)	12,4	26,1	19,2
Vogland (Bourget)	14,3	26,4	20,3
Cran-Gevrier (Annecy)	13,2	26,2	19,7
Évian-les-Bains (Léman)	15,6	24,5	20,0

Du fait de la distance au lac de la station de Novalaise, et de la taille du lac, il n'est pas sûr que celui-ci influence son propre climat.

lors des nuits fraîches d'automne, on observe de la condensation dans la masse d'air humidifiée par l'évaporation à la surface du lac : c'est l'apparition de la brume ou de brouillard (photo 3). La dissipation de ce phénomène météorologique survient ensuite, souvent le matin en automne et plus tard en hiver, lorsque le réchauffement solaire devient suffisant pour assécher la masse d'air.



Photo 3 – Le Léman sous la brume (© J.-M. Zellweger)

Si l'air au contact du lac n'est pas suffisamment froid, le phénomène de condensation ne peut pas se produire au niveau du plan d'eau. En fonctionnant comme un convecteur, le lac déplace alors le niveau de condensation vers des altitudes plus élevées : l'air réchauffé et humidifié par le lac se refroidit progressivement au cours de son ascension, si bien qu'à un moment donné, la vapeur d'eau qu'il contient commence à se transformer en eau liquide. Ainsi apparaît la base d'un nuage.

Le phénomène de condensation s'accompagne d'une libération de chaleur, celle qui a été emmagasinée par l'eau lors de son passage de l'état liquide à vapeur au cours de l'évaporation au-dessus du lac. La parcelle d'air humide, au sein de laquelle se produit la condensation, subit un réchauffement qui lui permet de monter en altitude. Ainsi le nuage se développe; son extension verticale dépend de la chaleur, mais aussi de la quantité de vapeur d'eau cédée à l'air par le lac. L'eau liquide constituant le nuage apparaît d'abord sous forme de gouttelettes qui, par collision, forment ensuite des gouttes plus grosses. Lorsque leur poids devient trop important, les gouttes ne peuvent plus se maintenir dans l'air ascendant et tombent au sol : il pleut.

Ce qu'il faut retenir

Un lac est un excellent régulateur de la température de l'air localement. Les changements de température de l'eau n'étant pas aussi rapides que pour l'air, un lac rafraîchit l'atmosphère l'été et la réchauffe l'hiver.

L'évaporation de l'eau en surface du lac enrichit l'air en humidité, ce qui provoque des brumes et brouillards en hiver, quand l'air est suffisamment froid. L'été, la condensation ne peut alors survenir qu'en altitude, là où la température est suffisamment faible.

Quelles sont les relations entre le bassin versant et le lac ?

► Jean-Marcel Dorioz et Dominique Trévisan, INRA CARRTEL •

Les lacs ne sont pas des systèmes isolés : comprendre leur état et leur fonctionnement nécessite de prendre en compte les flux provenant de leur environnement. Malgré leur taille, les grands lacs ne sont pas soustraits à ces pressions et notamment à l'influence majeure du territoire qui les alimente en eau : leur bassin versant. Quelle est donc la nature des liens entre lac et bassin versant ?

Le bassin versant : une composante clé de l'environnement des lacs

L'influence du bassin versant sur son lac s'exerce principalement via les affluents qui le drainent et apportent de l'eau, de l'énergie, des matières solides et dissoutes. Ces apports déterminent le temps de séjour de l'eau dans le lac, contribuent à son brassage, régulent sa composition, en particulier en nutriments et polluants (voir question 1-03 : *Combien de temps faut-il pour renouveler les eaux d'un lac ?*).

L'intensité des relations bassin-lac dépend de facteurs fixes comme la topographie, le rapport entre la surface du lac et son bassin, les caractéristiques géologiques et de facteurs variant dans le temps comme les activités humaines, les structures paysagères et le climat.

À long terme, les apports aboutiront inévitablement au comblement de la cuvette lacustre (théoriquement dans environ 600 000 ans pour le Léman).

Le bassin versant : le lieu de connexion entre eau et territoire

Le bassin versant est un système géographique qui assemble roches, pentes, sols, végétations, collecte les précipitations, détermine la distribution spatiale de l'eau et organise les écoulements dans un réseau de cours d'eau convergeant vers un exutoire, le cas échéant un lac. Le bassin est délimité en surface par les plus hautes altitudes le ceinturant. Ses limites souterraines sont plus délicates à établir. Le



Photo 1 – Le lac d'Aiguebelette et son bassin versant rural (© D. Roux-Michollet – GRAIE) ◀

bassin versant ne collecte pas que de l'eau : celle-ci ayant la capacité de dissoudre, d'éroder et de transporter, elle acquiert une charge de matières particulières et dissoutes qui résulte d'une part de son action sur les roches et les sols et d'autre part des activités humaines. C'est ainsi que le fonctionnement des bassins contrôle la composition des eaux fournies aux lacs, y compris les charges polluantes.

L'eau qui s'écoule contient tout d'abord un ensemble de composés chimiques dissous, libérés par l'altération des roches. La plupart des composés constituant ce fond géochimique minéral sont quantitativement peu affectés par les activités humaines (Calcium, Magnésium, Silicium...). Quelques autres, tout aussi naturels, présentent au contraire des flux très influençables par ces activités. C'est le cas des chlorures et des nutriments (Azote, Phosphore) dont la teneur dans les eaux s'accroît considérablement (d'un facteur de 10 à 100) du fait de rejets (salage, eaux usées) et/ou d'apports sur les sols (fertilisations, matières organiques, décharges).

C'est aussi le cas des métaux dits lourds (Cadmium, Zinc, Cuivre...), largement associés aux matériaux de construction et à l'industrie locale. L'eau se charge aussi, localement, de molécules de synthèse (produits pharmaceutiques, colorants, détergents, pesticides...); les quantités en cause sont faibles mais ces flux sont sous surveillance dans la crainte de contaminations et d'effets écotoxicologiques cumulés sur les milieux lacustres récepteurs (voir question 3-07 : *Que deviennent les micropolluants introduits dans les lacs ? Quels sont les risques associés ?*).

S'ajoutent enfin à ce cocktail, des matières humiques originaires pour l'essentiel des sols forestiers, prairiaux et des marais, des microbes comprenant éventuellement des pathogènes (dont la persistance est variable dans les eaux, par exemple de l'heure à l'année pour les diverses bactéries fécales), et enfin des particules issues de l'érosion des sols et des berges. Particules et matières humiques sont susceptibles de fixer et donc de transporter toute une série de composés (Phosphore, Cadmium, Zinc, PCB...).

Le réseau hydrographique, en assurant le transport de toutes ces charges solides et dissoutes, réalise la connexion entre le lac et son bassin versant. Pendant le transport, divers phénomènes sont susceptibles de modifier, voire d'atténuer, la charge polluante des eaux (dégradation, stockage).



Photo 2 – Vignobles de Lavaux surplombant le Léman (© J.-M. Zellweger)

Les relations entre bassin versant, occupation de sols et pollutions

Un bassin rural transfère des charges issues des rejets d'eaux usées (pollution dite ponctuelle) et des écoulements sur et dans les sols (pollution dite diffuse). La charge totale, riche en nutriments dissous, est potentiellement très impactante sur les lacs alpins par son excès de phosphore et parfois de contaminants microbiens, avec de très fortes teneurs à des périodes clés pour le lac (étiage et crues estivales). Les cultures intensives ajoutent des pesticides et les sols nus

en période hivernale, des érodats (produits de l'érosion). La présence dans le paysage de zones tampons (haies, ripisylves, bandes herbeuses, certains marécages) permet d'intercepter une partie des charges polluantes.

Un bassin urbain et périurbain offre souvent une charge en nutriments plus faible (les eaux usées sont plus efficacement collectées et traitées) mais exporte tout un cocktail de micropolluants.



Photo 3 – Une rive urbanisée du lac d'Annecy (© D. Laffon)

Ce qu'il faut retenir

À l'issue de son transit dans le bassin versant, l'eau acquiert une charge dissoute et particulaire, organique et minérale, dont l'impact sur le lac est une question de composition, de dose, de régime d'apport et de mécanismes lacustres. La gestion des bassins versants est un élément essentiel pour contrôler la qualité des grands lacs alpins.



Bochet au milieu des macrophytes © J.-C. Bertoniello

Biologie et écologie

La vie dans les lacs : comment est-elle arrivée ?

► Brigitte Lods-Crozet, DGE, Canton de Vaud •

C'est dans l'eau que la vie sur la terre est apparue, d'abord dans les océans puis dans les milieux d'eau douce qui ne représentent aujourd'hui que 2,5% de l'eau (glaciers compris) de la planète. Progressivement, grâce au phénomène de migration, la vie lacustre s'est diversifiée et spécialisée. Plus récemment, le développement des sociétés humaines a accéléré les échanges d'espèces entre milieux.

Les grands lacs alpins sont jeunes

Les grands lacs alpins ont été façonnés par l'action érosive des glaciers dont le dernier retrait date d'environ 14 000 ans. Au maximum de la glaciation, il y avait une épaisseur de glace d'environ 800 à 1 000 m au-dessus du niveau de l'eau du Léman (voir question 1-01 : *Naissance et transformation des lacs : du temps des mammouths à nos jours*).

La colonisation initiale par les affluents a été rendue souvent difficile, les voies de circulation des espèces étant barrées par des obstacles naturels. Le Léman a ainsi été préservé des échanges biologiques des bassins du Rhône et du Rhin par un isolement naturel, géographique et hydrologique, causé par exemple par les pertes du Rhône à Bellegarde, dans l'Ain. Le fleuve s'engouffrait alors dans une sorte de canyon infranchissable pour la plupart des espèces. Aujourd'hui, ce site est noyé sous les eaux de la retenue du barrage de Génissiat.

Migration active et transport passif

La colonisation naturelle après les glaciations s'est faite par remontée dans les rivières. Les végétaux et animaux qui ont colonisé les lacs alpins se trouvaient dans deux refuges : le bassin ponto-caspien (est de l'Europe) et le bassin méditerranéen. Les mécanismes de colonisation ont été très actifs, par migration vers l'amont le long des cours d'eau pour les poissons, les invertébrés et les insectes en phase aérienne.

Un transport passif s'est aussi fait, soit par le milieu aquatique pour les organismes en suspension (plancton végétal et animal, graines des végétaux), et pour les larves planctoniques de certains invertébrés vivant sur le fond (comme les moules), soit par le vent (graines), soit par les vertébrés (oiseaux, mammifères), transporteurs malgré eux des organismes végétaux et animaux. L'homme a bien sûr contribué à la colonisation des lacs et ce phénomène a eu tendance à s'accélérer avec la mondialisation des

Existe-t-il des lacs sans vie ?

Même dans les eaux souterraines, dans un lac sur le front d'un glacier, dans les abysses du lac Baïkal ou encore au sein des eaux sulfureuses d'un lac de cratère, la vie est présente. Si les micro-organismes pullulent, les algues et même des crustacés, des insectes et des amphibiens, ont développé des stratégies pour s'adapter et réussir à croître et se reproduire dans des milieux a priori inhospitaliers.



Photo 1 – Mulette épaisse, *Unio crassus* (© H. Vicentini)



Photo 2 – Larve d'éphémère,
Choroterpes picteti (© J.-L. Gattolliat)

transports aériens et fluviaux (eaux de ballast des embarcations), l'interconnexion des fleuves via des canaux, l'aquaculture, la gestion piscicole, etc.

Actuellement, plus de mille espèces vivent dans les eaux des grands lacs, du rivage aux plus grandes profondeurs, sans tenir compte des organismes microscopiques (voir question 2-02 : *Y a-t-il des organismes microscopiques dans les lacs?*).

La diversité change-t-elle encore ?

Des changements dans la diversité de la faune et de la flore sont survenus au cours des millénaires par des processus de migration, colonisation, acclimatation, compétition et extinction. Le développement humain accélère ces changements.

L'enrichissement en matières nutritives du milieu (eutrophisation), les constructions de remblai en zone littorale, et la régulation du niveau des eaux, ont provoqué la quasi disparition, des grandes moules (photo 1) dans les zones alluviales d'embouchures de rivières, d'insectes éphémères (photo 2) caractéristiques des grèves de gravier ou encore de la littorale uniflore, plante des grèves graveleuses périodiquement submergées.

Certaines espèces d'invertébrés aquatiques avec un plus fort potentiel d'expansion, comme la moule zébrée, sont arrivées dans les grands lacs alpins en provenance de la région ponto-caspienne dès le début des années 1960 via les bassins du Rhône ou du Rhin. Plus d'une vingtaine d'entre elles se sont acclimatées (voir question 2-07 : *Les espèces invasives sont-elles dangereuses?*).

Les poissons, une histoire très récente

Les premières colonisations se sont faites par des espèces d'eau froide comme les salmonidés (truite, corégone et omble chevalier) qui, après l'époque du retrait des glaciers, migraient en mer pour grossir et remontaient les rivières pour se reproduire.

Depuis, plus du tiers des espèces du Léman ont été introduites par l'homme, dès le Moyen Âge, pour des besoins d'exploitation piscicole (voir question 4-04 : *Comment est gérée la ressource piscicole des lacs?*). Par surexploitation piscicole, deux espèces indigènes du Léman, la féra et la gravenche, ont disparu au début du xx^e siècle.

Ce qu'il faut retenir

Les grands lacs alpins sont des systèmes ouverts où la vie s'est peu à peu établie. Les processus de colonisation ont commencé très tôt et perdurent, provoquant des changements incessants, accélérés par l'action humaine. La biodiversité que nous connaissons dans les lacs alpins est en partie le résultat de l'action de l'homme.

Y a-t-il des organismes microscopiques dans les lacs ?

► Stéphan Jacquet, Orlane Anneville, Isabelle Domaizon, Frédéric Rimet, INRA CARRTEL •

Les organismes microscopiques sont présents dans tous les milieux aquatiques. Les lacs alpins ne font pas exception à cette règle et abritent une communauté abondante et très diversifiée d'organismes planctoniques (de pleine eau) ou benthiques (vivant sur le fond), dont le rôle est primordial pour le fonctionnement écologique de ces écosystèmes.

Des êtres invisibles, nombreux, divers et importants

Complètement invisibles ou à peine visibles à l'œil nu, les organismes microscopiques (micro-organismes) (photo 1) sont à la fois abondants, diversifiés et caractérisés par une variété de rôles qui les rendent essentiels dans le fonctionnement écologique des écosystèmes, c'est-à-dire dans tous les processus de transformation de la matière organique et des nutriments, ou de décomposition.

De taille nano à millimétrique, ils vivent en pleine eau et se déplacent au gré des courants ; c'est le cas du plancton. D'autres sont plutôt typiques des substrats meubles (sédiments) ou durs (cailloux, rochers, épaves).

En plus de leur rôle fonctionnel (voir question 2-09 : *Qu'est-ce qu'un écosystème lacustre ?*), certains sont aussi des bio-indicateurs de la qualité de l'eau (voir question 3-03 : *Comment mesure-t-on la qualité de l'eau ?*).



Photo 1 – Organisme cilié Pétriche dans une lorica (sac mucilagineux protecteur)
(© INRA – CARRTEL)

Des producteurs d'oxygène

Le phytoplancton (photo 2) est composé essentiellement de microalgues dites chlorophylliennes qui, par leur capacité de photosynthèse*, produisent de l'oxygène dans les eaux proches de la surface (zones éclairées). Ces microalgues se développent grâce à l'énergie solaire, au gaz carbonique et à des éléments nutritifs (phosphore, azote, etc.) dissous dans l'eau, transformant ainsi des éléments inertes en matière vivante (biomasse).

Caractérisées par de très nombreuses espèces que l'on classe suivant des critères morphologiques et pigmentaires, ces microalgues servent aussi de proies pour d'autres organismes aquatiques comme les microcrustacés, les larves de poissons, les mollusques ou les rotifères*.

Leur rôle est primordial au sein des lacs. Il est à relier au nombre d'espèces ou taxons* connus à ce jour : 1 008 pour le Léman, 850 pour le lac du Bourget, 733 pour le lac d'Annecy et entre 90 et 130 taxons suivant les années pour le lac d'Aiguebelette ! En général, environ 100 taxons différents sont observés au cours d'une année, dans chaque lac. Parmi eux, certains sont plus importants que d'autres en termes d'abondance, de biomasse ou de signification écologique. Ils peuvent alors servir à décrire l'état dans lequel se trouve l'écosystème à un moment donné (bio-indicateur).

Un fort développement d'un organisme phytoplanctonique peut par exemple colorer l'eau et lui conférer un niveau de qualité moyen à mauvais. Si l'espèce qui prolifère est en plus toxique, comme cela peut être le cas avec certaines cyanobactéries, elle peut mettre en péril le fonctionnement de l'écosystème ainsi que certains usages du lac. Ce fut le cas avec une espèce filamenteuse (*Planktothrix rubescens*) qui a proliféré dans le lac du Bourget de 1995 à 2009 avec des abondances maximales de 200 000 cellules par ml

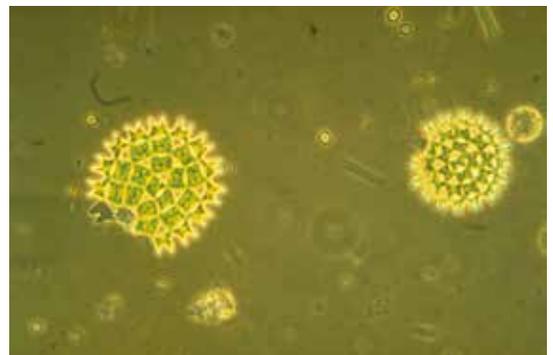


Photo 2 – Organismes phytoplanctoniques (© F. Rimet – INRA)

Photosynthèse Processus biochimique qui permet aux plantes, aux algues et certaines bactéries de synthétiser la matière organique à partir du gaz carbonique de l'air et de l'eau du milieu en utilisant la lumière du soleil.

Rotifère Organisme microscopique portant deux couronnes de cils entourant sa bouche et qui tourbillonnent pour faire entrer l'eau et les particules de nourriture.

Taxon Entité arbitraire qui regroupe des organismes vivants possédant certains caractères communs. On l'assimile souvent à l'espèce ou à une variété de l'espèce.



Photo 3 – Une daphnie (microcrustacé) avec des œufs bien visibles (© L. Laine – INRA)

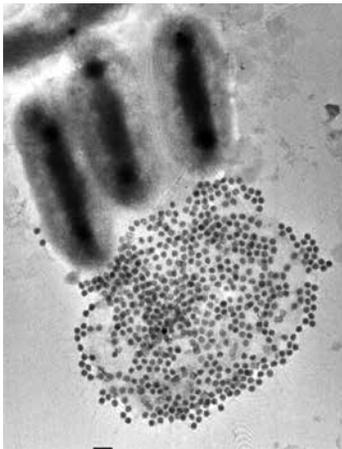


Photo 4 – Bactéries et (bactério)phages (© S. Jacquet – INRA)

(soit le volume contenu dans un dé à coudre). D'autres cyanobactéries, les picocyanobactéries (unicellulaires), peuvent facilement atteindre des concentrations de l'ordre de 500 000 cellules par ml, mais celles-ci sont par contre plutôt bénéfiques au réseau trophique.

Les premiers prédateurs

Le plancton animal (zooplancton) est considéré comme un maillon clef au sein du réseau trophique, car se situant entre le phytoplancton qu'il broute et certains poissons à qui il sert de nourriture. Il est majoritairement constitué de microcrustacés (photo 3), dont l'importance quantitative et qualitative est primordiale mais variable d'un lac à un autre. On a dénombré jusqu'à aujourd'hui dans le Léman et les lacs du Bourget et d'Annecy respectivement 256, 195 et 161

taxons différents, mais ce ne sont généralement que quelques dizaines d'espèces qui sont observées dans chaque lac. En terme d'abondance, le nombre d'individus présents pour une surface d'1 m² varie entre 200 000 et 3 millions, selon les années, les saisons et le lac. Le zooplancton est également composé de rotifères et diverses larves de poissons, d'insectes ou de mollusques (ces derniers menant une partie de leur cycle de vie dans le plancton).

D'autres organismes

Il est plus difficile d'apprécier la diversité des communautés microbiennes et virales, dans lesquelles se trouvent d'autres groupes très importants, dans le fonctionnement des lacs alpins comme les ciliés* (photo 1), les flagellés*, les bactéries* (photo 4), les archées*, les champignons ou encore les virus. La diversité de ces micro-organismes ne peut souvent être appréciée qu'avec des outils issus de la biologie moléculaire, en ciblant des gènes qui permettent de les identifier.

À ce jour, aucun inventaire n'a été effectué sur l'ensemble des lacs alpins. Si l'on s'intéresse aux virus par exemple, il a pu être montré dans le lac du Bourget, à

partir d'un seul prélèvement de 20 litres effectué à une profondeur de 5 mètres au cours d'un été, qu'il existait plus de 5 000 espèces virales différentes. Les bactéries, organismes essentiels dans le cycle des nutriments et dans la décomposition de la matière organique, sont présentes à des densités très élevées (environ 1 000 000/ml dans l'eau et 100 à 1 000 fois plus dans 1 g de sédiment). Ici aussi la biologie moléculaire a permis de montrer que leur diversité est également très élevée, de plusieurs centaines (voire milliers) de taxons, une minorité d'entre eux étant dominante et la majorité faisant partie de ce que l'on nomme « la biosphère rare ».

Cilié *Organisme unicellulaire muni de cils (pour son déplacement et sa nutrition), d'une taille de 30 à 300 μm. Il se nourrit de particules organiques, de bactéries.*

Flagellé *Micro-organisme muni d'un flagelle pour ses déplacements. Certains sont hétérotrophes (se nourrissent de matière organique), d'autres sont autotrophes (pratiquent la photosynthèse).*

Bactérie et archée *Organismes unicellulaires, dont la taille est comprise entre 0,1 et quelques microns (0,000001 m). Présentes dans tous les environnements terrestres et aquatiques, leur diversité n'est qu'estimée et leur rôle environnemental essentiel. Différentes sur un plan génétique, les bactéries et archées sont similaires morphologiquement.*

Ce qu'il faut retenir

Plusieurs centaines de taxons d'organismes microscopiques ont été décrits dans les grands lacs alpins depuis un siècle. Il s'agit majoritairement des microalgues et du plancton animal. Comparativement, la diversité d'autres micro-organismes comme les bactéries, les champignons ou encore les virus, reste très mal connue mais il ne fait aucun doute qu'elle est aussi très importante. Ce sont certainement plusieurs centaines ou milliers de taxons différents qui interagissent chaque jour dans la colonne d'eau des grands lacs alpins et on sait aujourd'hui que le rôle joué par l'ensemble de ces organismes microscopiques est primordial dans leur bon fonctionnement écologique.

Que voit-on sur le fond des lacs ?

► Valérie Verneaux, Université de Franche-Comté, Chrono-Environnement, UMR 6249 CNRS • Stéphan Jacquet, INRA CARTEL •

Une grande diversité d'organismes macroscopiques (visibles à l'œil nu) colonise les substrats qui constituent le fond des lacs. Ces végétaux et animaux benthiques (vivant sur le fond) assurent de nombreuses fonctions : production, consommation, dégradation et recyclage de la matière organique, transfert de matière organique vers les organismes de pleine eau.

Des ceintures végétales inégalement développées dans les grands lacs alpins

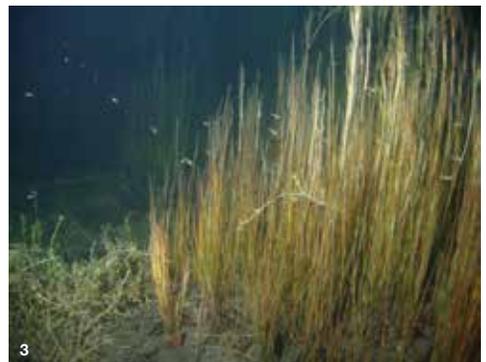
Les macrophytes* (photos 1 à 4) se développent dans des zones favorables (substrats fins, faible agitation, faible pente) où la lumière permet d'assurer la photosynthèse, et s'organisent en herbiers plus ou moins denses. Ils vont rarement au-delà de 15 mètres de profondeur. Les différentes espèces répertoriées au sein des grands lacs (entre 0 et 5 m de profondeur) sont souvent indicatrices de la qualité du milieu. Certaines sont typiques d'eaux et de sédiments riches en nutriments comme les myriophylles, les potamots, les élodées... alors que d'autres, comme les characées, signalent des conditions plus pauvres en nutriments (milieux dits oligotrophes/mésotrophes).

Au cours des précédentes décennies, la composition des végétaux lacustres a beaucoup évolué en nombre d'espèces, en pourcentage de recouvrement et de biomasse*, en réponse notamment à la restauration de la qualité du milieu. Le nombre d'espèces différentes est de l'ordre de 20; on retrouve souvent les mêmes entre les grands lacs, mais l'abondance de chacune d'elle peut différer. D'une valeur patrimoniale reconnue (avec notamment une espèce protégée en Rhône-Alpes : la grande naïade), cette ceinture végétale abrite de nombreux animaux car elle constitue des zones de nourrissage, de camouflage et de reproduction. Outre les poissons comme les brochets, on y trouve différents types de macroinvertébrés.

Une grande richesse de macroinvertébrés benthiques

Ce sont des animaux (photos 5 à 7) très diversifiés notamment les vers, les escargots, les insectes, les écrevisses... visibles à l'œil nu. Les substrats littoraux des grands lacs (rochers, galets, graviers, sables, macrophytes) abritent une grande richesse de macroinvertébrés benthiques (50 à 60 taxons*). Ces animaux se développent dans les zones peu profondes où ils s'alimentent en broutant des microalgues benthiques, en filtrant le plancton ou en ingérant les débris organiques. Ils constituent une ressource alimentaire importante pour les poissons.

Dans le lac d'Annecy, leur nombre en zone littorale est cependant moins élevé (4000 individus/m²) que dans le lac du Bourget ou dans le Léman (>10000 individus/m²). Les macroinvertébrés benthiques se développent également en zones profondes où ils colonisent les premiers centimètres des sédiments.



Photos 1 à 4 – Quelques exemples de macrophytes :
 1 – Hippuris (queue de renard)
 2 – Myriophylle
 3 – A gauche des characées et à droite des joncs
 4 – Potamogeton luisant (© J.-L. Bertoncello)

Dans les grands lacs alpins, la richesse taxonomique répertoriée récemment est proche de 20 pour le lac d'Annecy (à 55 m) et dans le Léman (à 200 m) alors qu'elle n'est que de 10 dans le lac du Bourget (à 96 m). Les différences de richesse des peuplements profonds entre les lacs peuvent être interprétées en termes d'oxygénation des sédiments. Dans le lac du Bourget, il semble que l'oxygénation de la zone profonde soit plus limitée que dans les deux autres lacs, expliquant une plus faible diversité.

Le nombre total d'espèces de macroinvertébrés benthiques des grands lacs alpins n'est pas connu. Toutefois, dans le lac d'Annecy, une étude consacrée aux seuls chironomes (insectes, diptères) a répertorié 137 espèces, dont certaines sont caractéristiques des lacs oligo-mésotrophes (pauvres en éléments nutritifs).

La diversité globale de l'ensemble des macroinvertébrés lacustres est donc probablement importante.

Par rapport aux peuplements présents au début du xx^e siècle, les peuplements actuels sont appauvris en espèces emblématiques des grands lacs peu productifs (oligotrophes) et sont enrichis d'espèces exotiques comme les moules zébrées ou les corbicules (voir question 2-07 : *Les espèces invasives sont-elles dangereuses ?*). Les peuplements de macroinvertébrés benthiques témoignent encore des perturbations anciennes, comme les pollutions des années 1970 et de l'existence de conditions actuelles limitant le retour des espèces caractéristiques des grands lacs oligotrophes.

Les conséquences du développement de l'ensemble des espèces exotiques invasives sur celui des espèces natives restent à approfondir.



Photos 5 à 7 – Quelques exemples de macroinvertébrés benthiques :
Photo 5 – Aselle (© J.-F. Cart)
Photo 6 – Dugesia (© J.-F. Cart)
Photo 7 – Hydracarien (© J.-F. Cart)

Macrophyte Plante aquatique visible à l'œil nu.

Biomasse Masse totale des organismes végétaux et/ou animaux contenus dans un milieu, à un instant donné.

Taxon Entité arbitraire qui regroupe des organismes vivants possédant certains caractères communs. On l'assimile souvent à l'espèce ou à une variété de l'espèce.

Pélagique Vivant en pleine eau.

Ce qu'il faut retenir

Des invertébrés nombreux et diversifiés se développent dans ou à proximité du fond des grands lacs et constituent une ressource alimentaire importante pour les poissons littoraux, mais également pour les poissons pélagiques* comme les corégones et l'omble chevalier. La végétation immergée, dont la composition varie en fonction des lacs, joue un rôle écologique majeur dans le fonctionnement de l'écosystème.

Quels poissons vivent dans les lacs ?

► Jean Guillard, Christian Gillet, Emilien Lasne, INRA CARRTEL •

Par leur dimension, leur histoire, leur localisation à l'échelle du continent européen ainsi que le contexte local, les grands lacs alpins constituent des habitats remarquables pour les poissons. On y trouve un peuplement de poissons original : des espèces d'eau froide en limite sud de leur aire de répartition, ainsi que des espèces d'eau tempérée. Certaines de ces espèces ont une forte valeur patrimoniale, socio-économique ou écologique.

Combien d'espèces sont présentes et d'où viennent-elles ?

La richesse spécifique* des grands lacs alpins est actuellement d'une vingtaine d'espèces, mais la composition en espèces d'un écosystème n'est jamais stable et les lacs n'échappent pas à cette règle.

Un peu d'histoire

Historiquement, la colonisation du milieu lacustre par les poissons s'est faite par les cours d'eau, lors des périodes qui ont suivi les mouvements géologiques et la soudaine mise en relation des lacs avec les cours d'eau (voir question 2-01 : *La vie dans les lacs : comment est-elle arrivée ?*). Les lacs sont par la suite devenus des habitats isolés des zones aval. La richesse spécifique est donc naturellement plus faible que dans ces zones aval, qui peuvent renfermer plus de 60 espèces.

Des espèces sous influence de l'activité humaine

La composition des peuplements a été modifiée par les activités humaines, certaines espèces étant introduites, volontairement ou accidentellement, d'autres pouvant disparaître sous les diverses pressions anthropiques (humaines). Les populations d'ombles chevalier (photo 1) et de corégones ont ainsi été proches de l'extinction lors des périodes d'eutrophisation* et certaines souches (sous espèces) ont même disparu. À l'opposé, des espèces introduites peuvent s'implanter, comme la grémille, la perche soleil, le poisson-chat ou le sandre dans le lac du Bourget, ou plus récemment la blennie dans le Léman.

À l'origine, la richesse spécifique était

moindre qu'actuellement et, dans le cas des lacs alpins, la richesse n'est pas un bon indicateur de qualité.



Photo 1 – Ombles chevalier (© J.-L. Bertonecello) ◀

Des espèces qui migrent ou pas lors de leur cycle de vie

Les espèces présentes sont pour la plupart liées au milieu lacustre et bouclent leur cycle de vie dans le lac. Certaines peuvent néanmoins effectuer des incursions dans les parties basses des affluents, voire s'y reproduire, comme le chevaine. En revanche, dans les lacs alpins, la truite de lac migre obligatoirement dans les cours d'eau pour se reproduire. Enfin, des migrations en aval des lacs ont probablement lieu.

Des espèces emblématiques des eaux froides profondes

L'omble chevalier et le corégone, deux espèces présentes dans tous les grands lacs alpins

Certaines espèces de poissons d'eau froide ont trouvé dans les eaux profondes des refuges thermiques à la fin des glaciations, il y a près de 14 000 ans. Le Léman et le lac du Bourget renferment depuis cette période deux espèces, l'omble chevalier et le corégone (photo 2) (appelé féra au Léman et au lac d'Annecy, et lavaret au lac du Bourget et d'Aiguebelette). Le corégone a été introduit dans les lacs d'Annecy et d'Aiguebelette à la fin du XIX^e siècle. L'introduction de l'omble chevalier a eu lieu sur cette même période dans le lac d'Annecy.

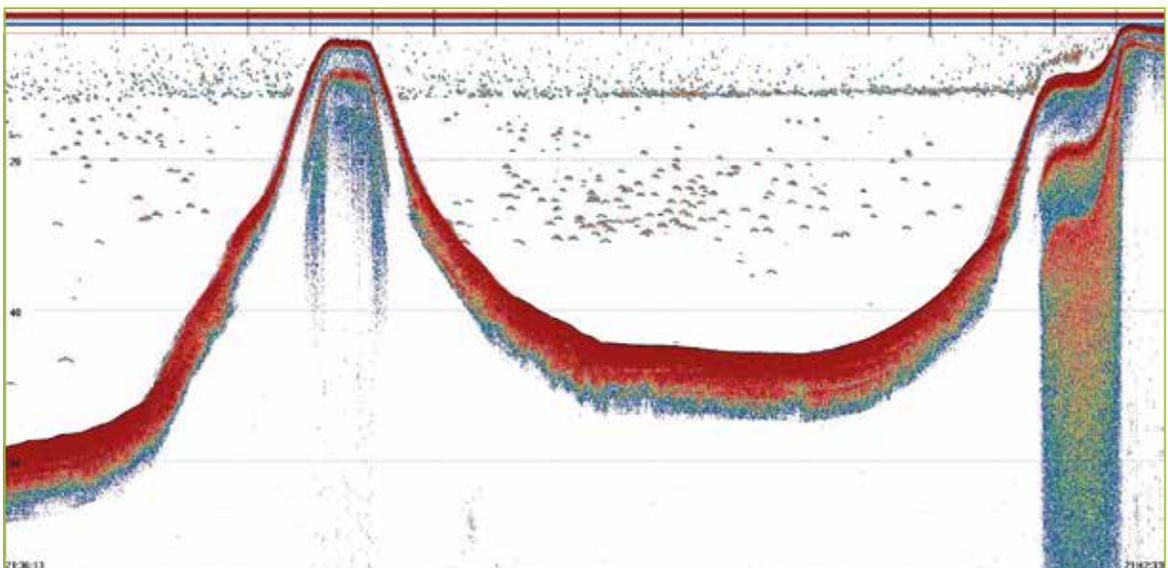


Photo 2 – Corégone appelé localement féra ou lavaret (© D. Zanella – SILA) ◀

Ces poissons constituent depuis longtemps une ressource recherchée par les populations riveraines. Aujourd'hui, à la limite sud de leur aire de répartition, ils sont des sentinelles du changement climatique. En effet, une hausse des températures, notamment dans les couches profondes des lacs, pourrait menacer les populations en perturbant en particulier la phase de reproduction.

Leurs lieux de reproduction et de croissance

Essentiellement pélagique (pleine eau), le corégone se nourrit notamment de zooplancton et se trouve en pleine eau la majeure partie de l'année, sauf pendant sa période de reproduction. Celle-ci se déroule pendant l'hiver, aux alentours de décembre-janvier lorsque la température de l'eau est d'environ 4 à 6 °C : les poissons se rassemblent alors près des rives où ils frayent dans des zones de sable, graviers ou blocs. Au printemps, lorsque le zooplancton



Exemple d'échogramme obtenu à l'aide d'un sondeur Simrad EK60, fréquence 70 kHz, à partir d'un transect effectué sur le lac d'Annecy en fin d'été (la distance parcourue est d'environ 2,5 km, échelle verticale 0 à 100 m) : on identifie le fond (ligne rouge foncé) et les échos des poissons individuels (taches de couleurs). La répartition des poissons est en relation avec la thermocline : juvéniles de perche et de gardon dans les couches superficielles, corégone et omble chevalier dans les couches profondes (source : J. Guillard – INRA CARTELL) ◀



Photo 3 – Perche (© J.-L. Bertoncetto) ◀

est encore peu abondant, le corégone se nourrit d'organismes macroinvertébrés vivant à proximité du fond et occupe les zones de bordure vers 30-50 m de fond.

C'est aussi dans des zones profondes que l'on trouve l'omble chevalier, mais dans des strates plus basses. Sa reproduction, à une période et une température similaires à celle du corégone, s'effectue sur des pentes de graviers ou de blocs dépourvus de sédiments fins, et jusqu'à des profondeurs de 120 m. Contrairement à son habitat de reproduction, son habitat de croissance se situe entre la zone de pleine eau, pour les individus se nourrissant principalement de poissons, jusqu'aux zones de bordures profondes pour les individus se nourrissant préférentiellement des organismes vivant à proximité du fond.

Des espèces fortement perturbées par l'eutrophisation

Pendant la période d'eutrophisation maximum (pour la plupart des lacs dans les années 1970-1980), les forts niveaux de sédimentation colmataient les fonds et entraînaient une baisse importante du niveau d'oxygène dans ces habitats. Les œufs et embryons avaient alors des taux de mortalité très élevés, compromettant la survie des populations qui ont été maintenues grâce au repeuplement. L'amélioration de la qualité des eaux a permis au corégone de retrouver un cycle naturel fonctionnel et des niveaux importants de stock. L'omble chevalier a moins profité de cette amélioration. Des recherches sont actuellement en cours pour essayer de comprendre les mécanismes qui continuent de perturber le renouvellement naturel de cette espèce.

Et la truite lacustre ?

À ces deux espèces emblématiques, il convient d'ajouter la truite lacustre, qui fait partie de la même famille. Son cycle de vie présente la particularité d'alterner deux milieux spécifiques : elle naît en rivière et une fois adulte, y retourne chaque hiver pour se reproduire. Le reste du temps, elle évolue dans le lac, en pleine eau. Son régime alimentaire se compose alors principalement de petits poissons, ce qui lui confère une croissance particulièrement rapide et élevée (elle peut atteindre jusqu'à 1 m de longueur).

Mais aussi des espèces préférant les eaux tempérées

Les peuplements de poissons des lacs alpins sont aussi composés d'autres espèces, moins emblématiques, qu'on retrouve dans les autres plans d'eau des milieux tempérés. Certaines sont recherchées activement pour leur valeur gastronomique, comme la perche.

Où se trouvent ces espèces au printemps et en été ?

Ces populations se trouvent de façon majoritaire dans les couches supérieures plus chaudes, lorsque la thermocline* est installée, de la fin du printemps au début de l'automne. Elles sont soit dans la zone de pleine eau, comme la

perche (photo 3) et le gardon, soit dans des zones plus littorales, comme la tanche ou le brochet, même si celui-ci peut se retrouver loin des bords afin de chasser.

Où se trouvent ces espèces à l'automne et en hiver ?

Lorsqu'à la fin de l'été les températures décroissent et que la thermocline* disparaît, l'activité de ces poissons diminue et leur comportement change : les gardons et les perches restent alors en bancs, en zones plus ou moins profondes ; les tanches et brochets hivernent dans les zones d'herbiers.

Les périodes de leur reproduction

À l'arrivée du printemps et du réchauffement des eaux, les brochets sont les premiers à se reproduire, puis vient le tour des perches, lorsque la température de l'eau approche 10-12 °C, puis des gardons, à partir de 15 °C, l'optimum étant entre 18 et 20 °C. Ces espèces se rapprochent ainsi de la zone littorale entre avril et juin. La tanche reste dans les zones de bordure pour se reproduire lorsque les températures sont plus hautes, entre 20 et 25 °C, de juin à début août. Les autres espèces utilisent aussi principalement les zones littorales, comme l'ablette et le rotengle.

Quel est le rôle des poissons dans les lacs ?

L'ensemble de ces populations participe au fonctionnement écologique des lacs en se nourrissant de zooplancton et de phytoplancton, en régulant éventuellement leur développement et en servant de proies pour des organismes supérieurs, poissons et oiseaux piscivores.

La lotte, qui réside dans les zones profondes, joue probablement un rôle important, mais peu visible, en se nourrissant d'œufs et de juvéniles d'omble et de corégone.

Le maintien des populations de poissons et d'une pêche durable passe par des bonnes pratiques de gestion (voir question 4-04 : *Comment est gérée la ressource piscicole des lacs ?*), accompagnées du suivi de la qualité des eaux et des évolutions des communautés de poissons. Par exemple, le nombre de poissons qui consomment du zooplancton aura une influence directe sur l'abondance de ces organismes, mais comme ces derniers se nourrissent eux-mêmes de phytoplancton, un effet en cascade pourra aussi être observé jusqu'à la base du réseau trophique*. Dans cette optique, la poursuite de recherches visant à comprendre l'écologie et l'évolution de ces populations est nécessaire.

Ce qu'il faut retenir

L'omble chevalier, le corégone et la truite lacustre sont des poissons d'eaux froides emblématiques ; sensibles à la qualité des eaux et à la température, ils vivent dans les eaux profondes des grands lacs alpins. Un cortège d'espèces les accompagne, principalement dans les eaux superficielles plus chaudes et avec une activité réduite pendant l'hiver. L'ensemble de ces populations participe au fonctionnement écologique des écosystèmes lacustres et sont sensibles aux pressions anthropiques (pêche, pollutions, aménagements des berges et des affluents).

Richesse spécifique Nombre d'espèces présentes dans un milieu donné.

Eutrophisation Enrichissement excessif du milieu aquatique en nutriments, qui se traduit par l'envahissement d'une production végétale surabondante.

Thermocline Couche de transition thermique rapide entre les eaux de surface (chaudes) et les eaux profondes (froides).

Réseau trophique Ensemble des relations alimentaires entre espèces au sein d'une communauté.

Pourquoi la végétation des rives est-elle importante ?

► Gérard Blake, Université Savoie-Mont-Blanc, Polytech • André Miquet, CEN Savoie •

Il y a quelques décennies, les berges des lacs n'intéressaient les hommes que pour l'implantation d'aménagements, dans l'ignorance du rôle de ces milieux de vie pour l'écosystème lacustre. On détruisait plus que l'on ne protégeait un milieu riche, aujourd'hui reconnu avec ses fonctions essentielles pour le lac.

Quelles sont les caractéristiques de la végétation du littoral des lacs ?

La végétation des rives d'un lac s'étage en plusieurs zones :

- les plus éloignées du bord sont les **marais à carex** (ou à « laïches »). Ces espèces végétales poussent dans le marais inondé une grande partie de l'année;
- à proximité de l'eau, on observe **les arbres typiques des ripisylves***, puis la **roselière**. Cette zone est peuplée d'espèces végétales d'origine terrestre, mais adaptées à l'immersion quasi-permanente de leurs racines et tiges souterraines : les roseaux (formant des roselières), mêlés aux massettes et aux iris. Cet espace frontière entre le milieu terrestre et aquatique est celui qui a subi le plus fortement les aménagements dans les grands lacs (voir question 6-01 : *Les berges des lacs sont-elles toutes aménagées ?*);
- au-delà, dans la zone strictement aquatique, sont présentes **des espèces qui possèdent des feuilles flottantes (nénuphars) ou immergées (potamots, characées)**.

Les végétaux des lacs sont essentiels à la vie et à la reproduction de nombreux organismes (poissons, oiseaux, amphibiens, insectes), mais aussi pour la tenue des berges, pour le fonctionnement des milieux et l'autoépuration des eaux : 1 m² de roselière représente une action équivalente à 10 m² de berges nues.

L'importance et l'évolution des végétaux des berges lacustres

Depuis un siècle, les surfaces de roselières ont fortement diminué, essentiellement du fait de la régulation du niveau des lacs, induisant une réduction de leur marnage*. La perte des niveaux hauts condamne les roselières à l'embroussaillage et la perte des niveaux bas (étiage naturel en fin d'été) fait stagner la matière organique dans une zone restreinte du littoral, d'où un manque d'oxygène et l'épuisement des roseaux. D'autres causes participent à la régression des roselières : les aménagements des berges, les destructions volontaires ou non des roseaux, l'évolution de la qualité des sédiments littoraux.

Cet appauvrissement des roselières se traduit par des déplacements d'équilibres écologiques qui contribuent à la diminution de la qualité lacustre, de l'abondance de certains poissons, de la biodiversité aviaire, avec une perte de refuge, une réduction des sites de nidification et une diminution de la ressource alimentaire. La disparition des plantes fragilise également les berges face à l'érosion due à la houle et aux vagues.



Photo 1 – Le blongios nain : petit héron migrateur, qui vit dans les roselières où il se reproduit et élève ses poussins de mai à septembre (© M. Bouron – CISALB)



Photo 2 – Brochet au sein de la roselière d'Albigny (lac d'Annecy) (© D. Zanella – SILA)



Photo 3 – Roselière restaurée du Bout du lac d'Annecy (© Taillefer Production – Y. Havis)

Cette dégénérescence se produit sur plusieurs années, compte tenu de l'inertie physiologique des roseaux. Mais une fois amorcée, elle est très difficile à enrayer.

Le lac d'Annecy, qui possédait une centaine d'hectares de roseaux au début du xx^e siècle, n'en a plus qu'une dizaine actuellement (soit une régression équivalente à plus de 13 terrains de football). Pour le lac du Bourget, on a constaté une réduction de 60 % des roseaux depuis 1950, qui ne représentent plus que 26 ha actuellement.

De même, pour des raisons diverses, les peuplements de plantes immergées ont également évolué au cours des 50 dernières années, mais avec une grande variabilité.



Photo 4 – Roselière de la Baie de Mémard (lac du Bourget) (© M. Bouron – CISALB)

Vers une meilleure prise en compte du rôle de la végétation du littoral des lacs

L'eutrophisation a fait prendre conscience il y a plus de 40 ans de la fragilité de la végétation immergée, qui en est directement tributaire; ceci a conduit à des mesures de limitation des pollutions avec des résultats relativement rapides et visibles. Pour la végétation des berges, dont la conservation dépend de facteurs physiques (niveaux d'eau, érosion, houle), le traitement de fond passe par une révision de la gestion et de l'aménagement des lacs, à l'image des programmes de restauration engagés sur les lacs d'Annecy, du Bourget et d'Aiguebelette (voir question 6-06 : *Pourquoi un recours au génie écologique dans la restauration des roseaux littoraux?*, question 6-07 : *Des piquets en bois et des récifs pour protéger les roseaux?*).

Ripisylve Forêt de zones humides (lacs ou rivières) peuplée d'espèces adaptées, aulnes, saules, peupliers...

Marnage Écart entre les hautes eaux (périodes de crue) et les basses eaux (étiage).

Ce qu'il faut retenir

Le rôle écologique de la végétation littorale a été longtemps négligé. Pourtant, ses fonctions sont nombreuses : espace de biodiversité, amélioration de la qualité de l'eau, tenue des berges...
La prise de conscience actuelle conduit les gestionnaires des grands lacs alpins à mettre en œuvre des actions de restauration.

Les lacs présentent-ils un attrait particulier pour les oiseaux ?

► André Miquet, CEN Savoie • Rémy Perrin, ASTERS •

Les oiseaux (avifaune) affectionnent les grands lacs alpins qui leur offrent protection, gîte, alimentation et espace de reproduction. Ils constituent un patrimoine dans un bon état de conservation, qui répond variablement aux conditions écologiques, réglementaires et de gestion.

Les oiseaux d'eau, une faune sédentaire et de passage

L'avifaune se partage en trois catégories :

- **les nicheurs**, qui doivent trouver la nourriture et surtout l'habitat nécessaire à l'établissement d'un nid et à l'élevage des jeunes. Pour les canards, grèbes ou foulques, c'est le linéaire de roselières qui est déterminant. Le harle bièvre affectionne plutôt les rives boisées. Les laridés nicheurs comme la sterne pierregarin, plus rares, fréquentent surtout le Léman ;
- **les oiseaux hivernants**, qui doivent trouver la nourriture et le calme nécessaires à leur survie hivernale. La capacité d'accueil des lacs pour ces espèces se définit par leur productivité et leur tranquillité ;
- **l'avifaune migratrice**, plus fugace, avec échassiers, canards de surface, rapaces, sternes... d'une grande diversité, avec des contraintes écologiques distinctes.

Les lacs, un milieu favorable

Par leur configuration, l'importance de leur espace pélagique (pleine eau), leurs berges en général peu végétalisées et leurs arrière-marais réduits, déconnectés voire disparus, les lacs sont en premier lieu des sites d'hivernage. Les espèces plongeurs, capables de rechercher leur nourriture sous plusieurs mètres d'eau, sont dominantes. Il s'agit d'espèces mangeuses de poissons (harles, cormorans, grèbes), herbivores ou consommatrices de mollusques (fuligules milouins et morillons, foulques, nettes rousses), toutes dopées par l'arrivée de la moule zébrée dans les années 1960 et 1970.

Les canards de surface (colvert, chipeau, souchet, pilel et siffleur, sarcelle) se nourrissent dans les premiers mètres ou les prairies environnantes. Les petits échassiers (bécasseaux, chevaliers, bécassines) trouvent leur optimum sur les berges exondées*, milieu rare voire disparu sur les lacs du Bourget et d'Annecy suite à la régulation des niveaux. Sur le Léman, la baisse artificielle du niveau d'eau en fin d'hiver permet d'exonder des vasières et des bancs de sable. Enfin, des espèces d'importance européenne dépendent exclusivement des roselières : blongios nain, héron pourpré, busard des roseaux, ou encore la rousserolle ou le râle d'eau.



Photo 1 – Fuligules milouins et morillons (© M. Bouron – CEN Savoie)

Nourriture et tranquillité : un contexte plutôt favorable

Selon leur régime alimentaire, les oiseaux réagissent différemment aux évolutions du milieu. L'amélioration de la qualité des eaux, en diminuant la productivité lacustre, a fortement réduit la friture, proie pour le grèbe huppé, qui a vu sa population hivernante s'écrouler.

La transparence a fortement favorisé les herbiers (notamment de characées) et donc les herbivores : fuligule milouin et nette rousse ont connu des pics importants, jusqu'à devenir nicheurs dans certains cas. L'agrandissement des réserves de chasse a profité à l'avifaune hivernante, même si les dérangements occasionnés par les tirs depuis la berge ou en bateau peuvent constituer un frein.



Photo 2 – Grèbe huppé construisant son nid (© M. Bouron – CEN Savoie)

C'est aussi la tranquillité pour la nidification, et donc celle des roselières, qui est cruciale. Les restrictions de navigation et d'accès prennent ici tout leur sens.

Les oiseaux hivernants, un patrimoine reconnu et suivi au plan international

Chaque année à la mi-janvier, les oiseaux d'eau (qui se déplacent en fonction des conditions météorologiques) sont recensés en Europe. Un des critères de la convention de Ramsar* (héberger au moins 20000 oiseaux) a permis aux lacs du Bourget et au Léman d'accéder à ce label international.

Le lac d'Annecy, plus petit et offrant moins de nourriture, héberge entre 1500 et 2000

oiseaux hivernants. Outre les fortes variations d'origine climatique ou hydrobiologique, ce patrimoine a atteint un certain optimum. Il n'en va pas de même pour la reproduction, liée quant à elle à l'extension et à la quiétude des roselières (voir question 2-05 : *Pourquoi la végétation des rives est-elle importante ?*).



Photo 3 – Couple de nettes rousses (© M. Bouron – CEN Savoie)

Ce qu'il faut retenir

Les lacs alpins sont des lieux d'hivernage pour les oiseaux d'eau. Malgré une gestion favorable à cette fonction, ils restent en deçà de leur capacité d'accueil : pour les nicheurs, du fait de la régression des roselières ; pour l'avifaune migratrice, faute d'étiages* suffisants pour les nourrir.

Exondé Hors de l'eau.

Ramsar Convention relative aux zones humides d'importance internationale, notamment pour les habitats de l'avifaune.

Étiage Débit exceptionnellement faible d'un cours d'eau, l'étiage désigne également le niveau le plus bas atteint par un lac.

Les espèces invasives sont-elles dangereuses ?

► Loïc Bollache, Université de Bourgogne, UMR INRA Agroécologie 1347 • Alain Dutartre, IRSTEA Bordeaux •

Les grands lacs alpins hébergent des espèces qui n'en sont pas originaires et la biodiversité actuelle est le résultat d'invasions passées. S'il est possible de préciser les dangers de ces espèces invasives vis-à-vis de la biodiversité actuelle des lacs et d'en évaluer les conséquences, parfois inattendues, sur le fonctionnement des écosystèmes, la notion même d'invasives mérite d'être discutée.

Les espèces exotiques (ou exogènes) et invasives

Le déplacement de nombreuses espèces végétales et animales hors de leurs limites naturelles de répartition, a largement été facilité par l'homme au fil de ses propres déplacements. Cette aide, voulue ou accidentelle, s'est nettement accrue depuis le début des voyages autour du globe au ^{xvi}^e siècle et jusqu'à aujourd'hui. Si le nombre d'espèces exotiques introduites lié aux activités humaines est extrêmement important (un récent bilan en dénombre plus de 11000 sur le continent européen), toutes ces espèces ne deviennent pas invasives.

Celles qui s'installent durablement, colonisent d'autres sites favorables, s'y développent au détriment d'espèces indigènes et parfois au détriment des besoins des humains, sont qualifiées d'invasives. Environ 1500 espèces invasives sont ainsi recensées en Europe. Les milieux aquatiques, donc les grands lacs alpins, sont des milieux très favorables aux invasions biologiques.

Le castor et la loutre : retour aux sources !

Les réintroductions et/ou recolonisations naturelles d'espèces animales dans des régions où elles étaient autrefois présentes mais dont elles étaient absentes pour des raisons diverses (surexploitations, braconnage...) sont de plus en plus fréquentes. C'est le cas pour les grands lacs alpins de la loutre et du castor d'Europe.

Ces retours doivent être regardés avec bienveillance : en aucun cas il ne s'agit d'espèces invasives mais d'un juste retour d'espèces indigènes. Ces populations doivent être gérées intelligemment en partenariat avec les acteurs locaux pour ne pas les voir de nouveau disparaître.

Une dizaine d'espèces de plantes invasives, aquatiques ou semi aquatiques sont présentes dans les grands lacs alpins.

Les espèces installées sur les rives sont généralement bien visibles, comme l'arbre aux papillons ou les renouées asiatiques, les immergées le sont beaucoup moins, comme l'élodée du Canada ou de Nuttall.

Les espèces du bord des eaux colonisent fréquemment les secteurs aménagés des rives, mais sont aussi capables de s'installer en arrière des franges de roseaux. Par leur compétition pour la lumière et les nutriments, elles deviennent alors un danger pour les communautés indigènes des plantes riveraines qu'elles risquent de supplanter, entraînant des pertes de biodiversité et une modification des habitats et de leur fonction. C'est par exemple le cas pour le lac du Bourget où, en 2011, près de 5 des 45 km de rives du lac étaient colonisés par des renouées asiatiques, pour une superficie totale cumulée équivalente à 3 terrains de football. Près de 5% des rives du Léman sont envahies par des espèces invasives. La renouée en couvre à elle seule presque la moitié, suivie de près par le buddleia (arbre à papillon) qui en couvre presque un quart. En 2007, l'élodée du Canada était présente dans le lac d'Annecy mais sur 3 des 28 zones étudiées.

Des mollusques et des crustacés invasifs en nombre

L'arrivée accidentelle de la moule zébrée dans le Léman dans les années 1960 a inauguré l'arrivée massive de certains mollusques et crustacés. S'il est difficile d'en établir une liste exhaustive, il est cependant possible d'identifier, parmi les espèces invasives les plus fréquentes au niveau européen, lesquelles sont aujourd'hui présentes dans un ou plusieurs lacs.

Cette liste comprend ainsi deux espèces de mollusques invasifs considérées comme abondantes, la moule zébrée et la corbicule, ainsi que trois espèces de crustacés avec des situations contrastées. Deux espèces d'écrevisse sont présentes : l'écrevisse américaine et l'écrevisse signal, ainsi qu'un petit crustacé, le gammare du Danube ou « crevette tueuse » (photo 1). Cette espèce, identifiée pour la première fois en 2002 dans le Léman, colonise les autres lacs très rapidement : elle est observée en 2007 dans le lac du Bourget. Son expansion serait facilitée par sa capacité à survivre plus de trois jours hors de l'eau, accrochée à des cordes de bateaux ou logée sur les combinaisons des plongeurs, lui permettant de voyager entre les différents lacs en tant que passager clandestin lors des déplacements humains.

Les poissons n'échappent pas à la règle et de nombreuses espèces exotiques ont été introduites dans les grands lacs (voir question 4-06 : *Quelles espèces de poissons ont disparu ou fortement régressé ?*).



Photo 1 – Gammare du Danube ou «Crevette tueuse» (© J.-F. Cart)

des sources de modifications parfois importantes du fonctionnement des écosystèmes, de la structure des communautés et de la biodiversité locale, il est difficile d'en faire un bilan précis en termes de dommages ou, au contraire, de bénéfices éventuels !

À ce titre, l'exemple de l'élodée du Canada est intéressant. Après avoir été considérée en Europe jusqu'au début du xx^e siècle comme une «peste» pour les milieux aquatiques, elle est progressivement devenue moins visible, s'intégrant de fait dans les communautés végétales de nombreux milieux, y occupant une place parmi d'autres espèces, avec une action sur l'oxygénation du milieu et un rôle positif d'abri et de nourrissage pour différentes espèces de poissons. Elle ne semble plus présenter de dommages particuliers vis-à-vis des communautés de plantes immergées (hydrophytes). La durée de cette intégration est de l'ordre du siècle; ce délai n'est pas en adéquation avec la perception du temps de nos sociétés.

Dans d'autres situations, la présence d'espèces invasives pourra induire des modifications plus rapides et complexes, avec des conséquences en cascade sur le fonctionnement général des écosystèmes. C'est le cas de l'invasion de trois espèces de mollusques dans le lac de Neuchâtel (Suisse). L'abondance de ces nouveaux or-

ganismes, associée à une très lente dégradation de leurs coquilles vides, provoque un changement de la structure physique du fond du lac. Sous l'effet de l'accumulation de ces coquilles vides, les substrats sablonneux se retrouvent transformés en substrats durs, favorisant certaines espèces locales de macroinvertébrés au détriment d'autres espèces dépendantes des substrats sablonneux, modifiant ainsi les relations trophiques entre espèces natives.

Sur les rives du Léman, le développement de la renouée du Japon (photo 2), dont le système racinaire peut mesurer jusqu'à 7 m, peut déstabiliser les sols de talus et créer de véritables murs végétaux le long des berges, comme par exemple au Bouveret (commune de Port-Valais, en Suisse). Sur le lac du Bourget, une étude récente a montré que cette plante est installée au milieu des roselières (~ 7 000 m²) et sur des rives anthropisées (~ 8 000 m²). Comme sur les autres grands lacs alpins, les gestionnaires du lac du Bourget organisent des journées d'information à destination des professionnels pour lutter contre cette invasive.

Enfin, le danger de certaines espèces invasives peut être lié au fait qu'elles sont porteuses de maladies comme la berce du Caucase, qui provoque des brûlures.

Doit-on craindre ces espèces ?

Il est difficile de répondre de manière précise à cette question, car la notion même de dangerosité rassemble de nombreux concepts et nécessite la prise en compte du temps dans les évolutions (naturelles ou anthropiques) des milieux.

La notion d'espèce invasive repose sur une idée simple : l'équilibre écologique d'un écosystème correspond à un état stable, quasi permanent. Or, les avancées des connaissances en écologie ont montré que les écosystèmes sont en fait en perpétuelle évolution, avec des changements de biodiversité, généralement lents. Le poids des actions humaines accélère fortement ces processus, et le flux croissant d'espèces exotiques en est un exemple. S'il est évident que les espèces invasives identifiées dans les grands lacs alpins représentent



Photo 2 – Renouées du Japon au bord du Léman sur les rives Tolochenaz (© S. Mercier)

Ce qu'il faut retenir

Les migrations d'organismes ont toujours été un des moteurs de l'évolution de la diversité dans les milieux aquatiques. Le risque lié aux espèces invasives dans les lacs alpins, est un appauvrissement de la richesse spécifique et une banalisation de la flore ou de la faune. Ceci pose la question (philosophique !) « Quelle biodiversité voulons-nous ? »

À quoi est due la couleur des eaux d'un lac ?

► Marie-Elodie Perga et Orlane Anneville, INRA CARRTEL • Michel Lafforgue, SAFEGE •

Les eaux des lacs sont de couleurs très changeantes : elles sont en général bleues, mais leurs couleurs peuvent varier du turquoise transparent au vert, au marron ou plus exceptionnellement au rouge. La couleur des eaux est la combinaison de la couleur même de l'eau pure, des substances dissoutes et des propriétés optiques des particules présentes.

L'alchimie de la couleur

L'eau pure, lorsqu'elle est observée sur une faible épaisseur, apparaît transparente et incolore mais elle devient de plus en plus bleue lorsque la couche d'eau observée s'épaissit. Cette couleur bleue est causée par la différence d'absorption, par les molécules d'eau, des longueurs d'ondes de la lumière visible (le rouge est absorbé en premier, puis le jaune, le vert et enfin le bleu).

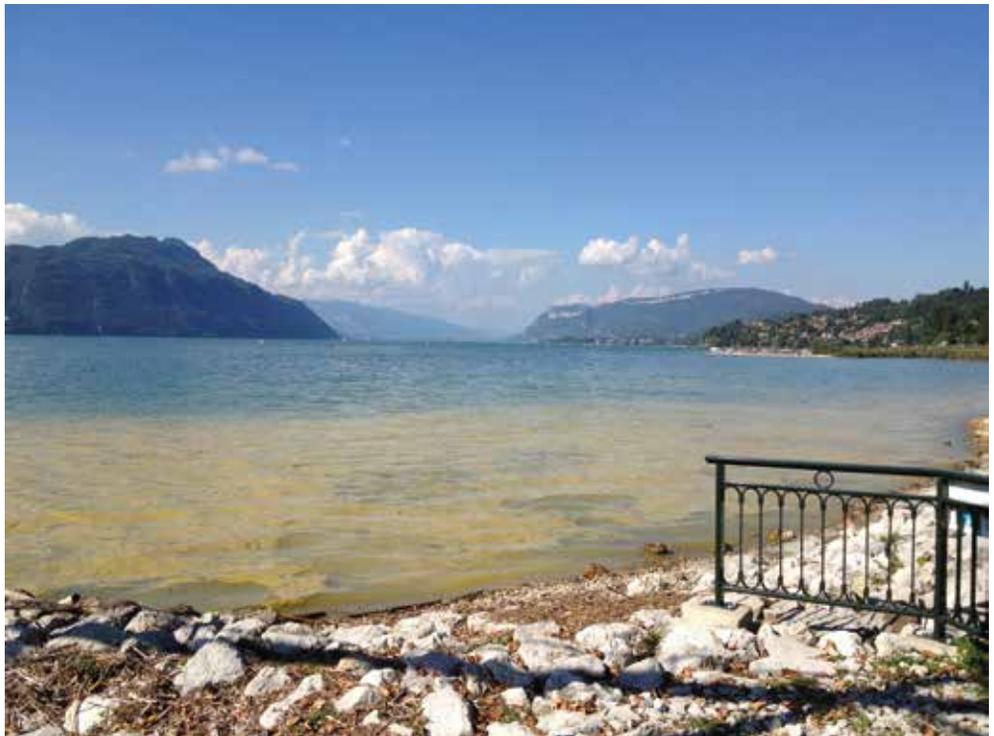


Photo 1 – Le lac du Bourget jaune en septembre 2014 lors de l'efflorescence de microcystis (© CISALB) ◀

Ce sont par contre les particules associées à l'eau (algues microscopiques, grains de calcaire, particules organiques...) qui permettent la réflexion et la modification de la lumière incidente. La présence de ces particules explique que les eaux des lacs reflètent la couleur du ciel, tandis que leur quantité et leur nature (ou « turbidité ») limitent sa transparence et en modifient sa couleur.

La couleur bleu-vert des lacs, comme celui d'Aiguebelette en été, provient de la transformation du calcaire dissous, naturellement présent en quantité importante dans ses eaux, en petites particules. Des épisodes de très fort



Photo 2 – La gamme de couleur de Forel, créée en 1890 par F.-A. Forel, père de la limnologie, est une échelle de tons reflétant la diversité de la couleur des eaux des lacs alpins (© ETH Productions) ◀



Photo 3 – Le Léman (© Domaine du Burignon)



Photo 4 – Le lac d'Aiguebelette (© M. Bouron – CCLA)

développement de microalgues (photo 1) ou de bactéries photosynthétiques altèrent aussi considérablement l'aspect et la couleur des eaux. Les couleurs des microalgues peuvent être très variées en fonction de la nature des pigments qu'elles renferment, conduisant à des épisodes de prolifération colorant les eaux en rouge (certaines cyanobactéries), marron (certaines diatomées) ou vert (certaines algues vertes ou d'autres cyanobactéries).

Une gamme de couleur des eaux a été établie par François-Alphonse Forel en 1890. Ce savant suisse a été le premier à proposer ce système de classification (photo 2).

La couleur et la transparence de l'eau : un indicateur de qualité des eaux des lacs

Le ruissellement et le déversement d'eaux usées non ou mal traitées et les apports de l'agriculture dans les lacs conduisent à augmenter les concentrations en nutriments dans les eaux lacustres et à stimuler la production de microalgues/phytoplancton : c'est ce que l'on appelle le processus d'eutrophisation. Le premier symptôme de l'eutrophisation est donc une coloration des eaux (surtout en été) et une forte diminution de la transparence, comme observé sur trois grands lacs alpins français (le Léman, les lacs d'Annecy et du Bourget) dans les années 1970.

La transparence de l'eau se mesure en mètres et correspond à la profondeur de disparition du disque de Secchi (disque noir et blanc à dimension standardisée que l'on enfonce progressivement dans l'eau

jusqu'à sa disparition visuelle (voir question 3-03 : *Comment mesure-t-on la qualité de l'eau ?*). L'évolution de la transparence est une estimation rapide et peu coûteuse de l'abondance du phytoplancton des lacs profonds. Cela permet d'évaluer indirectement le statut trophique du milieu (lié à sa richesse en éléments nutritifs).

Ainsi, la clarté et la transparence des eaux du lac d'Annecy témoignent de la faible biomasse algale* qu'il héberge. L'augmentation de la transparence moyenne des eaux du lac du Bourget atteste de l'amélioration de la qualité des eaux au cours de ces 30 dernières années, tandis que la récente stabilisation de celle des eaux du Léman reflète le maintien d'une biomasse phytoplanctonique encore élevée en dépit des efforts de restauration entrepris depuis plus de 30 ans. Selon la saison (et selon l'intensité du développement algal), la transparence du Léman varie d'environ 12-13 m à 2-3 m en juin-juillet.

Au lac d'Aiguebelette, les mesures de transparence marquent une grande stabilité depuis 1988, témoignant de l'absence de dégradation du niveau trophique de ce lac.

Biomasse algale *Masse totale des organismes végétaux contenus dans un milieu, à un instant donné.*

Ce qu'il faut retenir

La couleur des eaux des lacs peut varier du bleu jusqu'au vert et au marron, voire au rouge. Ce sont les molécules autres que l'eau ou les particules présentes qui expliquent les variations de couleur et de transparence des eaux des lacs. Celles-ci répondent essentiellement à la nature et à la concentration des algues microscopiques. Elles constituent un indicateur synthétique et rapide de la qualité des lacs.

Qu'est-ce qu'un écosystème lacustre ?

► Stéphan Jacquet, Isabelle Domaizon, Marie-Elodie Perga, Rémy Tadonléré, INRA CARTELE •

Un écosystème lacustre est constitué par les organismes vivant dans le lac et leur environnement physico-chimique. L'écosystème représente donc un ensemble d'interactions existant entre les espèces vivantes ainsi qu'entre ces espèces et les facteurs environnementaux. La diversité et les rôles fonctionnels des espèces sont des éléments importants à prendre en considération pour comprendre l'état et le fonctionnement d'un écosystème lacustre.

De nombreuses interactions entre organismes régissent le fonctionnement des écosystèmes

Les principaux rôles fonctionnels classiquement exercés par les espèces au sein des écosystèmes sont des rôles de producteurs, de consommateurs et de recycleurs des matières organiques et minérales. Ces fonctions orchestrent la production biologique dans l'écosystème, notamment pour produire le stock piscicole. Le bon équilibre entre ces différentes fonctions est un facteur clé dans l'état de qualité des lacs.

Le schéma ci-contre (fig.1) permet de résumer les principales interactions qui existent en pleine eau (zone pélagique). Il montre l'ensemble des chaînes alimentaires typiques (qui forment un réseau alimentaire) par lesquelles l'énergie et la matière biologique circulent au sein du lac. On pourrait également adapter ce genre de schéma au cas des berges avec les macrophytes (zones littorales) ou au cas des zones benthiques (fond du lac).

Les transferts et le recyclage d'énergie et de matière

Les transferts d'énergie et de matière entre les différents compartiments biologiques ne sont généralement pas optimums et une grande partie est perdue sous forme d'excrétion et de restes des organismes dans le milieu environnant. Une des conséquences liée à ces pertes est que plus on s'élève dans le réseau (on parle alors de niveaux trophiques), moins les individus sont nombreux et moins la biomasse* est importante.

Ces restes organiques ne sont pas perdus pour autant : ils sont utilisés par les décomposeurs (bactéries, champignons) qui vont les recycler pour fournir à nouveau des éléments minéraux utilisables par les producteurs, le phytoplancton en particulier. Ce recyclage s'opère dans la masse d'eau ou sur le fond du lac, où s'accumulent les restes organiques par sédimentation.

Cette capacité de recyclage naturel a ses limites. En effet, dans les situations où la production algale (dite production primaire) est très forte (sous l'effet d'apports excessifs en éléments nutritifs, phosphore notamment, dus à l'activité humaine), ni le transfert vers les maillons supérieurs de la chaîne alimentaire ni le recyclage effectué par les décomposeurs ne permettent de maintenir un flux de matière et d'énergie en équilibre : c'est ce qui se passe lors des phénomènes d'eutrophisation par exemple.

Un exemple concret

Le schéma ci-contre (fig. 2) illustre deux cas qui se sont présentés dans les grands lacs alpins. Il y a le cas d'un lac pauvre en éléments nutritifs (dit oligotrophe) et celui d'un lac dit mésotrophe ayant des apports plus élevés en éléments nutritifs minéraux (phosphore en particulier). Si le lac le plus riche en éléments nutritifs permet de produire une quantité plus grande de phytoplancton à la base de la chaîne alimentaire, cette ressource n'est pas forcément bien transférée aux maillons supérieurs, du fait de la présence d'espèces peu ou pas consommables, notamment de grande taille. Par conséquent, le bénéfice en terme de production piscicole pour ce lac n'est pas très bon, et le transfert peu efficace

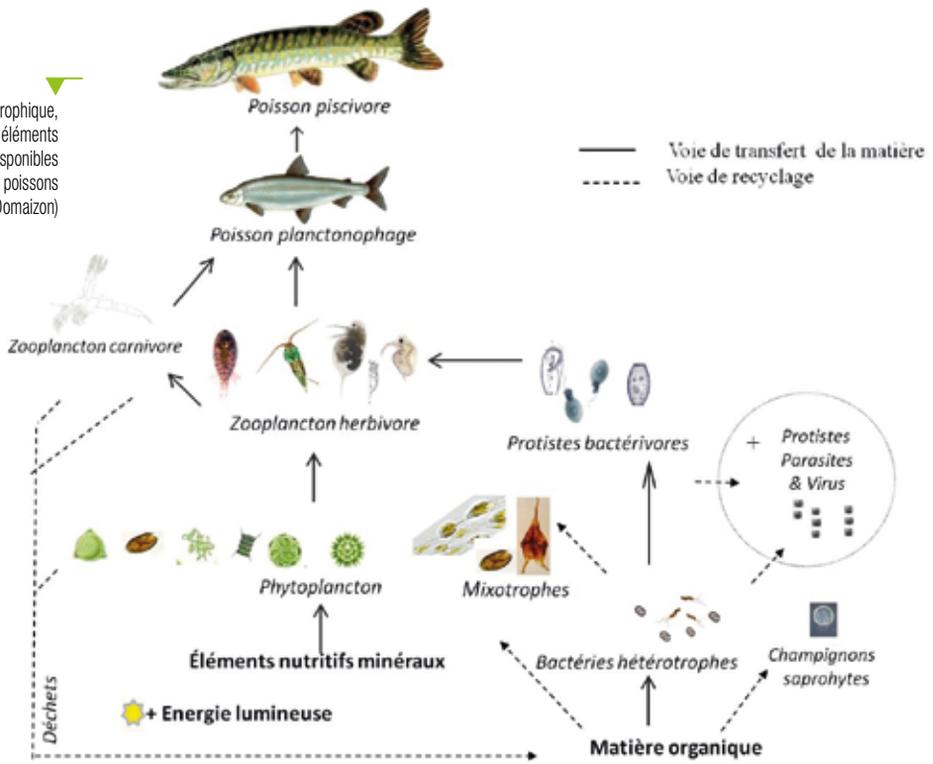
donne lieu à de nombreux restes dans le milieu (associés à des eaux de qualité médiocre à mauvaise).

À l'inverse, un lac ayant une production phytoplanctonique moindre (car avec moins de ressources en éléments nutritifs au départ dans le lac et caractérisé par un cortège d'espèces de bonne qualité nutritive et/ou plus petites) peut avoir un bon rendement en termes de transferts et de production. Dans ce cas-là, même si la production piscicole totale reste modérée, l'état de l'écosystème est très satisfaisant (transparence de l'eau, etc.).

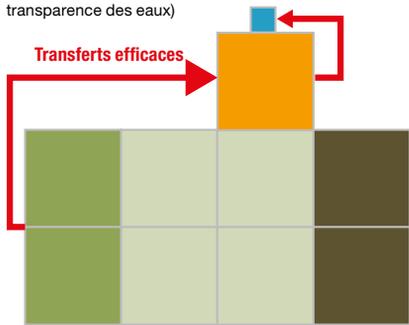


Photo 1 – Le lac du Bourget (© S. Jacquet)

Fig. 1 – Exemple de réseau trophique, révélant les transferts depuis les éléments minéraux et/ou organiques disponibles dans l'eau jusqu'aux poissons (source : I. Domaizon)

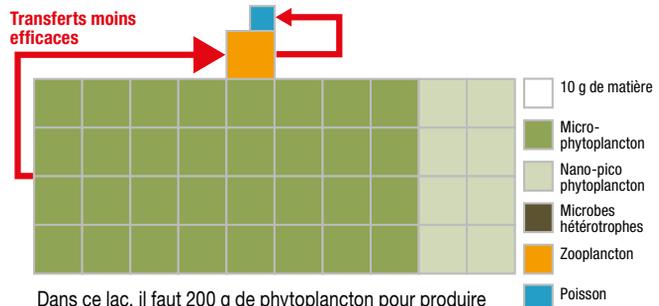


Lac sans excès de nutriments (oligotrophe)
Bonne efficacité du transfert d'énergie dans le réseau trophique (avec pour résultat une forte transparence des eaux)



Dans ce lac, il faut 80 g de phytoplancton pour produire 1 g de poisson (mais 100 g de microbes en tout)

Lac moyennement riche en nutriments (mésotrophe)
Moindre efficacité du transfert d'énergie dans le réseau trophique (avec pour résultat une accumulation d'algues, une faible transparence des eaux)



Dans ce lac, il faut 200 g de phytoplancton pour produire 1 g de poisson

Fig. 2 – Représentation schématique de deux types de fonctionnement écologique lacustre. Le premier cas est plutôt typique du lac d'Annecy, le second du Léman (source : M.-E. Perga à partir des données de l'observatoire OLA)

Ce qu'il faut retenir

De la configuration du réseau trophique (la composition et la structure en taille des communautés vivantes) dépend l'efficacité du transfert d'énergie de la base (phytoplancton, micro-organismes) vers les consommateurs supérieurs (zooplankton, poisson) et au final de la qualité et du fonctionnement de l'écosystème lacustre dans son entier.

Biomasse Masse totale des organismes végétaux et/ou animaux contenus dans un milieu à un instant donné.

Y a-t-il des espèces « insolites » habitant les grands lacs ?

► Stéphan Jacquet, INRA CARRTEL • SILA •

Les grands lacs alpins abritent une faune parfois insolite ou sont le lieu de phénomènes étranges. Pêcheurs et plongeurs en sont très souvent les premiers témoins. Sous forme d'un petit quiz, il vous est proposé ici de deviner de quoi il s'agit.



Photo 1 – Est-ce possible ? un crabe ?



Photo 5 – S'agit-il de cornes ? de doigts ? ou d'autre chose ?



Photo 2 – Du caviar labélisé lac alpin, est-ce envisageable ?



Photo 6 – Qui a perdu de la dentelle ?



Photo 3 – Un sac plastique en phase (longue) de dégradation ?



Photo 7 – Depuis quand les chenilles vivent-elles dans l'eau ?



Photo 4 – Une boule « pistache » tombée au fond de l'eau ?

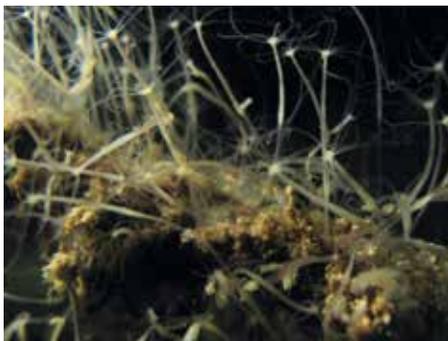


Photo 8 – Quelques cheveux éparpillés ?



Photo 9 –
Mais qui a osé polluer le lac ?



Photo 10 –
Peluche ou nouvel habitant de la roselière ?

Photo 1 (© G. Bondaz – Dauphiné Libéré)

Le crabe chinois peut atteindre jusqu'à 15 cm et pourrait avoir commencé à coloniser les grands lacs. Espèce très envahissante et connue pour s'être répandue en Amérique du Nord et en Europe, il a été remonté dans un filet de pêcheur au Léman en février 2014, côté français. Echappé d'un restaurant tout au plus ?

Photo 2 (© M. Foudral)

Ce n'est pas la première fois qu'un esturgeon est observé et/ou pêché dans le Léman. Cette photo date d'avril 2014. Sa présence est probablement due à un rejet d'aquarium amateur ou d'une pisciculture. Peut-être pas encore tout de suite, le caviar !

Photo 3 (© D. Zanella – SILA)

La méduse d'eau douce mesure environ 2 cm de diamètre. Relativement discrète, elle n'apparaît dans les lacs alpins que lors des étés exceptionnellement chauds et secs. Le reste du temps, elle demeure fixée au fond du lac sous une forme appelée « polype », qui ne dépasse pas 1 à 2 mm.

Photo 4 (© J.-L. Bertoncello)

Colonie gélatineuse d'ophrydium verte translucide. Sa taille varie de 2 à 15 cm. Il s'agit de cellules animales qui s'agrègent les unes aux autres et dans lesquelles il y a des microalgues (des chlorelles) qui vivent en symbiose et qui donnent la couleur à l'ensemble.

Photo 5 (© J.-L. Bertoncello)

Il s'agit d'une éponge lacustre ! C'est un animal qui se nourrit de bactéries et de microalgues en filtrant continuellement l'eau du lac. Les jeunes éponges sont mobiles et peuvent nager quelques temps avant de se fixer définitivement sur un support (caillou, branchage).

Photo 6 (© S. Jacquet)

Les perches pondent leurs œufs dans de longs rubans gélatineux dont la taille est proportionnelle en longueur et en largeur à la taille de la femelle qui les pond. Dans un ruban, il y a plusieurs milliers à centaines de milliers d'œufs.

Photo 7 (© J.-L. Bertoncello)

La cristatelle est un bryzoaire (animal mousse) qui forme des colonies de couleur claire (blanc cassé à jaune clair) et d'aspect soyeux, ressemblant à une chenille transparente comme de la gélatine. Et ce n'est pas urticant !

Photo 8 (© J.-L. Bertoncello)

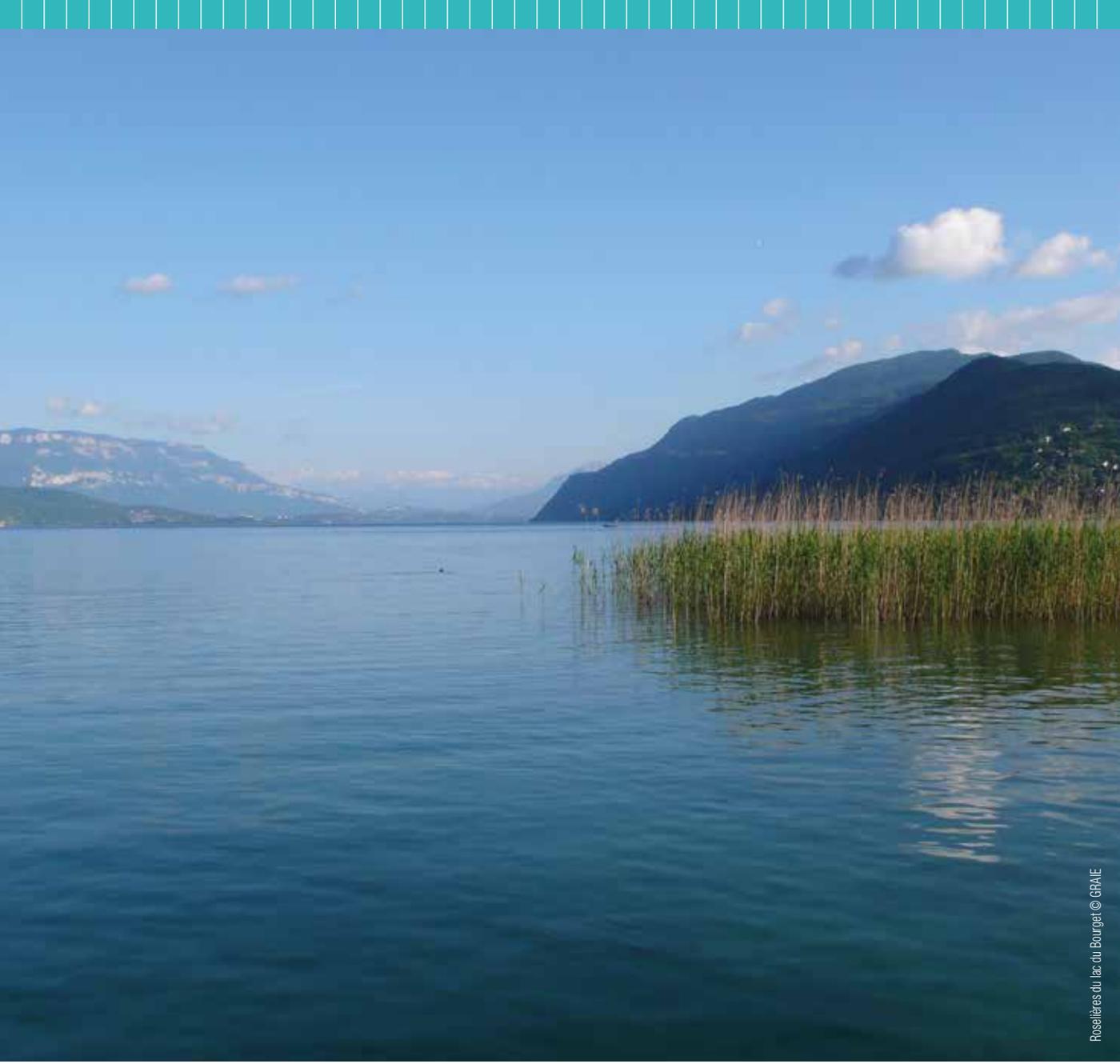
Les hydres sont des polypes (pas de stade méduse) attachés au substrat par un pied terminé par un disque adhésif. Leur corps est en forme de sac avec une bouche entourée d'un unique anneau de tentacules.

Photo 9 (© D. Zanella – SILA)

Au printemps, ce type de manifestation n'est pas rare et il est naturel. Il s'agit du pollen des arbres, aggloméré par le vent, qui forme comme une tache d'huile colorée à la surface du lac. Les micro-organismes s'en délectent.

Photo 10 (© L. Renaud – SILA)

Ce petit mammifère est un muscardin. Agile et bon grimpeur, il affectionne habituellement les secteurs riches en buissons et en arbrisseaux, mais il peut parfois être observé dans les roseaux !



Qualité des eaux

L'eau des lacs : peut-on la boire et s'y baigner ?

► Dominique Reignier, ARS 74 • Françoise Kerrien, ARS Rhône-Alpes, DD de la Savoie •

Les exigences de qualité auxquelles doit répondre une eau superficielle diffèrent selon les usages. La production d'eau potable, les activités de baignade, de sports nautiques et de pêche supposent une surveillance poussée.

Une eau utilisée pour l'alimentation en eau potable et la baignade

Les prélèvements issus des lacs alpins **pour la distribution en eau potable** sont très importants. Sur le Léman, la production annuelle est proche de 80 millions de m³/an, issue de 10 stations de pompage, pour environ 870 000 habitants desservis. Le lac d'Annecy est également fortement sollicité. La seule station de pompage de la Puya prélève près de 15 millions de m³/an (soit environ 1 % du volume du lac) pour alimenter la Communauté d'Agglomération d'Annecy. Dans le lac du Bourget, on prélève à Mémard de l'ordre de 2 millions de m³/an et dix fois moins à Tresserve. Le lac d'Aiguebelette fournit quant à lui 0,7 million de m³/an.

L'activité baignade est largement développée en période estivale (photo 1). Plusieurs dizaines de milliers de personnes sont présentes les jours d'affluence sur les sites. Un suivi de la qualité des eaux est effectué sur 115 sites pour le Léman, 14 pour le lac d'Annecy, 10 pour le lac du Bourget et 8 pour le lac d'Aiguebelette.

Une eau qui doit répondre à certaines exigences de qualité

Les normes de qualité sont fixées en France par le Code de la Santé Publique sur la base de directives européennes. En Suisse, elles se basent sur les recommandations de l'Office Fédéral de la Santé Publique, de l'Office Fédéral de l'Environnement et des associations des chimistes et médecins cantonaux.

Les normes portent sur des paramètres microbiologiques, biologiques (algues), physico-chimiques (dont les micropolluants) et radiologiques* pour les eaux destinées à la consommation. Elles se partagent entre limites de qualité (concentrations à ne pas dépasser) et références de qualité.

Les eaux de lac destinées à la consommation humaine ne peuvent pas être distribuées sans traitement préalable, car il subsiste des contaminations bactériennes, des matières en suspension minérales et organiques qu'il convient d'éliminer pour atteindre une qualité d'eau potable. Les eaux destinées à cet usage sont classées en 3 catégories de qualité décroissante, A1, A2 et A3. Les grands lacs alpins s'inscrivent tous dans la catégorie A1.

Photo 1 – Plage sur le lac du Bourget (© CISA LB) ◀



Une eau qui fait l'objet d'une surveillance attentive

Les eaux de baignade font l'objet d'analyses bactériologiques réalisées tous les 15 jours en saison estivale. En cas de présence importante de germes d'origine fécale *Escherichia Coli* et *enterocoques*, la baignade est interdite jusqu'à disparition de la contamination et absence de danger pour la santé des baigneurs.

En 2013, les eaux de baignade des lacs d'Annecy (photo 2), du Bourget et d'Aiguebelette ont toutes été classées en bonne ou excellente qualité. Pour le Léman, 85 % des plages ont une eau de bonne ou d'excellente qualité, 12 % une qualité moyenne et deux plages ont été momentanément polluées. En 2014, plus aucune plage n'est interdite à la baignade.



Photo 2 – Détente aux alentours de Talloires (© GRAIE)

Les eaux potables sont contrôlées sur un grand nombre de paramètres, du pompage jusqu'au robinet du consommateur, avec des fréquences hebdomadaires à trimestrielles selon l'importance du débit prélevé.

Pour atteindre une qualité d'eau potable, les eaux brutes des lacs font l'objet soit d'un traitement classique par filtration sur sable et d'une désinfection (traitement suffisant pour rendre conforme l'eau des lacs à un usage d'eau potable), soit d'un traitement par ultrafiltration comme à Annecy et Yvoire avec plusieurs stations de pompage équipées (photo 3).

Pesticides, microcystines (toxines produites par certaines algues) ou résidus médicamenteux sont parfois détectés dans les lacs. Ces polluants sont généralement présents en très faible quantité mais par mesure de précaution, des traitements complémentaires du type ozonation-adsorption sur charbon actif ont été installés, notamment pour les eaux du Léman (à Vevey, Genève, Évian-les-Bains, Yvoire et Nyon) et du lac du Bourget.



Photo 3 – Station d'ultrafiltration des Espagnoux, sur les bords du lac d'Annecy (© ARS DD74)

Ce qu'il faut retenir

Les grands lacs alpins sont des réservoirs d'eau douce qui alimentent une population de plus en plus nombreuse et accueillent des dizaines de milliers de baigneurs sur les plages en été. Leurs eaux, très surveillées, sont globalement de bonne qualité et parfaitement compatibles avec ces usages. Il convient toutefois de rester vigilant sur la présence de certains micropolluants, qui peuvent nécessiter la mise en place de traitements de potabilisation adaptés à la toxicité de ces molécules.

Paramètres radiologiques des eaux *Ils permettent d'évaluer la radioactivité naturelle qui dépend de la nature géologique des terrains, du temps de contact, de la température et de la solubilité des radioéléments rencontrés.*

Qu'est-ce qu'un lac en bon état ?

► Lionel Navarro et Stéphane Stroffek, Agence de l'Eau RMC • Jean-Claude Raymond, ONEMA •

Les grands lacs alpins constituent des milieux intéressants sur le plan patrimonial et écologique. La pérennité de ce patrimoine et des ressources qu'ils offrent suppose de maintenir ces écosystèmes en bon état.

Qu'est-ce que le bon état d'un lac ?

C'est un lac qui garantit des services socio-économiques

La bonne qualité de l'eau d'un lac garantit un bon exercice des usages avec, par exemple, des coûts de traitement limités s'il s'agit d'alimenter les populations humaines ou des filières industrielles exigeantes. La présence de pesticides dans l'eau brute destinée à produire de l'eau potable entraîne, par exemple, un coût supplémentaire de traitement de 0,20 € par m³ (soit un surcoût de 24 € par an pour une facture moyenne de 120 m³). Un lac exempt de contamination chimique garantit la qualité des poissons destinés à la consommation humaine, et assure des conditions sanitaires suffisantes pour les activités nautiques.

La préservation de la capacité d'inondation de zones périphériques des lacs assure un service naturel d'écrêtage de crues, qui protège des inondations les territoires plus à l'aval. Ainsi, les marais de Lavours et de Chautagne qui jouxtent le lac du Bourget permettent de réduire les risques d'inondations à l'aval, sur l'agglomération lyonnaise. La plaine de Chautagne et le lac du Bourget écrètent jusqu'à 500 m³/s (sur un débit de 3000 m³/s) du Rhône supérieur. La préservation des lacs bénéficie au territoire lui-même : la protection ou le retour à des berges naturelles permet le développement d'une végétation favorable à la faune. Cette diversité d'habitats structure les paysages qui sont un marqueur fort du cadre de vie des habitants des territoires lacustres. Le tourisme peut alors se développer.

C'est un lac qui a un bon état écologique et chimique

La notion de bon état est définie par la Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE), la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA), et plusieurs arrêtés et circulaires. On détermine l'état d'un lac à partir de l'évaluation de son état écologique et de son état chimique (fig. 1).

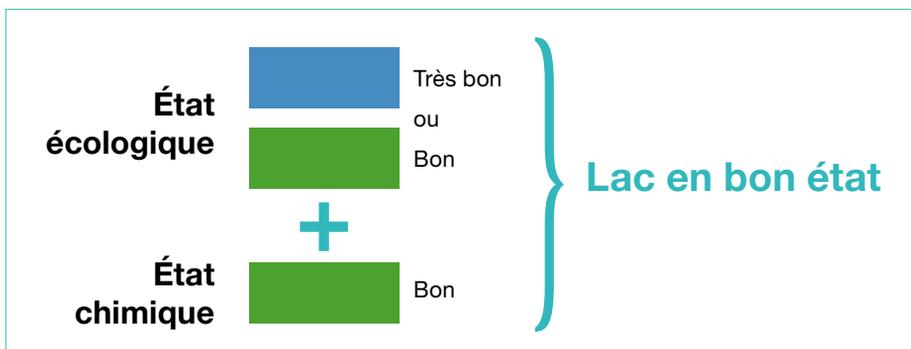


Fig. 1 – Démarche d'évaluation du bon état d'un lac (source fig. 1 et 2 : AE RMC – L. Navarro)

L'état écologique est établi à partir de paramètres caractérisant la biologie (algues planctoniques) et la physico-chimie (azote, phosphore, métaux, transparence). Il est défini comme la plus mauvaise des 5 classes (très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais) observées par ces différents paramètres.

L'état chimique est établi sur la base du dépassement ou non des Normes de Qualité Environnementales (NQE) de 53 substances dangereuses recherchées dans l'eau du lac. Il est défini selon deux modalités : bon ou mauvais.

Les données utilisées pour qualifier l'état d'un lac sont issues des réseaux de surveillance mis en place par l'Agence de l'Eau et l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques. Ces réseaux complètent les suivis engagés localement par les gestionnaires, permettant ainsi d'observer et d'intégrer à l'évaluation l'ensemble des composantes de l'écosystème lacustre.

Quel est l'état des grands lacs alpins ?

Les grands lacs alpins sont globalement en bon état (fig. 2) pour la qualité de leur eau grâce aux actions conduites essentiellement dans le domaine de l'assainissement. Cet effort doit être maintenu. Sur le Léman, les lacs d'Aiguebelette et du Bourget, l'état écologique apparaît moyen à médiocre pour certains paramètres : ceci se



Photo 1 – Le lac du Bourget (© M. Bouron)

	État écologique*	État chimique*	Paramètres déclassants
Annecy			–
Léman			Algues planctoniques/ nutriments
Bourget			Algues planctoniques/ nutriments, poissons
Aiguebelette			Poissons, végétation aquatique

Fig. 2 – État écologique et chimique des 4 grands lacs alpins (basé sur des données des réseaux de surveillance de 2009 pour le lac d'Aiguebelette et 2010 pour les 3 autres lacs) (source : AERMC – L. Navarro)

* Très bon état : bleu, bon état : vert, état moyen : jaune, état médiocre : orange, mauvais état : rouge

traduit par une dégradation des habitats aquatiques, des impacts encore marqués par des apports de nutriments issus des activités humaines historiques et actuelles sur leur bassin versant.

La connaissance des effets des micropolluants sur le fonctionnement des écosystèmes doit être précisée. Des actions doivent également être menées pour protéger ou restaurer la qualité des habitats aquatiques. L'accès à ces habitats doit être assuré lorsqu'ils sont situés sur les affluents des lacs et qu'ils constituent des zones de reproduction pour certaines espèces piscicoles, en particulier la truite lacustre. Cette nécessité a notamment été identifiée pour le lac d'Annecy qui a plusieurs seuils infranchissables pour les poissons sur certains de ses affluents.

Ce qu'il faut retenir

L'atteinte du bon état des lacs est une condition nécessaire à la préservation durable et efficace des services socio-économiques offerts par les lacs et du patrimoine naturel qu'ils représentent.

L'état des grands lacs alpins a été nettement amélioré ces trente dernières années. Des actions restent nécessaires pour réduire les apports de nutriments, restaurer les habitats des rives et limiter les contaminations chimiques.

Comment mesure-t-on la qualité de l'eau ?

► Ghislaine Beaujeu, DREAL Rhône Alpes • Gérard Paolini, CALB •

Pour évaluer la qualité des lacs, des prospections adaptées sont réalisées pour comprendre leur fonctionnement écologique et leurs caractéristiques physico-chimiques. Ces investigations visent à acquérir des informations sur l'ensemble des composantes de l'écosystème lacustre : pleine eau, sédiments, organismes vivants d'origine végétale (phytoplancton par exemple) ou animale (zooplancton, poissons). Les opérations combinent des mesures directes et des analyses en laboratoire après prélèvements.

Un peu d'histoire

À partir des années 1960-1970, les structures locales de gestion ont progressivement mis en place un suivi spécifique sur chacun des lacs afin d'apprécier leur fonctionnement, leur évolution et adapter au mieux des travaux de restauration. Depuis 2007, pour les lacs français, la Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE) complète ce dispositif par un programme standardisé ciblant tous les lacs de plus de 50 ha. Celui-ci permet d'apporter les éléments nécessaires pour l'évaluation de l'état des plans d'eau (voir question 3-02 : *Qu'est-ce qu'un lac en bon état ?*).

Les mesures de terrain

Les investigations ont lieu à la verticale du point ayant la plus grande profondeur. Le Léman, compte tenu de sa taille, dispose de 2 points de suivi, l'un sur le petit lac, l'autre sur le grand lac ; les autres lacs possèdent chacun une station de référence au centre du plan d'eau.



Photo 1 – Deux types de disque sont utilisés : soit un disque blanc de 30 cm de diamètre, soit un disque noir et blanc de 20 cm de diamètre (protocole DCE) (© D. Zanella – SILA)

La transparence de l'eau donne une information globale sur l'évolution de la densité phytoplanctonique dans le milieu, mais peut aussi révéler la présence de matières en suspension issues des cours d'eau, suite aux événements pluvieux. Elle est estimée par la mesure de la profondeur de disparition visuelle d'un disque de taille normalisée (disque de Secchi – photo 1).

La stratification des lacs

Les lacs alpins correspondent à des masses d'eau profondes pour lesquelles on observe une stratification thermique estivale et un brassage hivernal qui permet la ré-oxygénation des couches profondes. Lors de chaque campagne, les principales caractéristiques physico-chimiques (température, oxygène dissous, acidité, conductivité, parfois turbidité ou encore fluorescence) sont mesurées selon un axe vertical à l'aide d'une sonde multi-paramètres immergeable. Ces profils verticaux permettent d'apprécier, au cours des saisons, l'évolution du niveau de stratification du lac, de suivre l'activité biologique et la disponibilité de l'oxygène.



Photo 2 – Bouteille cylindrique à clapet utilisée pour les prélèvements ponctuels : l'envoi d'une masse (appelée messenger) le long du câble retenant la bouteille provoque sa fermeture et permet d'échantillonner l'eau à la profondeur souhaitée (© CISALB)



Les prélèvements d'eau brute, de zooplancton et de poissons

Les échantillons d'eau brute sont prélevés pour réaliser des analyses physico-chimiques de nutriments, de matières en suspension, de minéralisation et de nombreux micropolluants (plus de 200 substances incluant des pesticides et des métaux). Ils sont également destinés à des analyses hydrobiologiques (chlorophylle a, phéopigments et phytoplancton) afin d'évaluer la production primaire*.

Les prélèvements d'eau servent aussi à des investigations spécifiques, telles que le suivi de communautés microbiennes et des cyanobactéries dans le lac du Bourget ou l'analyse de résidus médicamenteux sur le Léman.

Deux types de préleveurs sont mis en œuvre

L'un permet le prélèvement d'un échantillon d'eau ponctuel à l'aide d'une bouteille cylindrique à clapet (photo 2). Les programmes de suivis spécifiques locaux prospectent à différentes profondeurs.

Le second est une bouteille intégratrice en forme de cloche (photo 3) qui permet de reconstituer une portion de la colonne d'eau : c'est un prélèvement dit « intégré ». Il est utilisé pour échantillonner la couche d'eau où se développe la production algale (zone éclairée ou trophogène). Cette zone est comprise pour les lacs alpins entre 0 et 20 m. Dans le cadre de la surveillance des lacs alpins, **des campagnes d'analyses des sédiments** peuvent être effectuées pour identifier différents polluants (notamment les nutriments azote et phosphore ou plusieurs centaines de substances dangereuses) accumulés et potentiellement relargables en pleine eau.

Des analyses hydrobiologiques sur la faune macroinvertébrée (oligochètes* et mollusques) permettent d'apporter des informations sur la capacité des organismes à s'adapter aux conditions régnant au fond du lac et à assimiler la matière organique stockée dans les sédiments.

Photo 3 – Prélèvement intégré : la cloche se remplit progressivement lors de la descente le long de la colonne d'eau. Au cours de la remontée, sous l'effet de la pression, une valve ferme la bouteille (© DREAL Rhône-Alpes)

	SUPPORT	PARAMÈTRES	TYPE D'OPÉRATION
Physico-chimie	Eau	Oxygène dissous, pH, conductivité, température, transparence	Mesures in situ : profils verticaux (sonde multi-paramètres), disque de Secchi
		Physico-chimie classique : demande biochimique en oxygène (DBO5), matières en suspension, carbone organique, matières azotées et phosphorées, turbidité, silice dissoute	Prélèvements intégrés et ponctuels
		Minéralisation : calcium, sodium, magnésium, potassium, dureté, sulfates, chlorures, bicarbonates, titre alcalimétrique	
		Micropolluants : substances prioritaires, pesticides...	
		Autres analyses : résidus médicamenteux par ex.	Prélèvements ponctuels
	Sédiment	Macropolluants : carbone organique, phosphore, azote, teneur en matière organique	Prélèvements par benne
		Micropolluants : substances prioritaires, pesticides	
Chair des poissons	Micropolluants (mercure, PCB, pesticides, perfluorés, phtalates...)	Pêche	
Hydrobiologie	Eau	Chlorophylle	Prélèvements intégrés
		Phytoplancton	
		Autres suivis : communautés microbiennes et de cyanobactéries par ex.	Prélèvements ponctuels
		Zooplancton : microcrustacés	Prélèvements au filet
	Sédiment	Macroinvertébrés : oligochètes* et mollusques	Prélèvements par benne
	Poisson	Suivi piscicole	Pêche au filet, hydroacoustique
	Macrophytes	Description des herbiers	Relevés
Hydromorphologie	Berges et littoral lacustre	Niveau d'altération des berges, qualité des habitats littoraux, bathymétrie	Relevés

Fig. 1 – Récapitulatif des investigations réalisées sur les plans d'eau dans le cadre des suivis locaux et de la DCE (source : G. Beaujeu et G. Paolini)

Des prélèvements de zooplancton (photo 4) sont réalisés dans le cadre des suivis locaux spécifiques des lacs du Bourget, d'Annecy et du Léman. L'étude du zooplancton porte sur les micro-crustacés et contribue à faire le lien avec d'autres observations (notamment phytoplancton et transparence).

L'étude du peuplement piscicole

Le poisson fait l'objet d'un suivi couplant 3 méthodes : pêches scientifiques aux filets, comptage hydroacoustique et données halieutiques (voir question 4-04 : *Comment est gérée la ressource piscicole des lacs ?*). Des mesures sont également réalisées sur la chair des poissons afin de rechercher certains micropolluants (mercure, phtalates, pesticides, PCB...).

Des relevés liés aux macrophytes et aux conditions hydromorphologiques peuvent être effectués en période de développement de la végétation de juillet à septembre.

- Les relevés de macrophytes (végétaux aquatiques visibles à l'oeil nu) permettent d'évaluer le niveau trophique du lac. Ils consistent à recenser la végétation sur différents types de rives. Les herbiers sont décrits afin de caractériser la végétation installée en profondeur se développant à l'interface terre-eau. Différentes techniques d'observation et de prélèvement peuvent être utilisées : plongée sous-marine, bathyscope (boîte à fond vitré), râteau ou grappin.
- La caractérisation de l'hydromorphologie des milieux permet d'apprécier le niveau d'altération des berges, la qualité des habitats littoraux (nature, diversité et répartition spatiale) et la topographie du fond des lacs (bathymétrie). Ces observations physiques apportent une aide à l'interprétation des données biologiques et permettent de mieux appréhender les pressions exercées sur les lacs.



Photo 4 – Filet de vide de maille de 200 µm utilisé pour l'échantillonnage du zooplancton : les prélèvements sont réalisés lors de traits verticaux depuis 50 m de profondeur jusqu'à la surface (© CISALB)

Ce qu'il faut retenir

Les plans d'eau subissent de nombreuses pressions modifiant la qualité de l'eau, des sédiments et la morphologie du milieu. Celles-ci impactent la vie des communautés aquatiques.

Les mesures réalisées sur les plans d'eau permettent de dresser le diagnostic de l'état général du lac et de surveiller son évolution afin de mieux cibler les actions de restauration et évaluer leur efficacité.

Production primaire *Quantité de matière organique produite à partir de matière minérale ou d'apport en énergie. Les producteurs primaires des lacs sont principalement les algues.*

Oligochète *Espèce de ver.*

Quelle est la pression de l'urbanisation sur la qualité de l'eau des lacs ?

► Jean-Marcel Dorioz et Dominique Trévisan, INRA CARRTEL • Florent Pezet, SAFEGE •

L'urbanisation, à la périphérie des grands lacs, modifie profondément l'hydrologie des bassins. Elle s'accompagne de l'introduction de nouvelles pollutions et de nouveaux régimes d'exportation des polluants vers le lac, avec un renforcement des risques de pollution diffuse.

L'urbanisation perturbe le cycle de l'eau et son traitement

L'urbanisation comprend non seulement le développement des zones d'habitations mais également de zones industrielles et commerciales et du réseau routier. Elle entraîne la chenalisation des rivières et ruisseaux, une imperméabilisation des sols qui diminue le pouvoir tampon hydrologique des bassins versants et une artificialisation des berges (photo 1).

Ce phénomène a deux conséquences :

- l'augmentation du ruissellement des eaux pluviales au détriment de l'infiltration, qui sont transférées au lac plus rapidement ;
- la perturbation du fonctionnement des systèmes d'assainissement qui se rejettent dans les lacs (augmentation des débits reçus).

Pour les réseaux d'assainissement unitaires, qui collectent à la fois les eaux usées et les eaux pluviales, les volumes d'eau acheminés jusqu'à la station d'épuration varient selon les conditions pluviométriques. Les stations et les réseaux sont dimensionnés pour gérer une partie des sur-débits liés au temps de pluie. Au-delà d'un certain seuil de précipitations et pour ne pas compromettre le fonctionnement du système d'assainissement, ces sur-débits sont déversés sans traitement dans le milieu aquatique via des déversoirs d'orage.

Des réglementations locales peuvent proscrire tout déversement d'eaux usées non traitées dans un milieu récepteur lorsque celui-ci est particulièrement sensible, comme cela peut être le cas pour les lacs.

Plusieurs solutions existent :

- limiter le ruissellement en favorisant l'infiltration par le choix de revêtements poreux ;
- limiter le raccordement des eaux pluviales au réseau de collecte et les acheminer vers des systèmes de gestion « à la source » permettant leur rétention (toitures stockantes, structures réservoirs...) et/ou leur infiltration (noues, fossés, tranchées...);
- généraliser la collecte séparative des eaux (un réseau pour les eaux usées, un autre pour les eaux pluviales) ;
- en cas de réseau unitaire, créer des bassins de stockage temporaire des eaux pluviales, pour les réinjecter dans la station d'épuration en temps sec afin d'optimiser son fonctionnement.



Photo 1 – Exemple d'urbanisation intensive sur les bords du Léman, région de Morges
(© J.-M. Zellweger)



Photo 2 – Bassin de prétraitement des eaux pluviales de la RD 1201 avant rejet dans le lac du Bourget (© GRAIE)

L'urbanisation engendre des pollutions diffuses

Les systèmes urbains (villes proprement dites, zones industrielles et commerciales, réseaux routiers) produisent des quantités importantes de polluants, qui se retrouvent dans les poussières atmosphériques, dans les particules et sur les surfaces imperméables, et sont facilement exportés lors des ruissellements de pluie. Ces eaux contiennent alors des nutriments (azote et phosphore), des hydrocarbures, des métaux (mercure, plomb, zinc, nickel...) des micropolluants organiques (HAP, PCB, pesticides, solvants chlorés...), des résidus de combustion (pétrole, charbon, bois, papier...) de l'usure des infrastructures ou de la circulation automobile. Le salage des réseaux routiers en hiver affecte aussi la composition des eaux (voir question 3-09 : *Quel est l'effet du salage des routes sur les lacs ?*).

À cet inventaire s'ajoutent parfois des microorganismes pathogènes (déjections animales), des herbicides (entretien des espaces verts et des jardins), des polluants émergents (résidus médicamenteux, solvants...). Ces derniers constituent un nouveau défi pour le traitement des eaux et nécessitent de recourir à des technologies avancées dans les stations d'épuration.

Face à ces sources de pollutions diffuses, une série d'actions complémentaires sont à mettre en place pour :

- réduire la pollution à la source (choix des matériaux de couverture et de voirie, maîtrise de la circulation automobile...);
- gérer les eaux pluviales au plus près de là où elles tombent pour limiter leur chargement en polluants par ruissellement et créer des ouvrages permettant leur décantation et/ou leur infiltration (photo 2).

Le mitage périurbain joue sur la qualité des eaux du milieu rural

L'urbanisation, en favorisant le mitage (morcellement) de l'espace rural situé à sa périphérie, modifie les systèmes agricoles en imposant l'imbrication des parcelles bâties dans le territoire agricole.

Deux tendances sont constatées :

- la surfertilisation des parcelles éloignées des zones urbaines;
- le développement d'un élevage relativement plus intensif.

Ceci aboutit à un accroissement des risques de pollutions diffuses vers les milieux aquatiques, notamment des risques de transfert du phosphore (voir question 3-08 : *Les lacs sont-ils toujours menacés par le phosphore ?*).

Ce qu'il faut retenir

Les grands lacs sont des zones de fort développement économique. Il en résulte une croissance urbaine sur le bassin versant, ce qui induit des changements sur la nature, l'intensité et le régime des charges polluantes transférées aux lacs. Les effets, encore mal connus, peuvent être marqués à terme pour la qualité des eaux et des milieux, et nécessitent de nouvelles méthodologies de traitement.

Quelle est la pression de l'industrie sur la qualité de l'eau des lacs ?

► Cyrille Girel, CISALB •

Sur les bassins versants des lacs alpins, l'industrie est représentée par de grosses entreprises et des milliers de moyennes à très petites entreprises, aux productions variées. Cette diversité, réel atout pour l'économie, crée une pression sur la qualité de l'eau par des rejets accidentels ou continus de composés chimiques, souvent toxiques, dans les réseaux d'assainissement ou directement au milieu aquatique.

Des grandes entreprises aux PME-PMI

Depuis 10 ans, les grosses entreprises, historiquement implantées dans des zones industrielles, ont réalisé des efforts de réduction de leur empreinte environnementale, encouragées par les collectivités locales qui ont renforcé leur politique de suivi et de réduction des rejets non domestiques. Actuellement, ce sont surtout les PME-PMI, souvent imbriquées dans le tissu urbain, le transport de matières dangereuses, ainsi que les sites industriels pollués hérités du passé, qui sont une source de pollution diffuse difficile à maîtriser.

Les micropolluants : une pollution invisible

Les micropolluants, avec des concentrations qui se mesurent dans le milieu naturel en micro-grammes ou nanogrammes par litre d'eau, sont potentiellement dangereux à des concentrations mille à un million de fois plus faibles que les polluants classiques (voir question 3-07 : *Que deviennent les micropolluants introduits dans les lacs ? Quels sont les risques associés ?*). Compte tenu de la durée de renouvellement des eaux d'un lac (une dizaine d'années pour le lac du Bourget et le Léman – voir question 1-03 : *Combien de temps faut-il pour renouveler les eaux d'un lac ?*), le danger qui pèse sur les lacs et leurs usages est grand.

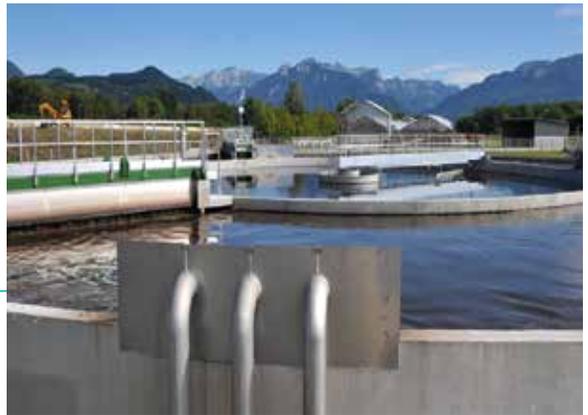


Photo 1 – La station d'épuration de Bellecombe (Haute-Savoie) fait l'objet d'un programme d'étude ambitieux sur les micropolluants et résidus de médicaments (© GRAIE – projet SIPIBEL)

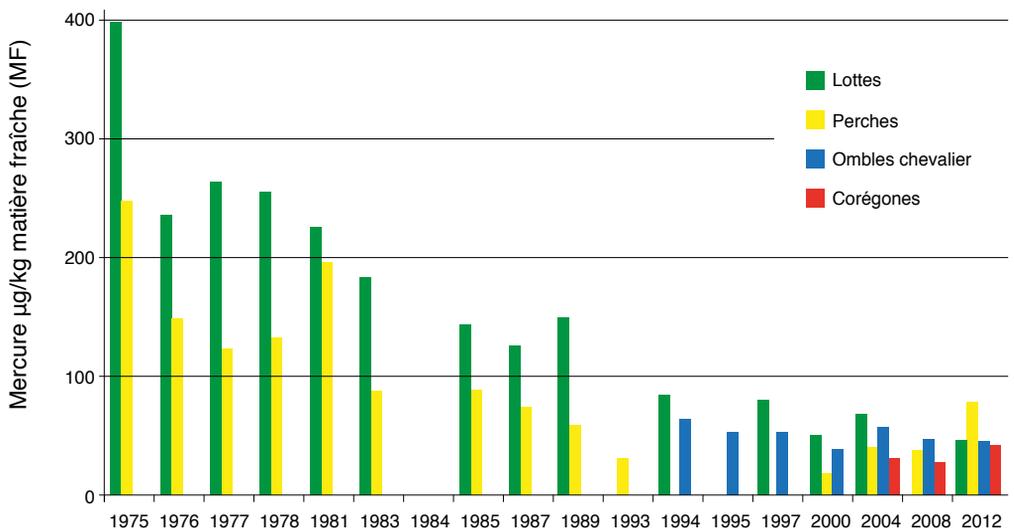


Fig. 1 – Évolution des concentrations de mercure dans la chair des poissons du lac (source : CIPEL)

Les choix du passé...

L'impact de chaque source de micropolluant diffère d'un lac à l'autre selon les choix d'assainissement et d'implantation du tissu industriel.

Pour le Léman, les 171 stations d'épuration urbaines et les quelques stations d'épuration industrielles (phytosanitaires et pharmaceutiques) réparties le long de la vallée du Rhône en amont du lac, sont à l'origine d'apports non négligeables de micropolluants au lac.

Dans les années 1970, le Léman a connu un épisode de pollution industrielle majeure au mercure. Des mesures énergiques prises par les autorités cantonales auprès des industries, suivies par l'interdiction presque totale d'utilisation de ce produit, ont permis de résoudre ce problème.

Le lac du Bourget est alimenté par trois affluents principaux qui traversent Chambéry pour la Leysse et Aix-les-Bains pour le Sierroz et le Tillet. Ces deux agglomérations et leurs zones d'activités industrielles, situées en amont du lac, influencent la qualité des eaux du lac. Quelques substances quantifiées confirment l'impact de l'activité industrielle. Leur concentration est en dessous des valeurs réglementaires pour les usages de l'eau, sauf pour les PCB, dont l'origine est à relier à une activité industrielle historique, maintenant abandonnée, de production de transformateurs électriques au Pyralène™ sur les bords du Tillet.

Pour le lac d'Annecy, le collecteur d'eaux usées situé sous la route bordant le lac, récupère les rejets de toutes les communes du bassin versant dont ceux de l'agglomération principale située en aval du lac, pour les acheminer vers l'usine de dépollution des eaux du SILA. Cette dernière rejette les effluents traités dans le Fier, à l'aval du lac. À ce jour, les micropolluants quantifiés dans le lac à l'état de traces n'ont pas pour origine l'activité industrielle du bassin versant.

Le lac d'Aiguebelette ne fait l'objet d'aucune pression industrielle. Toutefois, la présence de l'auto-route A43 à proximité du lac induit un risque de pollution accidentelle en lien avec le transport de matières dangereuses. Cependant, en cas d'accident, un dispositif d'alerte est automatiquement déclenché permettant un confinement de la pollution dans plusieurs bassins de rétention. Sur la route départementale qui longe le lac, le transport de matières dangereuses est interdit par arrêté préfectoral.



Photo 2 – L'Albanne traversant une zone industrielle (© C. Guay)

... et ceux du présent

Les stations d'épuration actuelles, qu'elles fonctionnent avec des procédés biologiques ou physico-chimiques, ont des limites en termes de performances. Deux solutions existent pour réduire les rejets d'eaux épurées contenant encore des micropolluants :

- **la mise en place d'un traitement spécifique supplémentaire**, tel que l'ozonation ou l'adsorption sur charbon actif. La Suisse équipe actuellement une centaine de stations d'épuration de ces procédés ;
- **la réduction à la source des composés chimiques nocifs pour le milieu aquatique**. Cette stratégie, privilégiée en France, se concrétise par des opérations collectives de réduction des pollutions toxiques dispersées.

Ce qu'il faut retenir

Les lacs alpins ont fait l'objet de mesures de gestion qui ont permis de réduire fortement les impacts liés aux rejets industriels. Cependant, le développement économique et industriel des bassins versants, l'apparition de nouvelles molécules et la rémanence de certains composés rendent nécessaire le maintien de mesures de réduction des flux polluants et de la surveillance des milieux lacustres.

Les lacs sont-ils affectés par la pollution atmosphérique ?

► Emmanuel Naffrechoux et Jean-Luc Besombes, Université Savoie-Mont-Blanc, LCME •

L'atmosphère constitue un vecteur de polluants émis sur les lieux occupés par l'homme vers des sites récepteurs parfois éloignés. Ce mode de transport contribue à la contamination des milieux aquatiques par des concentrations de polluants faibles mais variables. Certains lacs semblent propres alors qu'ils sont pollués par des sels nutritifs ou des molécules toxiques, pouvant affecter l'écologie lacustre.

La nature et les sources des pollutions

Particules fines, oxydes de soufre ou d'azote, Composés Organiques Volatils (COV), toxiques (HAP*, PCB*, pesticides...) ou éléments-traces métalliques (mercure, cadmium, arsenic...) sont des composés présents dans l'atmosphère. Si des efforts ont été faits depuis les années 1970 pour diminuer les émissions dans l'air, le transfert aérien de ces substances aux écosystèmes aquatiques est une réalité.

Les COV sont émis par des sources multiples : activité industrielle, transport, activité domestique (chauffage). La combustion des carburants et les émissions industrielles sont les principales sources d'oxydes de soufre et d'azote, et d'éléments-traces métalliques. Dans les grands lacs alpins français, les teneurs rencontrées restent très faibles et ne posent aucun problème environnemental ou sanitaire.

Les émissions automobiles et le chauffage sont principalement responsables de la présence des HAP, détectés à l'état de traces dans l'eau des lacs (0,25 g dans le volume équivalent à une piscine olympique), mais qui s'accumulent dans les sédiments (0,50 g dans 10 t de sédiments).

Les sédiments des lacs alpins contiennent également des PCB, molécules de synthèse très utilisées de 1950 à 1985 et maintenant interdites. Les quantités se déposant actuellement sur le fond du Léman et du lac d'Annecy sont très faibles et correspondent aux flux atmosphériques émis depuis des sites contaminés éloignés du bassin versant. Le lac du Bourget constitue une exception puisqu'il a subi jusqu'en 2013 les apports de PCB fixés sur les matières en suspension de l'un de ses affluents, pollué par une industrie locale. La concentration dans les sédiments déposés au point le plus profond de ce lac est encore 50 fois supérieure à celle mesurée dans les lacs soumis aux seuls dépôts atmosphériques.

Les processus en jeu

De nombreux polluants sont associés aux particules fines en suspension dans l'air, transportées loin des sources d'émission par les courants aériens (fig. 1). La sédimentation directe de ces particules sur les étendues d'eau

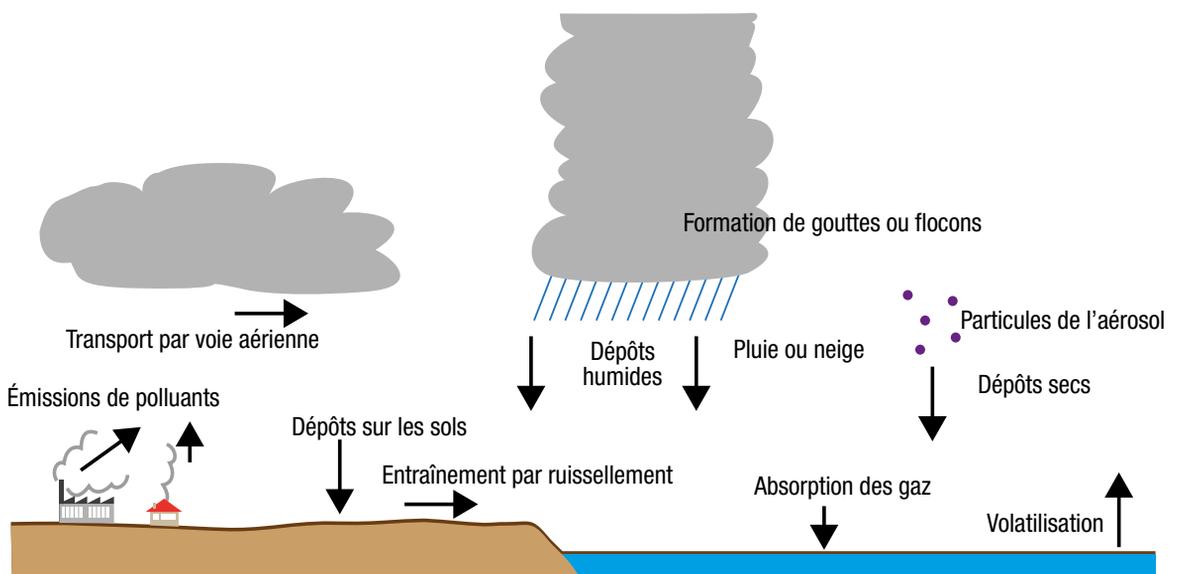


Fig. 1 – Représentation schématique du transfert des polluants atmosphériques aux lacs (source : E. Naffrechoux)



Photo 1 – Inversion hivernale de l'évolution de la température de l'air avec l'altitude (matérialisée par la couche nuageuse horizontale) favorisant le transfert des polluants atmosphériques au lac du Bourget © J.-L. Besombes

correspond au mécanisme de dépôt sec de polluants. Ces particules fines jouent aussi le rôle de noyau de condensation dans l'atmosphère et permettent la formation de gouttes d'eau ou de flocons de neige qui « lessivent » l'air : on parle alors de dépôt humide de la pollution. Quant aux polluants atmosphériques présents sous forme gazeuse, ils peuvent se dissoudre directement à la surface du lac. Ce mécanisme, dit d'absorption, est favorisé par les températures basses et les fortes concentrations du polluant dans l'air.

Les conditions météorologiques en milieu alpin (inversion de température dans la basse atmosphère en hiver limitant la dispersion de la pollution dans l'air, précipitations neigeuses et pluvieuses abondantes) facilitent les transferts des polluants atmosphériques vers les sols. Les apports au lac sont contrôlés par des mécanismes de dissolution des substances déposées, d'érosion des sols, de remise en suspension des sédiments et d'érosion des berges des cours d'eau.

Les quantités entrantes

Les scientifiques estiment que la moitié des polluants métalliques contenus dans les grands lacs nord-américains provient de l'atmosphère. Toutefois, les connaissances sur les flux de l'air aux lacs sont encore lacunaires. En ne considérant que les apports directs à la surface du lac, les quantités entrant annuellement dans les 4 lacs alpins varient de quelques grammes (pour les PCB, HAP, métaux) à plusieurs tonnes (pour le soufre ou l'azote). Ces quantités sont en diminution mais leurs effets sur les lacs se feront encore ressentir plusieurs années.

HAP *Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.*

PCB *Polychlorobiphényles, aussi appelés biphényles polychlorés.*

Anthropique *Relatif à l'activité humaine.*

Ce qu'il faut retenir

Les polluants présents dans l'air sont émis par différentes sources anthropiques*. Ils sont transportés par les courants atmosphériques puis déposés sur les sols des bassins versants ou à la surface des lacs. Les apports varient selon la nature des polluants, la taille et la structure du bassin versant, la superficie du lac et les saisons. Les concentrations dans l'eau sont faibles mais peuvent entraîner des effets néfastes à la vie aquatique ou aux usages de l'eau.

Que deviennent les micropolluants introduits dans les lacs ? Quels sont les risques associés ?

► Emmanuel Naffrechoux, Université Savoie-Mont-Blanc, LCME • Cyril Bourg, DREAL Rhône-Alpes • Nathalie Chèvre, Faculté des Géosciences de l'Environnement de Lausanne • Didier Ortelli, SCAV, État de Genève •

Le développement des techniques analytiques depuis le milieu des années 2000 a mis en évidence la pollution des systèmes lacustres par une multitude de substances chimiques. Issues principalement de nos activités quotidiennes et communément appelées micropolluants*, ces substances entrent dans les lacs majoritairement via les eaux usées et les eaux de ruissellement urbaines et agricoles. Elles ont des origines et des caractéristiques variées qui déterminent leur devenir dans les lacs. La question se pose quant aux effets sur les écosystèmes et sur la santé humaine d'une telle pollution.

Des disparités spatiales

Si les lacs présentent en moyenne des concentrations faibles, les embouchures des cours d'eau et les dispositifs de rejets directs d'eaux pluviales ou de ruissellement de surfaces imperméabilisées, sont des zones préférentielles de plus fortes concentrations pour la plupart des composés.

Ainsi les embouchures de la Leysse, du Tillet, voire du Belle-Eau sont des zones d'apports privilégiées au lac du Bourget, en lien avec les activités amont ou le lessivage de sites pollués.

Dans un lac, la répartition des substances est fortement dépendante des conditions de mélange des eaux qui s'expriment à différentes échelles (voir question 1-05 : *Y a-t-il des courants et des marées dans les lacs ?*). La baie de Vidy du Léman, qui réceptionne les effluents du bassin de Lausanne, fait l'objet d'études qui caractérisent le devenir des micropolluants.

Pour certains produits médicamenteux, en plus de la distance au rejet principal, les concentrations observées dans la baie dépendent de la stratification du lac. Une partie de l'année, le panache du rejet de la station d'épuration se trouve piégé en profondeur, ce qui empêche la photo-dégradation* de certains micropolluants organiques dans les couches de surface. Dans cette dynamique liée aux caractéristiques physiques de la masse d'eau, les vents jouent un rôle primordial.

Pour les pesticides, la plus grande homogénéité des concentrations est liée à la présence d'apports diffus depuis les rives. On estime ainsi à 190 kg la quantité de glyphosate, un herbicide qui arrive dans le Léman chaque année en raison du traitement du vignoble du Lavaux entre Lausanne et Vevey (photo 1). Quelques 250 phytosanitaires sont recherchés au printemps et en automne au milieu du Léman à différentes profondeurs. Une cinquantaine de substances ainsi que des métabolites ont été détectés, provenant de sources agricoles et industrielles (fig. 1).

Parmi les nouveaux contaminants dits émergents, citons les médicaments : sur la soixantaine de substances, une dizaine sont régulièrement détectées au milieu du lac. C'est le cas de la metformine, un antidiabétique, quantifié à près de 0,3 µg/l, ce qui, rapporté au volume du lac, correspond à près de 30 t de substance active ! Les sources sont à la fois industrielles et urbaines.

Leur piégeage par les sédiments

La capacité des sédiments (fig. 2) à stocker des polluants dépend d'une caractéristique chimique essentielle des substances : leur solubilité dans l'eau. On ne retrouve donc pas les mêmes familles de composés dans l'eau et dans les sédiments.

Les substances organiques les moins solubles (PCB, HAP, certains pesticides) se fixent aux particules alors que les métaux précipitent sous différentes formes. La décantation de ces matières solides entraîne l'accumulation des

Historiquement employés dans une multitude d'applications allant des encres et vernis aux condensateurs et transformateurs, les PCB (polychlorobiphényles), extrêmement persistants dans la nature, sont revenus sur le devant de la scène lorsque les seuils sanitaires pour les poissons destinés à la consommation ont été révisés à la baisse (en 2006, puis 2012).

Aujourd'hui, le niveau d'imprégnation des poissons est inférieur à ces seuils, hormis dans le lac du Bourget où persiste une contamination marquée – largement issue du Tillet aujourd'hui réhabilité.

Une mesure d'interdiction de pêche concerne les espèces qui accumulent le plus ces composés, dont l'omble chevalier.

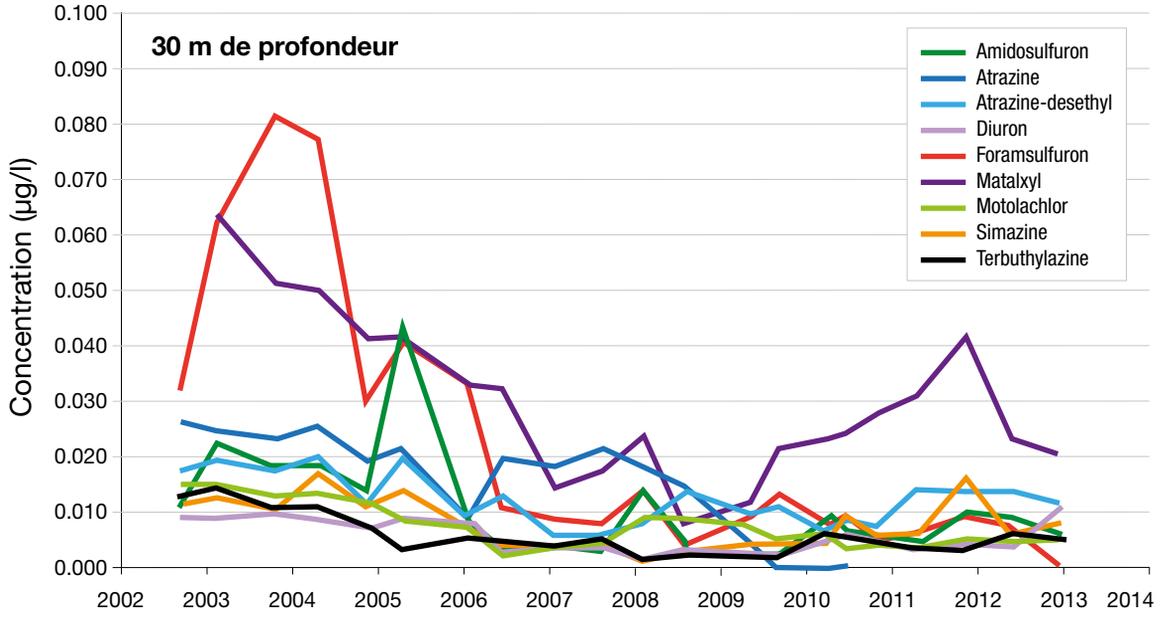
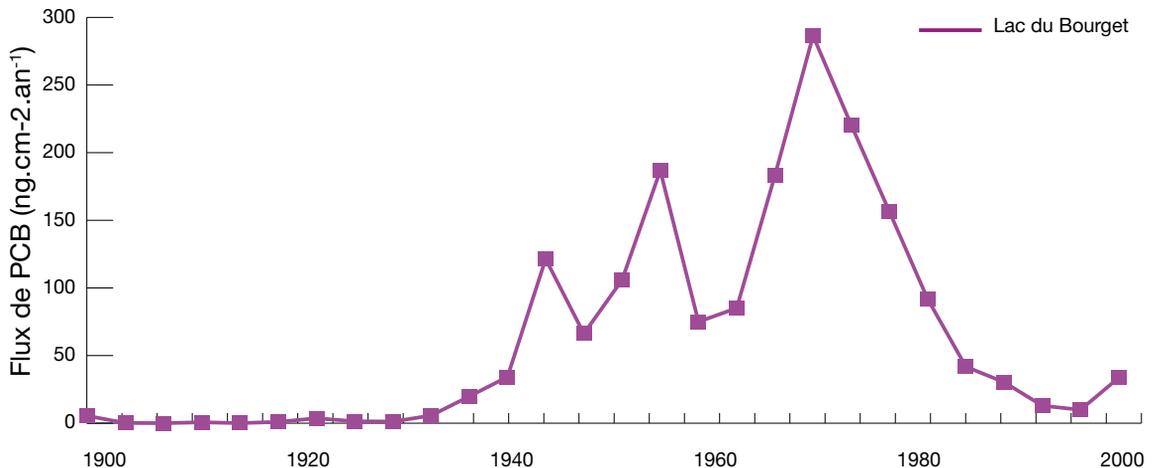
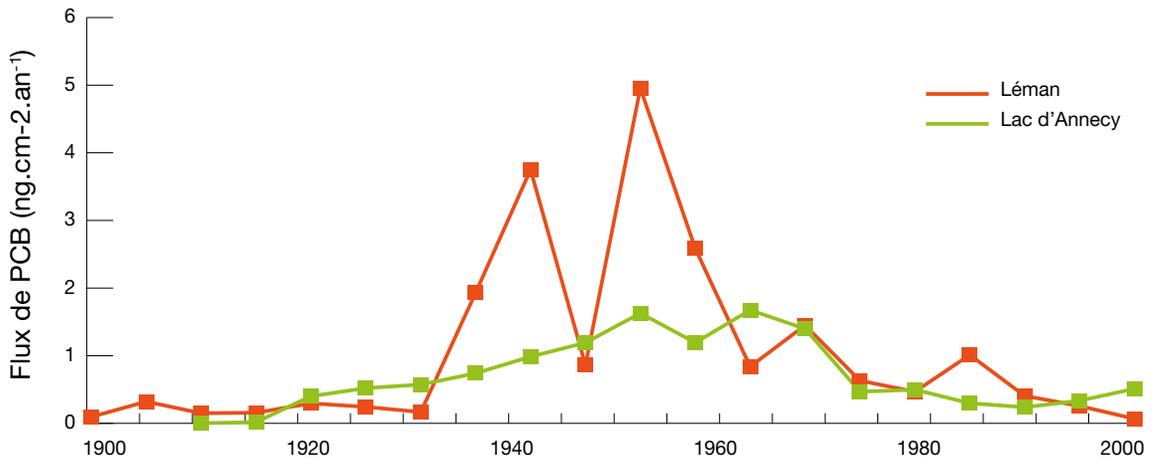


Fig. 1 – Évolution de la concentration de micropolluants régulièrement détectés dans le Léman, à la profondeur de prélèvement des stations de pompage pour la production d'eau potable (source : CIPEL)

Fig. 2 – Flux d'enrichissement en PCB des sédiments lacustres du Léman et des lacs d'Annecy et du Bourget (source : E. Naffrechoux)



micropolluants au fond des lacs, dans les sédiments. Contrairement aux cours d'eau où la reprise par les crues peut provoquer un transfert vers l'aval, les lacs archivent durablement cette pollution : l'étude de carottes sédimentaires* permet de reconstituer l'histoire de la contamination par certains composés et de la comparer à l'état actuel. Ainsi, une analyse menée sur le lac du Bourget a permis de caractériser l'évolution des contaminations pour les PCB, les HAP, quelques métaux et des composés bromés.

La tendance actuelle pour ces substances est à la baisse sauf pour les composés bromés dont les concentrations augmentent, mais restent faibles. Pour les PCB, les fortes concentrations historiques témoignent d'une contribution industrielle locale, alors que les métaux et les HAP ont été (et continuent) d'être apportés par différentes voies (affluents, dépôts atmosphériques, lessivage des chaussées, etc.). Dans l'ensemble, les concentrations en PCB et HAP sont plus élevées dans le lac du Bourget que dans le lac d'Annecy et le Léman en raison d'apports plus importants.

Leurs effets sur les écosystèmes lacustres

L'eau et les sédiments sont les compartiments à partir desquels les organismes sont susceptibles de se contaminer et d'assimiler, voire de concentrer, ces polluants.

Le risque lié à ces substances résulte de la combinaison de l'exposition (temps de contact entre un organisme et une substance) et de l'effet (conséquence biologique).

Les polluants peuvent se transférer le long de la chaîne alimentaire, avec parfois une bioamplification (fig. 3) (les concentrations augmentent de la proie vers son prédateur), comme cela a été montré pour certains métaux comme le mercure et certains produits organiques tels que les PCB. Le niveau actuel de contamination des lacs alpins est faible, ne générant pas d'effet environnemental direct visible.

Pris individuellement, les micropolluants retrouvés dans les eaux du Léman, des lacs d'Annecy et du Bourget ne semblent donc pas présenter de risques à court terme, à l'exception de quelques composés tels que les herbicides présents dans le Léman, toxiques en particulier pour les algues ou les PCB dans le lac du Bourget.

La situation est différente en présence de mélanges de micropolluants. En effet, le simple fait que des dizaines de substances soient présentes simultanément, même à de très faibles concentrations, peut accroître le risque pour les espèces aquatiques. Il faut ajouter de nombreuses inconnues, liées à la variété des organismes vivants ayant des sensibilités différentes ou encore à la différence de sensibilité en fonction des stades de développement de ces organismes. Il existe peu de connaissances sur les risques sur plusieurs générations et leur possible cumul à d'autres risques liés au changement climatique.

Leurs risques pour la santé humaine

L'être humain peut être exposé à ces micropolluants principalement à travers la nourriture, notamment les poissons et l'eau potable. Selon les substances, les risques, en cas d'expositions élevées, peuvent être variés : cancers, modifications hormonales, malformations fœtales. Les PCB ont ainsi été dosés en quantités importantes dans certains poissons du Léman et du lac du Bourget (supérieures aux normes sanitaires de consommation), en

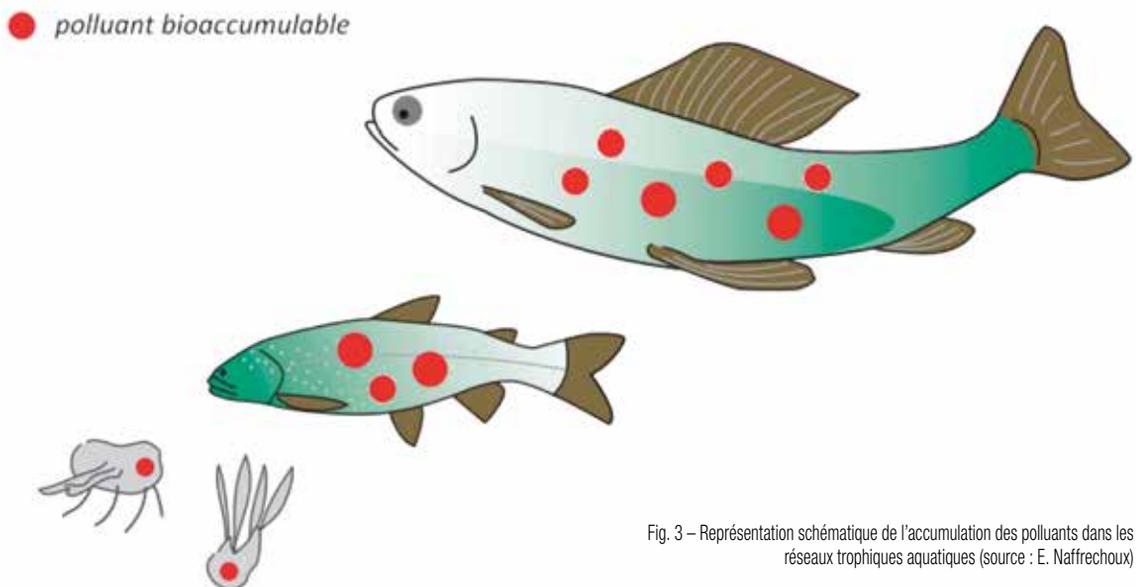


Fig. 3 – Représentation schématique de l'accumulation des polluants dans les réseaux trophiques aquatiques (source : E. Naffrechoux)



Photo 1 – Vignoble de Lavaux illustrant les risques de transferts de produits phytosanitaires d'origine agricole (© J.-M. Zellweger)

particulier chez les poissons âgés, gras, et situés au sommet de la chaîne trophique tel que l'omble chevalier. Ceci a donc conduit à des restrictions de pêche.

La question des risques liés à la consommation d'eau potable issue de lacs est, elle, toujours en discussion. Mais les normes de qualité actuelles sont très restrictives et protectrices pour le consommateur : par exemple, pour les PCB, il faudrait boire plus de 100 litres d'eau non traitée du lac du Bourget par jour pour dépasser la dose maximale journalière admissible.

Il existe par ailleurs des moyens de potabilisation de l'eau qui permettent de supprimer efficacement les micropolluants dans l'eau potable. Le risque pour la santé humaine lié à la consommation d'eau potable issue des lacs est donc faible (voir question 3-01 : *L'eau des lacs : peut-on la boire et s'y baigner ?*).

Micropolluants Composés présents à des concentrations inférieures ou égales au microgramme par litre dans l'eau – ou microgramme par kilogramme dans les sédiments.

Photo-dégradation Dégradation d'une molécule par l'absorption de photon, notamment émis par le soleil.

Carotte sédimentaire Échantillon stratifié de sédiments qui permet l'analyse datée des constituants du sédiment.

Ce qu'il faut retenir

Les systèmes lacustres en milieu anthropisé sont pollués par de nombreuses substances chimiques, généralement présentes en quantités très faibles, dont le devenir dépend de leurs caractéristiques propres et de leur environnement. Il est actuellement impossible de prédire leurs éventuels risques à long terme pour la santé des lacs et sur la potabilisation de leur eau.

Les lacs sont-ils toujours menacés par le phosphore ?

► Jean-Marcel Dorioz, INRA CARTELE • Michel Lafforgue, SAFEGE • Dominique Trévisan, INRA CARTELE •

L'eutrophisation est une pollution des plans d'eau par le phosphore. Cette menace a pesé sur les lacs alpins dans les années 1960 à 1990. Les actions entreprises semblent les avoir tirés d'affaire. Sont-ils à l'abri d'une rechute ?

Le phosphore : un élément clé de la dynamique des lacs

Un lac ayant une charge modérée en phosphore est oligotrophe, la quantité d'algues (biomasse) produite est faible. Les lacs eutrophes, trop nourris en phosphore, produisent une biomasse algale importante qui désorganise l'écosystème dans son ensemble. Les fonctions du lac (production piscicole, recyclage) et ses usages (alimentation en eau potable, pêche, baignade) peuvent alors être perturbés. Le phosphore provient en général du bassin versant. Les flux transférés sont largement dopés par la croissance des activités humaines.

Des lacs en convalescence

Les lacs alpins, excepté le lac d'Aiguebelette, sont passés d'un état oligotrophe à des états plus ou moins eutrophes, à partir des années 1950 avec un pic d'eutrophisation dans les années 1980. L'augmentation des rejets d'eaux usées domestiques, elle-même conséquence de l'urbanisation, de l'accroissement de la population et de l'usage de lessives avec phosphates, est la cause principale de cette évolution. Les flux diffus dus aux pertes des sols agricoles n'ont eu qu'un rôle secondaire.

Les mesures de maîtrise des flux de phosphore ont consisté à améliorer la collecte des effluents et leur traitement dans des stations d'épuration avant rejet, à interdire l'usage des phosphates dans les lessives (dès 1986 en Suisse, 2007 en France), à transférer une partie des rejets urbains traités à l'aval des lacs d'Annecy et du Bourget.

Les mesures drastiques (ceinturage du lac par un collecteur de tous rejets domestiques) et précoces (1962) prises pour Annecy ont permis d'obtenir des résultats rapides (« une ré-oligotrophisation* »). Pour le Léman et le lac du Bourget, les mesures ont été plus tardives (rejet des eaux usées traitées de Chambéry et Aix-les-Bains au Rhône, à l'aval du lac du Bourget, en 1980). Les améliorations ne se sont fait sentir que progressivement.

La baisse obtenue entre 1990 et 2000 en matière de phosphore est spectaculaire, mais des pics de biomasse algale persistent. Les communautés biologiques ne reviennent pas à l'état souhaité et l'anoxie benthique* continue à se maintenir sur de longues périodes. L'écosystème lacustre est restauré mais il a changé. C'est un convalescent qui se trouve soumis aux effets du réchauffement climatique et à la pression des flux de phosphore résiduels (fig. 1).

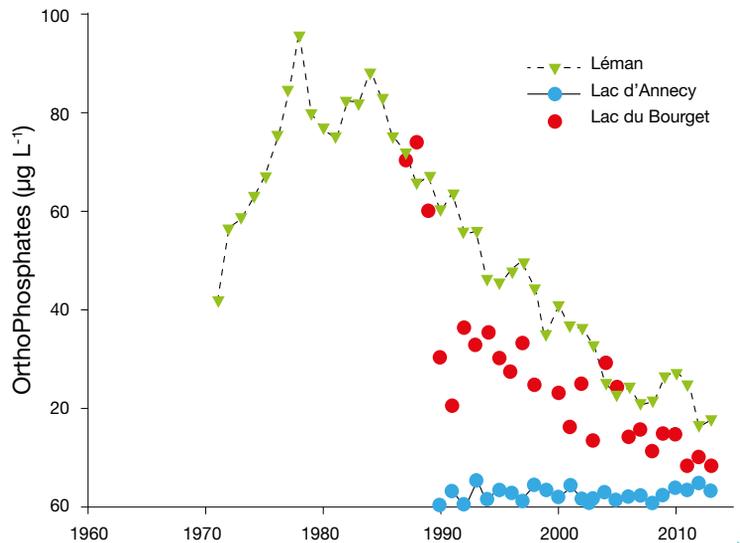


Fig. 1 – Évolution de la concentration des orthophosphates à la date de la plus forte homogénéisation de la colonne d'eau (février-mars). Pour le Léman, le brassage n'est souvent que partiel (source : S. Jacquet)

Des flux de phosphore durablement stabilisés

Les flux totaux en phosphore entrant dans les grands lacs sont désormais stabilisés à un niveau plutôt faible.

- La maîtrise des flux dus aux eaux usées semble assurée. Il persiste cependant un risque résiduel avec le développement du mitage périurbain qui accroît la proportion de rejets difficiles à contrôler car dispersés.
- La situation est plus complexe pour les flux diffus.

Les flux de phosphore diffus agricole, sont très sensibles aux conditions d'écoulement des eaux de surface et aux pratiques culturales. La vigilance s'impose face à l'intensification relative de l'agriculture (photo 1) et à

la simplification du parcellaire, du réseau hydrographique, qui accompagne le mitage des zones rurales proches des lacs. Il existe une tendance générale à l'accroissement des teneurs en phosphore des sols cultivés; elle résulte du cumul, sur des années, de bilans excédentaires en phosphore des exploitations agricoles.

Il existe aussi des flux diffus urbains (photo 2) (voir question 3-04 : *Quelle est la pression de l'urbanisation sur la qualité de l'eau des lacs?*), dont l'augmentation semble inexorable.

Des milieux qui restent vulnérables

Le risque de pollution massive étant écarté, la vulnérabilité au phosphore de nos systèmes lacustres résulte du couplage de facteurs de risque faibles agissant simultanément sur les lacs et leurs bassins versants. Le scénario d'une hausse modérée des transferts de phosphore due au renforcement des flux diffus et qui réactiverait l'eutrophisation de lacs sensibilisés par leurs passés et le réchauffement climatique, est plausible. Le phénomène clé induisant l'augmentation du diffus, pourrait être la conjonction entre des sols de plus en plus riches en phosphore et l'accroissement des connexions entre ces sols et les lacs du fait des aménagements du réseau hydrographique et de l'imperméabilisation des surfaces. Une telle situation aboutirait notamment à une augmentation des flux transférés en été, période favorable à la croissance algale.

D'autres changements pourraient amplifier ces dynamiques défavorables. C'est le cas

de la désoxygénation partielle du fond devenue chronique du fait d'hivers moins froids et donc de brassage moins fréquents (voir question 1-04 : *Quand les lacs se retournent-ils dans leur cuvette?*). Ce phénomène ouvre la porte à des libérations de phosphore piégé dans les sédiments.



Photo 1 – Vue aérienne du Léman, mitage urbain (© J.-M. Zellweger)



Photo 2 – Mitage urbain sur le bassin versant du lac du Bourget (© CIALB)

Ce qu'il faut retenir

Les efforts réalisés ont permis de baisser les teneurs en phosphore et d'améliorer l'état trophique des lacs. Ce résultat est à consolider face à plusieurs risques de déstabilisation : tendance à l'accroissement des volumes d'eaux usées à traiter, d'apports diffus urbains, des stocks dans certains sols agricoles.

Ré-oligotrophisation *Phénomène d'appauvrissement progressif d'un milieu en éléments nutritifs.*

Anoxie benthique *Absence d'oxygène pour les invertébrés vivant au fond des lacs.*

Quel est l'effet du salage des routes sur les lacs ?

► Adrien Gaudard et Luiz Felipe de Alencastro, EPFL • Emmanuel Naffrechoux, Université Savoie-Mont-Blanc, LCME •

Assurer la permanence de la circulation routière en hiver en zone de montagne implique la mise en œuvre de moyens techniques, combinant des méthodes mécaniques (chasse-neige) et des méthodes chimiques. Le salage, dont le rôle est d'abaisser le point de congélation de l'eau, peut avoir des impacts sur l'environnement aquatique car les composés utilisés sont très solubles dans l'eau.

Le sel utilisé

Le sel de déneigement est majoritairement constitué de chlorure de sodium (NaCl), auquel on ajoute, selon la température et l'humidité de la neige à fondre, des quantités variables de chlorure de calcium (CaCl₂) ou de magnésium (MgCl₂). Des impuretés, sous forme d'éléments à l'état de traces, sont inévitablement présentes : phosphore, soufre, azote, cuivre et zinc.

Ce mélange est épandu sur les chaussées sous forme solide, liquide (saumure), ou en mélange (solide dans une saumure), à raison d'environ 80 à 150 kg par km de route à double voie.

Son devenir dans l'environnement

Très solubles et stables dans l'eau, les constituants ioniques du sel (Na⁺, Ca₂⁺, Mg₂⁺ et Cl⁻) sont entraînés par les eaux ruisselant sur la chaussée et peuvent rejoindre les cours d'eau et les lacs. Le lac recevra d'autant plus d'apports que la densité routière de son bassin versant est grande et que les chaussées sont connectées au réseau hydrique (fossés, ruisseaux, rivières et finalement les lacs).

Le Léman est soumis aux apports en sel de déneigement, qui contribuent à environ 1/5 de la concentration en chlorures Cl⁻ de l'eau (fig. 1), l'essentiel du sel étant issu des activités industrielles.

Même si le salage des routes n'est donc pas le seul responsable de cet apport, tous les lacs alpins voient leur concentration en chlorure augmenter depuis 40 ans

(fig. 2). Le lac d'Aiguebelette, dont le sel de déneigement en est la source quasi-exclusive, présente une augmentation moins régulière, probablement expliquée par un temps de séjour plus court de l'eau dans le lac et par les fluctuations des quantités utilisées pour le déneigement de l'autoroute située à sa proximité directe.

Ses effets sur le lac

Les ions résultant de la dissolution du sel de déneigement sont déjà tous présents dans les eaux naturelles et sont essentiels à la bonne santé des organismes. Toutefois, l'augmentation de leur concentration peut avoir des conséquences néfastes. L'ion Cl⁻ devient dangereux pour la faune et la flore aquatiques à partir d'une exposition continue à une concentration de 250 mg/l et peut entraîner une réduction de la productivité biologique.

Des concentrations plus faibles peuvent avoir un effet sur la structure des populations et des communautés d'algues. Très soluble dans l'eau et peu réactif chimiquement, aucun mécanisme naturel ne peut atténuer rapidement la concentration de cet ion dans un lac. La concentration dans le Léman est ainsi passée de moins de 3 mg/l dans les années 1970 à près de 10 mg/l aujourd'hui.

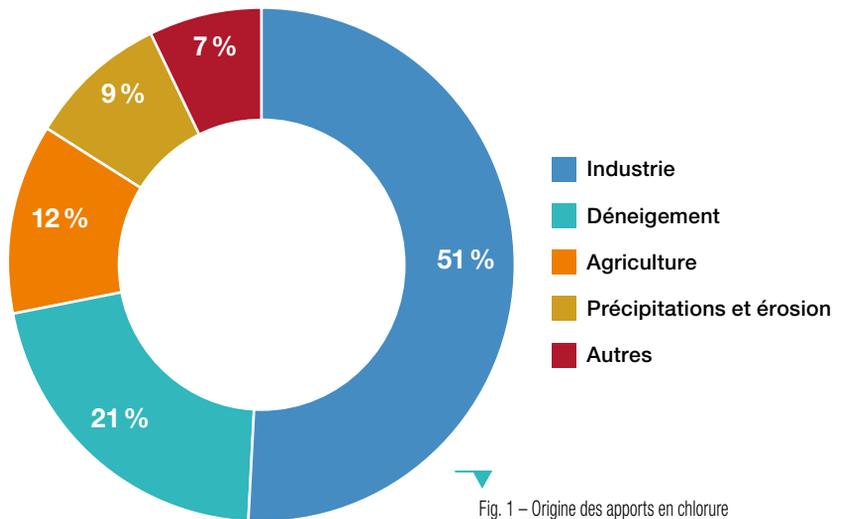


Fig. 1 – Origine des apports en chlorure dans le Léman, par importance (source : Gummy et L. F. De Alencastro 2001, A. Gaudard, 2012)

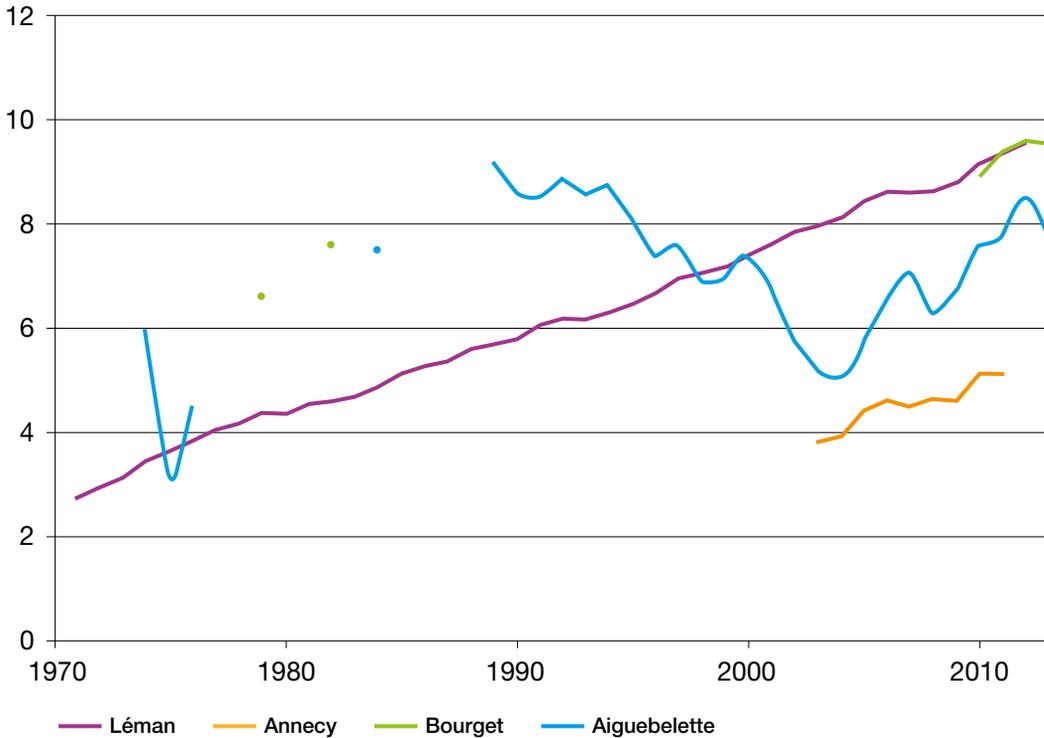


Fig. 2 – Évolution de la concentration moyenne en ion chlorure dans les lacs alpins (en mg/l) (source : J. Lazzaroto et A. Klein, 2012)

Aucun effet sur les organismes des lacs alpins n'est mesurable. Toutefois, la présence de chlorure de sodium augmente la mobilité des métaux présents sur les routes (notamment le cadmium, le zinc, le cuivre et le plomb toxiques à faible dose). Par ailleurs, une hausse de la salinité induit une augmentation de la densité de l'eau.

Comment limiter l'impact sur le lac du déneigement des routes ?

Le sel ne doit être utilisé que pour faire fondre la neige que l'on ne parvient pas à retirer mécaniquement avec les engins d'entretien. L'étude de l'état de la surface de la route permet d'adapter la quantité de sel à épandre. L'épandage de sel humidifié, plus vite actif, limite les quantités épandues. La prise en compte de la largeur de chaussée, de la pente et des vents dominants permet enfin de limiter la quantité perdue par éclaboussures.

Les écoulements de la chaussée des grands axes routiers doivent être dirigés vers des zones enherbées pour limiter les atteintes aux zones sensibles (cultures, ruisseaux, rivières et eaux stagnantes). Les zones de stockage peuvent être couvertes pour limiter les flux de ruissellement comme c'est le cas au lac d'Aiguebelette où AREA dispose d'un stock important de sel pour traiter la portion de l'autoroute située entre le tunnel de Lépine et celui de Dullin.

Des produits alternatifs au sel de déneigement sont actuellement testés mais ils souffrent souvent d'inconvénients non négligeables, notamment un faible temps d'action et une accumulation en bord de routes pour les produits solides (graviers, copeaux), ou un effet néfaste aux eaux de surface pour les composés organiques (acétate ou formiate de potassium, urée) lors de leur (bio) dégradation.

Ce qu'il faut retenir

Le déneigement des routes est une source de chlorures pour les lacs alpins. Les teneurs augmentent de manière régulière mais n'entraînent actuellement pas d'effet négatif observable dans l'écosystème lacustre. Toutefois, il est souhaitable de limiter les apports aux lacs ou de développer des solutions alternatives.



Pêcheurs amateurs sur le lac d'Aggouberrie © GRALP

La pêche

4

Comment est organisée la pêche sur les lacs ? Comment est-elle réglementée ?

► Sébastien Cachera, CISALB • Frédéric Hofmann, Canton de Vaud •

Sur les lacs, la pêche est une histoire de passionnés ou une affaire familiale. Les pratiques de pêche ont évolué au fil du temps.

La pêche professionnelle

Activité ancestrale qui se pratique souvent de père en fils, la pêche professionnelle est un métier qui a gardé un caractère artisanal. Les pêcheurs exploitent le corégone, la perche, l'omble chevalier, la truite lacustre, le brochet et la lotte. Ils utilisent des filets maillants, anciennement fabriqués en chanvre puis en coton, et depuis les années 1950 en fibres synthétiques. Les nasses, sorte de cages grillagées, sont utilisées pour la capture de perches

et d'écrevisses. Les pêcheurs commercialisent leurs produits, directement ou par l'intermédiaire d'un mareyeur, aux consommateurs, restaurateurs, poissonniers et magasins. En France, les pêcheurs professionnels des trois lacs sont adhérents de l'AAIPPLA (Association Agréée Interdépartementale des Pêcheurs Professionnels des Lacs Alpains). En Suisse, ils sont regroupés dans un Syndicat Intercantonal des Pêcheurs Professionnels du Léman (SIPPL).

Il y a actuellement 140 pêcheurs professionnels sur le Léman (60 en France et 80 en Suisse), alors qu'ils étaient plus de 300 (pluriactifs : restauration et agriculture) avant 1940. Sur le lac d'Annecy, ils ne sont plus que 2 depuis 2012, contre plus de 40 avant 1970. Il ne reste plus que 10 pêcheurs professionnels sur le lac du Bourget depuis 1995, contre 120 jusqu'en 1980.

Sur ces 2 lacs, l'interdiction pour les pêcheurs professionnels d'être pluriactifs depuis le début des années 1970 explique ce déclin. Le lac d'Aiguebelette n'est pas exploité par la pêche professionnelle.

La pêche amateur aux engins et filets

Cette catégorie, issue des pêcheurs professionnels, a été rattachée aux amateurs suite à la loi Pêche de 1984.

Quelques particularités

Sur le lac d'Annecy, la pêche professionnelle aux écrevisses est autorisée. Au Léman, la commercialisation des écrevisses américaines est encouragée pour limiter son expansion.

Aux lacs du Bourget et d'Annecy, des filets littoraux à petites mailles, les mirandeliers, sont utilisés pour pêcher la friture de perches et de gardons.



Photo 1 – Pêcheurs de loisir sur le Léman
(© F. Hofmann)



Photo 2 – Pêcheur professionnel sur le lac d'Annecy (© D. Zanella – SILA)

Ces pêcheurs disposent de nasses, de lignes de fond et de filets. Ils sont membres d'une Association Agréée Départementale des Pêcheurs Amateurs aux Engins et Filets. Une licence est délivrée sur le lac d'Annecy.

Cette pêche est exercée par 42 pêcheurs au lac du Bourget, 10 sur le Léman (cette catégorie n'existe pas dans les eaux suisses du Léman) et 20 sur le lac d'Aiguebelette.

La pêche amateur aux lignes

Les pêcheurs amateurs ont le droit de pêcher depuis la rive ou à bord d'une embarcation. En bateau, on distingue 2 pratiques traditionnelles : la pêche à la sonde (gambe) pour la perche et le corégone ; la pêche à la traîne pour les salmonidés et le brochet. Cette dernière catégorie rassemble le plus grand nombre de participants : 8000 sur le Léman, 1000 sur le lac d'Annecy, 1500 sur le lac du Bourget et 600 sur le lac d'Aiguebelette (voir question 4-03 : *Quelles sont les techniques de pêche utilisées aujourd'hui ?*).

Comment sont organisées la police et la gestion de la pêche ?

La Direction Départementale des Territoires (DDT) assure la police administrative de la pêche, excepté pour le Léman, qui est géré en collaboration avec les cantons suisses. L'ONEMA

(Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques) assure la police côté français. Pour les lacs sur lesquels l'État détient le droit de pêche (Annecy et Bourget), un cahier des charges départemental de la location du droit de pêche est rédigé pour 5 ans. Il précise le nombre de licences autorisées et le montant des loyers.

La DDT propose, aux préfets, des arrêtés départementaux permanents et/ou annuels fixant les dates d'ouverture et de fermeture de la pêche, les espèces pouvant être pêchées, les techniques autorisées, les zones sur lesquelles la pêche ne peut pas être pratiquée, dites « réserves de pêche ». Le Léman représente un cas particulier puisque la pêche est réglementée par un accord franco-suisse qui harmonise les mesures entre les deux pays.

Les déclarations de captures des différentes catégories de pêcheurs couplées aux informations recueillies lors des différents suivis et des études scientifiques permettent d'évaluer l'état des stocks de poissons exploités. Ces informations sont essentielles pour élaborer une réglementation adaptée.

Ce qu'il faut retenir

Il existe trois types de pêche : la pêche professionnelle, la pêche amateur aux engins et filets, et la pêche amateur à la ligne. Chaque catégorie est réglementée pour permettre la préservation des ressources piscicoles.

Quelles sont les espèces de poissons exploitées aujourd'hui ?

► Franck Cattaneo, HEPIA •

Les grands lacs alpins abritent une ichthyofaune* diversifiée pêchée par des pêcheurs professionnels et amateurs.

Une grande variété de poissons, mais peu d'espèces exploitées

Les grands lacs alpins comprennent plus d'une vingtaine d'espèces qui ont des exigences écologiques variées (voir question 2-04 : *Quels poissons vivent dans les lacs ?*) et qui déterminent leur position dans les lacs. Parmi ces espèces, seules 5 ou 6 présentent un intérêt halieutique significatif. Les pêcheurs professionnels exploitent principalement les salmonidés*, la perche, ainsi que le brochet. La lotte (photo 1) présente également une valeur commerciale.

Par le passé, les poissons blancs, notamment le gardon et l'ablette, ont été fortement exploités sur le lac du Bourget et le Léman, mais le sont beaucoup moins aujourd'hui. Les pêcheurs amateurs s'intéressent à ces mêmes espèces, mais peuvent aussi rechercher les sandres, présents sur le lac du Bourget ou les carpes, par exemple.

Liste des espèces de poissons des 4 grands lacs alpins	ESPÈCES PAR LAC			
	Léman	Bourget	Annecy	Aiguebelette
Ablette				
Alose				
Anguille				
Barbeau				
Blageon				
Blennie fluviatile				
Brème bordelière				
Brème commune				
Brochet				
Carassin				
Carpe commune				
Chabot				
Chevaine				
Corégone*	(alv)	(alv)		(alv)
Epinoche				
Gardon				
Goujon				
Grémille				
Hotu				
Lamproie marine				
Loche franche				
Lotte				
Ombre chevalier	(alv)	(alv)	(alv)	(alv)
Ombre commun				
Perche				
Perche soleil				
Poisson chat				
Rotengle				
Sandre				
Spirin				
Tanche				
Truite (lacustre)	(alv)	(alv)	(alv)	
Truite arc-en-ciel				
Vairon				
Vandoise				
Nb. espèces total**	24	29	20	21

Liste des espèces de poissons des 4 grands lacs alpins

- Espèce autochtone
- Espèce introduite
- Espèce disparue

alv : espèce bénéficiant d'un soutien d'effectif

En gras : espèce exploitée par la pêche professionnelle et amateur.

* Il existe plusieurs appellations locales du corégone : féra pour le Léman et le lac d'Annecy ; lavaret pour les lacs du Bourget et d'Aiguebelette.

** N'inclut pas les espèces disparues ou supposées disparues.

Une exploitation qui varie au cours du temps

Les quantités de poissons prises par la pêche professionnelle fluctuent d'une année sur l'autre et sur le long terme. Dans le Léman, les tonnages pour les 5 espèces principales (omble, truite, corégone, perche, brochet) ont varié de 1 400 t en 1975 à une centaine de tonnes en 1980, pour remonter à 500 t en 2007 et 1 148 t en 2011. Sur le lac du Bourget, les captures des principales espèces ont atteint un pic de 176 t en 1963. Depuis 20 ans, elles oscillent entre 30 et 50 t, et atteignent plus de 60 t depuis 2009 suite au retour du corégone. Au lac d'Annecy, les captures des pêcheurs professionnels de salmonidés s'élèvent en moyenne à 10 t par an sur la dernière décennie, avec des variations interannuelles importantes.

La part respective de chaque espèce pêchée varie. Pour le Léman, la perche a représenté jusqu'à 90 % des tonnages pêchés entre 1970 et 1975, la période de plus forte eutrophisation du lac, pour diminuer à 66 % entre 1991 et 1995, puis à 40 % environ aujourd'hui (2006-2010). Les captures d'ombles et de truites ont diminué depuis le début des années 1990. À l'inverse, le corégone et le brochet connaissent depuis le milieu des années 1980 une forte augmentation des captures, passant respectivement de 19,7 % et 0,9 % durant la période 1991-1995 à 50,3 % et 5,4 % en 2006-2010. Pour le lac du Bourget, le corégone qui représentait dans les années 1960 moins de 1 % des tonnages capturés, dépasse les 70 % depuis 2009. À l'inverse, le gardon qui représentait fréquemment 40 % des tonnages avant 1990, ne totalise plus que 5 % environ sur la décennie écoulée.

Ces évolutions ont plusieurs origines à prendre en compte

- Le nombre de pêcheurs et les variations des pratiques de pêche changent. Sur le lac du Bourget, le nombre de pêcheurs professionnels est passé de 120 durant les années 1960, à seulement une dizaine aujourd'hui, ce qui explique une part de la baisse totale des captures.
- Les modifications de la réglementation ou de la gestion piscicole, comme les changements des habitudes alimentaires des consommateurs évoluent. Le pêcheur va cibler prioritairement des espèces pour lesquelles une demande existe.
- Les lacs alpins ont connu une nette amélioration de la qualité de leurs eaux depuis les années 1980, ce qui influence leur productivité et les espèces dominantes (cyprinidés, percidés, salmonidés).
- Le changement climatique pourrait se traduire par un accroissement graduel des températures de l'eau et par une altération de l'hydrologie des affluents, qui modifieraient la structure des peuplements lacustres.

Les quantités de poissons prises par les pêcheurs amateurs fluctuent également

Sur le lac du Bourget, entre 1987 et 2013, les pêcheurs amateurs ont prélevé de 1 à 15 t/an, soit 2 à 19 % des captures totales. Outre les salmonidés, brochets et perches constituent l'essentiel des prises. Les captures de truites ont fortement chuté depuis 1996, pour se stabiliser ensuite à un niveau très bas (moins de 0,15 t/an). À l'inverse, les captures de corégone ont explosé après 2007, atteignant plus de 9 t/an en 2012, soit plus de 65 % des captures totales.

Au Léman, les pêcheurs amateurs capturent entre 50 et 150 t/an, avec une moyenne aux alentours de 100 t/an ces 15 dernières années, soit 10 à 20 % des captures totales selon les années. La perche représente actuellement les plus forts tonnages, avec une moyenne de 40 t prélevées par an depuis 2000. De 1992 à 2003, les captures d'ombles chevalier ont été importantes (entre 30 et 40 t/an), mais se situent aujourd'hui en-dessous de 10 t/an. Le brochet est devenu une espèce recherchée (10 à 20 t/an capturées en moyenne depuis 2000). La truite, toujours très prisée, représente environ 6 à 7 t/an. La pêche du corégone au lac d'Annecy, après une période difficile entre 2005 et 2007, est à nouveau à la hausse avec 7 à 9 tonnes capturées chaque année. Les captures d'ombles chevalier se maintiennent à 2 t/an.



Photo 1 – Lotte (© J.-L. Bertonecello)

Ce qu'il faut retenir

Les lacs alpins présentent un fort intérêt halieutique pour la pêche de loisir et professionnelle. Seul un petit nombre d'espèces est recherché, notamment des salmonidés comme l'omble chevalier, la truite et le corégone. Les tonnages pris par la pêche varient au cours du temps, et sont le reflet partiel de l'évolution des populations du lac.

Ichtyofaune Ensemble des poissons vivant dans un espace géographique ou un espace déterminé.

Salmonidés Ombles chevalier, truites et corégonnes.

Quelles sont les techniques de pêche utilisées aujourd'hui ?

► Franck Cattaneo, HEPIA •

Les pêcheurs professionnels et amateurs disposent de matériaux variés pour capturer les espèces qu'ils affectionnent.

Les engins de capture utilisés par les pêcheurs professionnels

Trois types d'engins sont majoritairement utilisés : les filets, les pièges et les hameçons montés sur lignes (sauf sur le lac d'Annecy) dont les conditions d'utilisation sont soumises à une réglementation rigoureuse.

L'araignée ou filet benthique

L'araignée est un filet droit, constitué d'une seule nappe (dont la maille permet de sélectionner le poisson à capturer), d'une corde flottante et d'une corde plombée. Il s'utilise « posé ». Sa longueur atteint 100 m, pour une hauteur variant de 2 à 8 m selon le type. L'araignée est, tendue de fond, au niveau de la beine lacustre et ancrée. Plusieurs araignées peuvent être couplées en laissant quelques mètres d'espacement entre chaque filet.

Le « grand pic »

Le grand pic est un filet de type araignée tendu flottant, d'une hauteur allant jusqu'à 20 m, pouvant être dérivant ou ancré. Utilisé en zone pélagique (pleine eau), il mesure jusqu'à 120 m de long, et peut être couplé à d'autres filets identiques en laissant un espace d'une dizaine de mètres entre chaque filet. Il est utilisé pour la capture des corégones et des truites. La profondeur du filet est ajustée grâce à des cordes partant de la ralingue supérieure et reliées à des flotteurs. Le pic doit être signalé par au moins un flotteur visible à chaque extrémité.

La nasse

La nasse est un piège de fond composé d'une armature métallique entourée d'un filet ou d'un grillage métallique de plus en plus souvent en inox, dont la taille de maille varie selon l'espèce recherchée. L'entrée de la nasse, sous forme d'entonnoir, guide le poisson vers l'intérieur du filet. De formes et de tailles variées, elles ont une ou deux entrées. La nasse peut être appâtée afin d'augmenter son attractivité pour le poisson. Disposées à différentes profondeurs, elles permettent de capturer du poisson blanc (gardon, goujon), des perches, des lottes, mais aussi des écrevisses (photo 1).



Photo 1 – Pêcheur professionnel sur le Léman, relève des nasses (© L. Giusti – ONEMA)

Les engins de capture utilisés par les pêcheurs amateurs

Les traînes

La pêche à la traîne se pratique en bateau, en laissant traîner à vitesse réduite une ligne munie de plusieurs hameçons, à une profondeur choisie. On peut distinguer trois types de traînes :

- La traîne de fond (fig. 1), constituée d'une ligne mère plombée (de 1,2 à 2 kg environ) de laquelle partent une quinzaine de lignes munies d'une petite cuillère ondulante (5 ou 6 cm). Elle est surtout utilisée pour la pêche de l'omble chevalier, à une profondeur comprise entre -30 et -80 m. Des truites peuvent être capturées sur les lignes du haut, ainsi que des perches en utilisant des cuillères tournantes.

- La longue traîne, composée d'une première ligne mère pouvant mesurer jusqu'à 200 m de long, d'où partent des lignes munies de cuillères ondulantes tous les 10 à 20 m. En bout de la ligne mère se trouve un flotteur qui matérialise la traîne, puis une seconde traîne (de fond celle-ci) part de ce même flotteur. La longue traîne est efficace pour capturer la truite, soit à proximité de la surface, soit jusqu'à une trentaine de mètres environ.

- La traîne de surface avec écarteurs (fig. 2), permet grâce à un mât de traîne de pêcher avec deux « bras » (appelés hampes) de part et d'autre du bateau. Deux écarteurs permettent de tendre les hampes à une distance maximale de 50 m de chaque côté du bateau, sur lesquelles des lignes plombées et équipées d'une cuillère ondulante sont fixées tous les 5 à 10 m. Ce type de pêche est efficace pour la truite, de la surface jusqu'à une dizaine de mètres de profondeur. On peut également capturer du brochet en utilisant une seule hampe à proximité du bord.

La gambe

Typique des grands lacs alpins, la gambe est une ligne plongeante plombée sans flotteur, munie de plusieurs hameçons et animée d'un mouvement vertical de va-et-vient. En général, entre 3 et 18 leurres sont montés en potence. Elle est utilisée du bord ou depuis une embarcation, et sert principalement à capturer des perches, ombles ou corégones. Depuis un bateau, l'utilisation d'une canne « le cannin » n'est pas toujours nécessaire : un cadre en bois autour duquel s'enroule la ligne fait parfaitement l'affaire. Le pêcheur fait varier la profondeur de nage de la gambe afin de localiser la zone dans laquelle se situe le poisson.

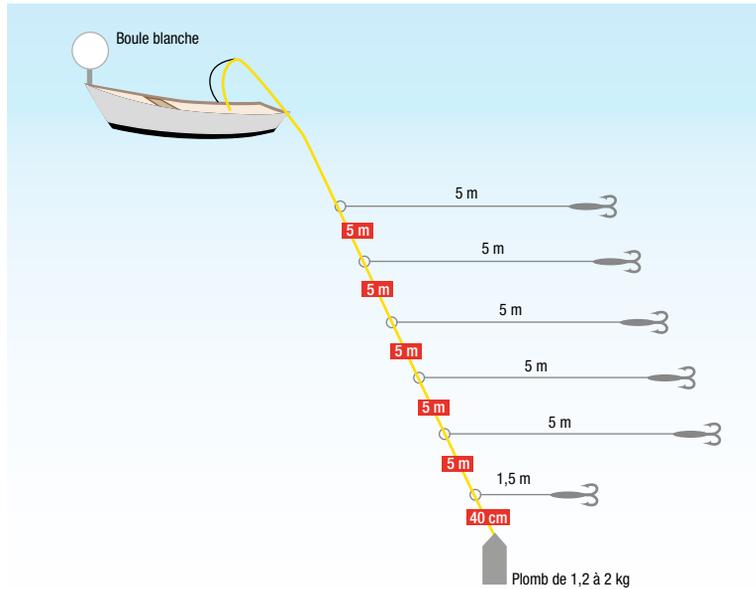


Fig. 1 – Pêche à la traîne de fond (source : FIPAL – Montreux)

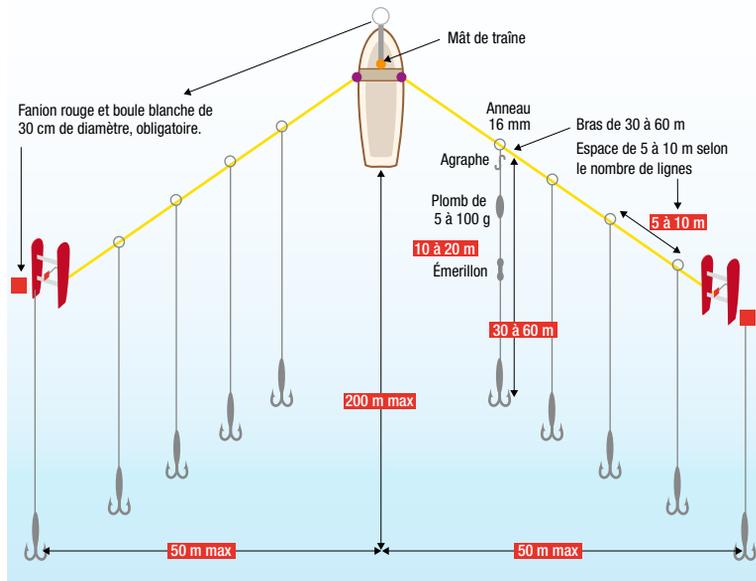


Fig. 2 – Pêche à la traîne aux écarteurs (source : FIPAL – Montreux)

Ce qu'il faut retenir

Les pêcheurs professionnels et amateurs utilisent des filets, nasses, lignes et gambes judicieusement positionnés pour capturer le poisson voulu.

Comment est gérée la ressource piscicole des lacs ?

► Sébastien Cachera, CISALB • Jean Guillard, INRA CARTELL • SILA •

Une gestion durable de la ressource piscicole nécessite une connaissance approfondie des potentialités de production naturelle du milieu, des alevinages et des prélèvements réalisés par les différentes catégories de pêcheurs. Afin de cadrer la gestion de cette ressource, des suivis et des études ont été standardisés et mis en œuvre.

Des statistiques de pêche pour quantifier les poissons exploités

Les gestionnaires disposent de déclarations de captures des pêcheurs professionnels et amateurs permettant d'avoir des indicateurs sur l'évolution des espèces exploitées par comparaison avec des références historiques. Les données recueillies auprès de chaque pêcheur sont la quantité (en nombre et/ou en poids) de poissons pêchés par espèce et par jour, ainsi que l'effort de pêche (nombre de pêcheurs, durée des pêches).

Le retour du lavaret dans le lac du Bourget

Avant 2008, la pêche exploitait en moyenne 10 t/an de lavarets majoritairement âgés de 1 à 2 ans. Pour accroître la population de lavarets, les gestionnaires, avec les représentants des pêcheurs, ont augmenté la taille légale de capture et la maille des filets pour permettre aux jeunes poissons de se reproduire avant leur capture. En 2 ans, le stock a fortement augmenté. Les captures avoisinent les 60 t/an pour les professionnels et 10 t/an pour les amateurs.

Des suivis halieutiques pour connaître les poissons capturés

Des échantillonnages sont effectués dans les captures des pêcheurs pour donner des informations sur la structure en taille et en âge des poissons capturés. Par exemple, sur le lac du Bourget (fig. 1 et 2), une fois par mois au minimum, tous les corégones de la pêche du jour d'un pêcheur professionnel sont mesurés et des prélèvements d'écaillés sont réalisés pour déterminer l'âge des poissons.

En parallèle, une vingtaine de pêcheurs amateurs du lac du Bourget, tous volontaires, tiennent à jour un carnet de capture spécifique, plus détaillé, dans lequel ils reportent la date et la durée de la sortie de pêche, les techniques de pêche utilisées, le nombre et la longueur de chaque poisson capturé (y compris ceux inférieurs à la taille légale), ainsi que le poids. Ils peuvent également collecter des écaillés et repérer la présence de marquage. Ce système de carnets « volontaires » est également en pratique au lac d'Annecy.

Des campagnes scientifiques pour avoir une connaissance fine des communautés piscicoles

Même si les données de captures réalisées par les pêcheurs sont très précises, elles ne correspondent pas à l'image du peuplement piscicole du lac. Les gestionnaires ont pris conscience de l'intérêt de réaliser des études annuelles standardisées, inscrites dans la continuité, ciblant l'ensemble des communautés piscicoles.

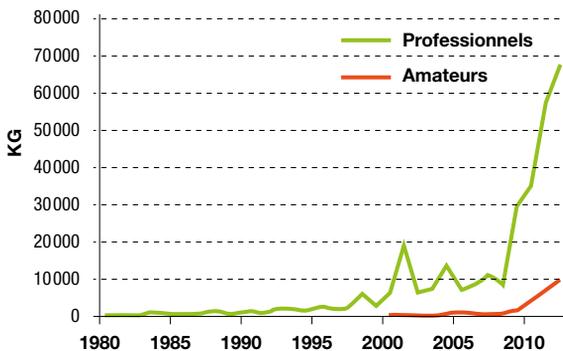


Fig. 1 – Évolution des captures de lavarets des pêcheurs amateurs et professionnels au lac du Bourget (source : statistiques de pêche – CISALB – DDT 73)

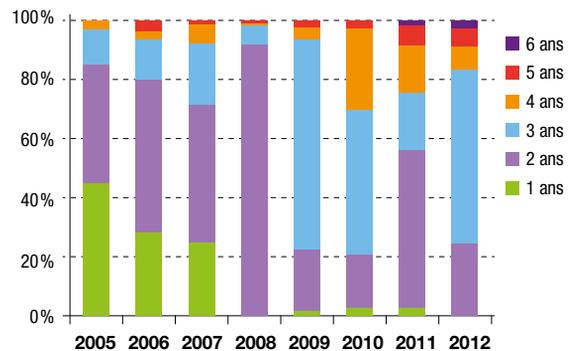


Fig. 2 – Évolution de la répartition en âge des lavarets exploités par la pêche au lac du Bourget (source : CISALB)

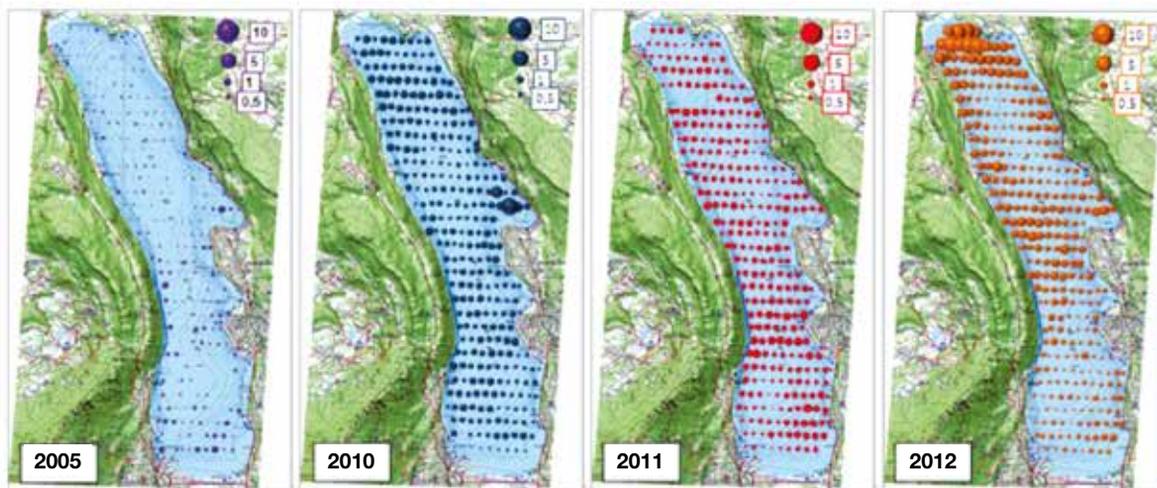


Fig. 3 – Évolution des densités de lavarets enregistrées par acoustique lors des campagnes scientifiques au lac du Bourget. La taille des points correspond au nombre de lavarets rencontrés (source : INRA)

Des campagnes scientifiques sont programmées tous les ans sur les lacs d'Annecy et du Bourget. Elles prévoient des pêches aux filets benthiques (de fond) et pélagiques (de pleine eau) posés de façon aléatoire sur le lac et des prospections acoustiques. Les pêches fournissent des informations sur le nombre d'espèces présentes, leur quantité, la longueur, le poids et l'âge de chaque poisson capturé. L'hydroacoustique* (fig. 3), permet d'obtenir une image quantitative et une répartition spatiale du peuplement piscicole, toutes espèces confondues.

Des plans de gestion pour encadrer les pratiques et protéger la ressource

Les plans de gestion piscicole, généralisés sur les lacs, permettent, à partir d'un diagnostic de la situation, de fixer des objectifs à atteindre ou à respecter, tout en définissant des paramètres de gestion : réglementation générale, période d'ouverture de la pêche, réserves de pêche, programme de soutien des populations par alevinage, protection et restauration des zones de frayères...

Le contrôle sur le terrain du respect de la réglementation doit être mentionné pour son rôle dans la répression, mais également dans la prévention et l'information des pratiquants.



Photo 1 – Suivi scientifique du lac d'Annecy (© G. Monet – INRA)

Ce qu'il faut retenir

Pour être durables, les ressources piscicoles lacustres nécessitent une bonne connaissance des populations présentes et l'élaboration d'une gestion adaptée. La complémentarité des informations fournies par les pêcheurs, les gestionnaires et les scientifiques permet ainsi de suivre l'évolution des stocks des différentes espèces de poissons, exploitées ou non.

Hydroacoustique *Un faisceau d'onde est envoyé vers le fond du lac et se réverbère en retour sur les poissons. Le signal retour ainsi capté permet de repérer les bancs de poissons et les individus isolés.*

Quels sont les milieux favorables à la vie piscicole ?

► Jean-Claude Raymond, ONEMA • Denis Pattay, État de Genève •

Chaque espèce de poisson a ses propres exigences en matière de température, d'oxygénation de l'eau mais aussi en matière d'habitat. Ces exigences diffèrent selon le stade de développement et le besoin à assouvir.

Pour les poissons, qu'appelle-t-on un habitat ?

Au-delà de la description globale du milieu (pleine eau, zone côtière, roselières...), l'habitat est défini comme le croisement de paramètres physiques et chimiques qui caractérisent un type d'environnement favorable ou non.

Les paramètres les plus structurants sont la température et l'oxygénation de l'eau : l'omble chevalier, par exemple, a besoin d'eau fraîche et bien oxygénée tout au long de sa vie, alors que les gardons, tanches, rotengles, ablettes... sont plus tolérants et se développent aussi dans des eaux chaudes moins oxygénées.

Sur un plan morphologique, l'habitat des poissons est également la conjonction de la nature des fonds (vase, limons, graviers, galets, blocs, dalles), des courants, de l'occupation par la végétation aquatique (hélophytes* comme les roseaux et les joncs, hydrophytes* comme les nénuphars...) et de la topographie locale (une baie, un cap soumis à de forts courants, la zone littorale, un haut-fond).

Dans les lacs, on définit 3 grandes zones :

- **la zone littorale** (beine), peu profonde, souvent peu pentue. L'eau s'y réchauffe vite au printemps. C'est là que l'on observe la plus grande diversité d'habitats. Différentes formes d'herbiers aquatiques (photo 1) s'y développent;
- entre la beine (photo 2) et la pleine eau, la profondeur évolue rapidement et devient importante, la pente est généralement forte, la végétation disparaît très vite. On appelle cette transition **la zone sublittorale**, localement le talus ou le mont;
- enfin, **la pleine eau, ou zone pélagique**, très profonde. Ici, ce sont principalement la température et l'oxygénation de l'eau qui structurent l'habitat avec des couches chaudes en surface puis une température qui décroît pour atteindre son minimum au fond du lac.



Photo 1 – Aspect classique de roselière lacustre sur le lac d'Annecy (© G. Blake)



Photo 2 – La Dranse amène des matériaux pierreux au Léman. Les courants latéraux les répartissent sur la beine lacustre créant ainsi une grève de galets (ripaille) indispensable aux corégones, chabots, vandoises, goujons ainsi qu'aux truitelles lacustres (© J.-M. Zellweger)

L'utilisation de l'habitat par les poissons

Cette utilisation peut être très fugace dans le temps. Il n'en reste pas moins que l'habitat doit être en bon état fonctionnel, c'est-à-dire ne pas présenter de déficit en oxygène ou encore être, pour des sédiments par exemple, exempt de colmatage par des matières fines ou des algues filamenteuses.



Photo 3 – Reproduction de corégones sur la zone littorale du Léman (© M. Baldeck – ONEMA)

Prenons comme exemple le corégone (photo 3) : il n'utilise la zone littorale qu'en fin d'automne pour y déposer ses œufs sur des galets peu profonds et très propres. Lorsqu'ils deviennent nageurs aux mois d'avril-mai l'année suivante, les alevins rejoignent rapidement la zone pélagique pour grandir. Pour se nourrir, le jeune corégone, puis l'adulte, recherche avant tout le zooplancton pélagique mais, toutes les fins d'hivers et printemps, ils consomment la faune benthique (larves d'insectes et mollusques des fonds) de la zone sublittorale. Ils ont donc besoin d'une faune benthique et zooplanctonique abondante et diversifiée dans ces deux habitats.

L'exploitation des poissons dans leurs habitats

Les espèces exploitées font l'objet de mesures de protection, notamment au moment de leur reproduction : les habitats qu'ils utilisent pour cette phase cruciale de leur cycle biologique sont peu ou pas prospectés. Au contraire, ce sont les secteurs fréquentés par ces poissons pour chasser et se nourrir qui retiennent l'attention des pêcheurs professionnels et amateurs.

- Le corégone est pêché essentiellement sur la zone sublittorale au printemps et en zone pélagique en été.
- La truite lacustre est recherchée dans l'hypolimnion* froid et oxygéné, zone où elle se trouve au-dessous des bancs de jeunes perches et de gardons qu'elle apprécie tout particulièrement.
- En été et début d'automne, les perchettes sont massivement recherchées en zone pélagique, là où elles se nourrissent abondamment de zooplancton.

Ce qu'il faut retenir

**Il n'y a pas de milieux inutiles ou inutilisés !
Que l'habitat soit littoral, sublittoral ou pélagique, une espèce vient le fréquenter à un moment ou un autre de son cycle biologique pour s'y réfugier, s'y reproduire ou s'y nourrir.
Il est très important de veiller à la conservation du bon état fonctionnel de l'ensemble de la mosaïque d'habitats existant sur les lacs.**

Hélophyte *Plante enracinée dans la vase de fond.*

Hydrophyte *Plante vivant immergée dans l'eau.*

Hypolimnion *Couche inférieure toujours froide et à température peu variable, qui se situe en fonction des saisons entre 15 et 30 m sous la surface des lacs.*

Quelles espèces de poissons ont disparu ou fortement régressé ?

► Christian Gillet et Alexis Champigneulle, INRA CARRTEL •

Certaines espèces de poissons autochtones ont disparu ou fortement régressé dans les lacs alpins. Quelles en sont les causes ?

Les pressions anthropiques sont en grande partie responsables de ce phénomène

La surpêche a entraîné la raréfaction de la féra et de la gravenche, deux sous-espèces de corégone qui peuplaient le Léman. À la fin du XIX^e siècle, ces espèces ont été pêchées à l'aide de filets de 120 m de long et de 20 m de haut, dérivant au large, augmentant fortement les captures. Au bout de 20 ans, elles se sont effondrées, les féras étant capturées au stade juvénile et la gravenche étant pêchée sur ses zones de reproduction.

L'ablette, très abondante dans le Léman au début du XX^e siècle, faisait l'objet d'une exploitation commerciale pour fabriquer des perles artificielles à partir de ses écailles.

Après avoir régressé, elle se développe à nouveau depuis les années 1990. Dans le lac du Bourget où elle était connue sous le nom de mirandelle, elle a régressé dans les années 1970-1980 et n'est pas redevenue abondante depuis.

La population du lac d'Annecy a suivi une évolution comparable à celle du lac du Bourget.

La plupart des grands lacs alpins, à l'exception du lac d'Annecy, se sont fortement eutrophisés à partir des années 1950. L'oxygène s'est raréfié en profondeur et les œufs des salmonidés lacustres, pondus sur le fond des lacs, ont eu un fort taux de mortalité. Ces espèces ont alors régressé, en particulier l'omble chevalier et le corégone dans le Léman et le lac du Bourget. Avec la diminution de l'eutrophisation au début des années 1980, les populations de corégone sont redevenues abondantes.

À l'inverse, le gardon qui avait augmenté pendant la phase d'eutrophisation, régresse à mesure que les lacs se restaurent. Au lac d'Aiguebelette, non touché par l'eutrophisation, les populations de corégones demeurent stables et abondantes (voir question 4-02 : *Quelles sont les espèces de poissons exploitées aujourd'hui ?*).

Les obstacles à la migration

La construction de nombreux barrages sur le Rhône à l'aval du lac du Bourget empêche définitivement la migration de l'anguille, de l'alose et de la lamproie marine, que l'on trouvait autrefois dans les eaux du lac. De même, la création de seuils sur les affluents des lacs limite l'efficacité de la reproduction de la truite lacustre, qui migre vers les affluents.



Photo 1 – Seuil constituant un obstacle pour la migration de la truite lacustre (© CICALB)

L'introduction d'espèces concurrentes de la faune piscicole autochtone

Dans la première moitié du xx^e siècle, lorsque le corégone était en régression dans le Léman, les gestionnaires ont déversé des millions de larves provenant d'autres lacs. Ainsi un corégone provenant du lac de Neuchâtel, la palée, a remplacé les souches autochtones.

Les facteurs d'affaiblissement des poissons lacustres restent à mieux connaître

Les effets des changements et des anomalies climatiques

Des espèces reliques de l'ère glaciaire, comme l'omble chevalier, ont besoin d'eau très froide pour se reproduire.

La lutte contre l'eutrophisation, et le repeuplement ont permis à cette espèce de reconstituer ses effectifs. En cas de réchauffement de la température de l'eau, l'omble chevalier sera condamné dans nos lacs, car il ne pourra plus se reproduire.

Certaines anomalies climatiques sont responsables de la raréfaction temporelle d'espèces. C'est le cas de la perche qui, dans le Léman entre 1977 et 1982, du fait de mauvaises conditions climatiques printanières, a vu sa reproduction et ses captures chuter, passant de plus de 1 000 à 50 t. Les bonnes conditions climatiques depuis 1982 ont permis de reconstituer les effectifs.

Les effets des micropolluants

Des substances chimiques souvent en mélanges sont parfois présentes dans l'eau ou les sédiments. Elles peuvent, à très faible dose, perturber la physiologie des poissons.



Photo 2 – Omble chevalier (© E. Lasne)



Photo 3 – Anguille (© S. Manne – ONEMA)

Ce qu'il faut retenir

Les activités humaines ont modifié l'équilibre écologique des lacs. Certaines espèces très vulnérables, comme les salmonidés, ont régressé à la suite de l'eutrophisation, de la surpêche et sont menacées par le réchauffement climatique. D'autres plus robustes et adaptées aux eaux chaudes, comme les cyprinidés (poissons d'eau douce), devraient être favorisées. Beaucoup d'espèces fluctuent fortement, comme la truite de lac, sans que l'on sache si ces phénomènes sont liés à la pollution ou à des causes naturelles.

Quelles sont les actions engagées pour restaurer le peuplement piscicole ?

► Sébastien Cachera, CISALB • Frédéric Hofmann, Canton de Vaud •

L'aménagement et le développement des bassins versants des grands lacs alpins ont contribué à dégrader les écosystèmes lacustres, concourant ainsi à la régression de certaines espèces de poissons emblématiques comme les salmonidés. Dès la fin des années 1980, des programmes de repeuplement et plus récemment des travaux de restauration des habitats aquatiques ont été entrepris pour favoriser leur retour.

À propos du corégone et de l'omble chevalier

Au cours des années 1980, au moment où des actions majeures d'assainissement des eaux ont été développées autour des grands lacs alpins, les pêcheurs, l'administration et les scientifiques se sont mobilisés pour donner un coup de pouce à la nature sur le Léman et le lac du Bourget.

L'objectif était de sauver deux espèces emblématiques, le corégone et l'omble chevalier, victimes de la désoxygénation liée à la dégradation de la qualité des eaux des lacs.

Le projet, intitulé package lacustre, a consisté à déverser plusieurs milliers d'alevins d'origine autochtone afin de repeupler les lacs. Pour cela, les pêcheurs professionnels capturent en hiver des géniteurs sur les zones de reproduction afin de récolter les ovules, qui sont ensuite fécondés et envoyés vers des piscicultures spécialisées dans l'élevage de ces espèces. Une fois écloses, les larves grossissent en bassin et les juvéniles (photo 1) sont relâchés dans leurs lacs respectifs.

Le package lacustre a permis de sauvegarder ces deux espèces. Le corégone est devenu majoritaire dans la pêche : les pêcheurs professionnels en capturent aujourd'hui plus de 700 t/an dans le Léman et plus de 50 t dans le lac du Bourget contre respectivement 30 t et 450 kg pendant les années 1980. Grâce à l'amélioration de la qualité des eaux, la reproduction naturelle de l'espèce est à nouveau efficace et fournit la quasi-totalité des captures. Une étude conduite par l'INRA de Thonon-les-Bains et les administrations en

Sur le lac d'Annecy, il n'y a plus d'alevinage en corégone depuis 1997.

Les efforts réalisés en matière de restauration de la qualité de l'eau permettent une bonne efficacité de la reproduction naturelle, qui garantit, sans soutien complémentaire, d'assurer une exploitation par la pêche professionnelle et amateur (au total, entre 10 et 20 tonnes par an).



Photo 1 – Mise à l'eau d'alevins d'omble chevalier
(© F. Hofmann)

charge de la pêche a montré que la contribution du repeuplement au stock de corégones du Léman et du lac du Bourget est passée de 80 % au démarrage du projet à seulement quelques pourcents ces dernières années. Cette même étude conclut à un résultat inverse chez l'omble chevalier où les trois quarts des captures sont encore issues du repeuplement, ce qui montre l'importance de cette action dans la sauvegarde de cette espèce. Plusieurs hypothèses sont avancées pour tenter d'expliquer cette situation : qualité et nombre des omblières profondes (zone de reproduction), réchauffement des eaux, augmentation de la prédation, pathologie, compétition interspèces. Des expériences de création d'omblières ont été conduites dans le Léman et le lac d'Annecy en immergeant plusieurs m³ de graviers avec des résultats positifs à court terme. Sur le Léman, les autorités mettent tout en œuvre pour réduire les opérations de curage de matériaux graveleux dans les embouchures, avec pour but de rétablir des apports naturels.

À propos de la truite lacustre

À la fin des années 1980, de nombreux essais de repeuplements en truite ont été tentés selon des pratiques variées, directement dans les lacs ou dans les affluents, donnant des résultats très contrastés.

Dans l'objectif de réhabiliter une population en capacité de se reproduire naturellement, il semblerait que le déversement dans les affluents d'alevins d'origine lacustre soit la pratique la plus efficace. Mais la truite lacustre souffre avant tout de la dégradation des affluents dans lesquels elle migre en hiver pour se reproduire et dans lesquels les alevins grandissent au cours de leurs premières années.

Des actions de restauration (photo 2) de la continuité écologique ont été entreprises sur les principaux affluents du Léman, des lacs d'Annecy et du Bourget depuis un



Photo 2 – Rampe en enrochements sur la Venoge, affluent du Léman (© F. Hofmann)

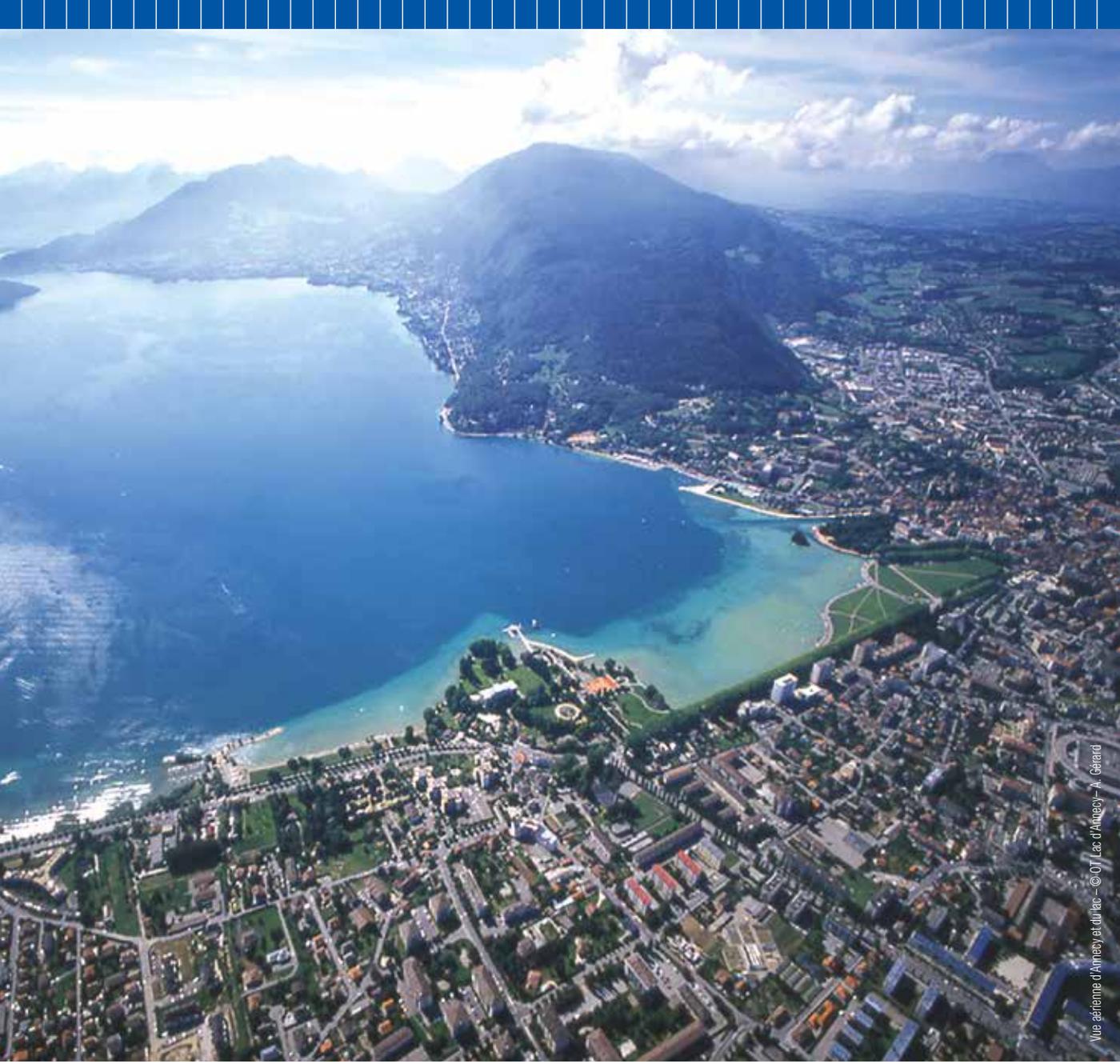
peu plus d'une décennie. Ces opérations, parfois lourdes (suppression d'obstacles artificiels, création de passes à poissons), sont essentielles mais doivent absolument s'accompagner de travaux de restauration des habitats ou de gestion des débits, afin d'assurer des conditions optimales pour la survie des alevins avant leur retour au lac.

Ce qu'il faut retenir

Le pacage lacustre démarré dans les années 1980 a permis de sauvegarder les populations de corégones et d'ombles chevalier.

Actuellement, le corégone est en forte expansion dans les lacs, mais la population d'ombles chevalier reste fragile.

Le retour et le maintien de la truite lacustre sont, eux, très dépendants des travaux de restauration des habitats aquatiques et de la continuité écologique sur les affluents.



Vue aérienne d'Annecy et du lac - © OT Lac d'Annecy - A. Gérard

Importance économique et usages

Quelles sont les ressources des grands lacs ?

► Rachel Baguet, Agence de l'Eau RMC • Audrey Klein, CIPEL •

Les ressources qu'offre un lac à la société peuvent être mises en lumière en faisant appel au concept de « services écosystémiques », que l'on peut appeler plus communément les services rendus. Ils définissent les bénéfices qu'un écosystème peut rendre à l'Homme et à la société. On distingue quatre registres de services : les services de régulation (la régulation des inondations), d'approvisionnement (la ressource en eau potable), culturels (aspect récréatif) et de soutien aux conditions favorables de vie (le cycle des éléments nutritifs).

Les lacs : une source d'approvisionnement en eau potable et en ressource halieutique

Les lacs sont de véritables réserves d'eau potable. La production d'eau potable constitue une ressource inestimable pour les territoires lacustres puisque des populations entières bénéficient d'une eau de qualité prélevée localement et potable après un traitement minimum (voir question 3-01 : *L'eau des lacs : peut-on la boire et s'y baigner ?*).

De plus, les lacs peuvent aussi être utilisés pour leurs ressources halieutiques, que ce soit en termes de quantité ou de variétés de poissons et crustacés qui permettent le développement local de pêcheries professionnelles, alimentant très souvent un commerce de spécialités locales et des restaurants. Sur un plan économique, le service rendu va donc bien au-delà du strict domaine lacustre pour bénéficier à des consommateurs éloignés.

Le tourisme : vecteur de développement économique

Plusieurs facteurs peuvent expliquer l'attractivité que représente un lac pour des touristes de plus en plus nombreux. Ce milieu naturel recèle une palette de possibilités et d'atouts majeurs invitant baigneurs et promeneurs à la détente et à la pratique d'activités variées.

La baignade et les activités nautiques présentes sur un lac sont généralement les éléments déclencheurs qui motivent le choix de destination d'un touriste. Qu'il soit adepte des activités subaquatiques comme la plongée, ou le nautisme, le visiteur trouvera sur un lac des loisirs à son goût. Si toutefois il n'apprécie pas l'aviron, la planche à voile ou le ski nautique, il pourra profiter des paysages en s'adonnant à la promenade et la randonnée.

À ceci s'ajoute l'intérêt que les pêcheurs amateurs portent aux différents poissons lacustres ou le simple plaisir de la contemplation des reflets de la lumière sur l'eau.

Un lac constitue ainsi un lieu privilégié pour l'accueil de touristes et stimule de ce fait un développement territorial économique basé sur un tourisme à plusieurs facettes suivant les installations existantes et la prise en compte du milieu naturel en place sur le territoire.



Photo 1 – Base nautique lac du Bourget (© F. Barratier – AE RMC)



Photo 2 – Pêcheurs amateurs sur le lac d'Annecy (© D. Zanella – SILA)

Des usages plus ou moins présents sur les lacs

Suivant les territoires et leurs spécificités, l'eau d'un lac peut également être utilisée comme force motrice pour produire de l'électricité via l'hydroélectricité (voir question 5-08 : *Les lacs sont-ils utilisés pour la production hydroélectrique ?*), dans les process industriels, ou comme facteur de production en agriculture ou dans l'industrie (de type agro-alimentaire). Ces usages sont aujourd'hui plutôt limités sur les grands lacs alpins.



Photo 3 – Anney, le 22 juin 2014 : le lac voit aujourd'hui ses rives et ses flots parcourus par toutes sortes d'usagers à la recherche de détente ou d'activités sportives (© J. Serralongue)

Les lacs garants d'une vitalité locale

Vivre à proximité d'un lac permet de bénéficier d'un cadre de vie agréable. Profitant d'un environnement privilégié, les lacs demeurent, depuis toujours, des lieux d'accueil (voir question 9-05 : *Comment s'est développé le tourisme autour des lacs ?*). L'arrivée de nouvelles populations attirées par les activités récréatives et l'environnement des lacs participe au dynamisme constant de ces territoires.

Et la biodiversité ?

De plus en plus, les lacs sont également considérés comme des lieux de biodiversité importants. Cette biodiversité participe au bon fonctionnement écologique des lacs et à leur intérêt touristique, en particulier grâce à l'existence de sites naturels variés. Cet aspect est souvent peu considéré car son importance pour le bien-être humain est moins direct. Il est cependant tout aussi indispensable.

Ce qu'il faut retenir

Les grands lacs alpins, suivant leurs fonctionnalités, n'ont donc pas tous les mêmes services ou ressources à offrir. Certains usages sont prépondérants, comme le tourisme et la production d'eau potable. La biodiversité de ces lacs renforce leur attractivité. Pour ces raisons, les lacs contribuent au développement économique du territoire.

Quels tourisms et quels loisirs sur les grands lacs ?

► Anne Clémens, ZABR • Olivier Gorin, Agence de l'Eau RMC •

Les grands lacs alpins ont de nombreux atouts naturels, très attractifs, qui permettent le développement du tourisme sur leurs territoires. Cette activité est un facteur primordial pour leur développement.

Quel type de tourisme ? À quelle saison ?

Les territoires des grands lacs alpins offrent un cadre naturel remarquable pour des activités liées à deux milieux spécifiques : celles liées à la montagne (randonnée, parapente, alpinisme) et celles liées aux lacs eux-mêmes (voile, baignade, ski nautique, plongée, promenade sur les voies vertes). Ces activités se concentrent essentiellement sur la période estivale. Elles sont complétées en hiver par la pratique de sports de neige sur les sommets environnants. Les grands lacs constituent une destination touristique majeure car ils ont l'avantage de permettre une grande polyvalence d'activités sur un même site. Même si la baignade et la voile constituent deux des grandes activités pratiquées sur les lacs, on ne peut pas qualifier les lacs comme uniquement une destination de baignade ou de voile. Les lacs ont des eaux plutôt fraîches, le vent manque parfois, ce qui peut décourager des vacanciers qui recherchent à pratiquer uniquement ces activités. Les grands lacs alpins sont emblématiques pour le tourisme vert : rives aménagées, sommets voisins offrant des points de vue.



Photo 1 – Parapente sur le lac d'Aiguebelette (© D. Roux-Michollet – GRAIE)

Les lacs d'Annecy, du Bourget et le Léman, développent également sur leurs territoires un tourisme d'affaires permettant une plus grande attractivité hors saison. Annecy dispose d'un centre de congrès, d'une infrastructure

autoroutière la reliant rapidement à Genève et d'un pôle industriel et d'entreprises qui font l'attrait permanent des hommes d'affaires. Le lac du Bourget, avec sa zone d'activité Savoie Technolac, attire des entreprises innovantes, des chercheurs et des étudiants, qui participent au développement d'un tourisme d'affaires local. Sur ses rives, le thermalisme fait d'Aix-les-Bains une destination prisée pour la remise en forme et la balnéothérapie. Avec ses institutions internationales, les sièges de sociétés (ONU, Bureau International du travail...) et les multiples congrès qui s'y déroulent, le Léman, et notamment Genève, dispose d'une clientèle captive et d'une visibilité mondiale.

Les activités pratiquées sur les lacs

La promenade lacustre ou piétonne est l'usage le plus commun (voir question 6-04 : *Comment est organisé l'accueil du public ?*) et l'événementiel (régates, compétitions, fêtes lacustres...) est une des activités les plus dynamiques (voir question 9-04 : *Quels sont les événements festifs liés aux lacs ?*).

La baignade joue un rôle prépondérant dans l'attractivité des lacs du Bourget, d'Annecy, d'Aiguebelette et du Léman sur lesquels il existe 147 plages au total (voir question 5-04 : *Quelle est l'importance de la baignade et son organisation ?*).

La pratique de la voile est également importante, avec une dimension sociale marquée ; de nombreux scolaires pratiquent ce sport. Il existe sur les lacs 15 clubs, 5 155 licenciés et 307 éducateurs. Les retombées économiques de la pratique de la voile s'étalent d'avril à octobre.

Quand l'office de tourisme d'Annecy demande en 2013 aux touristes ce qu'ils pensent faire pendant leur séjour à Annecy, ils répondent :

- 52,9%, découvrir le patrimoine
- 52,4%, randonner
- 49,6%, aller à la plage
- 34,3%, faire des excursions

Les lacs alpins sont concernés par la **navigation de plaisance fluviale** et lacustre privée, particulièrement le Léman : ce dernier accueille 50 % de la flotte présente sur l'ensemble du bassin Rhône Méditerranée. Dans ses 171 ports et plages, il dispose de 16 100 places à flot et à peine plus de 1 500 places à terre. L'offre en matière de bateaux promenade est également assez développée sur les lacs. **Les lacs ont la faveur du ski nautique, du wakeboard, et du paddle** car l'eau y est relativement calme. Concernant le ski nautique, il existe sur les lacs alpins 11 sites dédiés, 5 clubs, 650 licenciés et 82 éducateurs.

La plongée regroupe également un nombre important de licenciés dont par exemple 700 autour d'Annecy.



Photo 2 – Moment de détente sur le lac d'Annecy (© GRAIE)

Le tourisme, moteur dans l'économie des lacs

Le poids économique du tourisme ne se résume pas à la prise en compte des activités d'hébergement dans l'hôtellerie et les campings. Pour le quantifier, il convient de prendre en compte 3 indicateurs clés : les emplois, le chiffre d'affaires des entreprises et des filières, et la valeur ajoutée créée, à savoir le bénéfice net produit sur le territoire.

- **4,3 millions de nuitées touristiques** marchandes sont réalisées par an sur le territoire des lacs dans les seuls hôtels et campings.
- **Environ 2500 emplois** sont liés à l'hébergement touristique (hôtels et campings).
- **L'encadrement des sports nautiques hors plaisance et pêche représente sur les territoires des grands lacs alpins 716 diplômés** exerçant essentiellement dans les activités de voile (33 %) et canoë-kayak (26 %).

Notons que ces chiffres ne prennent pas en compte le côté suisse du Léman.

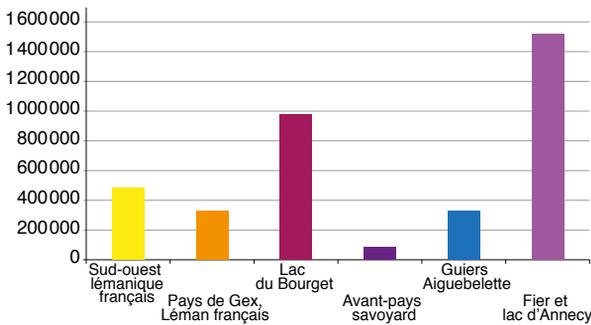


Fig. 1 – Répartition des nuitées touristiques autour des bassins versants des 4 grands lacs (sources : INSEE DGCIS, partenaires régionaux 2010 et Atout France)

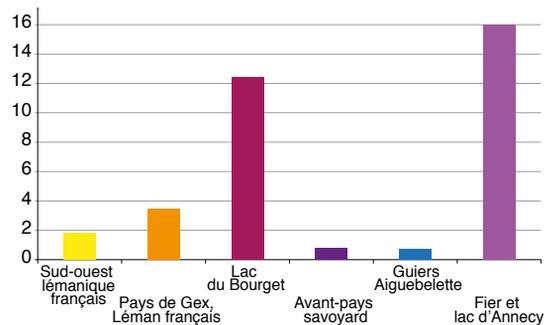


Fig. 2 – Pourcentage d'emplois dans les hébergements marchands (source : INSEE Alisse 2007, in *Études Traces 2011*)

Le chiffre d'affaires attribuable à la pratique d'activités de loisirs liées à l'eau est évalué à 14,4 M€ HT réparti de la façon suivante :

Répartition spatiale	Chiffre d'affaires
Sud-ouest lémanique	1 571 419
Pays de Gex, Léman	1 233 333
Lac du Bourget	7 169 773
Avant-pays savoyard	45 000
Guiers Aiguebelette	408 333
Fier et lac d'Annecy	4 011 464

(source : *Études Traces 2011*)

Ce calcul ne prend en compte que les activités effectivement attribuables à la pratique d'une activité de loisir liée à l'eau. Il se compose de 3 indicateurs clés : les emplois d'encadrement professionnels, le chiffre d'affaires et la valeur ajoutée créée.

Ce qu'il faut retenir

Les grands lacs alpins offrent aux touristes qui les fréquentent des activités variées, entre eaux et montagnes, faisant de ces territoires des hauts lieux du tourisme de loisirs, d'affaires et de thermalisme. Le poids économique des activités liées à l'eau révèle leur importance pour le développement local des territoires lacustres.

Quelle est l'importance de la navigation sur les grands lacs ?

► Anne Clémens, ZABR • Mathilde Pinto, Aix-Marseille Université •

Les lacs ont toujours été des milieux favorisant les échanges entre villes ou communautés humaines, en plus d'être des lieux de pêche et de ressources alimentaires. La navigation sur les grands lacs est aujourd'hui essentiellement une navigation de plaisance qui a un impact important sur l'économie des territoires.

La plaisance privée et les bateaux promenades animent les lacs

Les lacs alpins sont très concernés par la plaisance lacustre privée. Le Léman arrive loin en tête en termes de plaisance privée résidente. Il accueille 50 % de la flotte présente sur l'ensemble du bassin Rhône Méditerranée avec 11 000 bateaux, tandis que le lac d'Annecy en comptabilise 2 000 et le lac du Bourget 2 800.

Des bateaux à énergie solaire proposent des excursions sur le Léman, au Pré-Curieux, à côté d'Évian-les-Bains et aux Grangettes (Suisse).

La Compagnie Générale de Navigation (CGN) propose sur le Léman des croisières à bord de l'un de ses bateaux à roue à aube. La plus élégante flotte « Belle Époque » du monde a été classée monument historique d'importance nationale en 2011.

Les impacts socio-économiques de la navigation de plaisance lacustre

Les impacts économiques du tourisme lacustre sont liés aux tarifs supportés par les usagers (vignette, contrat d'abonnement au port, valeur d'une croisière). Ce sont les impacts directs. Par exemple, une semaine de location d'un bateau est facturée en moyenne entre 1 700 et 2 000 €. On compte également les impacts indirects, liés aux dépenses effectuées lors des escales, dans les restaurants, cafés, espaces culturels. À titre d'exemple, on considère qu'un plaisancier en transit en escale dépense en moyenne 11 €, alors qu'un client d'une péniche-hôtel dépense 55 € par jour.

Le développement de la plaisance nécessite des équipements portuaires avec du personnel dédié

Le lac du Bourget a 14 ports de plaisance, tous saturés. Il n'est pas possible d'envisager leur extension et des travaux réguliers d'amélioration de l'existant sont réalisés.

Lacs	Flotte	Impacts directs par bateau	Total impacts directs	Impacts indirects par bateau	Total impacts indirects	TOTAL
Léman français	11 000	1 000 €	11 000 000 €	200 €	2 200 000 €	13 200 000 €
Bourget	2 800	1 000 €	2 800 000 €	200 €	560 000 €	3 360 000 €
Annecy	2 000	1 000 € pour 1 000 bateaux 500 € pour 1 000 bateaux	1 500 000 €	200 €	400 000 €	1 900 000 €

Fig. 1 – Estimation des impacts économiques de la plaisance privée résidente sur les 3 grands lacs alpins en 2010 (source : CREOCEAN 2012 en co-traitance avec SCE, Naomis, CTS et Grelet Conseil)

Lacs	Chiffre d'affaires de l'activité des bateaux promenades avec restauration	Chiffre d'affaires de l'activité des bateaux promenades sans restauration
Léman français	73 000 €	70 000 €
Bourget	988 000 €	572 000 €
Annecy	878 000 €	547 000 €

Fig. 2 – Estimation des impacts économiques des bateaux de promenades lacustres en 2010 (source : CREOCEAN 2012 en co-traitance avec SCE, Naomis, CTS et Grelet Conseil)



Photo 1 – Bateau Belle Époque Savoie dans la rade de Genève (© CIPEL)

Les ports du lac d'Annecy, au nombre de 8, sont tout autant saturés, et il n'y a pas non plus de réelles possibilités d'extension. Le Léman est, quant à lui, couvert par 70 ports de plaisance. Cette activité est source de 167 emplois au sein des ports de plaisance : 28 sur le lac du Bourget, 20 sur le lac d'Annecy et 119 sur le Léman.

Loueurs et compagnies de bateaux sur le lac d'Annecy

La majeure partie des loueurs de bateaux (14 sur 19) s'est regroupée au sein d'un groupement de loueurs de bateaux du lac d'Annecy qui vise à harmoniser le travail de l'ensemble des professionnels et à mettre en place des contrats directs avec les autorités compétentes. Un accord a été élaboré entre les loueurs de bateaux, l'administration et l'État, qui limite le nombre de loueurs exerçant cette activité sur le lac et le nombre de bateaux pouvant être mis à l'eau. Cette limitation permet d'éviter la surcharge du lac. Elle a permis d'aboutir à un rapprochement des tarifs exercés. D'un point de vue sécuritaire et concurrentiel, les prix pratiqués justifient l'entretien du matériel et filtrent les loueurs moins soucieux qui privilégient la fréquentation de leur activité à la sécurité du client. En 2013, les 19 loueurs de bateaux proposaient 501 embarcations : 32 de plus de 5 mètres, 28 de moins de 5 mètres, 138 motorisées de moins de 5 mètres, 303 pédalos et barques. Les compagnies de bateaux étaient au nombre de 5, avec une fréquentation moyenne de 155 000 personnes pour la saison et la mobilisation de 16 salariés permanents.



Photo 2 – Embarcadère pour les bateaux de navigation à passagers au lac d'Annecy (© Gw. P. – SILA)

Ce qu'il faut retenir

L'offre de navigation de plaisance concourt à l'offre touristique des lacs. Cette activité est une composante importante pour le tourisme des lacs avec des recettes de 18,4 M€ provenant de la plaisance privée résidente et de 1,2 M€ venant de l'activité des bateaux promenades.

Quelle est l'importance de la baignade et son organisation ?

► Arielle Cordonier, État de Genève • Françoise Kerrien, ARS Rhône-Alpes – DD de la Savoie •

Autrefois, les lacs étaient essentiellement appréciés pour les activités de montagne qu'ils permettaient. L'activité de baignade ne viendra que tardivement sous l'impulsion notamment des Anglais. Comment l'offre de baignade s'organise-t-elle aujourd'hui autour des grands lacs alpins ? L'eau des lacs est-elle de qualité suffisante pour s'y baigner ? Cette activité pèse-t-elle sur l'économie des territoires concernés ?

L'offre de baignade sur les grands lacs alpins

Les quatre grands lacs alpins offrent au total 147 sites de baignade estivale : 115 pour les rives du Léman, 14 pour le lac d'Annecy, 10 pour le lac du Bourget et 8 pour le lac d'Aiguebelette.

Sur les 57 sites français, 26 sont en accès payant. De nombreuses plages sont aménagées et surveillées de début juillet à fin août par des maîtres-nageurs sauveteurs pour assurer la sécurité des baigneurs. Certaines communes font le choix délibéré de la gratuité de leur plage pour favoriser l'accès de tous à des loisirs gratuits. Concernant les plages suisses, celles équipées sont généralement payantes. Par exemple, l'Hermance, Genève Plage et les Bains des Pâquis proposent de nombreuses infrastructures : piscines chlorées, cabines de change, douches, jeux pour enfants.

Des plages dotées d'aménagements variés

Certaines plages, comme celle des Marquisats sur le lac d'Annecy ou la plage du Rowing sur le lac du Bourget, sont aménagées sur une bande d'herbe plus ou moins ombragée avec une surveillance des plages en saison et des sanitaires incitant les nageurs à se rincer en sortie de plage.

D'autres plages, à l'instar de la plage municipale d'Aix-les-Bains ou la plage municipale de Thonon-les-Bains sur le Léman, sont de véritables complexes sportifs de détente et de loisirs, avec piscine, plage surveillée sur le lac, terrains de jeu et animations, toboggans nautiques et lieux de restauration.

Bonne nouvelle : on peut se baigner dans les lacs sans risque pour notre santé

La qualité sanitaire des plages fait l'objet de contrôles rigoureux (voir question 3-01 : *L'eau des lacs : peut-on la boire ou s'y baigner ?*).

En 2013, toutes les baignades contrôlées des lacs d'Annecy, du Bourget et d'Aiguebelette ont été classées soit en « excellente qualité » (indicateur bleu), soit en « bonne qualité » (indicateur vert). Concernant le Léman, 85 % des plages ont une bonne qualité des eaux, 12 % une qualité moyenne et deux ont été momentanément polluées. En 2014, plus aucune plage n'est interdite à la baignade.



Photo 1 – Plage d'Albigny au lac d'Annecy (© D. Zanella – SILA)

Il n'y a aucun risque pour la santé à se baigner dans les grands lacs alpins. Parfois, lorsque la température de l'eau dépasse les 20 °C, les baigneurs peuvent être incommodés par une larve microscopique, la cercaire, appelée « puce de canard ». C'est un inconvénient de la baignade en milieu naturel. Pour limiter les risques de ces désagréments, certaines précautions peuvent être prises (voir question 5-05 : *La puce du canard est-elle dangereuse ?*).

Des bains hivernaux

Le Viking Club de Talloires.

Depuis 1998, Rask Christian Schmidt perpétue la tradition de son pays, les bains hivernaux. Sur les rives du lac d'Annecy, il a créé le Viking Club de Talloires. De quelques amis à une soixantaine d'adhérents aujourd'hui, ce club dispose d'un chalet mis à disposition par la mairie (de début octobre à fin avril) où est installé un sauna qui permet de prendre ces fameux et revigorants bains hivernaux avec une série d'allers-retours alternés entre eau froide et sauna.

L'association d'usagers des Bains des Pâquis, à Genève.

Adeptes de la natation hivernale, ils organisent depuis 1934 un championnat appelé la coupe de Noël. L'association propose également de septembre à mai, hammams, bains turcs et saunas.

L'activité de baignade est une source de recettes pour le territoire

Sur le lac d'Annecy par exemple, la moitié des plages sont payantes, permettant aux communes qui les gèrent d'avoir une source de revenus. En prenant la moyenne du tarif d'entrée de l'ensemble des plages et le nombre d'entrées enregistrées on peut considérer qu'à minima cela représente plus de 600 000 € pour l'ensemble des plages payantes.

Cette activité est un atout considérable pour la commune qui a un accès direct au lac et qui permet de subvenir aux frais de gestion de la plage.



Photo 2 – Plage de la Pinède à Thonon-les-Bains (© A. Klein)



Photo 3 – Plage du centre aquatique Aqualac, Aix-les-Bains (© CALB)

Ce qu'il faut retenir

La baignade en milieu lacustre a ses adeptes. Elle offre toujours un cadre exceptionnel avec son environnement de montagne. Quoi de plus dépaysant que d'alterner marche en montagne et baignade dans une eau calme et pure.

La puce du canard est-elle dangereuse ?

► SILA • Michel Lafforgue, SAFEGE •

Ce phénomène interroge chaque été les baigneurs et peut être une source d'inquiétudes. Retour sur un organisme aquatique largement répandu mais parfois mal connu.

Un parasite naturel au cycle complexe

La puce du canard est en réalité un parasite trématode (genre *Trichobilharzia*) qui mesure environ 0,5 mm. Il effectue son cycle naturel entre un hôte définitif, qui est un oiseau aquatique, et un hôte intermédiaire, un mollusque appelé limnée, vivant sur le fond du lac ou sur les plantes aquatiques.

C'est entre juin et septembre, quand la température de l'eau dépasse 18-19 °C, que le parasite – sous une forme appelée cercaire – quitte la limnée pour rechercher un oiseau qui lui permettra de poursuivre son développement. S'il s'agit le plus souvent d'un canard colvert, le cygne est également un porteur confirmé. D'autres espèces sont également suspectées.

Mais parfois, le parasite se trompe de cible et pénètre l'épiderme d'un baigneur : c'est la « dermatite cercarienne », ou « puce du canard ». Le cycle ne peut pas continuer dans le corps humain et le parasite meurt. Cependant une réaction cutanée se produit là où l'organisme s'est introduit. Un bouton rouge apparaît et s'accompagne de démangeaisons qui durent généralement quelques jours avant de disparaître.

Une affection souvent désagréable mais considérée comme bénigne

La dermatite cercarienne, bien que désagréable, est considérée par les autorités sanitaires comme une affection bénigne en l'état actuel des connaissances. Certaines peaux sont plus sensibles que d'autres au phénomène, les réactions sont donc très variables. L'intensité des démangeaisons dépend évidemment du nombre de boutons et les cas les plus sévères peuvent s'accompagner de fièvre. La consultation d'un médecin ou d'un pharmacien permet de recevoir un traitement adapté.

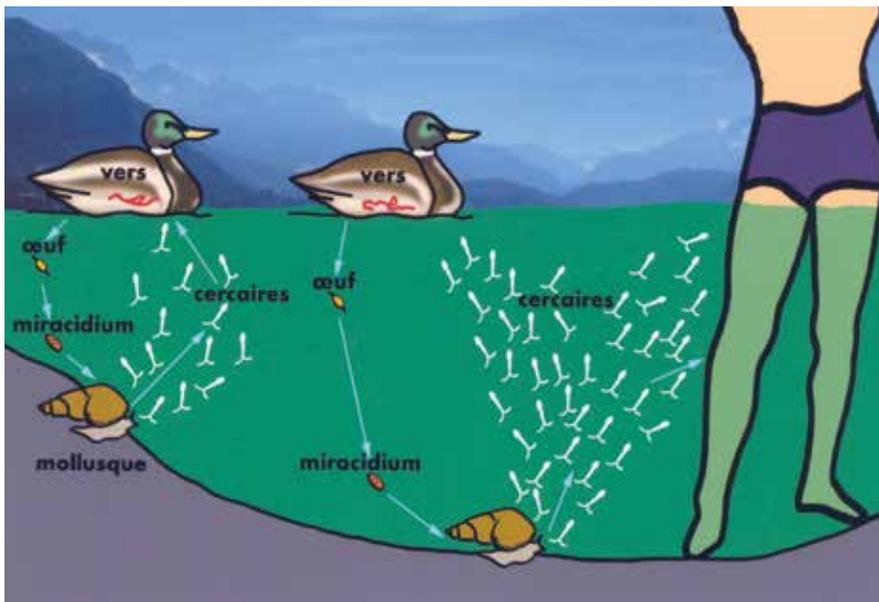


Fig. 1 – Le cycle de la dermatite cercarienne (© SILA) ◀

Photo 1 – Traitement préventif de certaines plages du lac d'Annecy. Le véhicule amphibie est équipé à l'avant d'une herse qui «griffe» la couche superficielle du fond, et détruit jusqu'à 80 % des mollusques hôtes intermédiaires du parasite (© L. Renaud – SILA)



Une répartition mondiale du phénomène

Ce parasite peut être potentiellement retrouvé dans tous les plans d'eau, pour peu que les facteurs de développement soient présents. Le mollusque hôte intermédiaire est très commun. Les oiseaux parasités (plus de 70 % des canards colverts aux lacs d'Annecy et du Bourget), circulent sans difficulté d'un lac à un autre, favorisant ainsi la propagation du parasite. Le phénomène n'a donc pas de lien avec la qualité de l'eau et ne témoigne pas d'une éventuelle pollution.

La dermatite cercarienne a été décrite pour la première fois en France en 1931. De nombreux foyers ont été identifiés sur tout le territoire, mais le phénomène peut fréquemment passer inaperçu, car il peut être confondu avec des piqûres d'insectes. Les grands lacs alpins sont tous concernés à des degrés divers. C'est surtout depuis les années 1990 que les cas se sont multipliés, sans pour autant que les raisons soient clairement identifiées.

Des actions engagées pour réduire les risques

Il n'existe malheureusement aucune solution pour détruire totalement le parasite ou supprimer le risque de dermatite cercarienne, car on ne peut pas confiner un lac et en interdire l'accès aux oiseaux aquatiques.

À titre individuel, il est généralement conseillé de limiter les baignades en eau peu profonde, où se trouvent préférentiellement les mollusques vecteurs des parasites. Un rinçage puis un séchage vigoureux à la sortie du bain peuvent permettre de détacher les organismes qui n'ont pas encore pénétré la peau.

Pour les gestionnaires, il est possible de perturber le développement du parasite. Les oiseaux aquatiques constituent un premier levier d'action : régulation des populations par la chasse, interdiction du nourrissage. Il est également possible de diminuer les densités des mollusques sur les plages touchées et leurs abords par des interventions mécaniques.

Au lac d'Annecy, où toutes ces pratiques sont mises en œuvre depuis une dizaine d'années, le niveau général de perturbation a nettement chuté, mais des cas se produisent toujours chaque été.

Ce qu'il faut retenir

La puce du canard est considérée comme une affection bénigne mais ses effets peuvent être désagréables. Il n'existe pas de solution pour éradiquer totalement le phénomène, largement répandu dans certains lacs. Des actions préventives permettent toutefois de limiter le nombre de cas.

L'eau des lacs est-elle utilisée pour la consommation humaine ?

► Christian Lépinard, Communauté d'agglomération d'Annecy • Stephan Ramseier, Services Industriels de Genève • Philippe Michal, Ville d'Aix-les-Bains •

L'utilisation des lacs pour l'alimentation en eau potable suscite parfois des controverses. Nombreuses sont les collectivités riveraines ayant recours à ce type de ressource qui leur apporte une régularité quantitative d'approvisionnement et une qualité d'eau suffisamment stable. Toutefois, cette acceptation du recours à l'eau de surface n'a jamais été évidente puisque, si chacun admet qu'il est souvent possible de consommer sans traitement de l'eau souterraine, ce n'est pas le cas avec l'eau des lacs jugée moins sûre au plan microbiologique et susceptible d'être plus facilement polluée.

Eau souterraine et eau de surface

L'eau des lacs appartient à la catégorie des eaux de surface ou superficielles, par opposition à l'eau souterraine qui est contenue dans une matrice aquifère, c'est-à-dire dans les interstices des constituants du sol ou dans le réseau de fissures d'une structure rocheuse. Elle est parfois qualifiée de ressource close pour la distinguer de l'eau prélevée dans les rivières et en mouvement rapide. Pour les collectivités qui l'utilisent, l'eau des lacs ne couvre pas toujours l'intégralité des besoins et d'autres ressources sont mobilisées.

Le cas de Lausanne est instructif à cet égard puisque la ville n'utilise l'eau du Léman que depuis 1932, ses ressources historiques d'eau souterraine – toujours utilisées et scrupuleusement protégées – étant devenues insuffisantes au regard de l'évolution des besoins.

À Annecy, le manque de ressources classiques et suffisamment productives pour accompagner le développement urbain s'est très tôt imposé en tant que problème majeur. À l'issue d'un débat passionné, les partisans de la filtration de l'eau du lac d'Annecy l'ont emporté face aux tenants du recours au captage de sources situées hors du territoire à desservir. C'est ainsi qu'une première usine de traitement a été mise en

service en 1910 et que l'eau du lac est progressivement devenue l'unique ressource de la ville.

C'est également en 1910 qu'Aix-les-Bains a commencé à prélever l'eau du lac du Bourget en complément d'autres sources d'alimentation. Mais elle conserve la possibilité d'effectuer sur le même site des pompages dans la nappe alluviale du Sierroz en bordure du lac.

À Genève, les besoins des usagers sont couverts à hauteur de 80 % par de l'eau prélevée dans le Léman puis traitée. Le reste de la demande est satisfait grâce à de l'eau puisée dans la nappe phréatique du Genevois.

Quant aux eaux du lac d'Aiguebelette, elles sont exploitées depuis le début des années 1960 par le syndicat des eaux du Thiers et couvrent un peu moins de 60 % des besoins.

Le recours à l'eau de surface pour l'alimentation humaine est donc indispensable pour satisfaire des besoins qui ne peuvent pas, ou plus l'être, avec des ressources d'eau souterraine.

L'eau des lacs est de plus en plus sollicitée par des communes éloignées des lacs pour soulager les ressources locales surexploitées.



Photo 1 – Lac d'Annecy : bouées matérialisant les périmètres de protection des prises d'eau et portant la mention « moteur interdit »
(© C. Lépinard)

Les périmètres de protection de captage, un outil de préservation de la qualité des eaux

Les captages d'eau de surface bénéficient en France d'une protection reposant sur l'instauration de trois périmètres délimités sur proposition d'un hydrogéologue agréé. Dans le cas du lac d'Annecy, dont le fonctionnement hydraulique a été modélisé et la vulnérabilité étudiée, le périmètre de protection immédiat est établi en zone lacustre. Il marque une interdiction de la présence d'embarcations à moteur.

Un second périmètre dit de protection rapprochée prend en compte l'hypothèse d'un déversement accidentel de substances polluantes depuis la rive. Quant à l'aire de protection éloignée, elle joue à l'échelle du bassin versant et souligne un besoin de vigilance accrue en matière de protection de l'environnement.



Photo 2 – Le lac du Bourget : ressource en eau potable depuis 1910 (© CISALB)

Les eaux des lacs doivent subir un traitement

Les techniques utilisées pour atteindre l'objectif de salubrité doivent être adaptées à chaque situation. En outre, le choix opéré doit prendre en compte plusieurs phénomènes et processus qui gouvernent l'état écologique des lacs et la qualité de leurs eaux.

- **Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'un lac sont en partie déterminées par les substances qui entrent en solution.** Le développement d'une biomasse phytoplanctonique dans la zone trophique, c'est-à-dire la couche d'eau dans laquelle l'intensité lumineuse permet à la photosynthèse d'être active, conditionne également le traitement à appliquer. Ces organismes végétaux cohabitent en tant que matières en suspension avec une charge inorganique entraînée par le ruissellement (particules pouvant être décantées et colloïdes).
- **Le second phénomène naturel à considérer résulte de la stratification thermique** qui règne une partie de l'année (à la belle saison) dans la masse d'eau des lacs suffisamment profonds. Cette situation temporaire est protectrice de la qualité de l'eau lorsque la thermocline* est installée (isolement des couches de diverses densités) mais elle est susceptible de permettre, lors de conditions météorologiques particulières, un entraînement vers les

Température de l'eau du lac d'Annecy (émissaire*/eau distribuée) – 2013

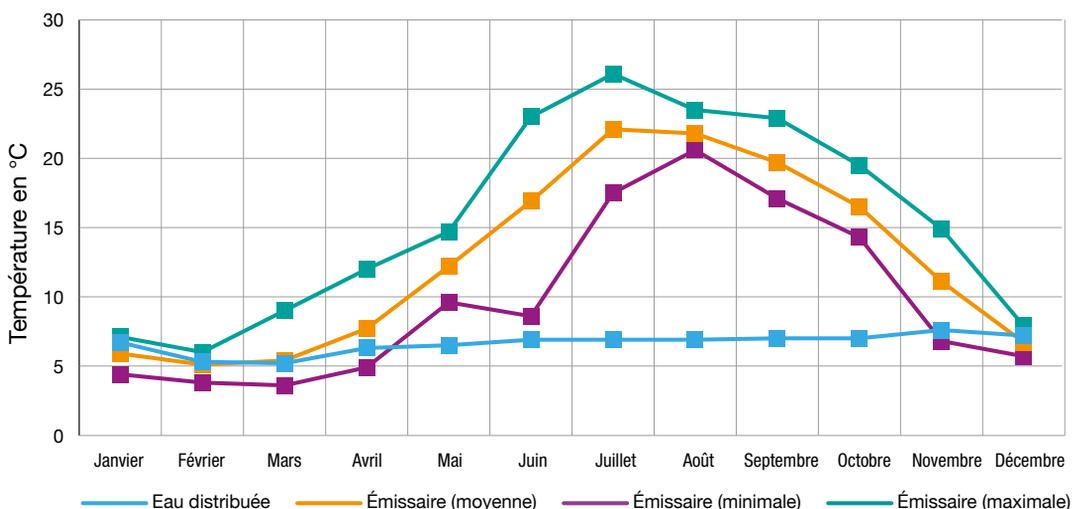


Fig. 1 – Comparaison de la température de l'eau distribuée avec celle de l'émissaire du lac d'Annecy. Les prélèvements effectués en profondeur dans les lacs alpins permettent la fourniture d'une eau dont la température est basse et constante tout au long de l'année. La comparaison des températures de l'eau du lac d'Annecy à 27 m de profondeur et de celle de son émissaire met en évidence cet avantage (source : C. Lépinard)

crépines de prélèvement d'une eau dont les caractéristiques sont moins favorables (voir question 1-04 : *Quand les lacs se retournent-ils dans leur cuvette ?*). Les conditions physico-chimiques qui s'établissent dans la colonne d'eau d'un lac étant susceptibles de varier (température, turbidité*, matières en suspension), la position de la prise d'eau, notamment en profondeur, doit être choisie pour disposer d'une eau ayant des caractéristiques suffisamment stables et qui restent dans les limites requises pour que le traitement soit efficace en toutes circonstances. Son emplacement est déterminé à l'issue d'études minutieuses réalisées sur une durée suffisante.

Les différents types de traitement des eaux des lacs alpins naturels

Anancy a recours au microtamisage suivi d'une séparation sur membranes d'ultrafiltration. Lausanne a également recours aux membranes pour traiter l'eau du Léman et dispose de la possibilité d'enclencher, en fonction des nécessités, un traitement de l'eau par contact avec du charbon actif en poudre pour provoquer l'élimination des substances indésirables (les micropolluants).

À Genève comme à Évian-les-Bains, on a recours à un traitement qui, outre la rétention de la charge organique et des particules en suspension par une filtration sur lits de sable, agit également sur les substances dissoutes grâce à des filtres à charbon actif.

Quant au syndicat des eaux du Thiers, il prélève l'eau du lac d'Aiguebelette qui est distribuée après une simple désinfection.

Le cas du lac du Bourget est emblématique des limites qui peuvent exister quant à l'utilisation de l'eau des lacs. L'apparition épisodique d'efflorescences de cyanobactéries potentiellement productrices de toxines peut contrarier l'utilisation du lac pour l'eau potable. Cependant, il n'y a plus de prolifération depuis quelques années.



Photo 3 – Rétention des matières en suspension par séparation membranaire (© J.-M. Favre – C2A)

2013 – Ultrafiltration de l'eau du lac d'Annecy : paramètre de turbidité

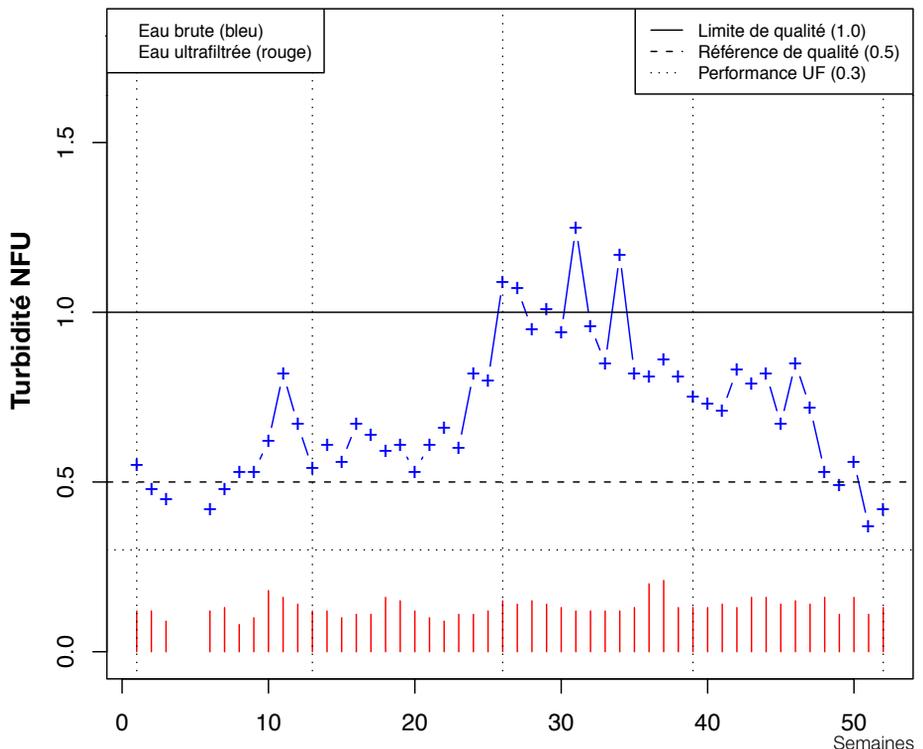


Fig. 2 – La filtration abaisse la charge particulaire de l'eau. Dans le cas du lac d'Annecy, la séparation sur membrane permet directement d'obtenir une eau respectant les limites de qualité pour la turbidité (tracé en rouge) quelles que soient les caractéristiques de l'eau brute (tracé en bleu). (source : C. Lépinard)

Lac	Collectivité	Part de l'eau de surface dans la production totale (%)	Prix du m ³ d'eau seul* (hors assainissement, taxes et redevances)	Procédés de traitement de l'eau de surface
Léman	Évian (F)	60 %	1,41 € (2014)	Filtration sur sable, ozonation, filtration sur charbon actif, chloration finale
Léman	Genève (CH)	80 %	1,93 CHF (2015)	Chloration, filtration sur sable, ozonation, filtration sur charbon actif, chloration finale
Bourget	Aix-les-Bains (F)	60 %	1,75 € (2014)	Filtration et désinfection au bioxyde de chlore
Annecy	Annecy (F)	90 %	1,19 € (2015)	Microtamisage, ultrafiltration, chloration finale
Aiguebelette	SIAEP de la région du Thiers (F)	60 %	1,36 € (2014)	Chloration

Pour Genève, est indiqué le prix moyen de facturation du m³. Pour les collectivités françaises, le prix du m³ est calculé en considérant un foyer consommant 120 m³ d'eau par an, suivant la règle en vigueur.

Le prix de l'eau

En valeur moyenne, la part de l'eau seule – production et distribution – dans le prix global payé par l'utilisateur était estimée par l'Observatoire des Services Publics d'Eau et d'Assainissement français à 39 % en 2011. Par ailleurs, les charges relatives à la production de l'eau ne sont pas majoritaires. À Annecy, où 90 % en volume de l'eau distribuée est d'origine lacustre, elles ont représenté, en 2014, 24 % des dépenses d'exploitation. Globalement, c'est-à-dire en considérant l'intégralité du prix facturé (eau, assainissement, taxes et redevances), le coût de production de l'eau potable pour les habitants de la cluse d'Annecy est ainsi de l'ordre de 8 %.

Il n'est pas possible de dire si, d'une manière générale, le recours à une alimentation en eau potable à partir des lacs alpins est avantageuse ou pénalisante au regard du coût tant les facteurs qui gouvernent la formation du prix sont variés : taille de la collectivité, caractéristiques du procédé de traitement, accessibilité de la ressource, part de l'eau de surface dans la production totale, etc. Le tableau ci-dessus fournit le prix de l'eau seule pour un particulier dans plusieurs collectivités sur la base d'une consommation annuelle de 120 m³ et en prenant en compte les éventuelles parties fixes du tarif appliqué. Toutes utilisent l'eau d'un lac alpin et les prix pratiqués ne sont aucunement révélateurs de cette particularité.

Thermocline *Couche de transition thermique rapide entre les eaux de surface (chaudes) et les eaux profondes (froides).*

Émissaire *Canal naturel qui conduit les eaux provenant d'un trop-plein d'un lac, de leur lieu d'origine à leur lieu de rejet.*

Turbidité *Caractère plus ou moins trouble d'un liquide.*

Ce qu'il faut retenir

Les lacs naturels alpins sont des ressources stratégiques pour l'alimentation en eau potable des populations riveraines. Le maintien de la qualité de cette ressource dépend des mesures de préservation de la qualité de leurs eaux et des techniques de potabilisation mises en œuvre.

Ces réserves d'eau ont été mobilisées progressivement pour satisfaire l'augmentation historique des besoins. Dans certains cas, elles ont servi à pallier des difficultés d'approvisionnement inhérentes au recours à des sources subissant des altérations brutales de quantité ou de qualité.

Quels sont les effets de la métropolisation sur les lacs ?

► Denis Brondel, Chambéry métropole • Renaud Jalinoux, CISALB • SILA •

Plus le nombre d'habitants sur un territoire est grand, plus les volumes d'eaux usées à traiter, d'eau potable à fournir et les surfaces à aménager, sont élevés. Les gestionnaires des lacs et leurs partenaires sont engagés depuis de nombreuses années pour conduire des actions afin de limiter les effets de la pression de l'urbanisation sur l'eau.

Les principaux impacts de l'urbanisation sur l'eau

L'attractivité des lacs alpins et le développement économique des villes proches ont généré une forte croissance démographique et une urbanisation des bassins versants. En parallèle aux effets positifs de l'urbanisation, de nombreuses conséquences négatives sont constatées sur la qualité de l'eau :

- augmentation des volumes d'eaux usées, liée à la croissance démographique et au développement économique;
- augmentation des prélèvements sur la ressource en eau, pour les mêmes raisons;
- augmentation du ruissellement induit par l'imperméabilisation des sols (routes, parkings).

L'urbanisation en chiffres

La population résidant sur le bassin versant des lacs alpins et la consommation de l'espace n'ont cessé de croître au cours des décennies passées. Sur la période 1990-2011, la croissance démographique est très forte : + 13 % sur Annecy, + 22 % sur le Bourget, + 32 % sur le Léman.

Le phosphore et l'eutrophisation

Durant les « trente glorieuses » (1945-1973), le développement économique et l'urbanisation induisent le rejet des eaux usées dans les lacs, qui va installer durablement une phase d'eutrophisation*. Les apports excessifs de substances nutritives (phosphates et nitrates) augmentent la production d'algues au point de réduire fortement la transparence de l'eau et la concentration en oxygène au fond du lac. La prise de conscience de cette évolution catastrophique par des scientifiques, élus et usagers, conduit à des grands travaux de restauration des lacs.

Depuis 1976, le lac d'Annecy est protégé par un premier collecteur d'eaux usées de 35 km environ qui ceinture le lac. En 1980, après 5 ans de travaux, le lac du Bourget est sauvé par deux canalisations de 8 km acheminant chacune les eaux usées épurées d'Aix-les-Bains et de Chambéry à une galerie de 12 km creusée sous la montagne de l'Épine, exportant ces eaux vers le Rhône.



Photo 1 – L'usine de dépollution des eaux usées Siloé située près d'Annecy (© J. Desbiolles)

Dans le bassin versant du Léman, les premières stations d'épuration sont construites au début des années 1960, Lausanne (Vaud), Grand-Saconnex (Genève), Verbier (Valais). Il faudra attendre une petite décennie pour que des stations d'épuration comme Thonon-les-Bains (Haute-Savoie) ou Divonne-les-Bains (Ain) voient le jour. Ces premiers grands ouvrages permettent d'enrayer le processus d'eutrophisation des lacs. À partir de 1980, la teneur en phosphore des grands lacs régresse enfin. Mais cette victoire n'est qu'une première étape car les collectivités doivent désormais traiter les eaux rejetées par des populations de plus en plus importantes et de plus en plus dispersées.

Entre 1980 et 2000, les collectivités investissent des milliards d'euros pour raccorder les nouveaux habitants, créer de nouvelles stations d'épuration et rendre plus performants les ouvrages existants. Les collectivités doivent aussi se mettre en conformité avec des textes réglementaires de plus en plus exigeants (directive ERU sur les Eaux Résiduaires Urbaines).

Dans le bassin versant du Léman, toutes les stations d'épuration suisses et françaises sont astreintes à la déphosphatation. La bataille du phosphore se gagne aussi par des actions de réduction à la source, imposées par des mesures réglementaires. Dès 1986, la Suisse interdit les phosphates dans les lessives à usage domestique. La France en fait de même 20 ans plus tard (2007). Ces mesures ont permis de réduire de 20 à 30 % la charge en phosphore à traiter dans les stations d'épuration.

Le temps de pluie, le double impact

Aujourd'hui, les principaux impacts de l'urbanisation sont liés au fonctionnement des systèmes d'assainissement en temps de pluie. Les volumes recueillis par les réseaux unitaires (qui ne séparent pas les eaux usées et les eaux de pluie) dépassent souvent la capacité hydraulique des stations d'épuration, et l'excédent d'eaux collectées est alors rejeté dans les milieux aquatiques en amont des stations, sans subir de traitement épurateur. Le déversement de ces eaux unitaires est traumatisant pour les rivières car il intervient souvent dans un milieu initialement sain ; on parle d'effet de choc pour les rivières.



Photo 2 – Bassin de stockage des eaux de pluies, ZAC des Drouilles à Challes-les-Eaux (© Chambéry métropole)

Plusieurs impacts sont à déplorer :

- les eaux déversées contiennent encore souvent des phosphates (encore présents dans les détergents utilisés pour les lave-vaisselle et résultant de la minéralisation du phosphore organique excrété dans les fèces et urines humaines) et peuvent contribuer à l'eutrophisation des lacs ;
- les eaux rejetées contiennent des toxiques bien identifiés (PCB, HAP, métaux) et des polluants émergents (résidus de médicaments, phtalates, muscs et parfums de synthèse, etc.) pour lesquels on suppose un effet toxique sur les organismes des milieux aquatiques.

Pour plusieurs grandes villes possédant un réseau unitaire situé en amont des lacs (Chambéry, Aix-les-Bains, etc.), les bassins de stockage temporaire de ces eaux de temps de pluie (restituées à la station d'épuration en temps sec) sont un moyen de réduire la fréquence et le volume des rejets. Pour les réseaux séparatifs, les eaux pluviales peuvent faire l'objet d'une régulation hydraulique, voire d'un traitement (sables, hydrocarbures) avant rejet au

Volume (millions de m ³)	Léman	lac du Bourget	lac d'Annecy
Apport du bassin versant	7 884	492	290
Alimentation en eau potable prélevée dans le lac	79,8	2,3	14,1
Alimentation en eau potable prélevée hors du lac		14,3	0,6
Total prélevé	(soit 1,0 % des apports)	16,6 (soit 3,4 % des apports)	14,7 (soit 5,1 % des apports)

Fig. 1 – Comparaison entre le volume d'eau produit naturellement par le ruissellement des pluies (ligne 1) et les volumes d'eau prélevés dans le lac (ligne 2), et ceux prélevés dans les rivières, nappes et sources du bassin versant du lac (ligne 3). Les volumes sont annuels et exprimés en millions de m³ (source : R. Jalinoux)

milieu, dans le cadre de l'application des dispositions de la loi sur l'Eau. Ces réseaux d'eaux pluviales nécessitent un entretien (curage), une surveillance (police des réseaux) et un suivi de la part des gestionnaires afin de garantir leur innocuité par rapport au milieu naturel.

Les molécules émergentes, des impacts méconnus

La présence de produits pharmaceutiques et d'hygiène corporelle est désormais avérée dans l'eau de surface, avec des teneurs allant du nanogramme par litre à quelques microgrammes par litre. La source principale de ces molécules utilisées ou excrétées quotidiennement par les habitants et les patients des hôpitaux est le résultat du faible rendement épuratoire de ces composés dans les stations d'épuration. Le rejet en continu de ces molécules leur confère un caractère de pseudo-persistance dans le milieu aquatique, avec un effet encore très mal connu. Plusieurs essais ont montré que les stations d'épuration équipées de traitements spécifiques comme l'ozonation et la filtration sur charbon actif, peuvent éliminer la plupart des substances à un taux supérieur à 80 %. La Suisse vient de lancer un programme national pour équiper plusieurs stations d'épuration afin de protéger les milieux aquatiques de cet impact. La France n'en est qu'au stade des essais pilotes. Ces polluants émergents sont présents dans l'environnement aquatique en mélange avec d'autres contaminants chimiques. Les connaissances actuelles ne permettent pas d'estimer le risque du « cocktail » de contaminants chimiques.



Photo 3 – Vue aérienne sur le Léman et la commune de Vevey en Suisse (© J.-M. Zellweger)

Le changement climatique, amplificateur des impacts de l'urbanisation ?

Les lacs sont devenus une ressource d'eau potable dont la préservation présente un triple enjeu :

- environnemental, pour la protection et la préservation du milieu naturel ;
- économique, pour le maintien et le développement de l'activité touristique ;
- sociétal, par son usage comme ressource collective d'eau potable.

D'où l'importance de s'inscrire dans une gestion durable. Les prélèvements restent toutefois limités par rapport à l'importance des masses d'eau et aux volumes d'apport, ils sont sans incidence sur la qualité de l'eau. Par ailleurs les actions menées par les gestionnaires pour la diminution des volumes de fuites ainsi que la baisse des consommations des usagers ont pour conséquence une stabilisation voire une diminution des volumes prélevés (fig. 1) malgré les augmentations de population constatées.

La période 2003-2011 a été marquée par des déficits pluviométriques importants (-20 à -30 %) ayant engendré des étiages sévères et durables sur les rivières du bassin versant du lac du Bourget (-40 à -50 % sur le débit moyen). Ces conditions hydrologiques défavorables amplifient l'impact de l'urbanisation sur les milieux aquatiques. Les rejets des stations d'épuration sont moins dilués, les prélèvements d'eau sur les sources gravitaires sont plus traumatisants. La consommation d'eau pour l'irrigation augmente et concurrence les autres usages, réduisant encore la part restant pour la vie aquatique.

Ce qu'il faut retenir

Les effets de l'urbanisation sur l'eau sont bien connus : prélèvement dans le milieu, pollution rejetée, ruissellement des eaux et risques d'inondation. Sur le plan de la qualité de l'eau, la bataille contre le phosphore est en passe d'être gagnée. Mais alors que des investissements colossaux sont engagés pour traiter les eaux collectées en temps de pluie, se profilent déjà deux nouveaux défis : les polluants émergents et les effets du changement climatique, qui s'ajoutent à la pression de l'urbanisation.

Eutrophisation *Enrichissement excessif du milieu aquatique en nutriments, qui se traduit par l'envahissement d'une production végétale surabondante.*

Les lacs sont-ils utilisés pour la production hydroélectrique ?

► Agnès Barillier, EDF •

Les grands lacs alpins présentent des situations contrastées au regard de l'usage hydroélectrique. Ni le lac d'Annecy, ni celui du Bourget ne sont utilisés pour produire de l'électricité; ceux du Léman et d'Aiguebelette le sont tous deux depuis plus d'un siècle.

Le Léman, une régulation du niveau qui génère une importante production hydroélectrique

Le barrage du Seujet, à Genève, a été construit en 1995 en remplacement du barrage du pont de la Machine et de l'usine de la Coulouvrenière, qui régulaient la cote du lac et turbinait les eaux depuis 1894. Il remplit 3 objectifs :

- régulariser le niveau du Léman (en vertu de la convention signée avec les cantons de Vaud et du Valais, en 1884);
- régulariser le débit du Rhône;
- produire de l'électricité.

Le lac d'Annecy en tant que tel n'est pas utilisé pour son usage hydroélectrique.

Mais son émissaire, le Thiou, l'est avec trois microcentrales implantées peu après la sortie du lac.

Ce barrage est équipé de trois passes de 13 m de largeur, séparées par des piles profilées. Deux de ces passes sont équipées de vannes segment, la troisième (en rive droite) est une écluse permettant la navigation. Le barrage a également une passe à poissons* et une passe à castors*. Le réservoir de ce barrage est le Léman entier, avec une surface de 580,1 km².

L'usine de production est située sur la rive gauche; elle abrite trois groupes hydroélectriques, qui produisent 20 GWh par an, soit 1 % de la consommation du canton de Genève. La puissance totale est de 5,6 MW. Le mode de fonctionnement est dit par «éclusées» journalières, l'énergie étant produite aux heures de plus forte demande énergétique. Les eaux turbinées sont restituées au Rhône immédiatement en aval de l'usine.

Après la confluence de l'Arve, elles sont de nouveau turbinées à Verbois puis à Chancy-Pougny, aménagements exploités, comme le Seujet, par les Services Industriels de Genève. Ce mode de gestion du Léman, et particulièrement la régularisation, permet indirectement de soutenir la production hydroélectrique de ces aménagements ainsi que des 19 autres gérés par la Compagnie Nationale du Rhône, en France, en particulier en période d'étiage hivernal.

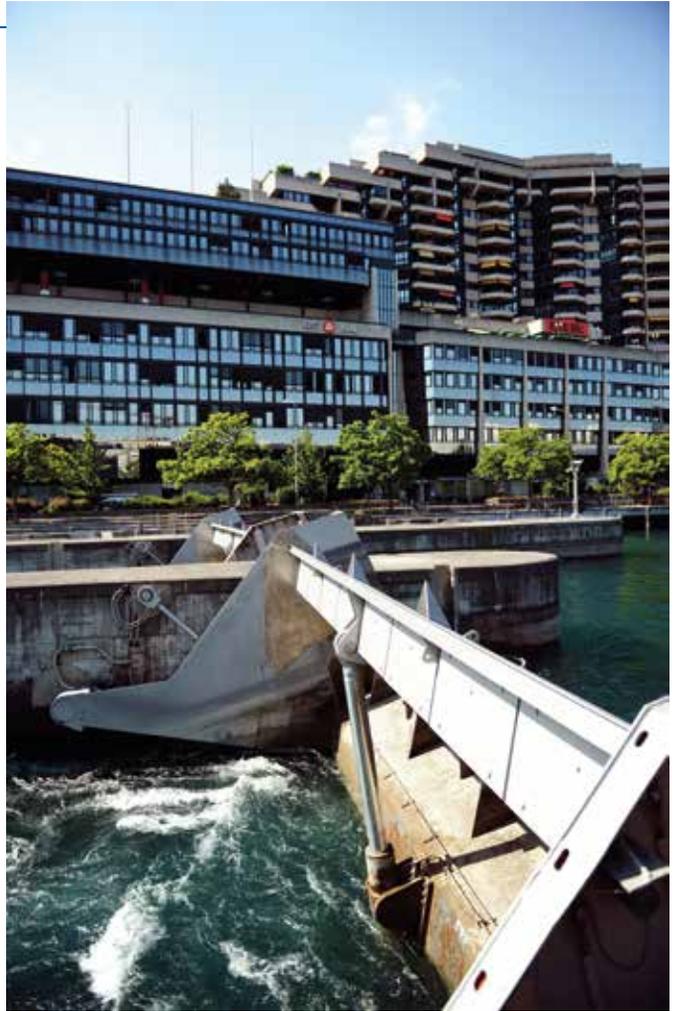
Aiguebelette, une production localisée

Le lac d'Aiguebelette (5,45 km²) est alimenté par un réseau de petits ruisseaux. Il présente la double particularité d'être de statut privé et de servir de réservoir pour la centrale hydroélectrique de la Bridoire. Cette dernière a



Photo 1 – Aménagement hydroélectrique EDF de la Bridoire (© D. Guillaudin)

Photo 2 – Barrage du Seujet, vue des vannes (© J. Louvion)



été construite entre 1909 et 1911 au lieu-dit la Vavre, par la Société HydroÉlectrique de la Bridoire (SHEB).

Cette mise en service a entraîné la modification du régime naturel du niveau du lac, avec l'exploitation de la tranche supérieure du lac pour la production hydroélectrique, selon un accord avec les propriétaires du lac.

La Société Générale Force et Lumière (SGFL) devenue propriétaire du lac suite à une adjudication en 1919, rachète la SHEB en 1931. Le statut du lac va encore évoluer en 1946 suite à la loi de nationalisation de l'électricité (loi n° 46-628 du 8 avril 1946) qui transfère la propriété de la partie SHEB à Électricité de France.

Depuis 2004, le lac est géré par la Communauté de Communes du Lac d'Aiguebelette dans le cadre d'un contrat de bassin « lac d'Aiguebelette » et il est toujours exploité par EDF pour le fonctionnement de la centrale hydroélectrique de la Bridoire. Cette dernière est alimentée par une prise d'eau sur le Tier, émissaire du lac, en aval immédiat de celui-ci. Le lac constitue ainsi la réserve exploitée pour la production hydroélectrique, en éclusées journalières, dans les limites du cadre fixé par le règlement d'eau. Celui-ci définit les principes de gestion du lac et la courbe cible annuelle du niveau du lac à respecter par EDF : cette cote varie progressivement sur 60 cm selon la saison (hors crue) et le marnage maximal autorisé est de 2,15 m.

Ce règlement a été rédigé en concertation avec tous les acteurs et permet d'établir le meilleur compromis entre tous les usages :

- la jouissance de propriété des riverains ;
- les prélèvements pour l'alimentation en eau potable des communes avoisinantes ;
- le tourisme (baignades, campings, hôtels etc.) ;
- les sports et loisirs liés à l'eau (aviron, pêche) ;
- la végétation aquatique (roselières) et la faune piscicole (corégones).

La puissance installée est de 7 MW. La production annuelle moyenne est de 14,5 GWh soit la consommation résidentielle d'une ville comme Pontcharra, d'environ 6 000 habitants.

Passé à poissons et passé à castor *Ouvrage aménagé permettant aux animaux (poissons, castors) de franchir l'obstacle que constitue un barrage.*

Ce qu'il faut retenir

Tous les grands lacs alpins font l'objet d'usages multiples, mais seuls deux d'entre eux, le Léman et le lac d'Aiguebelette, sont aussi exploités pour produire de l'électricité et ce, depuis plus d'un siècle.

La production énergétique actuelle correspond à la consommation résidentielle de respectivement environ 8 000 et 6 000 habitants.

Quels sont les impacts du nautisme sur les lacs ?

► Camille Pousse et Renaud Jalinoux, CISALB •

Dès l'arrivée des beaux jours, les lacs alpins sont le siège de multiples activités sportives et récréatives. Le nautisme, la baignade et la pêche sont des atouts pour le territoire mais ces activités doivent être maîtrisées car elles ne sont pas neutres pour l'environnement des lacs. La faune, la flore et la qualité de l'eau peuvent être plus ou moins impactées.

Les rejets

La navigation à moteur est la principale source de pression sur le milieu lacustre, en impactant potentiellement tous les compartiments du lac : l'eau, la faune et la flore.

Les moteurs thermiques rejettent des hydrocarbures dont les nappes sont souvent visibles dans les ports et aux abords des mises à l'eau. Le déversement accidentel d'essence lors du remplissage du moteur est également à l'origine de pollutions localisées. Même s'il s'agit de très petites quantités, ces rejets ne sont pas neutres car ils provoquent une irisation de l'eau et une contamination des sédiments. Ces hydrocarbures s'ajoutent à ceux provenant du bassin versant, transportés par les eaux pluviales et par le vent (voir question 3-04 : *Quelle est la pression de l'urbanisation sur la qualité de l'eau des lacs ?*). Sur le lac d'Aiguebelette, les moteurs thermiques sont interdits. Certaines embarcations disposent de sanitaires dont les rejets doivent être évacués dans des aires de récupération dédiées. Le déversement volontaire des eaux usées (ainsi que d'autres déchets) directement dans le lac est interdit. Ces déchets flottants coulent au fond des lacs, finissent sur les rives où ils sont généralement nettoyés, ou s'accumulent dans les roselières. Pour lutter contre certaines dérives, la nuitée est interdite sur le lac d'Annecy. L'entretien des bateaux peut aussi être impactant sur la qualité de l'eau, notamment à proximité des aires de carénage. En effet, le ponçage des coques produit des déchets contenant des toxiques dangereux pour la faune aquatique. De nombreux sites d'entretien sont désormais équipés de dispositifs de collecte et de prétraitement des eaux souillées.

Les nuisances sonores

Le bruit des moteurs et la concentration des bateaux dans des zones naturelles sensibles sont également impactants. La faune sauvage est très sensible aux nuisances sonores, notamment les oiseaux pour lesquels le plan d'eau et ses rives sont un site d'habitat, d'alimentation et de reproduction.

Certains oiseaux, particulièrement sensibles aux dérangements, peuvent abandonner leur nid et leurs œufs, ce qui réduit le succès de la reproduction des espèces.



Photo 1 – Les ceintures de pieux disposées en front des roselières ont pour objectif d'empêcher l'intrusion des embarcations. Elles constituent un repère visuel et physique efficace, le plus souvent respecté par les plaisanciers (© D. Zanella – SILA)



Photo 2 – Les bateaux à moteur produisent des séries de vagues qui participent plus ou moins à l'érosion des rives (© CISALB)

L'intrusion dans les zones naturelles sensibles

Outre le dérangement sonore et physique, la pénétration des bateaux dans les roselières participe à la destruction de la végétation, qui est soit couchée soit coupée, et donc à celle des habitats. Ainsi, le grèbe huppé et le blongios, nichant dans les roselières, sont touchés par ces intrusions. Pour lutter contre celles-ci, la meilleure parade consiste à ceinturer les massifs de roselières par des piquets en bois (voir question 6-07 : *Des piquets en bois et des récifs pour protéger les roselières ?*).

D'autres activités nautiques (pédalo, canoë, kayak ou plus récemment le « stand up paddle ») se développent et permettent à un public plus large d'accéder à des zones naturelles sensibles. Ces activités peuvent également s'accompagner d'intrusions dans les roselières.

Le batillage

Le batillage, généré par les bateaux à moteurs, et la houle naturelle engendrée par les vents, produisent des vagues qui participent à l'érosion des rives. Souvent, les deux effets se cumulent en période estivale. Aucune étude n'a été réalisée à ce jour pour évaluer leur part dans l'érosion des berges. Toutefois, en comparant la houle générée par la bise (creux de 50 cm) à celle observée en fin de dimanche estival (10 à 20 cm), il semble que ce soit la houle naturelle qui ait la plus forte contribution.

Les bateaux naviguant vite et à proximité de la rive (ce qui est interdit) participent à la fragilisation des roselières. Le ski nautique et le wakesurf, qui nécessitent des moteurs puissants, doivent être pratiqués à une distance suffisante des berges pour en limiter les effets néfastes.

Les dispositifs d'ancrage

Pour la plupart des dispositifs d'ancrage « traditionnels », une chaîne dormante repose sur le fond et provoque, au gré des vents et de ses déplacements, une érosion mécanique de forme circulaire sur le fond, pouvant conduire à la destruction de la végétation et à de fortes perturbations pour la faune associée. Les photographies aériennes montrent clairement l'influence des « corps-morts » sur la végétation aquatique et le substrat lacustre. Le SILA a publié en 2012 un guide sur les mouillages d'embarcations dans lequel sont détaillées des solutions techniques et des bonnes pratiques d'ancrage (voir question 7-02 : *Quels sont les grands enjeux actuels de la gestion des lacs ?*).

Ce qu'il faut retenir

Les différents sports nautiques ont connu un développement important ces dernières années. Leur pratique doit se faire de façon respectueuse de l'environnement lacustre de façon à préserver la faune, la flore et plus généralement les autres formes d'usages des milieux lacustres.



La vie verte d'Arney © Gw. P. - SLIA

Aménagement et zones naturelles

Les berges des lacs sont-elles toutes aménagées ?

► SILA •

Il y a plusieurs millénaires, les premiers occupants des rivages lacustres édifièrent déjà des habitations à proximité de l'eau. Depuis, pour répondre à des besoins variés, des aménagements sont venus modifier la structure et l'apparence des berges à des degrés divers. Mais ces pratiques ont des impacts sur l'écosystème. Gestionnaires comme scientifiques sont de plus en plus mobilisés sur cette question.

Les berges naturelles

Par définition, une berge débute les «pieds dans l'eau» (profondeur de moins d'un mètre) et se termine sur la rive, à une hauteur qui ne peut être atteinte que par les crues exceptionnelles du lac.

En fonction de la pente, des matériaux, de la végétation, de l'exposition à la houle et au vent, les berges peuvent présenter de multiples facettes, même au sein d'un seul plan d'eau. Dès lors, il n'existe pas de configuration type de berge naturelle. Elle peut prendre différents aspects (photos 1 à 3).

Les intérêts environnementaux offerts par ces milieux diffèrent entre eux et se complètent. Les berges naturelles assurent une fonction écologique fondamentale (habitat, croissance et reproduction des espèces) et procurent également d'autres services importants : épuration des eaux arrivant au lac, protection contre l'érosion des vagues, attrait paysager (voir question 2-05 : *Pourquoi la végétation des rives est-elle importante ?*).

Ces milieux ont comme caractéristique commune une certaine plasticité, qui peut les faire évoluer naturellement dans le temps et dans l'espace : avancée ou retrait de la berge, changement de la végétation, évolution du fond. La diversité des habitats (on parle de mosaïque d'habitats) permet l'établissement d'une biodiversité riche et variée.

Une grande variété d'aménagements

Pour répondre à des besoins de développement, de déplacement ou de loisirs, les berges des lacs ont connu de nombreux aménagements, principalement depuis le milieu du xx^e siècle. Si leur nature diffère, ils tendent tous à figer la berge dans un état stable, plus ou moins artificialisé (photos 4 à 6).

Des aménagements qui fixent les berges

Les aménagements les plus fréquents ont pour objectif de fixer la berge, pour permettre le développement d'une activité ou la construction d'une infrastructure au plus près de l'eau, sans en subir les contraintes

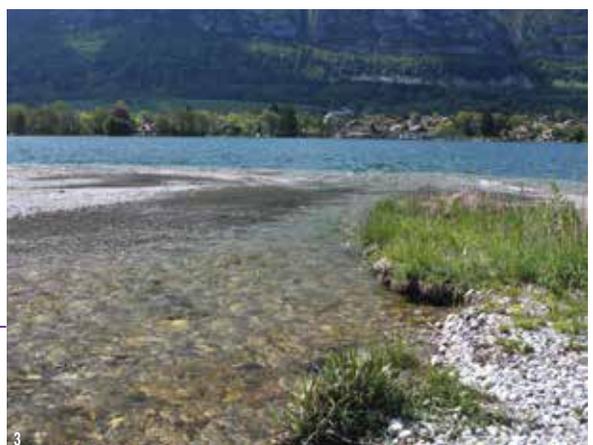


Photo 1 – Falaises (© GRAIE)

Photo 2 – Roselière (© SILA)

Photo 3 – Embouchure d'un affluent (delta) (© D. Zanella – SILA)



Photo 4 – Route en enrochement (© SILA)

Photo 5 – Port à barques (© CISALB)

Photo 6 – Piscine (© J.-M. Zellweger)

inhérentes : faire passer une voie de communication, construire une habitation... Généralement, ces ouvrages sont bétonnés ou composés d'enrochements. D'autres types d'aménagements ont pour fonction le stationnement des embarcations (port, pontons), ou permettent la pratique de certains loisirs (baignade, promenade). Tout ou partie de ces aménagements se retrouvent sur l'ensemble des grands lacs alpins. Selon les lacs, ce sont 50 à 80 % des berges qui ont été modifiées.

Des impacts écologiques importants, mais désormais pris en compte

Les linéaires de rives modifiées sont donc significatifs. Selon leur nature, les aménagements ont un impact écologique plus ou moins important, mais tendent globalement à « banaliser » le milieu et à réduire ainsi fortement la fonction d'habitat naturel de la berge. Une conséquence visible est souvent la disparition de la végétation arborée (la ripisylve) et/ou de la roselière. Pendant longtemps, la qualité d'un lac n'a été appréciée qu'à travers les propriétés physico-chimiques de l'eau. Mais aujourd'hui, le rôle du rivage lacustre est clairement démontré dans le fonctionnement global de l'écosystème, et donc pour l'ensemble des usages et des services fournis par le plan d'eau. Les interventions et travaux sur les berges sont désormais cadrés et limités par une réglementation stricte.

Action emblématique, la restauration des roselières est déjà engagée sur plusieurs lacs (voir question 6-06 : *Pourquoi un recours au génie écologique dans la restauration des roselières littorales ?*).

Aujourd'hui, les gestionnaires étudient aussi les potentialités de renaturation des rives plus « banales » et mettent en œuvre des programmes pour restaurer les embouchures des affluents et remodeler le profil de certaines berges altérées. La Directive Cadre sur l'Eau intègre désormais la morphologie des rives dans l'appréciation du « bon état » des lacs.

Compte tenu du niveau d'artificialisation de certains sites, ces actions de renaturation sont probablement amenées à être déployées largement.

Ce qu'il faut retenir

Il existe toujours sur chaque lac des berges considérées comme « naturelles ». Mais globalement, les rives ont fait l'objet de nombreux aménagements plus ou moins impactants. Historiquement focalisée sur la qualité de l'eau, la bonne santé d'un lac intègre désormais l'état de ses berges et des actions de renaturation sont progressivement engagées.

Comment sont aménagés les bords des lacs ?

► Camille Pousse, CISALB • Magali Condamines, CIPEL •

L'attractivité des lacs alpins est à l'origine d'une pression foncière particulièrement importante à leurs abords. Voici un petit tour d'horizon des principales règles visant à aboutir à un équilibre harmonieux entre rives préservées et secteurs aménagés en bord de lac.

Les mesures de limitation des aménagements dans les sites sensibles

La réglementation française

La législation française prévoit depuis 1986 la protection du littoral et des lacs de plus de 1 000 ha. Cela concerne les lacs d'Annecy, du Bourget et les rives françaises du Léman. Pour ces lacs, une bande de 100 m (à compter des plus hautes eaux) est classée comme inconstructible dans les documents d'urbanisme communaux en dehors des zones déjà urbanisées. Cette mesure vise à maintenir le caractère naturel des rivages et permettre la montée des eaux en période de crue sans causer de dommages aux zones urbanisées plus éloignées. De plus, la loi Montagne de 1985 s'applique. Elle interdit toutes constructions ou installations sur une bande de 300 m à compter de la rive, sauf dans certains secteurs bien délimités si cela est prévu dans les documents d'urbanisme et si ces ouvrages sont notamment en lien avec le caractère lacustre des lieux.

À l'échelon local, c'est en premier lieu la commune qui, au travers de son document de planification en matière d'urbanisme, autorise ou non certains aménagements à proximité des lacs. En France, le Plan Local d'Urbanisme (PLU) fixe dans chaque commune les zones naturelles inconstructibles, permettant la protection de l'urbanisation des rives des lacs sur un linéaire défini. Le Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT), au niveau intercommunal, prévoit des coupures vertes supposant le maintien du caractère naturel de certains secteurs avec un maillage plus gros.

Le risque d'inondation peut être à l'origine de mesures préventives de limitation ou d'interdiction de constructions dans le périmètre des crues potentielles des lacs, au travers des plans de prévention du risque inondation.

La réglementation suisse

En Suisse, les procédures pour l'aménagement des rives sont régies par plusieurs ordonnances fédérales, notamment l'Ordonnance fédérale sur la protection des Eaux (OEaux), la Loi fédérale sur la Protection de la Nature et du paysage (LPN), ainsi que par des lois et règlements d'application cantonaux. Via leurs plans d'affectation, les communes

peuvent également définir des règles d'aménagement sur leur territoire. Sur les rives helvétiques du Léman, les cantons de Vaud, du Valais et de Genève ont donc des approches spécifiques.

Le canton de Vaud, par exemple, dispose en plus d'un plan directeur des rives vaudoises du Léman, adopté en 2000, axé notamment sur la protection des milieux et paysages et sur l'aménagement d'un chemin piétonnier le long des rives. Une directive sur l'aménagement des rives valaisannes du Léman est en cours de réalisation. À Genève, des outils de planification, d'aménagement et de gestion des eaux, établis de manière concertée entre les acteurs de l'eau, fixent entre autres les objectifs de renaturation et d'accès à l'eau.

Notons que d'après la législation fédérale, il est en principe interdit de construire dans une bande de 15 m le long de la rive et il convient de garder libre le bord du lac et de faciliter son accès au public.

Les mesures de protection du foncier

Les dispositifs français

En France, des mesures de veille et de maîtrise foncière peuvent être mobilisées à travers la politique d'Espaces Naturels Sensibles (ENS) des départements. Les sites définis comme tels sont, à terme, acquis par la collectivité (commune ou département) en vue de mettre en place des actions adaptées de gestion et de valorisation de ces milieux remarquables. Cette maîtrise foncière publique constitue le gage de la protection de ces espaces à long terme.

Les sites les plus intéressants d'un point de vue écologique et paysager peuvent également faire l'objet d'une acquisition par le Conservatoire du littoral et des rivages lacustres. Cet établissement public, en charge de la

En février 2012, 83 ha d'espaces naturels au nord du lac du Bourget sont devenus propriété du conservatoire du littoral, grâce à un travail de fourmi réalisé par le Conservatoire d'Espace Naturel de Savoie (CEN) qui achète depuis 20 ans, parcelle par parcelle, les terrains d'intérêts environnementaux situés sur ce secteur. Le CEN en garde la gestion et l'usufruit.



Photo 1 – Embouchure de la Dranse sur le Léman (© B. Merk Mietta) ◀



Photo 2 – Lac du Bourget (© CISALB) ◀



Photo 3 – Le lac d'Aiguebelette, bientôt classé Réserve Naturelle Régionale (© GRAIE) ◀

protection de ces sites, confie la réalisation d'opérations d'entretien, de communication et l'ouverture au public, à des organismes publics ou associatifs, par le biais de conventions.

Les aménagements autorisés sur ces sites sont donc strictement limités à ceux nécessaires à la réalisation des objectifs de préservation et de valorisation du milieu naturel.

Les dispositifs suisses

Ces mesures foncières existent également en Suisse et permettent de mettre en place une gestion adaptée pour une protection durable de ces milieux. Par exemple, l'association non gouvernementale Pro Natura dispose de réserves qui en font le plus grand propriétaire foncier privé du pays (61 km² en 2014); elle protège aussi d'autres espaces naturels à l'aide de contrats.

Les mesures de protection de l'existant

Certaines mesures visent enfin à pérenniser l'intérêt de certains sites présentant un caractère naturel ou patrimonial remarquable.

En France, le classement d'un site en zone Natura 2000 par exemple, contribue à la sauvegarde du patrimoine naturel en favorisant, par la voie contractuelle, les pratiques humaines favorables aux habitats et espèces qui s'y trouvent.

Mètres linéaires protégés pour chaque pourtour de lac

Le Léman

Le réseau écologique lémanique comprend 61 sites qui couvrent environ 71 km du linéaire total des rives du Léman (environ 200 km), dont : 23 % bénéficient d'une protection forte (inconstructible, plan de gestion dédié, etc.); 66 % d'une protection moyenne et 11 % d'une protection faible (réglementation partielle ou simple inventaire) ou sans protection particulière.

Lac du Bourget

Sur 47 km de rives du lac, les rives naturelles occupent 19 km dont 5 km en versant montagneux. L'APPB du sud du lac s'étend sur 1,5 km.

Lac d'Annecy

Sur 38 km de rives du lac, 2 km sont couverts par des APPB et 3,4 km par des réserves naturelles nationales.

Lac d'Aiguebelette

Sur les 14,2 km de rives du lac, près de 80 % sont restées naturelles, exemptes d'aménagement, et 7 km de rives sont classées en APPB.

Le lac possède 112 ha de zones humides intégrant les roselières aquatiques.



Vue aérienne du lac d'Annecy (© Office de Tourisme d'Annecy)



Photo 4 – Le lac d'Annecy à Doussard (© B. Claeysen)

L'Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope (APPB) vise quant à lui, la protection des sites naturels présentant des espèces protégées. La présence de ces espèces justifie la mise en œuvre d'un règlement particulier visant la limitation ou l'interdiction de certaines activités ou installations, ainsi que, le cas échéant, d'un plan de gestion. Enfin, les procédures de classement ou d'inscription ont pour objectif la protection de sites naturels ou bâtis ayant un caractère particulier en matière de paysage ou d'architecture, justifiant la nécessité de leur conservation. Outre la valeur de sensibilisation à la qualité du site que ce classement représente, toute modification de l'aspect de ces sites est soumise à des autorisations spéciales afin de préserver le site de toute atteinte à l'esprit des lieux. De la même manière, tous les travaux ou constructions prévus dans un périmètre de 500 m autour de tout monument historique classé sont soumis à un régime de contrôle assuré par l'architecte des bâtiments de France, afin d'éviter toute altération à l'environnement immédiat du monument.

En Suisse, des outils existent au niveau fédéral et/ou cantonal pour la protection de certains sites naturels remarquables : les autorités peuvent par exemple les rendre inconstructibles ou y imposer un plan de gestion. Ce sont les décisions de classement, les réserves naturelles de statut public ou privé, l'inscription de sites marécageux ou zones alluviales dans les inventaires fédéraux associés, ou encore les plans d'affectation.

D'autres outils confèrent une protection réglementaire de degrés variables ou affirment la reconnaissance de l'intérêt biologique, écologique ou paysager d'autres sites remarquables : inventaire fédéral des oiseaux d'eau et de migrateurs d'importance nationale, inventaire des monuments naturels et des sites, inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale, etc.

Ce qu'il faut retenir

De rives totalement naturelles à un développement urbain incontrôlé, le pas peut être vite franchi si des mesures ne sont pas mises en œuvre pour protéger les milieux les plus remarquables des lacs alpins. Des dispositifs législatifs et des outils d'urbanisme sont disponibles pour maîtriser l'aménagement des rives des lacs.

Quels sont les aménagements emblématiques du bord des lacs ?

► Francesco Della Casa, Canton de Genève • Marie-Claude Rayssac, Ville d'Annecy • Jean-Paul Cart, CG 73 • Ludovic Ayot, CCLA •

Les grands aménagements du bord des lacs ont été réalisés pour offrir à la population des espaces récréatifs et contemplatifs. Certains aménagements sont anciens, comme la rade de Genève ou le Pâquier à Annecy. D'autres, comme le chemin lacustre du lac du Bourget, sont plus récents.

La rade de Genève (Léman)

Pour la Genève médiévale, la rade (photo 1) avait essentiellement une valeur d'usage – système de défense, eau filante, pêche ou extraction de glaise. Un retournement s'opère à partir du XIX^e siècle avec l'opération immobilière des Bergues. Ses protagonistes, James Fazy et Guillaume-Henri Dufour, ont certes l'intuition que la rade deviendra la façade touristique de la ville, mais surtout qu'elle en constituera le nouveau centre civique. L'édification de la statue de Jean-Jacques Rousseau sur l'ancien bastion, au cœur du dispositif, symbolise la fin de l'Ancien Régime.

Après la révolution fazyste* de 1846, la rade est amplifiée par la construction d'un port marchand aux Eaux-Vives, d'un quai touristique aux Pâquis et de deux jetées destinées à protéger l'ensemble de la bise. Sur la première, rive gauche, le jet d'eau sera

installé en 1891 alors qu'en face, la seconde accueille un phare Belle Époque en 1894, avant que ne s'y adossent les Bains des Pâquis à partir de 1932. Destinée à l'origine à consommer l'excédent de production d'énergie électrique, une ligne d'ampoules ceinture la rade, lui donnant à peu de frais une spectaculaire présence nocturne.



Photo 1 – Inventé presque par hasard à la fin du XIX^e siècle pour gérer les surpressions hydrauliques dues à l'arrêt des machines des artisans genevois pendant la nuit, le jet d'eau devient progressivement un emblème de la ville de Genève. Depuis 1951, il culmine à 140 m, propulsé à 200 km/h par une station de pompage autonome utilisant l'eau du lac. (© État de Genève)

Le Pâquier (lac d'Annecy)

En 1838, l'administration communale d'Annecy se lance à la conquête des rives inhospitalières du lac en achetant l'île appelée Clos Lombard, pré-marais qu'elle transforme en presqu'île et qu'elle remblaie pour y édifier une école de garçons (1843) et un vaste hôtel de ville (1855); elle y crée aussi un jardin à l'anglaise (1855-1863) ceinturé d'une vaste allée qui s'ouvre largement sur le lac (photos 2 et 3).



Photo 2 – Le site du Pâquier en 1911 (© Archives dép. Haute-Savoie, 5J en cours de classement)



Photo 3 – Le site du Pâquier aujourd'hui (© SILA – H. Crozet)

En 1852, se décident l'agrandissement et l'exhaussement du Pâquier qui vont permettre de l'assainir et de lui donner l'aspect qui nous est familier. La dernière portion de quai, au droit des rues Dupanloup et Saint-Bernard-de-Menthon, est construite en 1863, parachevant l'embellissement de ce site emblématique d'Annecy.

Sur la rive opposée, en 1863-1865, le quai des Marquisats vient prolonger l'actuel quai de Bayreuth construit en 1857-1858 et ouvrir une perspective nouvelle sur le lac. Cette mise en beauté des berges va largement contribuer, l'ère du tourisme venue, à la renommée d'Annecy.

Le chemin lacustre (lac du Bourget)

L'opération la plus emblématique du projet Grand Lac, réalisée par le Conseil général de la Savoie entre 2006 et 2011, est l'aménagement des berges (photo 4) le long de la RD 1201 entre Viviers-du-Lac et Aix-les-Bains. L'aménagement a d'abord permis de sécuriser la route départementale sur 5 km entre les deux villes, en brisant la rectitude du tracé et les possibilités de dépassements.



Photo 4 – Le cap des Séséletts (© CG 73)

Un chemin lacustre de 4 km, au fil de l'eau et coupé de la circulation routière, est dédié aux modes de déplacements doux : piétons, cyclistes, rollers, personnes à mobilité réduite. Durant les beaux jours d'été, on compte jusqu'à 2 000 personnes par jour sur cet itinéraire.

Un cap paysager de 1 ha, créé sur l'emprise du lac, accueille les promeneurs pour une détente au bord de l'eau. Plus au nord, deux pontons permettent aux pêcheurs de taquiner la perche et le brochet. Enfin, des roselières ont été créées et restaurées sur plusieurs sites, au sud du cap et au nord de la plage du Lido.

Le site du Souget (lac d'Aiguebelette)

Sur le lac d'Aiguebelette, la démarche des acteurs du territoire a été plutôt de préserver une intimité de chaque visiteur avec le lac. Dans cet esprit, le site du Souget (photo 5) a été racheté dans les années 1980 par le syndicat mixte du lac, permettant d'éviter la construction de lotissements et de proposer sur un espace de 15 ha, un lieu préservé, propice à la contemplation du lac et de ses abords avec en bas, une zone naturelle et une zone de loisirs, et en hauteur un camping.



Photo 5 – Plage du Souget, lac d'Aiguebelette (© GRAIE)

Ce qu'il faut retenir

Chaque grand lac dispose d'au moins un espace emblématique auquel la population est particulièrement attachée.

Au même titre que les paysages environnants ou que le plan d'eau, ces aménagements font partie intégrante de l'identité des lacs et du patrimoine local.

Fazyste Révolution menée par le Parti Radical dirigé par James Fazy qui renverse le gouvernement et établit une nouvelle constitution le 24 mai 1847.

Comment est organisé l'accueil du public ?

► SILA • Stéphanie Mercier et Audrey Klein, CIPEL • Géraldine Lapierre, CISALB •

Chaque lac a des spécificités géographiques engendrant un développement touristique particulier.

Le lac d'Annecy et le Léman disposent d'un espace très contraint sur lequel cohabitent des pratiques et usages divers.

Le lac du Bourget est un lac de contrastes avec une côte ouest restée sauvage, et d'autres secteurs aménagés au fil du temps. Dans les années 1970, sonne l'alarme d'une qualité des eaux qui se dégrade. Une mobilisation générale s'opère vers une qualité environnementale retrouvée et une réappropriation du lac par ses riverains. Département, collectivités et associations s'impliquent pour valoriser et rendre accessible l'or bleu savoyard qu'est le lac du Bourget.

Le lac d'Aiguebelette, entouré de petites communes et hameaux, d'espaces naturels intimistes, propose un tourisme rural et sportif, tourné vers son plan d'eau et son territoire (photo 1).

Les voies cyclables et piétonnes, chemins d'accès aux rives des lacs

Sur **le lac d'Annecy**, fin 1990, le Syndicat Mixte du Lac d'Annecy engage le prolongement de la piste cyclable créée par l'État en 1976. La «Voie Verte du lac d'Annecy» est aujourd'hui ouverte sur 30 km aux cyclistes, pratiquants de rollers, personnes à mobilité réduite et piétons sur les accotements uniquement. En 2012, elle est complétée par un chemin piétonnier relié aux débarcadères, permettant de combiner déplacement à pied et en bateau. Un programme est en cours entre Doussard et Annecy-le-Vieux, pour réaliser un itinéraire cyclable et piétonnier sur la rive est du lac.

Sur **le lac du Bourget**, la collectivité s'efforce d'améliorer les conditions d'accès au lac tout en veillant à la préservation des espaces naturels ouverts au public. 13 km de chemin lacustre relie le Bourget-du-Lac à Brison-Saint-Innocent (photo 2).

Depuis le château Thomas II, on accède à un parc de 15 ha où baignade, promenade, barbecues et jeux d'enfants sont autorisés. À la suite, la Maison des Pêcheurs conjugue gastronomie, pêche, port et hébergement. Tout proche, le cap des Sésélets, hot spot de kitesurf, côtoie les roselières. En rejoignant Aix-les-Bains, on trouve des plages, des restaurants, un centre nautique, un aquarium et un petit port. Au grand port, point nodal des bateaux de croisières lacustres, un sentier pédestre de 2 km permet de rejoindre la base de loisirs de la Pointe de l'Ardre. La Chautagne, située au nord, est un territoire qui envisage de nombreux aménagements pour valoriser ses atouts.

Photo 2 – Piste cyclable du lac du Bourget (© CISALB)



Photo 1 – Port d'Aiguebelette-le-Lac (© GRAIE)



Le Léman offre de multiples accès à son plan d'eau, avec des sites aménagés, comme les quais, les parcs ou certaines plages et des sites naturels préservés, où l'accès et l'accueil du public a toujours été pensé.

Les villes comme Évian-les-Bains, Thonon-les-Bains, Genève, Lausanne ou encore Montreux, s'efforcent d'offrir au public de belles promenades. Celles-ci peuvent avoir lieu sur les quais ou dans des parcs, à l'image du Pré Curieux, géré par la commune d'Évian-les-Bains et propriété du Conservatoire du Littoral. Ce lieu a été aménagé pour que le public puisse profiter d'un cadre de détente sur les rives du Léman. La mobilité douce est favorisée, avec un accès au site par bateau solaire. Des visites guidées permettent au public de découvrir la vie des zones humides avec des animations sur le thème de l'eau.

Le lac d'Aiguebelette a une piste cyclable qui fait le tour du lac, offrant de nombreux points de vue.

Les lacs constituent des écrans de nature très sensibles, dont la fréquentation est encadrée

Sur le lac d'Annecy, la réserve naturelle du Bout du lac comporte un sentier accessible à tous avec un parcours pédagogique (photo 4). Dans la réserve naturelle des Grangettes, située à l'embouchure du Rhône sur le Léman, la circulation est encadrée, permettant à la faune et à la flore d'être préservées au mieux, tout en laissant la chance aux promeneurs de profiter de ce cadre naturel à proximité de zones plus urbanisées.

Les plages incitent à la pratique de sports nautiques ou au repos

Le lac d'Annecy a 14 plages et zones de baignade officielles (photo 5), tandis que le lac du Bourget en dispose de 10. Le pourtour du Léman est jalonné de 115 plages. Le lac d'Aiguebelette dispose de 5 plages communales et de 3 plages privées.



Photo 3 – Pré Curieux sur les rives du Léman (© A. Klein)



Photo 4 – Le chemin piétonnier dans la réserve naturelle du Bout du lac à Annecy (© Gw. P. – SILA)

Photo 5 – Plage de Sévrier sur le lac d'Annecy (© SILA)



Ce qu'il faut retenir

Les plans d'eau ne sont plus les seuls espaces où l'accueil du public doit être organisé. Les aménagements sur les rives privilégient la découverte du territoire par le plus grand nombre, à travers des usages doux et la cohabitation de différentes pratiques respectueuses des espaces naturels.

Comment et pourquoi le niveau des lacs est-il régulé ?

► Renaud Jalinoux, CISALB • François Pasquini, État de Genève • SILA •

Avant d'être régulé, le niveau des lacs fluctuait au gré de la météo. La régulation est née d'une volonté de maîtriser les aléas climatiques – crues et sécheresses – et de tirer bénéfice du plan d'eau, à des fins touristiques ou énergétiques. Chaque régulation a son histoire, ses origines, ses consensus, recherchés pour satisfaire ses différents usages. Aujourd'hui, les impacts sont connus et certains lacs envisagent de modifier les consignes d'exploitation des ouvrages.

Histoire et origine de la régulation des lacs

Le Léman

Instaurée en 1884 pour mettre fin à un différend séculaire entre divers usagers du lac, la régulation du Léman assure depuis plus de 100 ans le maintien des niveaux du lac dans des limites compatibles avec ses différents usages. La capacité du Rhône à Genève a été augmentée par dragage et élargissement, et un barrage a été construit.

Le barrage du Seujet remplace depuis 1995 l'usine de la Coulouvrenière et le barrage du Pont de la Machine.

La régulation assure l'équilibre entre les débits d'apports entrants dans le lac, ses niveaux et la capacité d'évacuation limitée du Rhône à Genève. L'abaissement hivernal permet de stocker sans dommage la crue de fonte estivale, dont les débits dépassent souvent la capacité du Rhône à Genève.

Lac du Bourget

La question de la régulation du lac s'est posée lors de l'aménagement hydroélectrique du Haut-Rhône, à la fin des années 1970.

En dérivant une partie importante du débit du Rhône vers l'usine de Belley, l'aménagement allait engendrer une baisse du niveau du Rhône au débouché du canal de Savières. Un barrage a été envisagé à cet endroit pour maintenir, en basses et moyennes eaux du fleuve, le niveau du lac du Bourget à une valeur acceptable. Les consignes d'exploitation du barrage de Savières datent de 1985.

Lac d'Annecy

Plus que le contrôle du niveau du lac, c'est d'abord la maîtrise du débit de son exutoire, le Thiou, qui a été recherchée. L'essor des villes d'Annecy et de Cran-Gevrier est étroitement lié à cette rivière et à sa force motrice, qui a permis le développement dès le XVIII^e siècle d'une industrie prospère (moulins, papeteries, manufactures, forges).

Divers aménagements ont ainsi été édifiés sur le Thiou, influant plus ou moins le niveau du lac. En 1874, un système de barrages est réalisé. Les vannes ont été remplacées en 1965, telles qu'elles apparaissent aujourd'hui.

Lac d'Aiguebelette

Dès le début du XIX^e siècle, l'exploitation énergétique de l'eau du lac via son exutoire, le Thiers, a constitué un enjeu important pour le fonctionnement d'industries implantées sur La Bridoire.

La question de la régulation des niveaux du lac, notamment pour maintenir un débit suffisant dans le Thiers, est devenue une source de contentieux entre les communes riveraines et les industriels.

En 1909, avec la création d'un captage sur le Thiers pour alimenter la centrale hydroélectrique de La Bridoire, l'administration encadre les niveaux d'exploitation du lac avec un premier règlement d'eau. L'exploitation de la chute d'eau et de la centrale a été concédée à EDF en 1946.

Les niveaux exceptionnels atteints par les lacs depuis leur régulation

Même régulés, les lacs sont tout de même confrontés aux crues et aux sécheresses, mais leur réponse peut différer.

Le lac du Bourget peut monter de plus de 2,50 m (crue de février 1990), tandis que les 3 autres ne montent guère de plus de 0,70 m. Ceci s'explique principalement par le fait que le lac du Bourget «accompagne» le Rhône qui est tout proche et joue un rôle de champ d'expansion de la crue du fleuve, en plus des apports en eau issus de son propre bassin versant.

En étiage, les situations s'inversent : le Rhône peut alimenter le lac du Bourget via le canal de Savières, ce qui limite très fortement la baisse du niveau du lac. Les autres lacs, qui ne bénéficient pas de ce type de fonctionnement, peuvent descendre de plus ou moins 0,50 m en cas de situation exceptionnelle.

Qui assure la régulation, quels sont les niveaux imposés et comment ça marche ?

Le Léman

C'est l'État de Genève qui est responsable, vis-à-vis de la Confédération et des cantons de Vaud et du Valais, des manœuvres de l'ouvrage de régulation du niveau du Léman au barrage de l'usine hydroélectrique du Seujet sur le Rhône, à Genève (photo 1). Les niveaux du lac sont imposés par un acte inter-cantonal (1984), qui fixe les niveaux minimums et maximums à 371,70 m et 372,30 m, et par un règlement (1997) sur la manœuvre du barrage, qui donne des niveaux cibles pour chaque période de l'année et qui précise l'exception des années bissextiles.



Photo 1 – Barrage du Seujet sur le Léman (© J. Louvion)

Le niveau maximal normal du lac se situe entre 372,15 et 372,30 m de juin à décembre, et le niveau minimal entre 371,60 à 371,75 m de mars à avril. Tous les quatre ans (années bissextiles), cette cote minimale est abaissée entre 371,45 et 371,60 m pour permettre les travaux d'entretien et de réfection des ouvrages situés au bord du lac. Lors de crues ou de fortes pluies, des fluctuations peuvent survenir et augmenter le niveau d'environ 30 cm. Depuis 1974, le maximum mesuré est de 372,60 m.

Lac du Bourget

C'est la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) qui gère le barrage de Savières selon la consigne d'exploitation fixée par l'État en 1985. Cette consigne fait référence à une convention signée en 1978 par l'État, la CNR et l'agglomération aixoise (CALB).

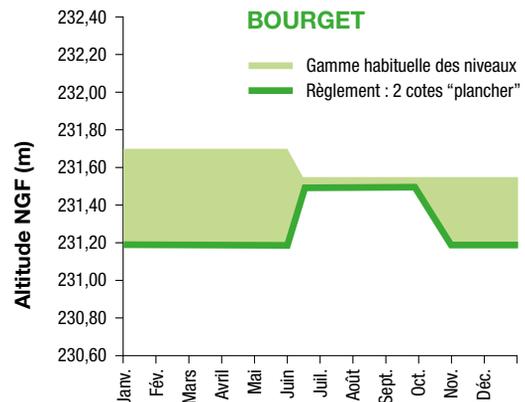
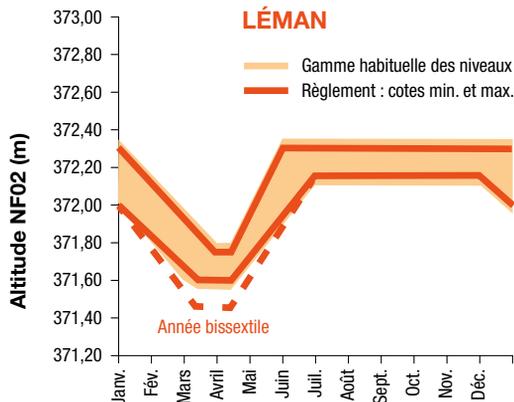
Le niveau du lac est régulé sur deux cotes planchers : 231,50 m en été et 231,20 m le reste de l'année. En période de crue, rien n'est changé et le niveau du lac monte comme avant la régulation. La consigne d'exploitation du barrage de Savières (photo 2) prévoit



Photo 2 – Les eaux du Rhône sont sur la gauche de la photo. Les eaux du lac du Bourget arrivent sur la droite grâce au canal de Savières (© CNR)

COMPARAISON DES DIFFÉRENTS MODES DE RÉGULATION

L'échelle verticale est identique pour les 4 schémas, ce qui permet de visualiser les différentes amplitudes de niveaux habituellement rencontrées.



qu'en cas de sécheresse, si les apports du bassin versant du lac ne sont pas suffisants pour maintenir le lac à son niveau plancher, la CNR doit introduire de l'eau du Rhône dans le lac. Cela s'est produit durant l'été 2003 où un débit de 15 m³/s a été prélevé sur le fleuve pendant 3 semaines. Sans cet apport, le lac aurait baissé de 1 m, comme en 1962, 1964, 1972, 1976 et 1978.

Lac d'Annecy

Selon le règlement de gestion, établi en 1876 et toujours en vigueur, l'État confie à la Ville d'Annecy la manœuvre des vannes sur le Thiou (photo 3).

Le lac doit être maintenu au plus près de son niveau légal de retenue, qui correspond à une altitude précise (446,97 m IGN69, soit une graduation de 0,80 à l'échelle de lecture du Pont de la Halle à Annecy).

Si les fluctuations du plan d'eau avant 1965 étaient encore marquées, le contrôle est désormais beaucoup plus efficace et donc le niveau beaucoup plus constant. L'amplitude entre le printemps (forte pluviométrie et fonte des neiges) et la fin de l'été (étiage naturel) ne dépasse généralement pas une dizaine de centimètres. De forts épisodes pluvieux peuvent toutefois faire monter ponctuellement le lac de 20 à 25 cm sur quelques jours, avant retour à la normale.

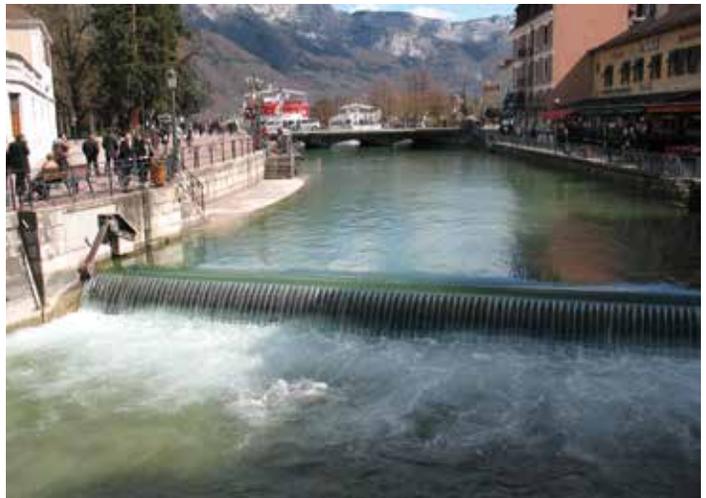


Photo 3 – Vanne de régulation du lac d'Annecy située sur son émissaire, le Thiou (© D. Zanella – SILA)



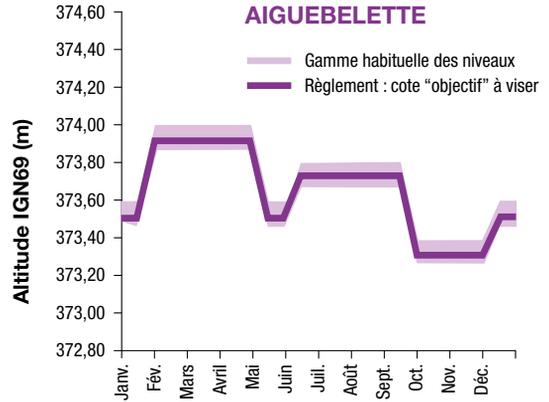
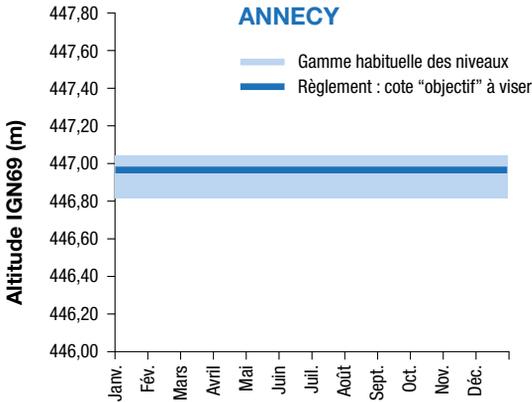
Photo 4 – Dérivation du Thiers, lac d'Aiguebelette (© F. Lainé)

Lac d'Aiguebelette

C'est EDF qui exploite l'ouvrage de régulation en s'efforçant, par une gestion anticipée, d'atteindre et de maintenir le niveau du lac autour de valeurs cibles, sous réserve des incidents d'exploitation ou des aléas climatiques.

Ces valeurs cibles ont été établies en concertation avec l'État et les principaux usagers du lac. Elles constituent un compromis qui tient compte des enjeux et usages du plan d'eau, tels que la pratique des activités touristiques et sportives et la production d'électricité.

En période de fortes précipitations, EDF anticipe la montée du lac en déstockant l'eau et prévient ainsi



(source : D. Zanella – SILA)

l'inondation des infrastructures riveraines. En fin d'été, des phases d'abaissement sont prévues pour exonder les zones littorales, favorables aux roselières aquatiques. La régulation tient compte également de la reproduction du poisson dans les zones de végétation littorale submergées.

Les bénéfices et les impacts de la régulation

La stabilité du niveau a amené une certaine facilité pour les usages : navigation, gestion des ports, loisirs... sur tous les lacs. Elle diminue les dégâts dus aux crues, garantit une profondeur d'eau suffisante tout au long de l'année et facilite la navigation. En revanche, les impacts environnementaux ont été conséquents, même s'ils n'ont pas été immédiats. La régulation du niveau des lacs entraîne :

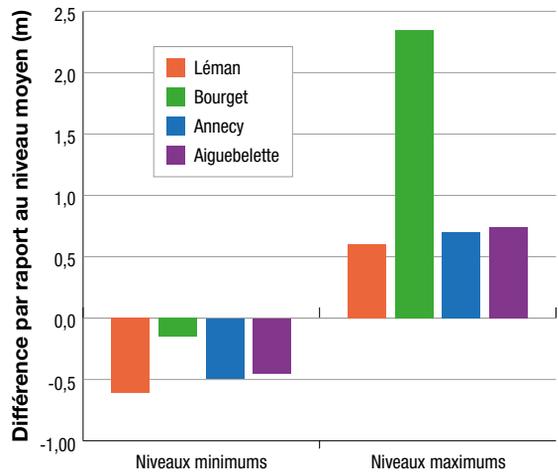
- une réduction des surfaces exondées en zone littorale ;
- une absence de développement horizontal et une perte de germination pour les roselières ;
- une absence de dépollution des sédiments par oxydation.

Un niveau constant concentre l'énergie des vagues toujours sur une même zone, fragilisant les roseaux à leur base du fait de l'érosion, et en hauteur du fait de l'accumulation de flottants. Les feuilles, tiges mortes et débris divers s'accumulent et ne sont pas dispersés. La qualité des sédiments proches des rives diminue.

Le CISALB a en projet d'introduire une baisse de 40 cm tous les 4 ans à l'automne, pour retrouver un marnage proche des conditions naturelles.

Au SILA, une réflexion est en cours pour évaluer la possibilité de réintroduire des fluctuations plus importantes des niveaux, en croisant bénéfices écologiques et intérêts socio-économiques. Ce travail permet également d'aborder les impacts prévisibles des changements climatiques. La régulation a en effet ses limites, et en cas de sécheresse importante (ex. 2003, 2009), le niveau du lac ne peut pas être maintenu constant et diminue, impactant les usages habituels du plan d'eau et de ses rives.

Des réflexions similaires sont en cours au lac d'Aiguebelette, dans le souci de maintenir l'équilibre biologique du lac.



(source : R. Jalinoux – CISALB)

Ce qu'il faut retenir

Si la régulation du niveau des lacs, cadrée par les différents acteurs, a permis une certaine conciliation des usages, elle rencontre des limites qui nécessitent d'être repensées dans un contexte de changement climatique afin de garantir les principaux usages et veiller à un bon fonctionnement biologique des lacs.

Pourquoi un recours au génie écologique dans la restauration des roselières littorales ?

► André Miquet, CEN Savoie • Gérard Blake, Université Savoie-Mont-Blanc, Polytech • Christophe Moiroud, CNR •

Les roselières (roseaux, scirpes lacustres, nénuphars...) sont à la base de la structure et du fonctionnement des zones littorales. Depuis plus d'un demi-siècle, elles ont connu sur les grands lacs une régression marquée. Afin de les restaurer, il est généralement nécessaire de passer par des interventions lourdes de génie écologique. Cela pose question dans des milieux aussi sensibles. Pourquoi la nature a-t-elle besoin de notre intervention ?

Des roselières désormais moins résistantes

La régulation des niveaux des lacs a été décidée et calée sur des critères hydrauliques et nautiques, à une époque où les impacts environnementaux étaient peu pris en compte et méconnus (voir question 6-05 : *Comment et pourquoi le niveau des lacs est-il régulé ?*), avec pour conséquence une restriction de l'espace bénéficiant d'inondations et d'exondations régulières. La restriction de ce marnage naturel a plusieurs effets négatifs agissant en synergie.

Sur certains lacs, le rabaissement du niveau estival a exondé des roselières devenues inaccessibles à la faune aquatique et vouées au développement des ligneux.

Sur d'autres, la disparition des étiages empêche toute germination et freine la minéralisation de la matière organique stockée dans les sédiments; la stabilisation des niveaux exacerbe l'érosion des berges. La capacité d'autoépuration des sédiments et de cicatrisation des ceintures végétales est amoindrie : ayant privé les lacs de leurs bordures naturelles, on les a ainsi fragilisés.

Une demande sociétale de prévisibilité et de technicité

Après des décennies de lacs relativement stables, acteurs et usagers sont de moins en moins enclins à revenir sur cet acquis. Malgré un intérêt croissant pour la biodiversité, il est difficile de remettre en cause la régulation des niveaux et l'on préfère s'en remettre au génie écologique.

L'investissement de moyens financiers et techniques lourds pour restaurer les roselières et les berges est parfois préféré ou priorisé par rapport à une rediscussion du calendrier des niveaux, compte tenu de la complexité et de la multiplicité des usages et des acteurs concernés : plages, navigation, ports, riverains... Une marge de négociation se fait toutefois jour, elle est étudiée sur le lac d'Annecy, programmée sur le lac du Bourget, et mise en œuvre sur le lac d'Aiguebelette. Ce choix du génie écologique est également dicté par l'urgence de roselières en situation critique ou d'espèces animales proches du seuil de disparition.



Restauration de la roselière de la baie de Portout au lac du Bourget. ◀

Photo 1 – Reprofilage de la berge par projection de matériaux limono-argileux issus du site (© GREN)
Photo 2 – Plantation de jeunes roseaux qui ont poussé pendant un an en arrière du site (© CISALB)

Une houle devenue trop forte en raison de la stabilisation des niveaux

Fractionnées, clairsemées et vieillissantes, les roselières sont vulnérables face à une houle dont les effets sont concentrés sur une ligne de rive figée. Dès lors, tout projet de restauration passe soit par une atténuation de cette houle avec la mise en place de récifs artificiels et de fascines* qui devront respecter la nature lacustre des lieux, soit par une adaptation des berges (pente et granulométrie) (voir question 6-07 : *Des piquet en bois et des récifs pour protéger les roselières ?*).

Aussi, les techniques de génie végétal pourront renforcer localement et de manière complémentaire la résistance de la roselière durant les premières années. Ceci donne lieu à des chantiers d'enrochements, de battage de pieux et de transferts de matériaux.

Redonner aux roselières un espace et une dynamique de recolonisation

Le génie écologique est une réponse instantanée, alors qu'on a affaire à une problématique de long terme : celle du rééquilibrage de la ligne et du profil des berges dans le nouveau contexte hydrologique. Pour autant, il faut bien offrir aux roselières de l'eau peu profonde avec un substrat de garnissage.

Puis vient le temps du génie végétal : les roselières relictuelles sont rarement en mesure de s'étendre, côté lac, faute de stimulation par un étiage marqué. Des plantations sont donc nécessaires, impliquant savoir-faire et recherche appliquée en matière de culture, mode opératoire, provenance, génétique. La vitalité des roseaux implantés et l'inertie propre aux espèces sont des critères essentiels de reconstitution de l'habitat littoral.



Restauration des roselières du lac d'Annecy

Photo 3 – Les jeunes plantules de scirpes sont produites localement à partir de graines grâce à un partenariat avec le lycée agricole de Poisy-Chavanod et la CNR (© D. Zanella – SILA)

Photo 4 – Elles sont ensuite transférées en bassin pour poursuivre leur croissance, puis enfin introduites dans le lac (© D. Zanella – SILA)

Ce qu'il faut retenir

Le génie écologique permet de contrer à moyen terme la régression des roselières et de ses espèces : dispositifs anti-houle, apports de matériaux, plantations... des chantiers impressionnants mais qui ne doivent pas dispenser gestionnaires et usagers du lac de redonner aux lacs les vertus d'un marnage plus naturel.

Fascines *Petits barrages en bois permettant d'atténuer la pression des vagues sur les roselières.*

Des piquets en bois et des récifs pour protéger les roselières ?

► Christophe Moiroud, CNR • SILA •

Sur les lacs alpins, la régression des roselières conduit à une diminution globale de la biodiversité. Cette dégradation doit être ralentie, voire bloquée, pour le maintien de ces écosystèmes et leur capacité de résilience*. Pour ces raisons, la restauration des roselières est engagée.

Chronique d'une régression silencieuse et actions de préservation

La régression des roselières au cours du xx^e siècle a été observée sur la plupart des lacs alpins (voir question 2-05 : *Pourquoi la végétation des rives est-elle importante ?*).

Le rétablissement d'un marnage plus naturel permettant une régénération durable de ces ceintures de végétation est complexe à mettre en œuvre sur ces lacs fortement anthropisés (voir question 6-05 : *Comment et pourquoi le niveau des lacs est-il régulé ?*). En parallèle, des interventions sont à réaliser pour freiner cette dégradation, reconquérir des surfaces perdues sur les secteurs à enjeux et présentant de grandes potentialités.

Le facteur prépondérant sur lequel l'homme peut agir efficacement est l'atténuation de la houle. Ce facteur, sans être la cause unique de la régression de la végétation lacustre, est un levier sur lequel il convient d'agir. Suite à la régulation du niveau d'eau, l'énergie des vagues est concentrée sur une même zone.

La limitation de l'intrusion des bateaux dans ces milieux est également un axe de restauration facile à mettre en place et très efficace. Au-delà des roselières, ces restaurations bénéficient également aux cortèges des herbiers aquatiques.

Les protections contre la houle

Différents ouvrages existent pour atténuer la pression des vagues sur la dynamique des roselières. Leur choix dépend des enjeux environnementaux des sites à sauvegarder et de la force de la houle à juguler. L'objectif est d'obtenir des dispositifs efficaces sur la houle fréquente et résistant à des vagues très fortes pour assurer la pérennité des ouvrages. L'enjeu est également de maintenir la connectivité biologique et physique entre la zone pélagique (pleine eau) et la zone littorale.



Photo 1 – Fascine végétale pour protéger la roselière de la baie de Mémard au lac du Bourget (© CISALB)



Photo 2 – Ouvrage de protection sur le lac d'Annecy de type « fascine imputrescible » (© D. Zanella – SILA)



Photo 3 – Ouvrage de protection sur le lac d'Annecy construit à l'aide de pieux jointifs (© D. Zanella – SILA)



Photo 4 – Îlot artificiel au sud du lac du Bourget (© C. Moiroud)

Les fascines

Ces petits barrages en bois sont en général formés d'une double série de pieux, entre lesquels sont fixés des fagots de branches, disposés dans le sens longitudinal sur une hauteur suffisante vis-à-vis de la houle (photo 1).

Afin de maintenir la circulation en pied des ouvrages, les fagots ne sont pas au contact du sol, permettant ainsi le maintien d'une colonne d'eau libre. Les expériences menées depuis les années 1990 ont montré que ces fascines de saules ne sont pas durables dans ce type de configuration lacustre. Ainsi, des ouvrages faits de bois durs (photo 2) ont été imaginés pour garantir une pérennité satisfaisante ; ils commencent à être déployés.



Photo 5 – Piquetage physique sur les roselières du lac d'Aiguebelette (© M. Bouron – CCLA)

Les palissades en pieux jointifs

Ces ouvrages (photo 3) sont constitués de pieux de 20 à 30 cm de diamètre et d'une longueur de 6 à 8 m, disposés sur deux rangées en quinconce. L'écartement entre les pieux et les rangées doit être très faible pour assurer une bonne atténuation des vagues. L'implantation (longueur et angle à la berge) est tributaire des vents dominants par rapport au rivage et de la morphologie de la berge.

Les récifs artificiels

Ces ouvrages (photo 4) sont constitués d'enrochements ou d'éléments bétons préfabriqués, qui sont partiellement ou totalement immergés selon les degrés d'efficacité recherchée et d'intégration paysagère souhaitée. Ils sont déployés au droit de zones littorales très agressées par la houle. Ces constructions, dites « lourdes », peuvent être végétalisées (création d'îlots de saules).

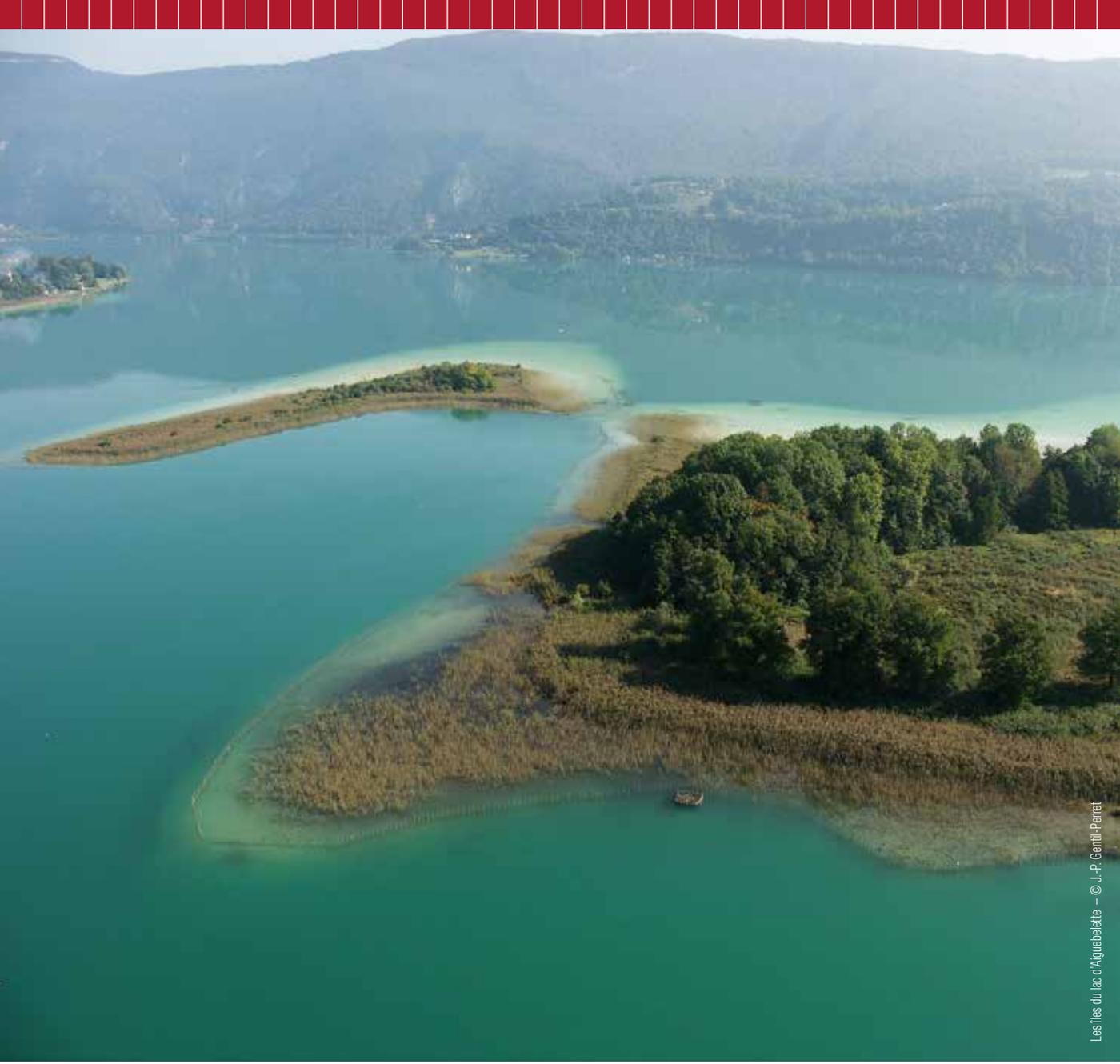
Le piquetage physique des roselières

Ces dispositifs (photo 5) sont mis en place depuis le début des années 1980 pour éviter et interdire toute navigation à l'intérieur des ceintures végétales. Les dispositifs sont composés de pieux en bois durs espacés de 0,8 à 1 m, d'un diamètre de 10 à 15 cm. Les pieux sont suffisamment ancrés dans les sols en place pour éviter d'être arrachés lors de chocs (embâcles, embarcations...).

Ce qu'il faut retenir

Les ceintures végétales littorales nécessitent une intervention humaine pour les maintenir et permettre une amélioration de leur état de conservation. L'évolution des techniques et la mise en place d'actions concrètes ces 15 dernières années ont conduit à une optimisation des ouvrages en adéquation avec la fragilité de ces milieux.

Résilience Capacité d'un écosystème à récupérer un fonctionnement normal après avoir subi une perturbation.



Les îles du lac d'Alquevalette - © J.-P. Genin-Perret

Gestion et protection

Quels ont été les actes fondateurs de la protection des lacs ?

► Audrey Klein, CIPEL • SILA • Stéphan Jacquet, INRA CARRETEL • Ludovic Ayot, CCLA •

Les bassins versants des grands lacs alpins ont connu, au cours de la première moitié du xx^e siècle, une forte croissance démographique et économique. Cette évolution a impacté l'équilibre biologique de ces écosystèmes par le rejet des eaux usées des agglomérations riveraines.

La pollution des lacs devient visible avec la prolifération d'algues, la réduction de la transparence des eaux, le manque d'oxygène dans les eaux profondes, l'augmentation de la concentration du phosphore total* ou celle du nombre de germes fécaux dans les eaux littorales. Ces indices d'eutrophisation* sont apparus à partir des années 1940 pour les lacs d'Annecy et du Bourget, et une décennie plus tard pour le Léman.

Le Léman sous haute surveillance franco-suisse

En 1950, à la suite d'une efflorescence algale* exceptionnelle, les pêcheurs attirent l'attention de l'Union Générale des Rhodaniens (UGR), qui crée en 1952 une commission, sans caractère officiel, composée de médecins, chimistes, biologistes. Ensemble, ils mettent en place le premier réseau scientifique franco-suisse, qui donne naissance à la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (CIPEL), pour surveiller l'évolution de la qualité des eaux du Léman et de son bassin versant. Une convention est signée le 16 novembre 1962 à Paris, entre le Conseil fédéral suisse et le gouvernement de la République française.

Au cours des années 1960-1970, l'accent est mis sur le traitement des eaux usées, en équipant les stations d'épuration d'un procédé de déphosphatation. Un accord, signé le 20 novembre 1980 entre la France et la Suisse, prévoit que la République française et le canton de Genève accordent une contribution financière aux collectivités du bassin versant du Léman qui traiteront le phosphore de leurs eaux usées. Ceci a permis de compenser le fait que Genève, qui s'alimente à 80% par l'eau du lac, rejette la plupart de ses eaux résiduaires dans le Rhône à l'aval du lac. Ce cas est un bel exemple de solidarité amont-aval. Par la suite, la Suisse a interdit les phosphates dans les lessives, suivi par la France en 2007.

La sauvegarde de la qualité des eaux du lac d'Annecy

Si la qualité des eaux du lac d'Annecy est aujourd'hui exemplaire en Europe, c'est parce que des acteurs locaux se sont mobilisés pour sa sauvegarde.

Dès le début des années 1940, plusieurs scientifiques ont tiré la sonnette d'alarme, dont le professeur Hubault en 1943, ainsi que le médecin annécien Paul-Louis Servettaz. En synergie avec les acteurs du lac et sous l'impulsion de Charles Bosson, maire d'Annecy, le Syndicat



Photo 1 – Prélèvement dans le Léman vers les années 1950 (© INRA)



Fig. 1 – Le collecteur principal d'eaux usées autour du lac d'Annecy (source : SILA)

Intercommunal des Communes Riveraines du lac d'Annecy (aujourd'hui SILA) est créé le 15 juillet 1957 pour mettre fin au déversement des eaux usées dans le lac.

Cette initiative pionnière et ambitieuse a pris la forme d'un réseau de collecte des eaux usées qui ceinture le lac (achevé en 1976 – fig. 1), et rejoint une station d'épuration créée en aval du lac. Cette action a permis d'améliorer la qualité des eaux du lac d'Annecy et de retrouver un état d'équilibre écologique très satisfaisant dès les années 1990. En parallèle, le SILA a mis en place un suivi scientifique du lac en 1966.

Le creusement d'une galerie sauve le lac du Bourget

Le démarrage de l'eutrophisation du lac du Bourget date de 1943. Des conditions anoxiques* permanentes ont été enregistrées à partir de 1960, conséquence directe de l'eutrophisation. Plusieurs scientifiques en ont fait état entre les années 1940 et 1970. Il a fallu attendre 1972 pour que des travaux d'assainissement soient effectués. La solution choisie a été de rejeter dans le Rhône, au moyen d'une galerie percée dans la montagne du Chat, toutes les eaux traitées par les stations d'épuration des agglomérations du Bourget-du-Lac, d'Aix-les-Bains et de Chambéry. Ce projet, réalisé entre 1974 et 1979 et mis en service en 1980, a permis de diminuer drastiquement les apports en phosphore et en azote au lac. Parallèlement à cet ouvrage, de nouvelles stations d'épuration ont été construites dont certaines équipées de procédés de déphosphatation.



Photo 2 – 1976, entrée de la galerie dans la montagne du Chat (© CICALB)

Au lac d'Aiguebelette, une volonté locale de préserver un site naturel remarquable

En 1974, le percement du tunnel de l'Épine et la création de l'autoroute A43 ont constitué une véritable révolution pour le territoire du lac d'Aiguebelette. Le projet a permis de désenclaver le site bloqué contre la montagne de l'Épine, et de le rapprocher des agglomérations lyonnaise et chambérienne respectivement situées à moins d'une heure et de 15 minutes.

Souhaitée et attendue par le territoire, cette desserte autoroutière s'est cependant traduite par l'apparition de projets d'urbanisation et d'aménagements touristiques portés par des investisseurs parfois peu scrupuleux. Ainsi, au milieu des années 1970 a été envisagée la création d'immenses « marinas », d'hôtels sur les îles, de lotissements sur la zone littorale. C'est en opposition à ces projets et dans l'objectif de maîtriser l'aménagement des bords du lac en veillant à préserver le site, que les élus locaux et les associations se sont fédérés et structurés pour la protection du lac d'Aiguebelette.

En 1976 a été créé le Syndicat Mixte d'Aménagement du Lac d'Aiguebelette (aujourd'hui Communauté de Communes du Lac d'Aiguebelette) qui a permis de mettre en place les outils et mesures indispensables pour accompagner une politique d'aménagement et de valorisation touristique respectueuse de l'environnement et des paysages : création d'un POS intercommunal et instauration d'une Zone d'Aménagement Différé autour du lac, acquisitions foncières et aménagement de pôles touristiques sur des sites adaptés, interdiction des embarcations à moteur thermique, création de zones naturelles protégées, mise en place d'une ceinture d'assainissement.

Phosphore total *Phosphore particulaire + phosphore dissous.*

Eutrophisation *Enrichissement excessif du milieu aquatique en nutriments, qui se traduit par l'envasement d'une production végétale surabondante.*

Efflorescence algale *Augmentation relativement rapide de la concentration d'une ou de quelques espèces d'algues.*

Anoxie *Diminution de l'oxygène dissous, présent dans le milieu.*

Ce qu'il faut retenir

Aujourd'hui encore, malgré une croissance démographique constante, les lacs sont en bonne santé et alimentent en eau potable plusieurs centaines de milliers d'habitants. Ils ont été sauvés au milieu du xx^e siècle par une prise de conscience des acteurs locaux, qui s'est traduite par la création de systèmes d'assainissement d'envergure tout autour et en aval des lacs.

Confrontés à de nouvelles pollutions, ces lacs restent aujourd'hui sous haute surveillance.

Quels sont les grands enjeux de la gestion des lacs ?

► Audrey Klein, CIPEL • Alain Martinet, Région Rhône-Alpes • Sébastien Cachera, CISALB • SILA •

Des lacs pour se baigner, pratiquer ses activités nautiques favorites, consommer son eau et ses poissons sans risque pour sa santé, puiser dans son énergie hydraulique ou tout simplement apprécier la beauté de son rivage et pouvoir observer les oiseaux venus s'y reposer. Préserver l'écosystème lacustre face à la pression démographique, climatique et chimique tout en permettant aux différents usages de se maintenir durablement... Les enjeux sont de taille !

Préserver la qualité des milieux aquatiques

La lutte contre le phosphore a été une préoccupation majeure des gestionnaires des lacs durant plusieurs décennies et même si elle continue de l'être, notamment pour le Léman, les enjeux se situent aujourd'hui davantage au niveau des micropolluants compte tenu de leur toxicité pour les milieux aquatiques et la santé humaine.

En parallèle d'actions de lutte à la source de ces polluants, des dispositifs peuvent être mis en place pour éliminer les micropolluants dans les rejets d'eaux usées domestiques.

C'est la stratégie adoptée récemment en Suisse : plusieurs stations d'épuration seront équipées de dispositifs de traitement efficaces permettant de réduire la quantité de micropolluants dans les rejets d'eaux usées domestiques (résidus médicamenteux, cosmétiques). La mise en place d'une telle stratégie de lutte implique des investissements financiers conséquents car les traitements sont coûteux.

Restaurer les rives du lac et les roselières

Les milieux riverains lacustres sont fragiles et subissent une pression forte liée à la fréquentation touristique du lac et à l'urbanisation. Il est souvent nécessaire de maîtriser cette fréquentation en la canalisant ou en la reportant sur des zones moins sensibles. Des mesures réglementaires peuvent également être prises pour les protéger : arrêté de protection de biotope, réserve naturelle, etc.

Sur la plupart des lacs, des programmes ambitieux de restauration des roselières lacustres sont mis en œuvre.

Enfin, l'entretien de ces milieux peut faire l'objet de plans de gestion comme celui de la renouée du Japon (voir question 2-07 : *Les espèces invasives sont-elles dangereuses?*) au lac du Bourget. Introduite en Europe au XIX^e siècle, cette plante présente un pouvoir de dispersion incroyable : 1 seul cm de rhizome (tige souterraine) suffit à redonner une plante entière ! Un inventaire conduit sur le littoral du lac du Bourget a permis de comptabiliser en 2010 près de 300 massifs, soit une surface de près de 15 000 m².



Photo 1 –
Massif de renouée
au bord du Léman
(© S. Mercier – CIPEL)

Photo 2 – Élimination d'une plantule de renouée dans une roselière
(© Concept.Cours.d'Eau)

Un plan de lutte a vu le jour l'année suivante, basé sur trois types d'actions :

- la surveillance annuelle du rivage lacustre et des rivières afin d'éliminer les plantules de l'année issues des fragments de rhizomes arrachés par les crues;
- l'éradication de massifs menaçant des secteurs d'intérêt écologique majeur comme les roselières;
- la sensibilisation du grand public et la formation aux bons gestes des professionnels des espaces verts.

Garantir l'alimentation en eau potable de la population

Les gestionnaires des lacs veillent au respect des normes d'eau potable actuelles et sont particulièrement attentifs aux nouvelles substances présentes dans l'eau, tels que les résidus de médicaments, pour lesquels il n'existe pas de norme associée aujourd'hui. La surveillance de l'apparition des algues produisant certaines toxines fait aussi partie des préoccupations des gestionnaires car celles-ci peuvent causer des problèmes graves pour la santé humaine (voir question 3-01 : *L'eau des lacs : peut-on la boire et s'y baigner ?*).

Pratiquer des activités nautiques en respectant les milieux naturels lacustres

Les lacs alpins sont des lieux appréciés et propices à de nombreuses activités (baignade, pêche, navigation). Si elles ne sont pas pratiquées dans le respect de la nature, elles peuvent perturber la faune et la flore et contribuer à augmenter l'artificialisation des rives, déjà mises à mal par l'urbanisation. La fréquentation parfois importante et la diversité des activités peuvent également engendrer des conflits entre usagers.

Les gestionnaires ont pour mission d'encourager les communes riveraines à développer un tourisme plus respectueux des rives lacustres ce qui passe par : la suppression des amarrages dans les embouchures, la réglementation des activités à proximité des zones sensibles, la maîtrise du développement des infrastructures nautiques (ports, installations privées et plages) et des modes de propulsion doux comme la voile ou la motorisation électrique.

Il convient de noter que depuis 1976, l'utilisation des bateaux à moteur thermique est interdite sur le lac d'Aiguebelette, sauf dérogation pour des missions de sécurité, de surveillance et de travaux. Ce sont autant d'actions qui permettront de garder un cadre de vie agréable et privilégié.

Les mouillages écologiques du lac d'Annecy illustrent une solution exemplaire de conciliation entre les usages (navigation) et le milieu naturel (herbiers aquatiques).

Les mouillages traditionnels d'embarcations peuvent provoquer une dégradation du fond des lacs et de la végétation.

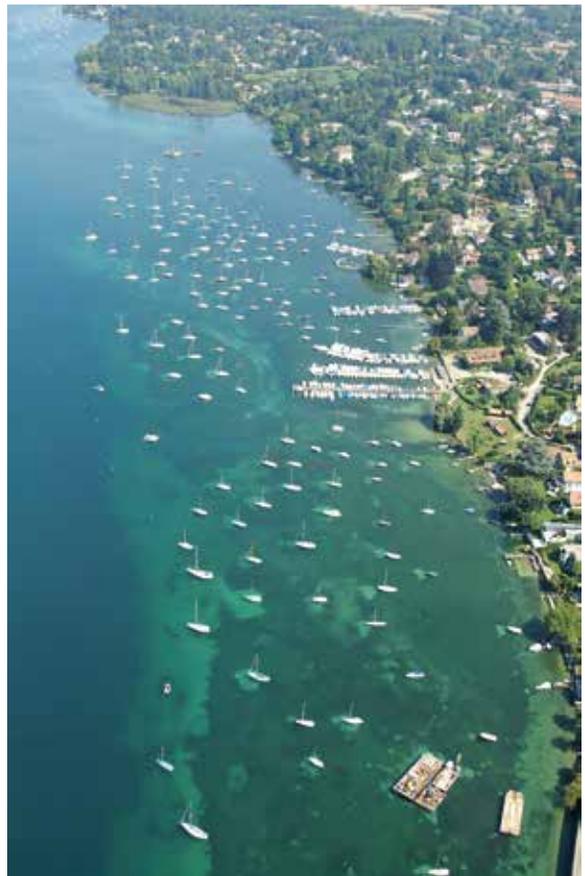


Photo 3 – Impact des mouillages sur les herbiers aquatiques du Léman
(© J.-M. Zellweger)

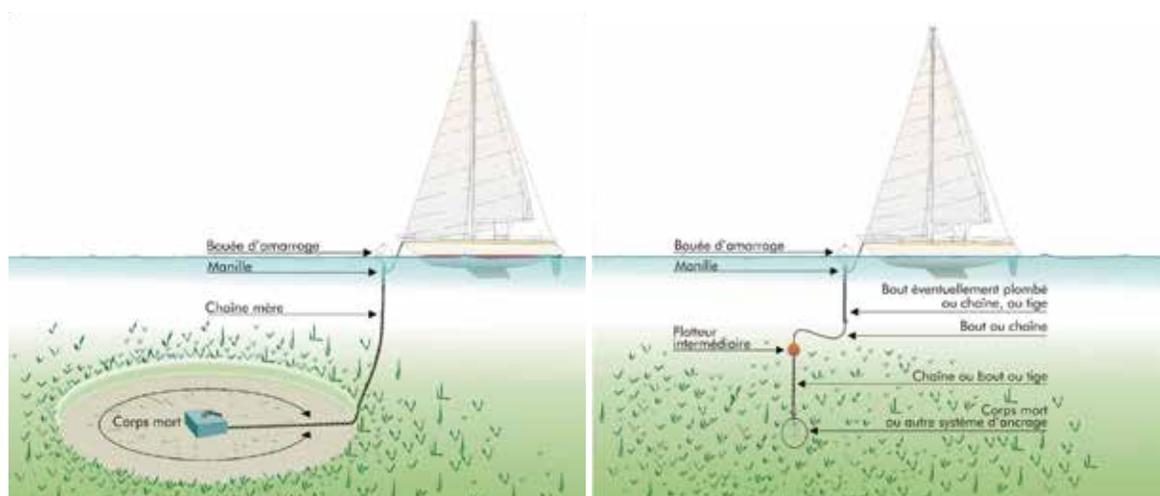


Fig. 1 et 2 – Mouillage « traditionnel » et solution de mouillage « écologique » (source : BRL Ingénierie)

Le SILA et les acteurs du lac d'Annecy ont donc travaillé sur des solutions pour limiter ces impacts en adaptant des dispositifs marins aux configurations lacustres. Un guide technique a ainsi été élaboré et est largement diffusé aux usagers concernés, accompagné par une réalisation pilote : l'installation de mouillages écologiques sur les sites de plongée les plus fréquentés du lac (fig. 1 et 2).

Évaluer les effets du changement climatique sur le lac et les conséquences sur les usages

Les prévisions semblent montrer que le climat sera caractérisé par des conditions hivernales plus douces et plus humides et aussi des conditions estivales plus chaudes et sèches. Les gestionnaires devront évaluer les impacts probables de ces changements sur les milieux naturels et les usages liés à l'eau. Il s'agira d'identifier les usages qui pourraient être les plus touchés (alimentation en eau potable, agriculture, industries, tourisme...) et de sensibiliser les décideurs pour qu'ils intègrent dans leurs réflexions et décisions, les scénarios de changement climatique (voir question 8-01 : *Quel avenir pour les lacs dans un demi-siècle ?*).

La gestion quantitative

Les niveaux d'eau du Léman, des lacs d'Annecy, du Bourget et d'Aiguebelette sont tous contrôlés, selon des modalités et un historique propre à chacun (voir question 6-05 : *Comment et pourquoi le niveau des lacs est-il régulé ?*). Dans la mesure où les régulations pratiquées ont des conséquences importantes pour les rives, aussi bien sur les usages et infrastructures que sur les milieux naturels, la gestion quantitative des lacs représente un enjeu important.

À l'avenir, les gestionnaires seront confrontés à une nouvelle variable qu'il conviendra d'anticiper : dans un contexte de changement climatique, le régime des précipitations sur les Alpes du Nord devrait connaître des variations par rapport à la situation actuelle, ce qui modifiera vraisemblablement l'alimentation en eau des lacs.



Photo 4 – Lac du Bourget
(© CISA LB)

Faire connaître les lacs alpins pour mieux les préserver

L'information et la sensibilisation des différents publics (scolaires, élus, usagers) à la protection des lacs est un enjeu de taille commun aux 4 grands lacs alpins. La population est sensibilisée à l'échelle de chaque territoire avec des solutions suggérées pour que chacun puisse agir à son niveau au quotidien.

Organisée par le SILA en automne, la manifestation du « Lac en partage » au lac d'Annecy permet de sensibiliser les habitants qui viennent à la rencontre des acteurs chargés de la protection et de la valorisation du lac, pour découvrir ce patrimoine naturel exceptionnel. Il est important que la prise de conscience soit suivie de gestes concrets, car de nombreuses substances se retrouvent dans une ressource précieuse : l'eau !

La CIPEL sensibilise les habitants du territoire à la problématique des micropolluants, en proposant des solutions simples pour que chacun puisse agir à son niveau au quotidien. Tel est l'objectif de l'exposition « Eau'dyssée : sur la trace des micropolluants ».

Sensibiliser les jeunes générations à la préservation du lac du Bourget est un objectif majeur du territoire. Le CISALB accueille ce public à la demande ou en classes découvertes avec nuitées. Les ateliers du lac poursuivent cette sensibilisation pendant les vacances. De la maternelle aux universités, la collectivité se mobilise pour faire découvrir son lac et partager ainsi les enjeux écologiques de ce patrimoine aquatique précieux.

Photo 5 – Exposition Eau'dyssée :
Sur la trace des micropolluants
(© CIPEL)



Ce qu'il faut retenir

Les lacs sont porteurs d'enjeux variés et essentiels pour nos sociétés. C'est grâce à la persévérance de l'ensemble des acteurs et usagers de ces territoires que l'on pourra relever les défis du XXI^e siècle, à l'instar de ce que nos prédécesseurs ont su faire pour lutter contre le phosphore et sauver les lacs de leur asphyxie.

À qui appartiennent les lacs ? Qui autorise leurs usages ?

► Thomas Riethmuller, DDT 73 • Audrey Klein, CIPEL • Paul Külling, DGE, Canton de Vaud •

Les grands lacs alpins appartiennent à l'État français et font partie de son domaine public. Le Léman est binational et relève également du domaine public en Suisse. Ils constituent des espaces naturels remarquables, très prisés et qui peuvent avoir de nombreuses fonctions et usages qu'il convient de réglementer pour en permettre la conciliation.

Le domaine public lacustre

Le principe

En droit français, la domanialité publique de l'État consiste à préserver les cours d'eau navigables et flottables ainsi que les grands lacs présentant un intérêt stratégique pour le pays. Ainsi, les biens domaniaux sont inaliénables. Il s'agit d'un régime de propriété particulier, défini par le Code Général de la Propriété des Personnes Publiques. Le lac d'Aiguebelette est une exception : c'est un lac privé, propriété d'EDF et de la famille Chambost.

Les limites du domaine public lacustre résultent d'un état de fait et non d'un titre ou acte de propriété

- pour les lacs alpins français, c'est la cote des plus hautes eaux ordinaires qui détermine la limite du domaine public fluvial ;
- pour la partie suisse du Léman, il est défini par la limite des hautes eaux moyennes et comprend également les grèves exondées et les endroits où pousse la végétation aquatique.

Ces limites sont donc fluctuantes : la construction d'un nouveau bassin portuaire à l'intérieur d'un port revient à agrandir le domaine public fluvial ; à l'inverse, un éboulement naturel ou l'atterrissement d'une berge pourrait le rétrécir ! À noter qu'en Suisse, le remblayage des lacs est interdit par la loi fédérale sur la protection des eaux.

La gestion

À l'heure actuelle, la gestion des lacs du Bourget et d'Annecy, ainsi que la partie française du Léman est assurée par l'État. Côté suisse, la gestion du Léman est confiée aux cantons riverains. Le lac d'Aiguebelette dispose quant à lui d'un statut privé. Sa gestion est confiée par les propriétaires privés à la Communauté de Communes du Lac d'Aiguebelette, dans le cadre d'une convention de longue durée jusqu'en 2034.

La préservation

L'occupation du domaine public lacustre (photos 1 et 2) est soumise à :

- des autorisations d'occupation temporaire pour les aménagements mineurs (pontons...), dites « autorisations à bien plaisir » en Suisse, révocables à tout moment ;
- des concessions pour les ouvrages plus importants, de type ports de plaisance.

En France, l'État dispose de pouvoirs de police spécifiques pour faire respecter ces dispositions et lutter contre les occupations illégales. Il a la possibilité d'effectuer des mises en demeure ou de dresser des contraventions de grande voirie.



Photo 1 – Port de Conjux sur le lac du Bourget
(© DDT 73)



Photo 2 – Petits ports privés, rive suisse du Léman (© J.-M. Zelleweger)

La protection du lac peut passer par des procédures de classement.

Concernant la France, l'État peut instituer une **réserve naturelle** dans l'objectif de soustraire le milieu aux impacts directs d'activités humaines. Plusieurs réserves naturelles sont emblématiques : sur le Léman, le Delta de la Dranse, les Grangettes et les Crenées ; sur le lac d'Annecy, le Roc de Chère, le Bout du Lac.

L'État peut prendre des **arrêtés préfectoraux de protection de biotopes** assurant la préservation de biotopes d'espèces animales ou végétales protégées par la loi. Ainsi le marais de l'Enfer et certaines roselières du lac d'Annecy font l'objet d'une telle protection.

Enfin, au titre des paysages, la procédure de **sites classés** est largement utilisée. Certains sites sont par ailleurs inscrits au patrimoine mondial de l'Unesco comme les sites palafittiques des lacs d'Annecy, du Bourget, d'Aiguebelette et du Léman.

Concernant la Suisse, les sites naturels d'intérêt sont inscrits dans des inventaires fédéraux (par exemple les sites marécageux, les zones alluviales, les bas-marais, etc.) ou cantonaux. Le canton peut protéger un biotope par décision de classement.

La loi suisse sur la navigation interdit également la navigation dans les roselières et les plantes aquatiques, et une distance d'au moins 25 m doit être respectée. Les gardes-pêches permanents du canton de Vaud peuvent intervenir s'il y a atteinte aux roselières.

L'eau des lacs

En droit français, l'eau fait partie du patrimoine commun de la nation : son usage est possible pour tous, dans la limite de la capacité du milieu et des règlements en vigueur. Des prélèvements peuvent être autorisés dans les lacs, notamment pour l'alimentation en eau potable, et des besoins industriels ou domestiques.

Selon leur volume, ces prélèvements donnent lieu à des redevances versées directement aux agences de l'eau, permettant de contribuer au financement d'ouvrages et de projets de préservation de la ressource (modernisation des réseaux, réservoirs, stations d'épuration).

La police de l'eau

Elle surveille la qualité de l'eau et régleme les installations et ouvrages ayant un impact sur le lac. Cette police est assurée sur les lacs français par le préfet et ses services (Direction Départementale des Territoires, DDT) qui agissent pour autoriser les ouvrages, enregistrer ceux soumis à simple déclaration, mettre en demeure les propriétaires de ces ouvrages qui ne respectent pas les prescriptions imposées. En cas d'infraction au code de l'environnement, c'est l'ONEMA qui intervient, même si les agents des DDT sont aussi commissionnés.



Photo 3 – Tournée de contrôle des autorisations d'occupation temporaires par les services de la DDT sur le lac d'Annecy (© DDT 74)



Photo 4 – Contrôle de la Mission Interservices de l'Eau et de la Nature par les agents de l'ONEMA avec la collaboration de la gendarmerie sur le lac d'Annecy (© DDT 74)

En droit suisse, l'usage de l'eau est possible pour tous, moyennant une concession délivrée par l'État et le paiement d'une taxe (par m³) pour le prélèvement d'eau. Ces demandes de prélèvement sont devenues très fréquentes pour l'utilisation de l'eau du lac pour les pompes à chaleur (chauffage et refroidissement des bâtiments situés à proximité du lac). Ces sollicitations proviennent surtout de grandes entreprises et de communes pour chauffer des nouveaux quartiers d'habitation.

La navigation

Il s'agit de garantir la sécurité de la navigation sur les lacs (photos 3 et 4), conformément au règlement général de la police de la navigation intérieure et aux Règlements Particuliers de Police (RPP), propres à chaque lac. En Suisse, la loi fédérale sur la navigation intérieure et son ordonnance règlent la navigation sur la partie suisse du Léman.

En France, la police de la navigation est assurée par le préfet pour les aspects administratifs et par la brigade fluviale de la gendarmerie pour les aspects judiciaires. Côté suisse, la brigade du lac assure le contrôle de la navigation.

Chaque lac a son règlement spécifique

Ainsi la bande de rive qui fait l'objet de prescriptions spéciales (vitesse réduite, traversée perpendiculaire des bateaux à moteur), est par exemple de 200 m de large sur le lac du Bourget, de 100 à 200 m du bord pour le lac d'Annecy et de 15 à 100 m selon les communes pour la partie française du Léman. Elle n'est pas citée dans le règlement du lac d'Aiguebelette, mais l'usage des embarcations à moteurs est interdit sur ce plan d'eau (sauf pour les entraîneurs des clubs d'aviron et les services de police ou de surveillance), alors qu'il est autorisé sur les autres. Les usages des lacs découlent de leurs caractéristiques physiques; ainsi il est proposé un cadre pour la pratique du kitesurf sur le Léman et sur le lac d'Annecy, alors que les règles entourant la pratique de l'aviron seront plus détaillées pour le lac d'Aiguebelette.

Les produits des lacs

La pêche

En France, sur les lacs domaniaux, le droit de pêche appartient à l'État, qui le concède via des baux d'une durée de 5 années. Les différentes catégories de pêcheurs (professionnels et amateurs) participent activement à la gestion et au suivi des populations piscicoles.

Les poissons, eux, n'appartiennent à personne tant qu'ils ne sont pas capturés.

En Suisse, la gestion de la pêche incombe aux cantons qui délivrent les permis de pêche professionnels et amateurs. Le nombre de pêcheurs professionnels sur le Léman est limité et partagé entre la France et la Suisse.

La pêche est interdite dans les roselières et les réserves naturelles sur le Léman (voir question 4-01 : *Comment est organisée la pêche sur les lacs? Comment est-elle réglementée?*).

Les produits du fond et du sous-sol

Les autres éléments constitutifs des lacs (la végétation subaquatique, le fond, le sous-sol...) appartiennent au propriétaire. Il existe cependant une exception pour les minerais identifiés par le code minier (ressources stratégiques telles que les hydrocarbures, métaux...), qui appartiennent à l'État.

Concernant l'exploitation d'éventuels gisements d'hydrocarbures en Suisse, c'est l'État qui concède des permis de prospection, puis, en cas de réussite, une concession d'exploitation. Actuellement, il y a un forage profond de prospection sous le Léman. L'installation se trouve à Noville (dans le canton de Vaud).

Ce qu'il faut retenir

Les grands lacs alpins, soumis aux règles de la domanialité publique (sauf le lac d'Aiguebelette), sont régis par une réglementation stricte encadrant leur occupation, l'utilisation de leurs ressources, que ce soit l'eau, la pêche, et leurs usages comme la navigation.

Qui s'occupe de la gestion des lacs ?

► Thomas Riethmuller, DDT 73 • Audrey Klein, CIPEL •

De multiples acteurs interviennent sur les grands lacs alpins, si bien qu'il n'est souvent pas possible d'identifier un gestionnaire unique. Cet état de fait résulte à la fois de la répartition des compétences entre les différents échelons administratifs mais aussi de la multiplicité des enjeux à prendre en compte dans ces sites remarquables.

L'État propriétaire et gestionnaire

L'État français reste à ce jour propriétaire des grands lacs alpins (sauf celui d'Aiguebelette) (voir question 7-03 : *À qui appartiennent les lacs ? Qui autorise leurs usages ?*). À ce titre, il conserve un rôle de gestionnaire historique, qui se situe principalement sur deux plans :

- celui de la réglementation, le préfet étant en France l'autorité de police en matière de navigation, mais également en matière d'eau, de pêche et de chasse. En Suisse, cette compétence relève de l'autorité cantonale ;
- celui de la gestion du domaine public fluvial, avec notamment le suivi des occupations (ports, aménagements divers) et l'entretien du plan d'eau et de ses berges (enlèvement des obstacles à la navigation et ouvrages délabrés).

Historiquement, l'État français assurait l'essentiel des missions d'entretien du domaine public fluvial. Ce rôle tend aujourd'hui à s'effacer progressivement au profit des seules missions régaliennes, dans un contexte de décentralisation rapide et de transfert des compétences telles que la gestion des lacs aux communes ou à leurs groupements, à moyen terme.

L'élaboration et la mise en œuvre des réglementations au niveau local constituent une autre forme de gestion. En matière de navigation, de chasse ou de pêche, il s'agit dans la pratique, d'arrêtés préfectoraux élaborés par les services de l'État en concertation avec les différentes catégories d'usagers concernés, avec pour objectifs généraux d'arbitrer entre les usages, en préservant la sécurité de tous et les ressources naturelles. L'application de ces réglementations sur le terrain est ensuite assurée par les services de police, via des contrôles soit administratifs (services préfectoraux, tels que les Directions Départementales des Territoires), soit judiciaires (gendarmerie, Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques).

Ces deux approches, à la fois pédagogiques et répressives, doivent permettre de conserver un rôle de régulation efficace.

Les collectivités locales gestionnaires

Les collectivités locales, communes et établissements publics de coopération intercommunale disposent aujourd'hui des principales compétences en matière d'aménagement du territoire et de développement. Autour des lacs, ce sont ainsi les communes ou leurs regroupements qui assurent le plus souvent la gestion des équipements touristiques (ports, plages...), maîtrisent l'aménagement des rives via les documents d'urbanisme comme les plans locaux d'urbanisme et les schémas de cohérence territoriaux, et jouent un rôle majeur dans la gestion de la ressource en eau (via les infrastructures de prélèvement d'eau potable et de traitement des eaux usées).

Citons le Syndicat Mixte du Lac d'Annecy (SILA) créé en 1957, ainsi que le Comité InterSyndical pour l'Assainissement du Lac du Bourget (CISALB) en 1994, qui ont des objectifs forts de dépollution des lacs, de préservation et de mise en valeur du patrimoine naturel. L'exploitation économique des berges, notamment la création et le



Photo 1 – Réglementation des usages au lac d'Aiguebelette (© GRAIE)



Photo 2 – Bord aménagé
du lac du Bourget
(© CICALB)

développement des pôles touristiques que constituent les ports et les plages, reste souvent l'apanage des communes ou éventuellement de leurs regroupements.

Concernant le lac d'Aiguebelette, les propriétaires du lac ont confié à la Communauté de Communes du Lac d'Aiguebelette la gestion de l'occupation des berges et des principaux usages du lac : navigation, droits de pêche, création de zones de baignade.

La répartition en Suisse entre la confédération, les cantons et les communes

L'organisation de base de la gestion des eaux en Suisse découle de la constitution fédérale. Elle répartit les compétences et les tâches entre la confédération, les cantons et les communes.

Les cantons disposent de la ressource en eau et sont responsables de l'application des lois fédérales mais possèdent également des compétences pour légiférer. La plupart d'entre eux sont dotés de lois sectorielles sur la protection des eaux, l'utilisation de la force hydraulique et l'aménagement des cours d'eau.

Quant à l'autonomie communale, elle varie selon les cantons. Elle est bien marquée pour la gestion des eaux usées urbaines et pour la gestion de l'adduction en eau potable.

D'autres acteurs institutionnels ou associatifs

De nombreux autres acteurs contribuent à la gestion des lacs. Pour n'en citer que quelques-uns :

- les associations d'usagers, les plaisanciers, les pêcheurs ;
- les associations de protection de l'environnement ;
- les conservatoires des espaces naturels de Savoie et de Haute-Savoie ;
- le conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres.

Ce qu'il faut retenir

L'État français et les cantons suisses restent à ce jour propriétaires des grands lacs alpins (sauf pour le lac d'Aiguebelette). Toutefois, les collectivités locales assurent globalement l'essentiel des actes de gestion sur et autour des lacs, avec chacune leurs compétences respectives sans qu'un gestionnaire unique ne puisse être identifié à ce stade. Le transfert en France de la gestion des milieux aquatiques à l'échelle communale ou intercommunale pourrait être de nature à accélérer ce phénomène d'intégration.

Comment sont gérés les lacs ?

► SILA • Audrey Klein, CIPEL •

Les lacs sont porteurs d'enjeux variés et essentiels pour nos sociétés. Leur inventaire (voir question 7-02 : *Quels sont les grands enjeux de la gestion des lacs ?*) a permis d'entrevoir toutes les thématiques que peut recouvrir la gestion d'un lac et de son bassin versant. Les moyens et outils pour les gérer sont nombreux.

Différents niveaux de réglementation

La gestion d'un lac passe inévitablement par l'**application des différentes législations**, européennes et nationales, qui se rapportent aux milieux naturels, à la qualité de l'eau, à l'aménagement des berges, aux loisirs... Compte tenu des spécificités des grands lacs alpins, des déclinaisons locales à ces textes nationaux sont parfois possibles, comme pour la navigation ou la pêche.

Un niveau d'organisation supplémentaire existe pour la rive suisse du Léman avec la présence de trois cantons. Ces derniers sont à même d'édicter des législations spécifiques, qui tendent à traiter la thématique eau et milieu aquatique de manière globale et intégrée. Ils peuvent également s'accorder sur des sujets transversaux comme la régulation des eaux du lac ou encore la pêche (actes intercantonaux ou concordats).

La gestion d'un lac passe également par des **mesures réglementaires locales**. Un schéma directeur permet de fixer des règles précises pour une cohabitation harmonieuse entre les multiples activités présentes.

La protection d'espèces sensibles ou de milieux remarquables peut se faire par l'instauration de réserves naturelles ou d'arrêtés préfectoraux de protection de biotope. Des arrêtés plus spécifiques sont parfois pris pour répondre à certaines problématiques. Par exemple, la plongée est interdite en hiver sur certains sites bien localisés de reproduction de l'omble chevalier afin d'éviter toute perturbation.

Une gouvernance partagée entre tous les acteurs

À l'exception du lac d'Aiguebelette, les grands plans d'eau alpins français appartiennent à l'État. Au quotidien, une collaboration étroite est établie entre les services de l'État et les collectivités locales, de plus en plus porteuses d'actions.

Les usages sont également nombreux et croissants (loisirs, navigation, sports, activités économiques...).

Dès lors, la gestion des lacs et de leur bassin versant requiert des instances capables de réunir toutes les parties prenantes (photo 1). Si leur organisation et leur dénomination varient selon les lacs (commission consultative, commission lac et prospective, comité de bassin), les objectifs sont identiques : informer et concerter sur les décisions et projets en cours. Les intérêts des uns sont parfois opposés à ceux des autres, mais ce type d'échanges permet le plus souvent de prévenir et de résoudre les conflits d'usages.

Des actions ambitieuses à l'échelle du bassin versant

Historiquement limitée au seul plan d'eau, la gestion d'un lac passe désormais par une vision globale de son bassin versant, compte tenu des nombreuses interactions avec ce dernier. Préserver et améliorer l'état écologique des milieux aquatiques, tout en garantissant les usages, nécessite d'intervenir dans de nombreux domaines. Ces actions peuvent faire l'objet d'initiatives ponctuelles ou être le fruit de programmes plus globaux.

Les **contrats de milieu** sont aujourd'hui largement déployés autour des lacs alpins. Cet outil associe une structure animatrice, des maîtres d'ouvrage et des financeurs, dans un souci de cohérence et d'efficacité. Des études préalables permettent de définir un programme d'actions, validé par tous, puis mis en œuvre sur une période de 4 à 5 ans.



Photo 1 – Réunion de la commission lac et prospective du lac d'Annecy, qui rassemble régulièrement au SILA plus de 150 personnes morales liées au plan d'eau : collectivités, administrations, associations, riverains, clubs sportifs, pêcheurs, professionnels de la navigation et des loisirs (© SILA)



Photo 2 – Réunion du comité Natura 2000 du CISALB en 2013 (© CISALB)



Photo 3 – Les roselières de Chens-sur-Léman, site Natura 2000 (© SYMASOL - 2010)

Le **dispositif Natura 2000** permet quant à lui de préserver des espèces ou des habitats d'intérêt européen à partir d'un document de planification. Les activités anthropiques (humaines) sont maintenues, si nécessaire en les adaptant pour les rendre compatibles avec la conservation du patrimoine naturel. Des sites Natura 2000 sont présents sur les territoires des 4 lacs, certains intégrant le plan d'eau et/ou ses rives (marais, roselières).

La gestion par bassin versant progresse en Suisse, mais sans véritable cadre législatif au niveau fédéral. Pour autant, les acteurs de l'eau reconnaissent tous l'intérêt de l'approche intégrée par bassin versant. Des outils de planification à l'échelle de bassin versant sont développés, comme c'est le cas à Genève, avec les **Schémas de Protection, d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SPAGE)**, basés sur le modèle du SAGE français (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux).

Ce qu'il faut retenir

Au quotidien, la gestion des lacs passe par une articulation entre une réglementation commune à tous, des spécificités locales et des programmes d'actions engagés par les gestionnaires. Toutes ces démarches associent l'ensemble des acteurs dans le cadre d'une gouvernance partagée.

Comment gérer un lac transfrontalier ?

► Audrey Klein, CIPEL •

Au début des années 1950, scientifiques, médecins, pêcheurs, suisses ou français, font le même constat : le Léman va mal! Ils décident alors d'unir leurs forces pour sauvegarder le lac (voir question 7-01 : *Quels ont été les actes fondateurs de la protection des lacs ?*). L'eau du Léman n'a dès lors plus de frontières.

Pour le Léman, c'est concrètement unir par-delà les frontières

Deux pays (la Suisse et la France), trois cantons (Vaud, Valais, Genève), deux départements (Ain, Haute-Savoie) et 543 communes ! Autant de disparités géographiques et culturelles qui font la richesse et la diversité d'une institution intergouvernementale comme la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (CIPEL) et la commission internationale pour la pêche dans le Léman.

Au-delà des frontières administratives, gérer un lac transfrontalier implique une réelle coordination entre deux systèmes de gestion de l'eau, parfois différents mais aussi complémentaires, avec pour objectifs communs : la préservation du lac pour garantir la pêche, l'alimentation en eau potable et la baignade.

La CIPEL s'occupe des eaux du lac

Alors que les premiers programmes de surveillance franco-suisses débutent sur l'ensemble du lac au début des années 1960, il faudra attendre trois décennies pour prendre conscience de la nécessité de gérer le lac à l'échelle de son bassin versant.

La CIPEL est chargée de surveiller l'évolution de la qualité des eaux du Léman, du Rhône et de leurs affluents :

- elle organise et fait effectuer toutes les recherches nécessaires pour déterminer la nature, l'importance et l'origine des pollutions. Elle exploite le résultat de ces recherches en s'appuyant sur des laboratoires de recherche ou d'analyse français et suisses ;
- elle recommande aux gouvernements les mesures à prendre pour remédier à la pollution actuelle et prévenir toute pollution future ;
- elle étudie toute question concernant la pollution des eaux, y compris celle des affluents du lac.

La convention d'Émosson

Depuis la construction du barrage suisse d'Émosson, les eaux françaises de l'Arve sont détournées dans le Léman. La convention d'Émosson de 1963 prévoit une restitution de 87 millions de m³ de cette eau à la France pour maintenir la navigation sur le Haut-Rhône et assurer le refroidissement des centrales nucléaires françaises lors des étiages sévères. Cette restitution se fait sous réserve de maintenir les niveaux hauts et bas du lac, et de faciliter l'utilisation des lâchures par les usines situées sur le Rhône genevois.

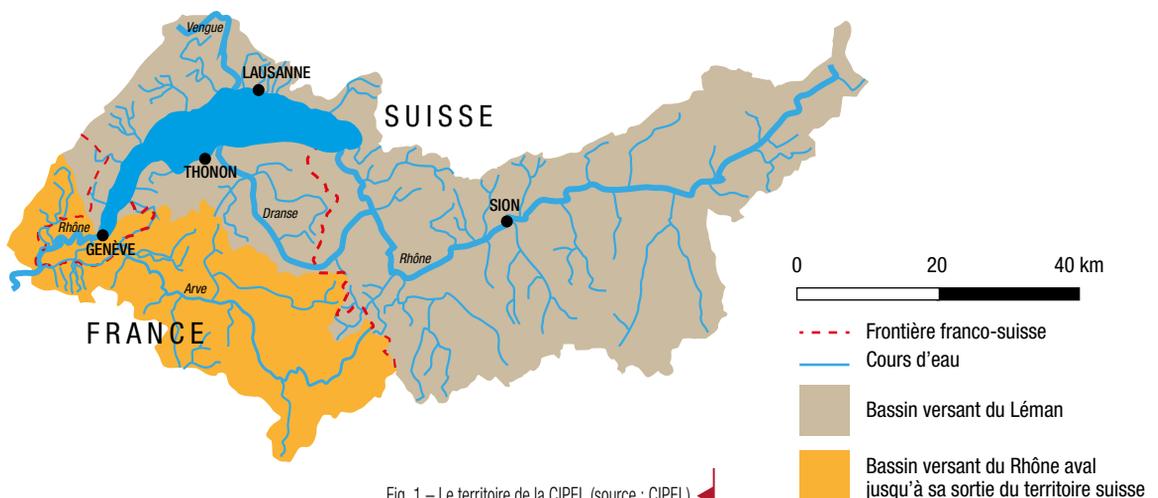


Fig. 1 – Le territoire de la CIPEL (source : CIPEL) ◀



Photo 1 – Émosson des six Jeurs
(© Électricité d'Émosson SA)

La commission internationale pour la pêche dans le Léman s'occupe des questions relatives à la gestion de la pêche

La région lémanique présente une grande diversité de traditions de pêches, d'habitudes alimentaires et économiques. Le Léman est par ailleurs loin d'être un plan d'eau uniforme. Les zones de pêche sont donc elles aussi variables.

Si cette diversité constitue une richesse, elle rend aussi difficile la mise en application de modalités de pêches uniformes sur l'ensemble du plan d'eau. Et pourtant, la nécessité de gérer en commun les ressources piscicoles s'est fait ressentir depuis longtemps.

Depuis 1996, un règlement international franco-suisse commun définit en détail la pêche dans le lac. Il présente l'avantage d'être directement applicable par les pêcheurs des deux pays et de supplanter ainsi l'ancienne réglementation nationale. Il constitue ainsi une première dans l'histoire halieutique du Léman.



Photo 2 – Pêche au Léman (© L. Giusti – Onema UOL)

Ce qu'il faut retenir

La gestion transfrontalière des eaux du Léman n'a cessé de se renforcer au fil des décennies. Le Léman est un bel exemple de collaboration franco-suisse réussie où chaque pays a su tirer des enseignements en matière de gestion de l'eau. La persévérance et la solidarité de tous les acteurs de l'eau du bassin lémanique seront un gage de réussite pour relever les défis du XXI^e siècle.

Gérer et protéger un lac : combien ça coûte et combien ça rapporte ?

► Rachel Baguet, Agence de l'Eau RMC • Audrey Klein et Magali Condamines, CIPEL •

Si le bien-être collectif que nous procure une bonne qualité de leurs eaux n'a pas de prix, la protection des grands lacs alpins coûte en moyens financiers et humains. Au-delà des retombées économiques positives liées à la pêche et au tourisme, la prévention est un moyen parmi d'autres de faire des économies! Ressource en eau potable et tourisme sont deux exemples qui illustrent cette notion de bénéfice.

L'eau n'est pas gratuite!

Ce geste banal que fait chacun de nous lorsqu'il ouvre son robinet pour boire un verre d'eau, nous ferait presque oublier que cela n'a pas toujours été le cas en France et que cela ne l'est pas encore dans une grande partie du globe. Pouvoir profiter d'une eau abondante et de bonne qualité chez soi a un coût qui comprend les différentes étapes du circuit de l'eau.

Pour qu'elle soit propre à la consommation, l'eau subit un certain nombre de traitements (photo 1), ce qui permet à tous d'ouvrir son robinet et de boire, se laver... Il est également nécessaire d'assurer, via des pompages et des réseaux de distribution, l'alimentation pour l'industrie ou l'agriculture. La tarification du service d'eau et d'assainissement répond au principe que l'on appelle pollueur-payeur. L'objectif est d'inciter l'utilisateur du service à être vigilant quant à sa pollution puisqu'il paie à hauteur de ce qu'il consomme et pollue.

Consommer une eau de bonne qualité a donc un coût qui correspond à celui payé par le consommateur. Ce coût est d'autant plus élevé que la qualité de l'eau prélevée dans l'environnement est dégradée. En France, en 2011, ce prix du service d'eau et d'assainissement était estimé en moyenne à 3,66 € TTC/m³. Sur la base d'une consommation moyenne de 120 m³ par an par ménage, la part de la facture d'eau est estimée à 1,23 % du revenu moyen d'un ménage.

On comprend donc l'intérêt de la protection de la ressource en eau et en particulier celle des grands lacs alpins. Autour de ceux-ci en effet, une grande partie de l'eau consommée est directement pompée dans les lacs (voir question 5-06 : *L'eau des lacs est-elle utilisée pour la consommation humaine ?*). La qualité générale actuelle de cette eau lacustre permet de la distribuer avec un traitement minimum.



Photo 1 – Arrivée de l'eau brute dans la couronne de départ du traitement de l'Unité de Production d'Eau potable de Mémard à Aix-les-Bains (© Services techniques d'Aix-les-Bains)

Peut-on éviter certains coûts ?

Oui, grâce à la lutte à la source ! Citons 2 exemples très concrets :

- protéger un milieu plutôt que le restaurer après des pollutions permet d'éviter des coûts importants. La protection d'une ressource est toujours moins coûteuse que sa remise en état. Ainsi, les travaux de restauration engagés depuis une cinquantaine d'années sur le Léman, les lacs du Bourget et d'Annecy ont coûté globalement plusieurs centaines de millions d'euros ;
- de manière très individuelle, chacun peut agir à son niveau, par exemple en étant vigilant à sa consommation d'eau, ce qui diminuera sa facture d'eau, mais réduira également la quantité d'eau pompée dans les lacs.

En général, il est 2,5 fois moins cher de mettre en place des mesures de protection de la ressource (lutte contre les pollutions agricoles) sur des aires d'alimentation de captage d'eau potable plutôt que de traiter l'eau afin qu'elle soit potable.



Photo 2 – Plage du Souget, lac d'Aiguebelette © GRAIE

Est-ce que ça rapporte ?

Les lacs alpins permettent le développement d'une économie locale souvent dynamique (voir chapitre 5 : *Importance économique et usages des lacs*). Que ce soit la pêche professionnelle, le tourisme ou les activités de détente et de loisirs (photo 2), ces secteurs sont générateurs de revenus liés aux lacs et à leur bon état.

- L'attractivité de l'offre touristique des lacs alpins est bien sûr renforcée par la proximité des Alpes elles-mêmes, lieux de randonnées et de sports divers (parapente, sports en rivière).
- La capacité d'hébergement touristique du seul lac d'Annecy est de 50 690 lits touristiques marchands, ce qui représentait en 2013 un chiffre d'affaires minimal d'environ 330 M€ dont 70 M€ pour le tourisme d'affaires.
- Plus d'une centaine de pêcheurs professionnels vivent de leur activité sur le Léman, le lac du Bourget et d'Annecy, sans compter les activités de restauration associées.
- Le poids économique des emplois inhérents aux activités de loisirs liées à l'eau des lacs alpins correspond à environ 15 M€ par an.

Beaucoup diront que la simplicité d'une après-midi au bord de l'eau et la beauté d'un paysage lacustre non défiguré par l'urbanisation, procurent un bien-être qui n'a pas de prix.

Ce qu'il faut retenir

La protection des lacs mobilise financièrement tous les usagers. Que cette action soit restauratrice ou préventive, elle est bénéfique pour le bon état des lacs et pour la satisfaction des usages qui vont de l'alimentation en eau potable jusqu'aux activités récréatives. Avoir un lac en bon état permet un développement équilibré du territoire.

Pourquoi n'a-t-on pas accès à toutes les rives des lacs ?

► Paul Külling, DGE, Canton de Vaud • Marie Bar, Conservatoire du littoral • Camille Pousse et Renaud Jalinoux, CISALB •

La volonté et le besoin légitime de la population d'accéder aux rives des lacs sont relativement récents. Autrefois, les rives étaient plutôt considérées comme des milieux insalubres, humides, infestés de moustiques; leur utilisation se limitait à des fins de pêche ou de transport. Aujourd'hui, les rives des lacs sont souvent privatisées. Une réglementation et des démarches locales visent à favoriser l'accès aux lacs.

Les rives des lacs peuvent être inaccessibles

Les rives des lacs peuvent être inaccessibles du fait de la topographie ou de la présence d'infrastructures de transport. Certaines rives sont protégées pour leur richesse environnementale compte tenu de leurs caractéristiques topographiques.

Ainsi, le versant ouest et abrupt du lac du Bourget, appelé côte sauvage, est rendu quasiment inaccessible. Les roselières lacustres situées au sud du lac du Bourget sont quant à elles protégées de tout accès du public par un arrêté préfectoral de protection de biotope.

Les rives des lacs, des parcelles devenues très prisées

L'intérêt de la population d'accéder à la rive pour les loisirs et la baignade s'est développé seulement vers la fin du XIX^e – début XX^e siècle, période qui a également vu la réalisation d'infrastructures de transport, chemins de fer, routes, autoroutes, souvent sur une mince bande directement sur la rive. Le souhait d'une propriété à proximité de l'eau a mené à l'achat par des propriétaires privés de parcelles en bord de lac pour la construction de résidences, souvent de vacances.

La pression humaine sur les rives s'est accentuée au courant du XX^e siècle, les résidences privées occupant bientôt une bonne partie du linéaire de la rive.

Cette évolution s'est encore renforcée en ce début de XXI^e siècle avec une augmentation importante de la population autour des lacs, le morcellement des parcelles privées, afin de répondre à la très forte demande de propriétés «les pieds dans l'eau».

L'accès pour le grand public aux rives devient de plus en plus restreint. Il se limite aux rives en domaine public ou inconstructible pour des raisons de protection de la nature.

Ces privatisations des rives sont sources de tensions, ce qui a nécessité la mise en place de réglementations et la mise en œuvre de politiques volontaristes pour permettre à chacun de se réapproprier le lac.



Photo 1 – Rive densément bâtie, inaccessible au public (© État de Vaud, J.-M. Zellweger) ◀

L'encadrement de l'usage des rives

Côté suisse, cette évolution s'est accompagnée par le développement d'un cadre légal, comme la «loi sur le marchepied» de 1926 du canton de Vaud. Elle donne un droit d'accès au bord du lac pour les navigateurs et pêcheurs sous forme d'une bande de 2 m de large, maintenue libre de toute construction ou autre obstacle à la circulation.

Les concessions sur le domaine public du lac, délivrées par l'administration cantonale vaudoise pour des installations privées comme des ports ou des enrochements, sont accompagnées d'une servitude de passage pour tout public en rive du lac sur la parcelle concernée afin de créer, à terme, un cheminement public.

Le canton de Vaud a approuvé en 2000 le plan directeur des rives vaudoises du Léman qui prévoit notamment un cheminement pédestre public à mettre en place sur la rive.

Côté français, l'intérêt porté à cette problématique par l'État est ancien. Dès 1669, une ordonnance royale des eaux et forêts instituait une servitude de marchepied le long des cours d'eau navigables. L'usage de cette servitude, initialement réservée aux nécessités de la navigation (halage), a été étendu aux pêcheurs en 1965, puis en 2006 à tous les piétons.

Cette servitude impose (en théorie!) aux propriétaires riverains de laisser libre de toute entrave une bande de 3,25 m de large, accessible sans danger. Exceptionnellement, cette largeur peut être réduite à 1,50 m. Cette distance est mesurée à partir de la berge du lac (niveau des plus hautes eaux en dehors des crues exceptionnelles) mais peut s'en écarter en raison de la nature du terrain, le marchepied devant pouvoir être pratiqué sans danger.



Photo 2 – Exemple de densification de l'urbanisation de la rive – 2004 (© État de Vaud, J.-M. Zellweger)



Photo 3 – Exemple de densification de l'urbanisation de la rive – 2010 (© État de Vaud, J.-M. Zellweger)

La demande croissante d'accès au lac par le grand public s'est notamment traduite, sur le lac du Bourget, par la création d'un cheminement lacustre « à fleur d'eau » sur 4,5 km par le Conseil général de la Savoie.

À Aiguebelette, le lac étant privé, il n'existe pas de servitude de marchepied. La communauté de communes a créé en 1976 une zone d'aménagement différé qui lui a permis d'user de son droit de préemption sur des propriétés privées pour favoriser les aménagements autour du lac. Dans le même temps, un plan d'occupation des sols intercommunal (PLU) a été mis en place permettant une vraie cohérence dans la stratégie d'aménagement des berges.

Ce qu'il faut retenir

Les rives des lacs alpins représentent un paysage, un milieu naturel, un lieu de détente et de loisirs d'une très grande qualité. L'occupation croissante de ces rives ces 100 dernières années par des infrastructures et propriétés privées a considérablement limité l'accès au public. L'augmentation importante de la population nécessite une gestion durable et responsable des accès aux rives des lacs alpins. Cet enjeu doit être géré par les administrations et entités publiques concernées afin de garantir à long terme la préservation de ce bien inestimable pour la population.

Que se passe-t-il en cas de pollution accidentelle sur les lacs ?

► David Gysler, État de Genève • Audrey Klein, CIPEL •

Des déversements accidentels d'hydrocarbures ou de substances chimiques sont de nature à polluer les lacs et nécessitent l'intervention des centres de secours.

Les centres d'intervention sont bien préparés à ce genre d'accident et la prise en compte de l'environnement devient une préoccupation grandissante au sein du corps des sapeurs-pompiers.

Identifier l'origine de la pollution

Les pollutions qui peuvent affecter les lacs alpins sont parfois de nature accidentelle ou dues à de mauvaises manipulations, assimilables à de la négligence ou consécutives à des accidents routiers, ferroviaires ou aériens, ou encore à la suite d'épisodes météorologiques violents.

Un événement naturel peut provoquer une pollution par la destruction d'un axe routier ou ferroviaire. Un éboulement pourrait ainsi éventrer et précipiter dans le lac un train de marchandises contenant des matières dangereuses. Les crues peuvent aussi générer des pollutions importantes, par rupture de conduites d'eaux usées ou inondation d'entrepôts. En janvier 1997, la



Photo 1 – Voie ferrée longeant le lac du Bourget (© CISALB) ◀

rupture d'un pipeline de fuel domestique avait provoqué une pollution de la Leysse. À l'embouchure dans le lac, à proximité du domaine de Buttet, zone protégée de 90 ha et propriété du Conservatoire du littoral, avait été installé le PC antipollution des pompiers. Leurs camions avaient pompé plusieurs centaines de m³ de fuel, retenus par six barrages filtrants au fil de l'eau.

Des moyens d'intervention en fonction de la nature des pollutions et de la zone impactée

Lors d'événements accidentels, plusieurs facteurs concourent à ce que la pollution soit circonscrite le plus rapidement et le plus efficacement possible. La lutte contre le temps doit s'organiser afin que l'atteinte à l'environnement influe de la manière la moins durable. Il est essentiel de connaître rapidement la nature du produit incriminé, pour autant qu'il n'y en ait qu'un seul, de même qu'une estimation du volume écoulé et les particularités telles que la miscibilité* avec l'eau ou les changements d'états envisageables. Ces éléments orientent la conduite de l'intervention et permettent d'engager la lutte contre la pollution de manière la plus adéquate possible.

Un point essentiel est l'accessibilité à la zone concernée afin de reconnaître l'ampleur de la situation, les conditions météorologiques ambiantes et d'envisager les développements possibles afin d'anticiper la suite de l'engagement. Il y a lieu d'effectuer des prélèvements et d'engager les premières mesures actives telles que l'installation de barrages flottants et l'épandage de produits absorbants afin de concentrer le produit pour sa récupération.

Il est évident que dans les cas où la miscibilité avec l'eau est avérée, la lutte prend une toute autre tournure puisqu'il n'est que très rarement possible d'interagir efficacement.

Dans la région lémanique, le matériel de lutte contre les pollutions est compatible et interopérable entre la Suisse et la France. C'est au sein de la CIPEL que cette interopérabilité intercantonale et internationale est organisée afin qu'en cas de besoin, les intervenants n'aient pas à se soucier de questions administratives mais puissent agir au plus vite.



Photo 2 – Pose de barrages flottants sur le Léman (© CIPEL)

Prévenir plutôt que guérir

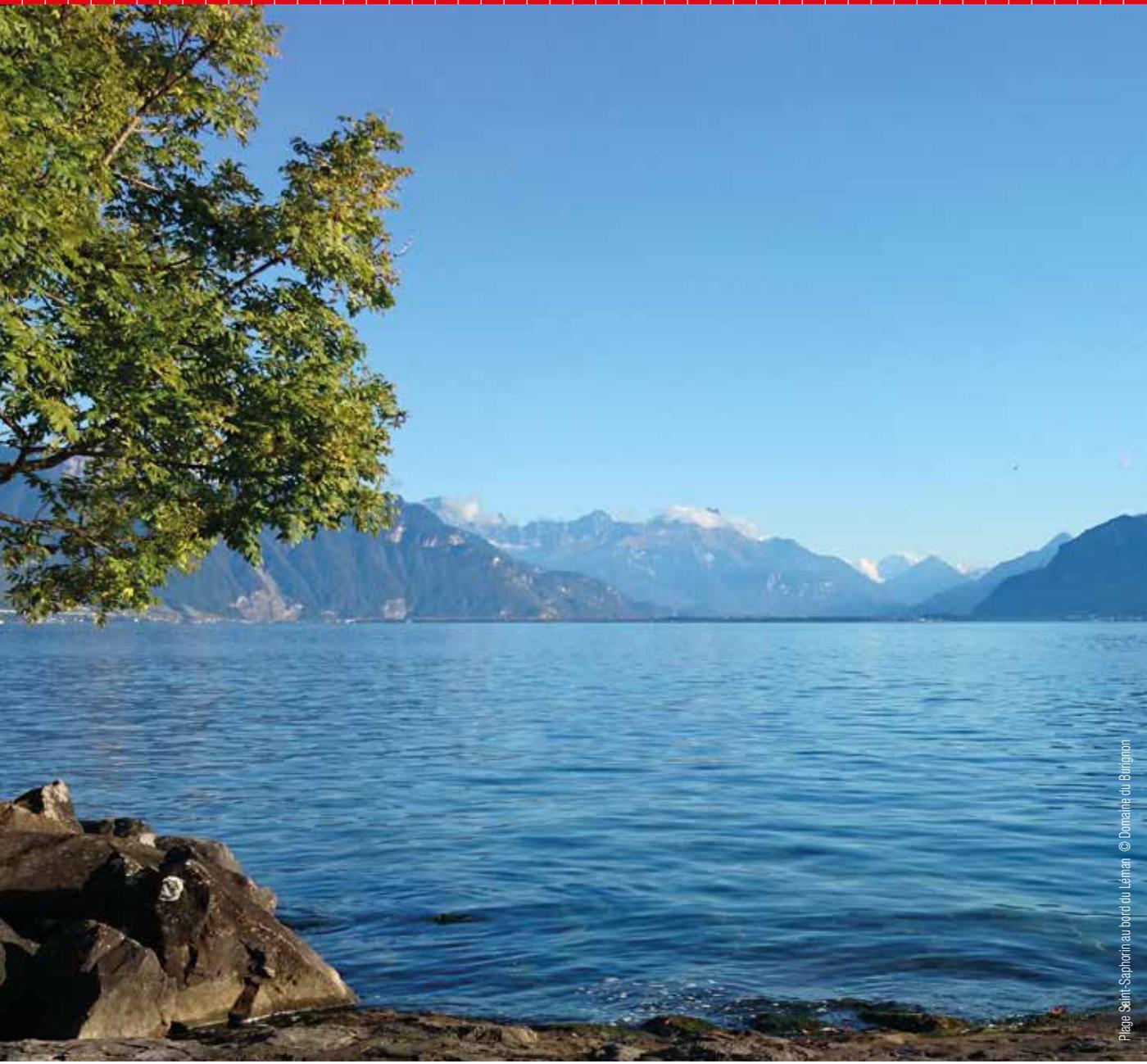
Force est de constater que les comportements ont évolué positivement face à l'environnement par l'accroissement des connaissances, au travers d'enseignements scolaires et de campagnes d'information. Cependant, notre environnement de plus en plus technologique comporte des risques de plus en plus élevés. C'est la raison pour laquelle l'adage « prévenir vaut mieux que guérir » est plus que jamais d'actualité.

Il est important que les collectivités recensent ces risques, évaluent leur occurrence et planifient les interventions afin que le moment venu, le cadre général soit connu, posé et que les intervenants puissent agir de la manière la plus adéquate.

Ce qu'il faut retenir

Suivant la gravité de la pollution et la nature des polluants, les moyens déployés pour confiner la pollution peuvent être de différentes natures. L'ampleur des dégâts peut aussi fortement varier suivant les conditions météorologiques, le lieu de l'accident et son origine, la proximité de zones sensibles comme un captage pour l'alimentation en eau potable, une zone de baignade ou un site naturel sensible.

Miscibilité Capacité de divers liquides à se mélanger.



Plage Saint-Saphirin au bord du Léman © Domaine du Barignon

Changement global

Quel avenir pour les lacs dans un demi-siècle ?

► Thomas Pelte, Agence de l'Eau RMC •

*Ô poétique mer ! Il est dans cet esquif
Plus d'un cœur qui comprend ton murmure plaintif.*

Ces deux vers empruntés à Alphonse de Lamartine pour désigner le Léman (extrait de *Ressouvenir du lac Léman*) expriment, de façon imagée, l'attrait des lacs conjugué à leur vulnérabilité, deux facteurs qui caractérisent ces milieux aquatiques. Leur position de réceptacle de bassins hydrographiques et le renouvellement lent de leur eau expliquent que ces milieux se comportent comme des réacteurs qui intègrent les pressions auxquelles ils sont soumis. Ils peuvent très rapidement être dégradés. Leur restauration et leur convalescence s'avèrent en général extrêmement longues, de l'ordre de plusieurs décennies.

Après environ 40 années consacrées à maîtriser les pressions connues sur les grands lacs, il est aujourd'hui pertinent de s'interroger sur les décennies futures et les menaces nouvelles d'ores et déjà constatées ou pressenties.

Pour les grands lacs alpins, un adage s'impose plus que tout autre : mieux vaut prévenir que guérir

La prise de conscience de la vulnérabilité des grands lacs alpins a été liée aux incidences de l'eutrophisation* au milieu du xx^e siècle (voir question 7-01 : *Quels ont été les actes fondateurs de la protection des lacs ?*). C'est l'enjeu qui a mobilisé les décideurs locaux pour engager des actions destinées à maîtriser les menaces. Le premier niveau de réponse a été essentiellement de l'ordre de l'ingénierie : construction d'ouvrages de collecte, traitement et évacuation des pollutions, aménagements divers.

Aujourd'hui, la tendance à la dégradation a été infléchie et les ressources sont préservées. L'ingénierie, mobilisée initialement sur la question du traitement des pollutions organiques, s'est développée sur d'autres domaines d'intervention : pollutions diffuses agricoles, renaturation écologique, micropolluants.

Des menaces de natures nouvelles sont d'ores et déjà identifiables

Les vecteurs de dissémination d'espèces invasives sont beaucoup plus importants depuis environ 20 ans

Les territoires mondiaux sont interconnectés, les populations saisonnières augmentent sur les bassins versants des lacs, les flux de véhicules sont croissants. Il n'est donc pas étonnant de voir apparaître des espèces qualifiées d'exotiques dans les écosystèmes lacustres, milieux pourtant peu ouverts.

Les biologistes observent une progression inquiétante du nombre d'espèces invasives recensées en Europe (1500 espèces), laissant imaginer dans les prochaines décennies la disparition d'espèces autochtones ou encore une réduction de la biodiversité et des habitats (voir question 2-07 : *Les espèces invasives sont-elles dangereuses ?*).



Photo 1 – Renouée du Japon au bord du lac du Bourget (© CICALB)



Photo 2 – Région de Morges et Lausanne au nord et les Alpes savoyardes au sud
(© J.-M. Zellweger)

Le changement climatique en cours est avéré par les climatologues mondiaux

Les grands lacs alpins sont très concernés par les incidences possibles du changement climatique (voir question 8-02 : *Comment observer les changements à long terme?* et question 8-03 : *Les lacs sont-ils menacés par le changement climatique?*). D'une part, la température joue un rôle majeur de contrôle dans les multiples processus d'un écosystème lacustre. D'autre part, l'échelle temporelle d'évolution et de restauration des lacs, de l'ordre de plusieurs décennies, est aussi celle du changement climatique.

Les scientifiques et gestionnaires observent déjà des tendances évolutives tant sur les lacs que sur le bassin hydrographique qui les alimente, laissant supposer une influence majeure sur leur avenir. Par exemple, le maintien de l'omble chevalier, poisson d'eau froide emblématique des lacs alpins, serait menacé par un réchauffement de quelques degrés.

Des lacs à nouveau oligotrophes*

Certains lacs comme le Léman et le lac du Bourget, à court et moyen terme, retrouvent un fonctionnement oligotrophe avec des conséquences pour la gestion piscicole :

- une meilleure reproduction naturelle, interrogeant les politiques actuelles d'alevinage;
- une production globale des lacs moins importante et une croissance des poissons qui sera moins rapide qu'aujourd'hui, nécessitant certainement des adaptations pour les espèces les plus exploitées comme le corégone.

Des lacs de plus en plus attrayants

Cet attrait se traduit par deux phénomènes :

- la densification de la population sur les territoires alpins entraînant une extension urbaine (photo 2), accrue par l'évolution des comportements vis-à-vis de l'habitat (distance travail-domicile, résidences secondaires), engendrant un accroissement des pollutions et une régression des zones naturelles;
- la fréquentation touristique des zones de baignade tend à augmenter, posant des problèmes de surfréquentation du littoral et induisant le développement d'infrastructures nouvelles (parkings, collectes de déchets...), autant de sources d'altération possibles pour les lacs.

Eutrophisation *Enrichissement excessif du milieu aquatique en nutriments qui se traduit par l'envahissement de l'eau par une production végétale surabondante.*

Milieu oligotrophe *Pauvre en éléments nutritifs.*

Ce qu'il faut retenir

Il est difficile de proposer des scénarios pour le futur proche des lacs alpins, tant les effets combinés des pressions actuelles et futures sur les lacs sont complexes à prédire. Seule une poursuite des efforts engagés, adaptés aux futures menaces, permettra de maintenir la qualité actuelle de ces écosystèmes.

Comment observer les changements à long terme ?

► Bernard Montuelle et Marie-Elodie Perga, INRA CARRTEL • Jean-Philippe Jenny, Université Savoie-Mont-Blanc, EDYTEM •

Les lacs évoluent au cours du temps sous l'action des changements environnementaux, qui peuvent être lents (échelle du siècle) ou rapides (quelques années). Certaines évolutions sont visibles et mesurables au cours des saisons ou d'une année sur l'autre. Mais pour comprendre l'évolution d'un lac, il faut organiser les observations et les données décrivant plusieurs décennies, voire des siècles, puis les mettre en perspective : il s'agit en quelque sorte de passer d'une collection de photos à un film !

Les mesures directes : l'approche de la limnologie*

Depuis maintenant de nombreuses années, les scientifiques disposent d'outils de mesure qui permettent de caractériser l'état des systèmes lacustres, tant du point de vue de la chimie, que de la physique ou de la biologie. Avec les progrès techniques, nous sommes capables de plus en plus de précision, par exemple dans la description de la biodiversité, en biologie moléculaire (voir question 2-02 : *Y a-t-il des espèces microscopiques dans les lacs ?*) ou dans l'analyse de contaminants chimiques (pesticides, résidus de médicaments, voir question 3-03 : *Comment mesure-t-on la qualité de l'eau ?*). Actuellement, dans le cadre des suivis des lacs alpins, une trentaine de paramètres chimiques et biologiques sont étudiés de façon systématique.

À côté de cette capacité d'analyse, pour dresser une image précise de la dynamique d'un lac, il faut également organiser les prises d'échantillons (photo 1). Un suivi de qualité doit s'effectuer à un pas de temps proche de la dynamique temporelle du processus à étudier.

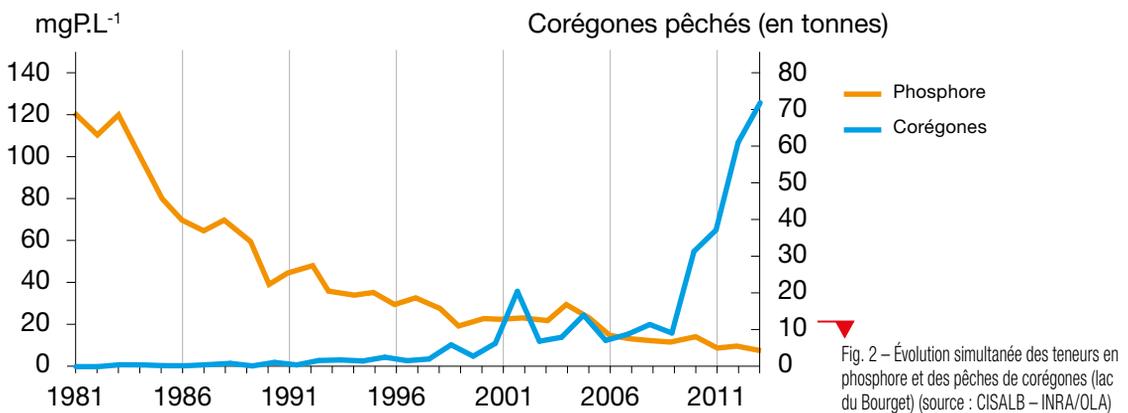
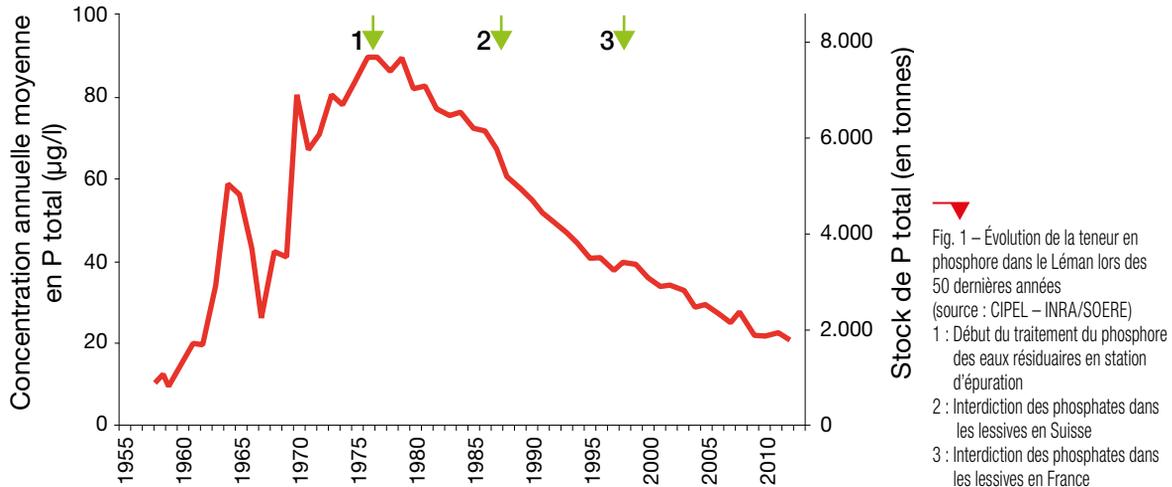
Ainsi, la compréhension de la dynamique écologique saisonnière nécessite des prélèvements fréquents, de mensuels à bi-hebdomadaires lors des saisons chaudes, pour lesquelles les changements sont rapides. Pour être comparables dans le temps, les données issues des différentes campagnes d'échantillonnage doivent aussi provenir d'un point de prélèvement commun, dont les coordonnées GPS sont relevées. Le choix du point de référence repose sur sa capacité à représenter au mieux les conditions dans la zone pélagique (pleine eau) du lac. En général, c'est le point au-dessus de la zone la plus profonde du lac, le plus éloigné de perturbations issues du bassin versant (embouchure de cours d'eau). Les données acquises de façon récurrente sur trois grands lacs (depuis 50 ans pour le Léman et le lac d'Annecy, une vingtaine d'années pour le lac du Bourget) alimentent des chroniques dont l'analyse permet d'évaluer les changements physiques, chimiques ou biologiques des lacs, et surtout les causes humaines ou naturelles de ces changements.



Photo 1 – Prélèvements effectués sur le Léman
(© INRA – C. Maître)

Ainsi ont pu être mis en évidence :

- l'efficacité des mesures prises à l'échelle du bassin versant sur la réduction des concentrations internes en phosphore (fig. 1);
- l'effet du changement climatique sur la dynamique des eaux : l'impact se traduit plutôt par des modifications de la durée de la stratification plutôt que par une augmentation unique de la température de l'eau;
- l'effet de l'amélioration de la qualité de l'eau sur les populations de corégones dans le lac du Bourget (fig. 2).



Comment faire sans mesure directe ? L'apport de la paléolimnologie

Une tendance climatique se définit sur au moins 30 ans. Comprendre l'effet du climat sur les écosystèmes nécessite des séries de données au moins aussi longues.

Pour des lacs qui subissent dans le même temps de nombreux impacts humains plus locaux, faire la part des conséquences des activités humaines sur l'état du lac par rapport aux effets climatiques, exige des séries encore plus longues. Peu de suivis sont aussi anciens et en l'absence de mesures directes, certains éléments indirects, chimiques ou biologiques, peuvent témoigner des conditions passées.

La paléolimnologie est la science qui étudie l'évolution passée des milieux aquatiques, en particulier des lacs. Sa méthode consiste à analyser les sédiments lacustres formés par l'accumulation progressive des particules qui décantent au fond du lac et qui enregistrent les conditions passées de l'environnement dans lequel ils se sont formés (voir question 1-02 : *Que nous raconte l'étude des sédiments d'un lac ?* et question 3-07 : *Que deviennent les micropolluants introduits dans les lacs ? Quels sont les risques associés ?*). Cette approche se base sur l'interprétation des informations archivées par les sédiments, telles que leur structure physique, leur composition chimique ou leur contenu en restes biologiques (débris animaux et végétaux, ADN). La reconstruction des chroniques nécessite une datation précise de ces couches.



Photo 2 – Carottage
sur le Léman
(© Laboratoire Edytem
– UMR 5204)

Les études paléolimnologiques du récent, focalisées sur les deux derniers siècles, ont montré que ces trois grands lacs, même s'ils ont été soumis au même climat, n'y répondaient pas avec la même amplitude ni avec les mêmes réponses.

Le réchauffement climatique n'exerce que des impacts faibles sur les communautés planctoniques du lac d'Annecy, qui semblent beaucoup plus dépendantes des conditions environnementales locales (limitation par le phosphore par exemple).

Au contraire, les communautés planctoniques du lac du Bourget et du Léman sont beaucoup plus sensibles au réchauffement de l'air de ces 40 dernières années. Des concentrations en phosphore plus élevées pourraient exercer sur les lacs un effet vulnérabilisant au changement climatique.

Stocker les données et les interpréter

Toutes les données issues de ces suivis sont, pour la plupart, conservées et stockées dans des bases de données informatiques, qui facilitent la recherche d'informations et l'analyse de jeux de données importants. C'est un des rôles principaux d'organisations scientifiques comme les observatoires environnementaux.

Dans le cas des lacs alpins, c'est l'Observatoire des Lacs alpins qui assure ce rôle, en partenariat avec les gestionnaires de ces milieux. Le traitement de ces quantités importantes de données fait appel à des méthodes mathématiques qui permettent de détecter les évolutions de l'écologie des lacs, de les comparer entre eux et de hiérarchiser l'importance des paramètres environnementaux et de leurs variations.

Au final, un tel outil permet donc d'établir des relations de cause à effet entre changement des facteurs de l'environnement et réponses écologiques des lacs.

On a pu ainsi identifier l'évolution des paramètres de forçage, qui expliquent l'évolution des lacs alpins :

- les changements de concentrations en phosphore (fig. 2) ou l'intensité de rempoissonnement, facteurs locaux liés à l'activité humaine sur le bassin versant ;
- les changements de température de l'eau ou d'hydrologie, facteurs globaux liés au changement climatique en cours.

L'importance relative de ces facteurs est cependant différente d'un lac à l'autre et l'évolution de chaque lac est spécifique.

Peut-on prévoir le futur ?

Au-delà de l'intérêt scientifique de compréhension et de reconstitution de la qualité passée des lacs, un des enjeux est bien la possibilité d'utiliser les données acquises pour essayer de prédire le futur des lacs pour les 50 ou 100 ans à venir (voir question 8-01 : *Quel avenir pour les lacs dans un demi-siècle ?*). L'extrapolation de ces connaissances pour imaginer l'évolution à venir des lacs est très délicate.

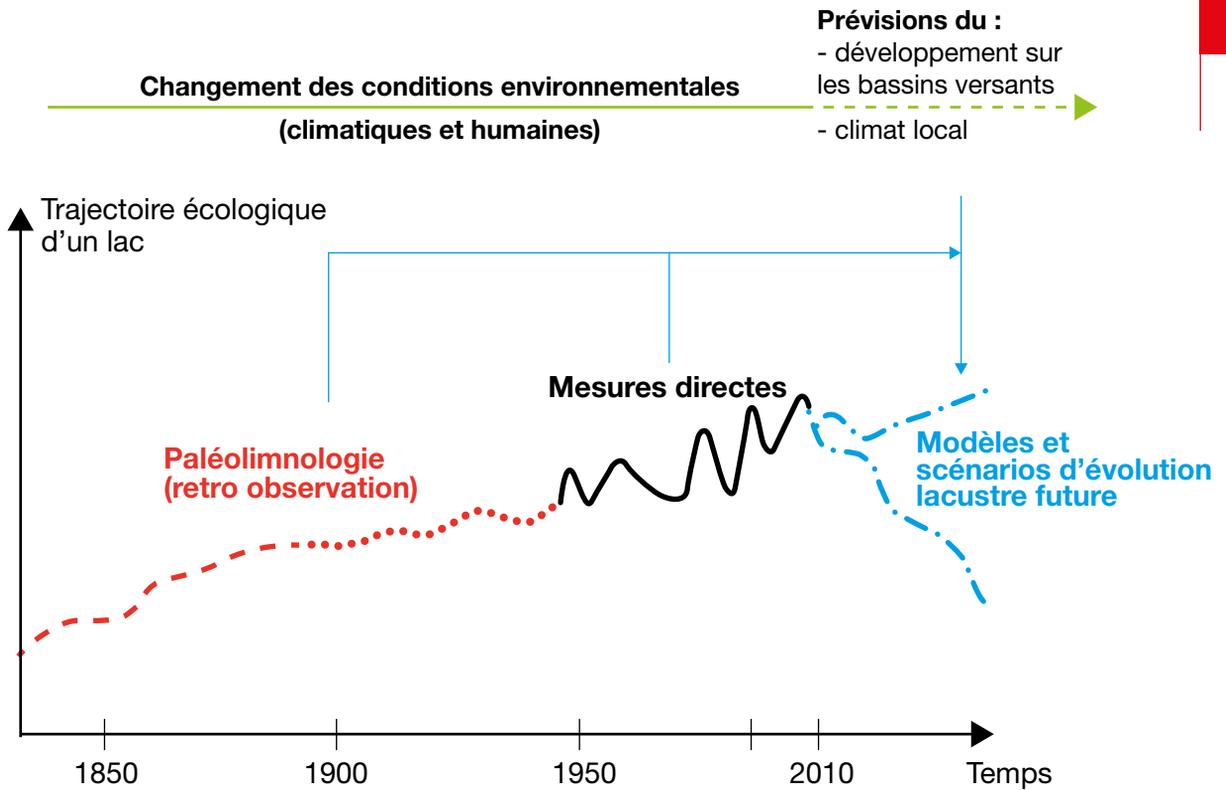


Fig. 3 – Organisation des suivis et des connaissances permettant de caractériser l'évolution des systèmes lacustres. D'après Meybeck et al. 2014

En effet, les paramètres sont multiples et relativement incertains : densité de population, climat, occupation des sols, espèces invasives. Ils sont autant de variables pour lesquelles l'incertitude qui leur est associée rend les prévisions assez hasardeuses.

Néanmoins, les connaissances acquises par l'observation sur le fonctionnement des systèmes lacustres, confrontées à des hypothèses d'évolution du développement humain (industries, zones urbanisées, tourisme...) et à l'évolution climatique sur le bassin versant de chaque lac, permettent a minima d'éclairer la prise de décisions et d'actions pour assurer une gestion durable des grands lacs (fig. 3).

Ce qu'il faut retenir

Chaque strate de sédiment a acquis une signature bio-géochimique unique lors de sa formation. Celle-ci renseigne sur les conditions passées et rend possible la reconstitution des trajectoires environnementales du lac et de son bassin versant sur le long terme.

Ce regard vers le passé permet d'estimer l'ampleur des changements actuels et d'évaluer la véritable part d'implication des facteurs de forçages environnementaux : le climat, l'érosion des bassins versants, la teneur en nutriments.

Limnologie Science des eaux continentales et des organismes qui y vivent.

Les lacs sont-ils menacés par le changement climatique ?

► Thomas Pelte, Agence de l'Eau RMC • Christophe Chaix, Observatoire savoyard du Changement Climatique, MDP73 • Orlane Anneville et Stéphan Jacquet, INRA CARRETEL •

Toute évolution des paramètres climatiques sur le long terme (température de l'air, pluviométrie, insolation, humidité) perturbe le fonctionnement des systèmes naturels. Or il est maintenant indéniable que le climat change. Les membres du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) sont unanimes : l'atmosphère se réchauffe sous l'effet des émissions anthropiques de gaz à effet de serre. Ce qui diffère des évolutions naturelles passées, c'est sa rapidité et son ampleur.

Depuis le début du xx^e siècle, les températures moyennes sur les Alpes ont augmenté de 1,5 à 2 °C. Ce réchauffement, en forte progression depuis les années 1980, devrait continuer et s'accélérer après 2050.

Les futurs possibles décrits par les climatologues

Les informations apportées par la science sur le changement climatique futur sont issues de modélisations climatiques, paramétrées avec des niveaux de gaz à effet de serre sur des horizons temporels différents (2030, 2070). Ces projections renseignent sur l'évolution probable de certains paramètres climatiques comme la température moyenne de l'air, les précipitations, l'évaporation, le rayonnement. Ces projections globales sont régionalisées puis traduites en impact au niveau régional, sur l'environnement, les écosystèmes, et les activités humaines. Il ne s'agit donc pas de prévisions, mais plutôt de futurs possibles avec de multiples incertitudes qu'il faut naturellement prendre en compte.

Dans les Alpes, les modèles s'accordent sur une hausse des températures de l'air de 4 °C pour la fin du siècle. Les précipitations estivales baisseraient, les sols s'assècheraient, les débits des cours d'eau diminueraient de 20 à 50 % d'ici 2050 en période de basses eaux. La durée d'enneigement devrait également baisser fortement sous 2000 m, de -15 à -30 % d'ici 2030, jusqu'à -60 à -80 % vers la fin du siècle. Le pic de fonte de neige devrait reculer d'un à deux mois dans l'année, avec des conséquences fortes sur l'hydrologie des rivières et des lacs.

Les lacs se réchaufferaient aussi. Pour les lacs profonds, les températures des eaux proches de la surface augmenteraient plus qu'en profondeur, intensifiant le gradient de température dans la zone intermédiaire dite métalimnion* (voir question 1-04 : *Quand les lacs se retournent-ils dans leur cuvette ?*). La stratification thermique* se mettrait en place plus tôt et se maintiendrait plus tard dans l'année. Enfin, l'augmentation des températures du fond laisse penser que les brassages complets seraient moins fréquents, avec des conséquences écologiques importantes. Ils pourraient néanmoins avoir lieu à des températures plus élevées en raison d'hivers plus cléments.

Les données historiques confirment le phénomène

Malgré les incertitudes qui accompagnent ces projections scientifiques, la menace pour les lacs alpins est réelle, d'autant que les effets du changement climatique commencent à se manifester dès à présent. Les tendances observées depuis 30 ou 50 ans confortent les résultats annoncés par les modèles climatiques. Au cours des

dernières décennies, la température de l'eau de surface des lacs a augmenté parallèlement aux températures de l'air. La période de stratification thermique s'est également étendue : en 30 ans, elle s'est avancée d'environ un mois sur l'année hydrologique du Léman et disparaît plus tard

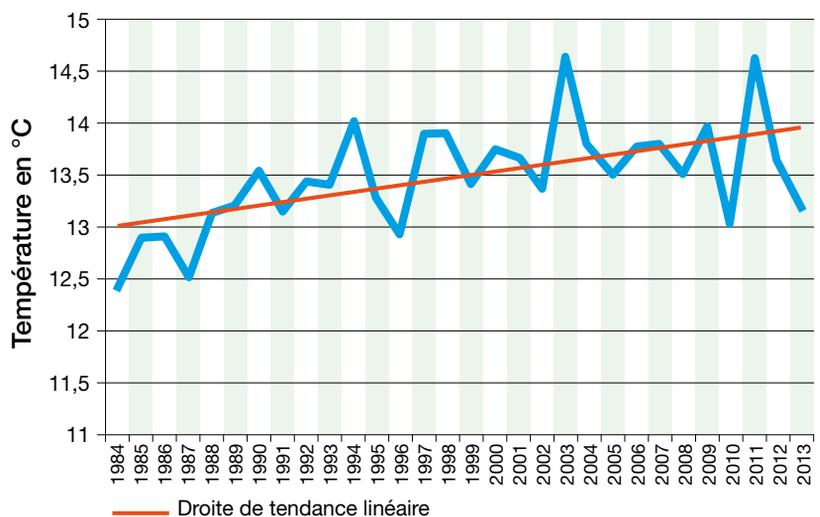


Fig. 1 – Températures moyennes annuelles en °C mesurées au centre du lac du Bourget à 2 m de profondeur entre 1984 et 2013. (source : base de données SOERE-INRA de Thonon-les-Bains, données CISALB-INRA, CALB, traitement OsCC MDP73)

dans l'année. L'évolution annoncée des températures de l'air pour les décennies à venir devrait intensifier ces phénomènes. C'est en tout cas ce que les modèles mathématiques laissent présager. Pour donner un ordre d'idée, si l'effet de serre continue d'augmenter à ce rythme, il est possible que l'augmentation annuelle des températures du fond du Léman jusqu'à 20 m de profondeur prenne 2 °C et près de 3 °C en surface. La période de stratification serait alors plus longue d'environ 3 semaines et les brassages complets seraient moins fréquents.

Les changements d'hydrologie sont également une menace réelle. Ainsi, pour le lac du Bourget, le temps de renouvellement des eaux par les rivières est passé de 7 à 10-11 ans en 30 ans (période 1980-2011), notamment du fait de la baisse des débits de la Leysse et du Sierroz.

Un écosystème vulnérable

La vie aquatique et la qualité écologique des lacs sont fortement contrôlées par la température de l'eau, la stratification thermique et les brassages hivernaux. Le mélange des eaux est très important car

il entraîne la réoxygénation des couches profondes à partir de la surface et la remise à disposition des nutriments qui avaient été minéralisés dans les couches inférieures. Dans des conditions où il y a suffisamment d'oxygène en profondeur, le phosphore reste au fond du lac et peut être piégé dans les sédiments. Ce phosphore peut à l'inverse être resolubilisé à partir des couches profondes si l'oxygénation y est insuffisante. Si l'évolution de l'hydrodynamique des lacs se confirme et que le réchauffement climatique réduit la fréquence et l'importance des brassages complets :

- les couches de surface pourraient ne plus être enrichies en nutriments à la fin de l'hiver, limitant le développement du phytoplancton au printemps;
- les couches profondes, enrichies en nutriments par la minéralisation, voire le relargage des sédiments, renfermeront un stock en attente pouvant être remis à disposition de façon occasionnelle et contribuant ainsi à une fertilisation accrue du lac.

Les changements de dynamique et/ou d'intensité de ces paramètres modifieraient alors l'abondance et la composition des communautés, algales ou piscicoles : certaines espèces seraient favorisées au détriment d'autres moins compétitives. S'il se poursuit, le réchauffement pourrait agir également de façon directe sur la reproduction et la survie embryonnaire des poissons inféodés aux eaux froides, tels que l'omble chevalier et le corégone. Chez l'omble chevalier, le refroidissement de la température de l'eau contrôle le déclenchement de la fraie. Les températures de l'eau doivent descendre en dessous de 7 °C pour que se produisent l'ovulation et la spermiation. De fait, si les lacs ne se refroidissent plus suffisamment en hiver, la reproduction naturelle de l'omble chevalier et du corégone serait impossible. En revanche, d'autres espèces comme le gardon pourraient être favorisées par le réchauffement climatique. À long terme, dans quelques décennies, l'évolution du peuplement piscicole pourrait donc redevenir comparable à celle observée il y a 25 ans, en phase d'eutrophisation dans le Léman et le lac du Bourget.

Métalimnion *Couche intermédiaire des eaux d'un lac.*

Stratification thermique *Répartition verticale de la température dans l'eau.*



Photo 1 – Baisse du lac du Bourget lors de la sécheresse de 1976 (© CISALB)

Ce qu'il faut retenir

Le changement climatique est inéluctable, d'après les climatologues, mais la nature et l'ampleur de ses incidences restent incertaines. Néanmoins, les tendances évolutives déjà observées sur plusieurs décennies de surveillance confortent les preuves d'un réchauffement de l'eau et de modifications importantes de l'hydrodynamique des grands lacs alpins. Ce sont essentiellement les impacts attendus sur la stratification thermique et le brassage hivernal qui induiront une vulnérabilité marquée des écosystèmes lacustres et des changements écologiques.

Quels sont les effets du changement climatique sur les poissons de lac ?

► Christian Gillet et Alexis Champigneulle, INRA CARRTEL •

Le peuplement piscicole des grands lacs alpins français comprend à la fois des espèces inféodées aux eaux froides et profondes, appartenant à la famille des salmonidés (omble chevalier, corégone, truite) et des espèces vivantes, au moins pendant l'été, dans les eaux chaudes en surface : les cyprinidés (brème, carpe, gardon, chevesne, rotengle), et les percidés (perche, sandre), ainsi que le brochet. Le réchauffement climatique aura des effets très différents sur ces groupes d'espèces.

Les effets du changement climatique sur les salmonidés

Dans le cycle de vie des poissons, il existe 3 phases pendant lesquelles les individus sont très sensibles aux conditions thermiques : la période de fraie, le développement des œufs et les premiers mois de vie des larves ou des alevins.

L'augmentation de la température de l'eau peut jouer sur la reproduction des espèces

Le corégone, l'omble chevalier et la truite lacustre sont les trois espèces de salmonidés, présentes dans les lacs de la région. Ces poissons se reproduisent en hiver. Il est nécessaire que la température de l'eau s'abaisse en dessous d'une certaine valeur pour que la fraie puisse se dérouler dans de bonnes conditions.

Chez l'omble chevalier, ce seuil thermique se situe vers 7 °C. Les œufs de cette espèce se développent correctement entre 3 et 6 °C mais les mortalités embryonnaires augmentent rapidement lorsque la température dépasse 8 °C. L'alevin d'omble chevalier, au cours des premières semaines, a besoin d'une température comprise entre 6 et 8 °C. Au-dessus de 10 °C, sa croissance est ralentie et beaucoup d'individus ne s'alimentent pas.

Les exigences thermiques pour la reproduction du corégone et de la truite lacustre sont moins connues, mais ces poissons ont aussi besoin d'eau froide pendant leur reproduction.

Dans leur habitat naturel lacustre, les températures évoluent. Ainsi, celle du

La lutte contre l'eutrophisation a favorisé le développement des populations de salmonidés et a entraîné une diminution des populations des cyprinidés. Le réchauffement climatique pourrait avoir l'effet inverse.



Photo 1 – Perche (© B. Fournier)



Photo 2 – Rotengle
(© Y. Gouguenheim – Image & Rivière)

Léman est actuellement proche de 6 °C en hiver. Si le réchauffement se poursuit, elle devrait dépasser 7 °C dans quelques décennies, ce qui pourrait perturber la reproduction de l'omble chevalier. Actuellement, le corégone fraie un peu plus tard qu'autrefois, mais les œufs se développent plus vite durant l'hiver en raison de températures plus élevées. Au printemps, le zooplancton se développe plus précocement, l'eau se réchauffe plus vite, ce qui est favorable à la croissance des alevins. Dans ces conditions, les populations de corégones, favorisées par ailleurs par la ré-oligotrophisation (appauvrissement d'un milieu en éléments nutritifs), sont en augmentation dans plusieurs lacs alpins dont le Léman et le lac du Bourget.

Le réchauffement climatique peut modifier les habitats

Il peut entraîner une diminution de l'importance du brassage hivernal des eaux profondes, ce qui diminuerait leur réoxygénation. Elles constitueraient alors un habitat moins favorable pour les salmonidés, en particulier pour l'omble chevalier.

Le réchauffement climatique peut aussi favoriser le développement de maladies bactériennes ou parasitaires qui entraînent des mortalités chez les salmonidés. Ces affections progressent proportionnellement à l'augmentation des températures de l'eau. L'omble chevalier est ainsi soumis à une maladie bactérienne : la furunculose *Aeromonas salmonicida*, qui peut survenir lorsque la température dépasse 6 °C. Elle provoque des mortalités importantes lorsque l'eau dépasse 10 °C. La truite fario peut, elle, être sujette à une maladie parasitaire, la PLK (Proliférative Kidney Disease), qui attaque ses reins. Elle provoque des mortalités chez la truite lorsque l'eau dépasse 15 °C pendant plusieurs semaines en été.

Les effets du changement climatique sur les espèces à reproduction printanière

Ces espèces se reproduisent lorsque l'eau se réchauffe. Plus le réchauffement est rapide, plus la fraie de certaines espèces est précoce. Dans le Léman, entre 1980 et 2000, la fraie du gardon a été avancée de 2 semaines, en réponse à une élévation des températures de surface de 2 °C au mois de mai. Dans le même temps, la perche, qui se reproduit aussi en mai, n'a avancé sa date de fraie que de quelques jours. Il semble que les différentes espèces ne réagissent pas toutes avec la même intensité au changement climatique.

La température de l'eau des lacs alpins est généralement en dessous de l'optimum de croissance pour les espèces vivant en eau chaude pendant l'été. Le réchauffement devrait stimuler leur croissance si, parallèlement, elles disposent d'un stock de nourriture suffisant.

Ce qu'il faut retenir

Le réchauffement climatique aurait tendance à favoriser le développement des espèces qui se reproduisent au printemps et qui vivent en eau chaude en été. Il représente une menace pour celles qui se reproduisent en hiver et qui ont besoin pour cela d'une eau inférieure à 10 °C. Le réchauffement semble améliorer la survie des larves et des alevins, ainsi que la croissance des juvéniles et des adultes si la nourriture disponible est suffisante.

Le niveau des lacs peut-il un jour baisser par manque d'eau ?

► Agnès Barillier, EDF •

Cette question peut sembler saugrenue, mais s'avère intéressante quand on la replace dans un contexte de changement climatique et d'augmentation de la demande pour différents usages de l'eau.

De quoi résulte le niveau des grands lacs alpins ?

Les niveaux des lacs résultent d'une régulation établie par des règles pour concilier les différents usages de l'eau, parfois antagonistes.

Dans le passé, les niveaux pouvaient varier naturellement assez fortement : jusqu'à 2 m pour le Léman et 3,5 m pour le lac du Bourget. Ces variations naturelles étaient liées à l'évolution saisonnière des régimes hydrologiques du bassin versant et, de manière directe, à celle du climat.

La régularisation de ces niveaux est intervenue :

- pour protéger les riverains du lac ou de leurs émissaires, contre les inondations, pour le Léman, les lacs du Bourget et d'Annecy, ce qui s'est traduit par une diminution de l'amplitude des marnages* ;
- pour développer un nouvel usage, comme l'hydroélectricité sur le lac d'Aiguebelette. Cela a induit le maintien d'un marnage saisonnier de 60 cm, dans la limite maximale annuelle de 2,15 m.

Le lac d'Annecy est ainsi contrôlé depuis 1874 par des vannes situées sur les canaux formant son exutoire. Sa cote habituelle varie dans la limite d'une dizaine de cm maximum autour d'un niveau de référence. Sans régulation, cette variation serait naturellement d'une cinquantaine de cm. Le remplacement des vannes sur le Thiou en 1965 a fortement réduit le marnage.

Le Léman est régularisé à Genève depuis 1884 par le barrage du pont de la Machine, remplacé en 1995 par le barrage du Seujet. Les niveaux régularisés maintiennent un marnage saisonnier de 70 cm ; les années bissextiles, la cote hivernale est abaissée de 15 cm supplémentaires pour permettre des travaux d'entretien sur les ouvrages.

Le lac du Bourget est régulé sur 30 cm depuis 1982 par l'aménagement hydroélectrique du Haut-Rhône (photo 1). Si un des paramètres naturels (précipitations, évaporation nette, apports du bassin versant) du bilan hydrique évolue, sans modification des consignes de régulation, alors les niveaux des lacs pourraient changer (voir question 6-05 : *Comment et pourquoi le niveau des lacs est-il régulé ?*).

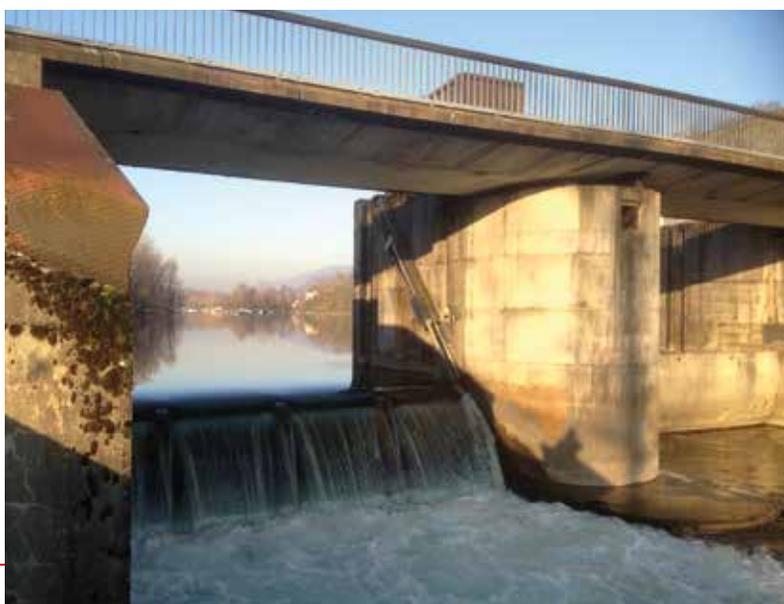


Photo 1 – Écluse du barrage de Savières (© CISALB)

Des exemples récents de baisse de niveau des lacs

La baisse générale de l'hydrologie du bassin versant du lac d'Annecy (photo 2), environ -7 % sur la dernière décennie, associée à des épisodes caniculaires estivaux accentuant l'évaporation, a provoqué deux épisodes exceptionnels de baisse du niveau pendant l'été 2003 (- 49 cm) et au cours de l'automne 2009 (- 38 cm), la régulation ne pouvant compenser le manque d'apports des affluents du lac.

Avec les prévisions d'évolution du climat dans les prochaines décennies, ces épisodes de réduction des apports hydriques et d'augmentation de l'évaporation pourront se multiplier, tout comme pourront s'accroître les prélèvements en eau pour les usages (eau potable sur le Léman et le lac d'Annecy ou production hydroélectrique sur le Rhône).

Si les besoins des rivières et des usages à l'aval des lacs nécessitent le respect d'un Débit d'Objectif d'Étiage (DOE) permettant de garantir durant l'étiage* un bon état écologique de ces milieux, ainsi que l'alimentation en eau potable et les différents usages, alors les niveaux des lacs pourraient être amenés à baisser en période estivale. Ceci pourrait perturber certains usages du lac, comme la navigation ou la baignade (une baisse des niveaux découvre des fonds moins esthétiques). Pour le Léman, cependant, on pourra sans doute, même dans des hypothèses drastiques, assurer à la fois le niveau du lac et le DOE, en adaptant la gestion hebdomadaire et en limitant la rétention des barrages amont.

Ces épisodes resteront saisonniers, l'augmentation des apports hydriques lors des crues d'automne ou au printemps permettant de remonter la cote des lacs. Ils nécessiteront cependant des adaptations des règles de conciliation des usages et des aménagements touristiques.



Photo 2 – Rive du lac d'Annecy mise à nue en octobre 2009 (© D. Zanella – SILA) ◀

Ce qu'il faut retenir

Le changement climatique entraîne une réduction des apports hydriques des bassins versants et l'augmentation de l'évaporation nette. En parallèle, on constate une augmentation des prélèvements d'eau, pour l'eau potable ou la production hydroélectrique. Ces phénomènes impliqueront dans les prochaines décennies une accentuation du marnage des lacs à l'échelle annuelle, avec un abaissement des cotes estivales de l'ordre de quelques cm à une dizaine de cm par rapport aux niveaux actuels.

Marnage Écart entre les hautes eaux (période de crue) et les basses eaux (étiage).

Étiage Période de l'année où le niveau d'un lac atteint son point le plus bas.

L'évolution de l'occupation des bassins versants peut-elle changer l'état des lacs ?

► Jean-Marcel Dorioz et Dominique Trévisan, INRA CARRTEL •

L'évolution du mode d'occupation des sols des bassins versants des grands lacs semble inexorable du fait de la croissance de la population. Cette dynamique aura-t-elle un impact sur la qualité des eaux produites par les bassins versants et sur l'état des lacs qui les reçoivent ? Une telle question suppose de s'interroger sur la relation entre mode d'occupation des sols et qualité des eaux.

Mode d'occupation des sols (MOS)

Le MOS représente la couverture biophysique d'un territoire géographique. En fonction des objets qui couvrent le sol, on distingue l'espace habité (MOS urbain, périurbain, rural), l'espace naturel (MOS forêt, marais...) et agricole (MOS prairies, cultures...). Le MOS est un indicateur global des interactions entre activités humaines et eaux, dans un contexte climatique donné.

- Les MOS urbains sont toujours associés à des systèmes techniques d'utilisation et d'évacuation de l'eau (eau potable, assainissement, eaux pluviales), systèmes dont les performances sont cruciales pour la qualité de l'environnement.
- Les MOS agricoles sont associés à un cycle plus naturel de l'eau, dont certaines composantes, et notamment les conditions d'écoulement, sont partiellement contrôlées par le type d'agriculture et les pratiques associées (drainages, aménagements, travail du sol...).

Lors de son transit dans un bassin versant, l'eau acquiert une charge sédimentaire, chimique et polluante, qui conditionne l'impact du bassin sur son lac.

Cette charge varie selon les modalités de lessivage et d'érosion des sols, la nature des apports sur ceux-ci, les

rejets d'eaux usées, soit selon un ensemble de caractéristiques reliées aux MOS. Le MOS est donc une expression assez synthétique des impacts potentiels d'un territoire sur l'eau.



Photo 1 – Le lac d'Annecy (© Office de tourisme d'Annecy)

Un coup d'œil rétrospectif

Sur les 50 dernières années, plusieurs vagues de pollutions affectant les grands lacs et associées à des évolutions du MOS de leurs bassins versants, se sont succédé. Les mesures correctives ont porté surtout sur les pollutions dues aux villes et aux industries : les rejets, puis les impacts ont été fortement réduits grâce à la mise en place de systèmes de collecte et de traitement performants des eaux usées (voir question 3-04 : *Quelle est la pression de l'urbanisation sur la qualité de l'eau des lacs ?*).

Du fait de l'inertie sociétale face aux problèmes posés et de la lenteur de réponse de l'écosystème lacustre, la dépollution des lacs s'est avérée longue et difficile. Ceci rappelle à quel point il est important de convaincre et de prendre des mesures correctives avant que les perturbations ne soient trop avancées (voir question 7-01 : *Quels ont été les actes fondateurs de la protection des lacs ?*).

L'extension inéluctable de l'urbanisation

Les lacs stimulent le développement local (photo 1), engendrant une extension des MOS urbains à leur périphérie, au détriment des MOS agricoles.

Les impacts de ce processus d'urbanisation peuvent être maîtrisés par :

- une modernisation permanente de la collecte et du traitement des eaux usées ;
- la mise en place de traitements des eaux rejetées par temps de pluie ;
- des actions de réduction à la source des rejets de polluants, y compris pendant la phase très perturbante des chantiers de construction.

Il s'agit en fait d'imposer des exigences de haute qualité environnementale dans le développement urbain, en relation avec la sensibilité exceptionnelle des lacs.

Le mitage de l'espace rural, un changement multirisque sous-estimé

Le mitage (morcellement) de l'espace rural accompagne le développement urbain. Il rajoute sur tout le territoire de nombreux rejets d'eaux usées, petits mais très dispersés et donc difficiles à contrôler. Il provoque aussi des modifications globales de l'utilisation agricole des sols et de l'hydrologie des bassins versants, effets indirects bien connus et qui entraînent :

- une baisse des capacités tampons hydrologiques du réseau hydrographique, avec pour conséquence une concentration des eaux de ruissellement, qui favorise l'érosion des terres agricoles et l'augmentation des flux estivaux de nutriments ;
- un accroissement des pollutions diffuses agricoles, du fait d'une tendance à la spécialisation des parcelles et à une concentration spatiale de certaines pratiques (photo 2).



Photo 2 – Champs de colza et grandes cultures dans la plaine de l'Orbe (© J.-M. Zellweger)

Au-delà de certains seuils, le mitage de l'espace rural crée donc un ensemble de risques difficilement acceptables à terme dans des bassins versants de grands lacs. L'objectif devrait être, et c'est un objectif clé pour la qualité à venir des lacs, à la fois de maîtriser le mitage lui-même (densifier l'habitat) et de pallier ses effets négatifs sur l'hydrologie et les sources diffuses agricoles.

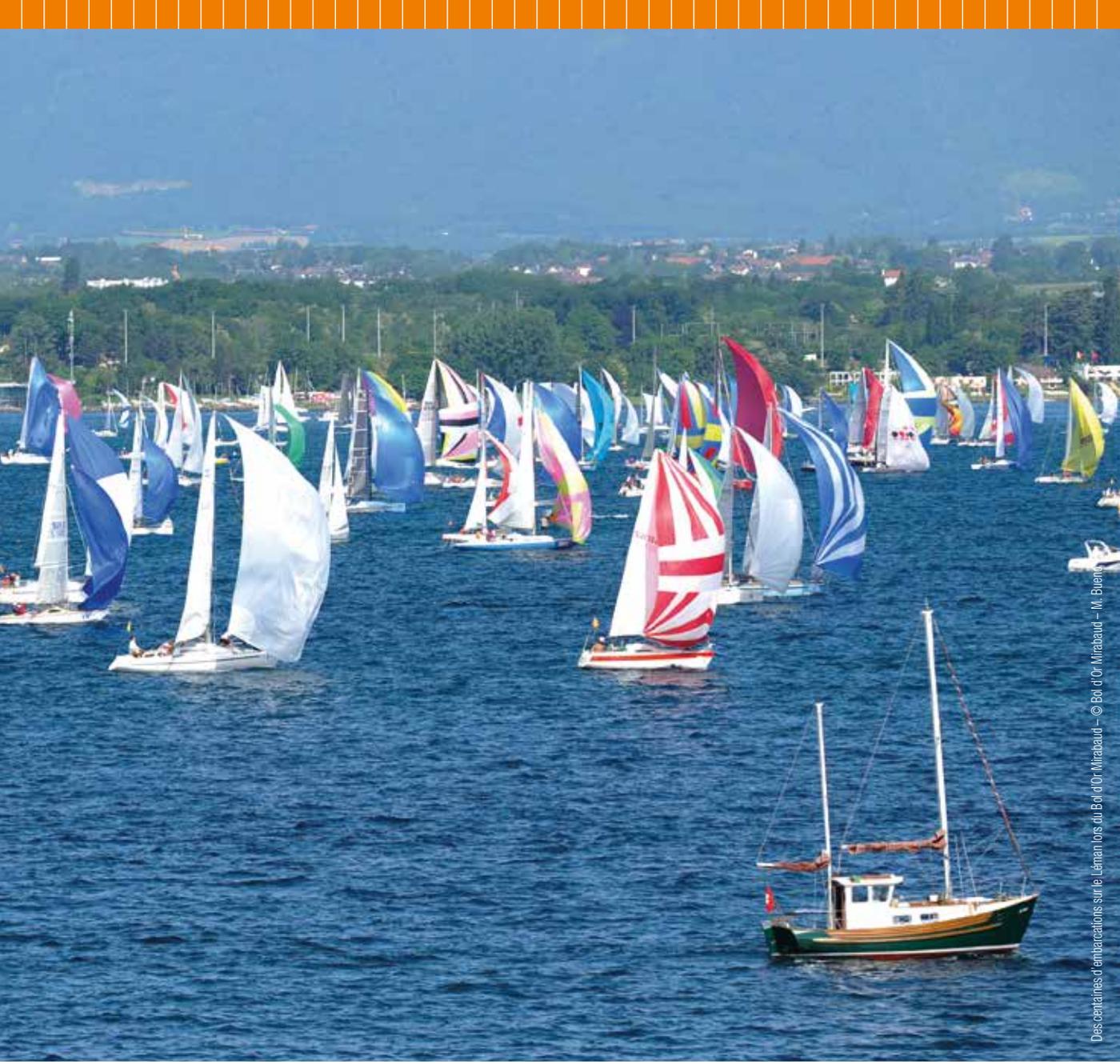
Les évolutions du MOS : vers une haute qualité environnementale ?

Les évolutions du MOS vont bien au-delà d'un changement de décor paysager. Elles matérialisent une intensification des activités, une multiplication des sources de pollution, des types de produits utilisés et mis en contact avec l'eau, enfin un remaniement du régime des crues. Les évolutions du MOS sont en conséquence à l'origine de nouveaux risques. Il existe notamment de forts risques d'accroissement des charges de pollutions diffuses.

Vu l'inertie du système, la prévention est une urgence ! Elle passe, à l'échelle locale, par la mise en place de politiques promouvant un développement urbain et rural de haute qualité environnementale, action à renforcer, à l'échelle nationale, par plus d'encadrement des produits domestiques et chimiques mis sur le marché.

Ce qu'il faut retenir

Les changements de MOS en cours dans les bassins versants sont susceptibles d'impacter les grands lacs. Pour minorer et prévenir ces impacts, il convient d'inciter à des changements de pratiques pour réduire à la source les polluants, de continuer sans cesse à moderniser les systèmes d'assainissement, de s'attaquer aux pollutions diffuses urbaines et agricoles en créant des procédures de qualité relatives aux évolutions des modes d'occupation des sols.



Des centaines d'embarcations sur le Léman lors du Bol d'Or Mirabaud - © Bol d'Or Mirabaud - M. Buentz

Patrimoine et culture

Comment la culture et les arts ont-ils contribué à créer l'image contemporaine des lacs ?

► Jean-Claude Vernex, Professeur honoraire, Université de Genève •

L'imaginaire lacustre contemporain est la résultante d'une lente évolution, aussi bien à l'échelle des groupes sociaux qu'à celle des individus. Peuvent cohabiter un imaginaire contemplatif et un imaginaire sportif, impliquant des représentations parfois opposées des espaces lacustres, tantôt perçus comme des objets à haute valeur esthétique ou comme d'hédonistes terrains de jeux. Comment s'est faite cette lente évolution ? Selon quelles étapes ? À quels moments ? Par qui ? Sous l'influence de quels médiateurs ?

Avant le XVIII^e siècle, un beau lac est un lac utile

Les récits de voyages ou correspondances antérieurs à la deuxième moitié du XVIII^e siècle montrent bien que l'esthétique lacustre se définit par son utilité sociale. Un beau lac est un lac poissonneux ; la faune ichtyologique* représenta pendant des siècles une ressource privilégiée pour les plus grandes tables. Un beau lac permettait les échanges à un moindre coût et avec plus de sécurité que sur les voies terrestres.

Certains lacs alpins, comme le Léman, orientèrent les échanges à travers les Alpes jusqu'à l'avènement du chemin de fer. Quant aux rives, l'aspect riant et riche de certaines, définissant alors le beau paysage lacustre, reposait essentiellement sur la densité des villages et la mise en valeur agricole. On est loin de l'imaginaire contemporain à base de nature originelle protégée d'une forte urbanisation. Cela ne veut pas dire que dans ce type d'imaginaire l'utile n'ait pas sa place. Le lac, réservoir d'eau potable, est une image très prégnante.

Naissance et développements d'un imaginaire esthétique

Comment est-on passé du beau utile au beau esthétique ? La transition, progressive, s'opère de la deuxième moitié du XVIII^e au début du XIX^e siècle. L'origine est anglaise avec, des médiateurs, des philosophes, des poètes, des écrivains comme le pasteur William Gilpin ou des peintres tels que Francis Town ou Joseph Wright of Derby. La révolution du jardin anglais traduit, à travers l'aménagement de l'espace, de nouveaux codes perceptifs. Le rapport à la nature se fonde sur l'émotion, sur la surprise (qui accentue l'émotion), sur de nouvelles définitions du beau, sur les notions de pittoresque et de sublime.

Ce goût de la nature trouve de puissants échos en Allemagne et en Suisse. Jean-Jacques Rousseau en fut le relais dans son roman *La Nouvelle Héloïse* (1761), formidable catalyseur d'une approche contemplative, rêveuse et sentimentale du haut Léman, générant un véritable engouement de l'élite européenne pour Clarens ou Meillerie. Mais il ne fut pas le seul. Pensons, entre autres, à Klopstock, poète allemand, et à son Ode au lac de Zurich (1750) : « lac étincelant entouré par les cimes argentées des Alpes ». Les topoï (thèmes et arguments) du beau paysage lacustre sont forgés et envahirent la littérature pendant un siècle, jusqu'à aujourd'hui ! Lac riant, gracieux, délicieux, doux, ravissant, les adjectifs ne manqueront pas pour qualifier les grands lacs du pourtour des Alpes, associant rives, plans d'eau, et montagnes proches et lointaines.

L'œil romantique modifiera au XIX^e siècle cette perception, plus attiré par l'aspect sublime des



Photo 1 – Paysage « Idyllique », selon le regard romantique
© Musée d'art et d'histoire, Ville de Genève, Inv. n° 1911-0127. Alexandre Calame, La Dent du Midi, 1849. © Y. Siza

Alpes que par la douceur arcadienne des lacs d'avant-pays. Une nouvelle géographie esthétique des lacs alpins se dessinera, fondée sur les notions de grandiose, de saisissant, de sauvage, de majestueux. Les grands lacs des vallées internes, soumis parfois à de fortes tempêtes, offriront à cette sensibilité l'occasion de nouvelles extases. Pensons à Lamartine, Byron, Senancour. Pensons à des peintres tels que Calame, partagé entre l'idylle lacustre et la montagne, ne cessant de représenter le lac d'Uri, bras oriental du lac des Quatre-Cantons, aux contrastes extrêmes et à la surface animée par des vagues violentes.

Les lacs alpins : un patrimoine à l'identité forte

Quels pourraient être alors les indicateurs fondant une identité «lacs alpins»? Il convient de remonter à la période romantique. Un lac, c'est avant tout de l'eau. Sans revenir sur les analyses de Gaston Bachelard, rappelons qu'à l'eau dormante s'associent des images de rêverie, d'inspiration, de méditation. L'eau est également symbole de pureté et de ressourcement souligné par nombre d'auteurs par des notions de transparence, de limpidité, d'eaux «cristallines». Le lac «purificateur» (d'après Michelet) implique paix qui renvoie à calme permettant une différenciation nette avec la mer. Le «pacifique Léman» de Byron n'a rien du «mugissement de la mer agitée». Calme, silence et léger clapotis des vagues sur la grève définissent une musique douce, quasiment confidentielle et propice au vagabondage de la pensée. Espace de silence, voire de solitude, le calme des eaux permet au lac de devenir miroir : miroir des montagnes, miroir du ciel, miroir réfléchissant la lumière, élément central de la personnalité lacustre. Miroitement des vagues, variations des teintes en fonction des saisons ou des différentes heures de la journée, offrent un spectacle toujours renouvelé auquel furent sensibles de nombreux artistes du XIX^e siècle comme Lamartine, Balzac, Gautier et bien d'autres, ou comme des peintres tels que Bocion ou Courbet. La lumière joue avec l'eau, avec la vapeur d'eau pour dessiner, à travers une brume légère des paysages d'aquarelles, prenant toute leur puissance à l'automne. Mais le lac n'est pas que statique. C'est, selon Hermann Hesse, un «monde dynamique» fait de contrastes, entre calme et tempête, entre vertical, horizontal et profond, entre ombre et lumière, entre aimable et sauvage. C'est un monde à l'écosystème particulier où prédomine le vert, associé à l'idée de fraîcheur. Structures issues de la société rurale et contrastant avec le «vert sombre des sapins» (Henri Bordeaux) couvrant les pentes des montagnes, roselières, forêts galerie, zones humides, châtaigniers, peupliers, soulignent la richesse et le particularisme des écosystèmes naturels et humains lacustres en partie liés à la douceur, à la tiédeur du climat et largement diffusés par la littérature jusqu'à la deuxième guerre mondiale.

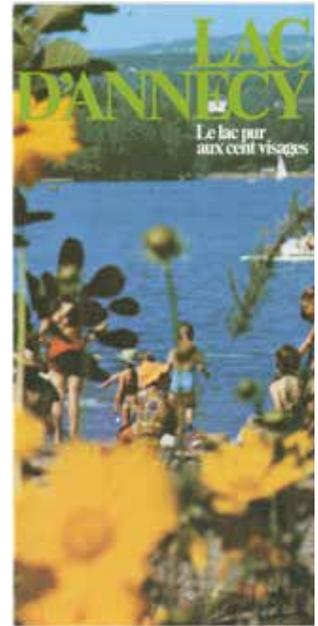


Photo 2 – Le lac estival, espace de loisirs : lac d'Annecy, document publicitaire 1974, coll. particulière.

Du lac sain au lac sportif

L'engouement pour les lacs alpins de la fin du XVIII^e à la première moitié du XX^e siècle, a été essentiellement porté par l'aristocratie, imitée rapidement par la haute bourgeoisie, puis la bourgeoisie. C'est l'imaginaire esthétique qui primait. Argent, temps libre et accessibilité constituaient les conditions matérielles évidentes de cette pratique des lacs. L'imaginaire du bien-être joua également un rôle dans le développement du thermalisme au XIX^e siècle. Le lac alpin, espace de santé, de remise en forme, développera des images valorisantes suscitant le désir de lacs. Le climat lacustre instillant un calme salutaire, la fraîcheur des eaux invitant au bain régénérant, la beauté du paysage facilitant la guérison, la marche à pied, devinrent autant de raisons de séjours réparateurs au bord des lacs. Plus tardivement, les bains de soleil et la natation sportive répondront à ce désir de bien-être corporel et d'hédonisme, dont la plage des années 1920-1930 est le marqueur spatial le plus évident et dont l'époque la plus contemporaine nous offre le spectacle, donnant aux littoraux lacustres un air de plus en plus maritime.

Faune ichtyologique *Ensemble de poissons vivant dans un espace géographique ou un espace déterminé.*

Ce qu'il faut retenir

Qu'est-ce qu'un lac pour l'imaginaire contemporain? La marchandisation des lacs par le biais de la publicité touristique relaye un imaginaire de l'été, chaud et ensoleillé, en fort contraste avec l'imaginaire romantique. Dans le «self-service généralisé» des images, chacun y prend ce qu'il veut au risque d'oublier les fondamentaux élaborés au cours des siècles et d'induire des conflits d'images (entre vision sportive et vision contemplative par exemple) interpellant le politique et l'aménageur.

Comment les grandes périodes historiques ont-elles marqué les lacs ?

► Joël Serralongue, service Archéologie et Patrimoine bâti, Conseil général de la Haute-Savoie •

Au plus loin que les textes nous le laissent supposer, soit dès le II^e siècle av. J.-C., les lacs semblent être des enjeux géostratégiques d'importance que les puissances politiques se disputent comme le Léman qui constitue encore aujourd'hui une limite territoriale entre deux nations.

À l'époque gauloise, des entités partagées

Avec l'arrivée des Allobroges en rive gauche du Rhône vers 350 av. J.-C., les lacs d'Annecy, du Bourget et d'Aiguebelette sont désormais entre leurs mains pour plus de trois siècles; quant au Léman et à son exutoire le Rhône, ils deviennent des frontières naturelles séparant les Allobroges des Helvétès comme l'atteste la démolition du pont sur le Rhône à Genève, entreprise par Jules César en 58 av. J.-C., afin d'empêcher les Helvétès de traverser le territoire allobroge dans leur exode vers la Saintonge.

En plus des Helvétès et des Allobroges, il faut compter sur les Nantuates, qui disposent de l'extrémité orientale du lac, mais aucun indice à ce jour ne nous précise s'il y a ou non partage de ces eaux intérieures entre ces trois peuples ou un quelconque contrôle de la navigation, des biens et des personnes. Ce qui apparaît, c'est que peu après 125 av. J.-C., date à laquelle le territoire des Allobroges est intégré à la province de Transalpine, un bassin portuaire est construit à Genève, contemporain de structures commerciales complémentaires, découvertes dans les agglomérations de Lausanne et Massongex, la première en lien avec le plateau suisse, la seconde avec les voies alpines. Quant au littoral, sa population se densifie, comme en témoignent à Chens-sur-Léman les habitats se développant sur les coteaux, accompagnés de leur cortège de nécropoles.

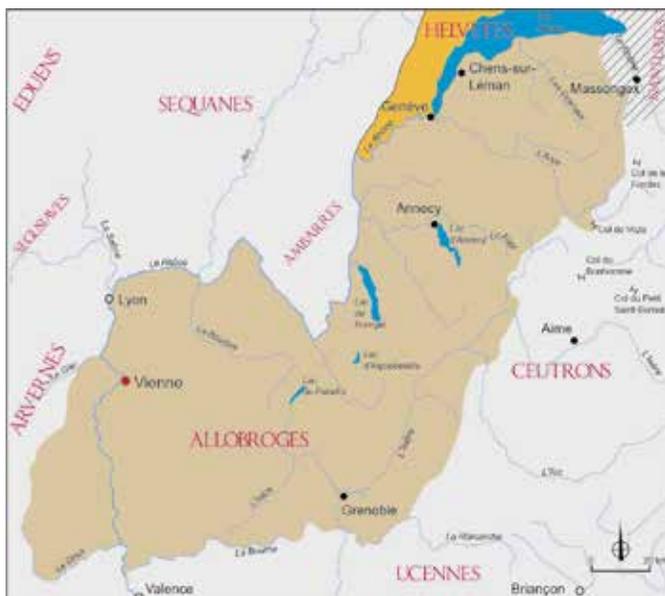


Fig. 1 – À l'époque gauloise, le Léman est un enjeu économique et stratégique d'une telle importance que trois peuples : les Helvétès, les Allobroges et les Nantuates, prennent appui sur ses rives (source : J. Serralongue et J. Laidebeur – CG74)

À l'époque romaine, les habitats se multiplient

Cette partition entre États indépendants est adoptée par les Romains dans le découpage administratif des Gaules, puisque trois provinces de l'Empire – la Narbonnaise, la Germanie Supérieure et les Alpes Grées et Pennines – succèdent à ces principautés celtiques en prenant appui sur les berges du Léman.

Aux anciens centres de peuplement succèdent des agglomérations – Genève, Lausanne, Nyon, Thonon-les-Bains, Vevey, Villeneuve sur le Léman, Annecy ou Aix-les-Bains sur les lacs d'Annecy et du Bourget. De riches *villae* s'implantent sur les rives du Léman comme à Genève, Nernier et Ripaille ou encore à Annecy-le-Vieux sur celles du lac d'Annecy.

À Lausanne se développe une activité portuaire animée par une corporation de marchands, les *nautae lacu Lemanno*. À Genève celle des *ratiarii superiores* contrôle le trafic commercial sur le Rhône entre Lyon et le Léman. Un bureau des douanes y plombe les marchandises entrantes et sortantes des 3 Gaules en appliquant la taxe dite Quarantième des Gaules, équivalant à 2,5 % de leur valeur.

Les qualités thérapeutiques de quelques sources entraînent la construction de vastes ensembles thermaux à Aix-les-Bains mais aussi à Menthon-Saint-Bernard au pied du Roc de Chère sur les bords du lac d'Annecy.

Quant à l'aspect sacré de ces eaux, sans doute hérité du panthéon celtique, il a été récemment révélé par quelques découvertes ponctuelles dans le Léman et le lac du Bourget.



Photo 1 – La scène de la fuite en Egypte, ornant le cloître de l'abbaye d'Abondance, offre un exceptionnel panorama du Léman au début du xv^e siècle où des bateaux de commerce se profilent sur des rives hérissées de châteaux (© J. Laidebeur – CG74)

Au Moyen Âge, des étendues convoitées à divers titres

Au Moyen Âge, les rives de ces lacs, partagées de nouveau entre plusieurs entités politiques – les Maisons de Genève, de Faucigny et de Savoie, mais également les évêques de Genève et Lausanne – attirent des congrégations religieuses en des lieux retirés, propices au recueillement : Lépin sur les rives du lac d'Aiguebelette, Hautecombe et Saint-Innocent sur celles du Bourget, Saint-Jorioz, Sevrier et Talloires sur celles du lac d'Annecy, Collonge-Bellerive et Ripaille sur celles du Léman – mais également en des points stratégiques sur les plans économiques et politiques : Le Bourget-du-Lac, Sevrier, Nyon et Meillerie.

Les rives sont également jalonnées

de châteaux contrôlant les accès aux lacs : Yvoire, Rovorée, Coudrée, Rives, Genève, Versoix, Nyon, Blonay et Chillon sur le Léman, Annecy, Duingt, Menthon-Saint-Bernard et Beauvivier sur le lac d'Annecy, Chatillon et Le Bourget sur le lac du même nom ; d'autres s'implantent en des lieux propices à la chasse, comme Ripaille sur le rivage lémanique. Ces lacs sont alors des espaces de circulation très fréquentés, permettant des gains de temps considérables du fait des difficultés à maintenir en état les voies terrestres. Il est alors beaucoup plus rapide d'aller de Villeneuve à Genève ou de Thonon-les-Bains à Lausanne en empruntant le lac, tout comme d'Annecy à Beauvivier ou de Saint-Jorioz à Menthon-Saint-Bernard ou encore d'Aix-les-Bains à Chanaz, sur les bords du Rhône, en empruntant le canal de Savières.

Des espaces de santé, de loisirs et de détente

Outre les transports réguliers gérés par des compagnies de bateaux à destination des vacanciers, mais aussi d'employés rejoignant leur lieu de travail, les lacs sont devenus des espaces de villégiature où se sont développés les sports nautiques, réservés dans un premier temps à une élite, le plus souvent étrangère. Le thermalisme s'est répandu de manière durable sur les rives du Léman et du lac du Bourget mais avec moins de réussite sur le lac d'Annecy, associé à une hôtellerie de luxe, à des casinos, des théâtres et la création d'infrastructures permettant la pratique des sports nautiques et aquatiques. Aujourd'hui, ces lacs génèrent un afflux touristique considérable mais voient aussi leurs berges et leurs coteaux se couvrir d'un habitat de plus en plus dense, que les collectivités territoriales tentent de contrôler au mieux afin d'éviter l'asphyxie.

Ce qu'il faut retenir

Si les lacs alpins ont toujours été au centre d'enjeux politiques amenant le plus grand d'entre eux, le Léman, à être un espace partagé entre plusieurs nations, ils ont toujours été des lieux d'échanges commerciaux bénéficiant à l'ensemble de la région Rhône-Alpes, jusqu'à Lyon. Des principautés celtiques à nos jours, la plupart des implantations humaines lacustres ont traversé et façonné l'histoire de ces lacs.

Comment a évolué la navigation sur les lacs au fil des siècles ?

► Éric Rieth, CNRS, musée national de la Marine •

Des époques protohistoriques jusqu'à nos jours, la navigation sur les lacs d'Aiguebelette, d'Annecy, du Bourget et le Léman a évolué tant au niveau des types de transport qu'à celui de leurs fonctions. Ces modifications traduisent celles du paysage culturel lacustre, clef essentielle de lecture et d'interprétation historique de ce que l'on pourrait appeler la petite histoire nautique des lacs alpins.

Aux origines

Dès l'époque néolithique (de -9000 à -3000 ans avant J.-C., environ), les hommes ont exploité les rives et l'étendue lacustre. « Hommes de la terre et de l'eau », ils vont utiliser des embarcations faites d'une seule pièce de bois (monoxyle) pour pêcher, transporter et se déplacer sur leur territoire.

Ces pirogues, creusées dans un tronc d'arbre selon une technique proche de la sculpture et manœuvrées principalement à la pagaie par un ou deux hommes, ne dépassaient guère les 5 mètres de long (pour celles retrouvées dans les quatre lacs). Si leur forme s'est modifiée au cours des temps en fonction de l'outillage disponible (passage de la pierre au bronze puis au fer), leur usage s'est maintenu au cours du Moyen Âge.

Des barques de pêche aux chalands de transport

Avec l'augmentation des populations littorales et des besoins de nourriture, les activités de pêche lacustre se sont développées dans un cadre artisanal avec des techniques basées sur des pêcheries fixes (cas du lac du Bourget) ou reposant sur l'emploi de filets ou de nasses. Dans les deux cas, les pêcheurs avaient besoin d'embarcations de moins d'une dizaine de mètres, pour caler et relever leurs engins de pêche ou récupérer les poissons pris dans les pièges des pêcheries.

Les modes de propulsion de ces barques de pêche ont évolué au fil du temps depuis la pagaie, la perche, la rame, la voile, et jusqu'au moteur. L'architecture monoxyle des origines fait place à une architecture mixte (monoxyle-assemblée), puis à une architecture intégralement assemblée, qui a offert une grande liberté de choix de formes et de dimensions des coques.



Photo 1 – Épave d'Yvoire dans le Léman (© E. Champelovier/DRASSM-MCC)



Photo 2 – Épave de Noirettes dans le Léman (© E. Champelovier/DRASSM-MCC)

Faute d'épaves découvertes dans le Léman, les lacs du Bourget et d'Annecy, nous ignorons comment étaient construites les barges de transport d'époque gallo-romaine. Depuis le Moyen Âge, les documents existants, nombreux et variés, permettent une connaissance plus précise de ces bateaux, dont les barques à voiles latines. Celles-ci étaient destinées, notamment, au transport des matériaux (pierre principalement) pour le développement des villes riveraines et des aménagements portuaires (au XIX^e siècle surtout). Ces grands voiliers de plus de 25 mètres de long, construits sur quille, naviguaient sur le Léman, l'un de leurs foyers architecturaux, puis sur les lacs d'Annecy et du Bourget (XIX^e siècle, voire avant). Deux témoignages de ces voiliers nous restent :

- l'épave de la barque *Neptune* à Saint-Gingolph (fin XIX^e siècle);
- la réplique de la barque à deux voiles latines *La Savoie*, construite à Thonon-les-Bains (1997-2000) qui navigue sur le Léman pour le plaisir des touristes. L'originale avait été bâtie en 1896.

Parallèlement à ces voiliers issus d'une tradition maritime, des bateaux de travail (pêche et transport), de tradition spécifiquement lacustre et régionale, construits « sur sole » (sans quille et fond plat), parcouraient les eaux des lacs.

Plusieurs épaves témoignent de ces bateaux, comme celle de la « nau » d'Yvoire (XIX^e siècle) dans le Léman (photo 1), ou celle de Bredannaz (monoxyle-assemblée, du XVI^e siècle), dans le lac d'Annecy.

De nos jours, la construction métallique des grands chalands de transport de matériaux de construction et la propulsion motorisée se sont imposées.

De la guerre et de la plaisance

La guerre sur l'eau douce a aussi fait partie de ce paysage culturel lacustre, plus particulièrement de celui du Léman dont l'étendue en fait une petite mer intérieure.

Du XIII^e jusqu'aux débuts du XVIII^e siècle, des galères construites sur les bords du Léman et basées pour les plus anciennes à Chillon, menèrent de véritables campagnes militaires pour le compte de la Savoie, de Genève et de Berne.

À l'opposé de ces activités guerrières sont celles dédiées aux touristes et aux sportifs ou plaisanciers : navigations touristiques sur les splendides bateaux de la Compagnie Générale de Navigation, dont certains conservent leur mode de propulsion à roues et à vapeur, à l'image du premier bateau à vapeur de transport de passagers construit en 1823; navigations sportives sur les quatre lacs à bord de voiliers, de barques, de canots à moteur, mais aussi de canoës ou de kayaks pour le seul plaisir de naviguer.



Photo 3 – Bateau-salon *Vevey* croisant sous Lavaux, encore au temps de la vapeur, en 1935 (lancé en 1907, motorisé en 1955, entièrement restauré en 2013) (© Compagnie Générale de Navigation, coll. Musée du Léman)

Ce qu'il faut retenir

Comme l'a montré l'amiral Pâris (1806-1893), les bateaux, qu'ils naviguent sur les mers ou les océans, sur les fleuves ou les lacs, sont des objets d'histoire et de mémoire, des objets de culture matérielle et immatérielle. Ils sont les « acteurs et les témoins » privilégiés d'une histoire des relations entre un espace lacustre déterminé, un contexte socio-économique particulier et des hommes, qu'ils soient pêcheurs, bateliers, soldats, marchands... plaisanciers ou touristes.

Quels sont les événements festifs liés aux lacs ?

► Magali Parsy, Daniel Cavalli, Nicolas Massip, Offices du Tourisme d'Aiguebelette, d'Annecy, de Thonon-les-Bains • Antoine Bal, Fondation du Festival de Jazz de Montreux •

Les lacs alpins marient convivialité des fêtes populaires, de la musique et énergie du sport, au travers d'événements phares qui font leurs renommées.

Les étés sont festifs au bord des lacs

La Fête du lac d'Annecy

Point d'orgue de la saison estivale, la Fête du lac d'Annecy a plus de 150 ans d'histoire. Ce rendez-vous annuel depuis 1924, trouve son origine dans la somptueuse fête vénitienne donnée en l'honneur de Napoléon III et de l'impératrice Eugénie au lendemain du rattachement de la Savoie à la France, en 1860.

Rendez-vous incontournable des amateurs de spectacles pyrotechniques, cet événement populaire conjugue technologies de pointe et création artistique, s'affirmant ainsi comme le plus grand show pyromélodique d'Europe. La Fête du lac d'Annecy accueille chaque année, le premier samedi d'août, près de 200 000 spectateurs, installés sur tout le pourtour du lac, pour 75 minutes de magie.



Photo 1 – Fête de Genève
(© Genève tourisme – O. Miche)

Les Fêtes de Genève (photo 1) ont pour origine la Fête des fleurs, organisée par l'association des intérêts de Genève à partir de 1926. En 1947, l'association organise les premières Fêtes des fleurs, à la mi-août, qui sont un immense succès populaire. Aujourd'hui, les Fêtes ont lieu durant 10 jours entre juillet et août sur la rade de Genève, et le premier week-end des Fêtes dans la rade, une fête foraine avec des attractions et des stands culinaires variés sur les quais, en passant par le jardin anglais, une programmation artistique riche et la grande nuit du feu d'artifice pour clôturer les Fêtes.

Au lac d'Aiguebelette, « **Le Lac en Fête** » constitue le temps fort de l'été fin juillet. C'est un moment riche en couleurs, avec des déambulations musicales et concerts et, à la tombée de la nuit, un spectacle pyrosymphonique tiré sur le lac.

La musique anime les nuits

Créé en 1967 par Claude Nobs, le **Montreux Jazz Festival** est rapidement devenu un événement culturel de renommée internationale. Si le jazz et la soul constituent l'ADN du festival, les autres styles de musique y ont rapidement trouvé leur place, avec comme spécificité des expériences musicales inédites.

Ce festival offre deux semaines durant, un écrin privilégié aux musiciens, un temps suspendu dans un cadre lacustre stupéfiant. Ainsi, dans ce petit coin du Lavaux gorgé de soleil et d'histoire, Aretha Franklin, Nina Simone,

Miles Davis, Ray Charles, Prince, David Bowie, Leonard Cohen et bien d'autres ont livré des performances mémorables. Depuis sa création, le festival enregistre minutieusement ses concerts, qui constituent aujourd'hui une collection unique, classée depuis 2013 au programme « Mémoire du Monde » de l'Unesco.

Musilac, créé en 2002, constitue aujourd'hui le plus grand événement pop-rock de la région Rhône-Alpes. Il rassemble près de 80 000 personnes par an sur l'esplanade du lac du Bourget, entre lac et montagne, durant 3 jours en juillet, stars mondiales ou valeurs montantes, grands noms de la chanson ou monstres sacrés du rock : Quintana, Motorhead, Muse, Mika, The Cure, M, Lenny Kravitz, Jean-Louis Aubert, Stromae...



Photo 2 – Le Festival des Nuits d'été au bord du lac d'Aiguebelette (© S. Friess)

Le Festival des Nuits d'été (photo 2) anime, la première quinzaine d'août, le territoire d'Aiguebelette avec des concerts mêlant musique d'hier et d'aujourd'hui, dans des lieux aussi divers que des églises, salles des fêtes, usines, exploitations agricoles et autres recoins insoupçonnés.

Les lacs attirent de grands événements sportifs

Le Bol d'Or Mirabaud

Organisé pour la première fois en 1939 sous le nom du « Tour du Lac des Faces Pâles », le Bol d'Or est devenu la plus importante régates du monde en bassin fermé. C'est l'une des grandes classiques du calendrier international des régates. Elle rassemble chaque année, en juin, plus de 500 voiliers monocoques ou multicoques qui se retrouvent sur la ligne de départ pour un aller-retour entre Genève et Le Bouveret avec un parcours de 123 km (66,5 miles nautiques).

Le lac d'Aiguebelette accueille du 30 août au 6 septembre 2015 (photo 3) **les championnats du monde d'aviron**. Les meilleurs rameurs du monde vont s'affronter sur le lac pour l'or et décrocher leur billet pour les Jeux Olympiques de Rio 2016. Sur les berges, chaque jour, 6 000 spectateurs sont attendus dans une ambiance champêtre.

Le lac du Bourget a accueilli en octobre 2014 le championnat du monde de **pêche des carnassiers en bateau**. Seize nations, composées des meilleurs pêcheurs mondiaux, se sont affrontées durant deux jours de compétition intense. 32 bateaux se sont élancés sur le lac et 85 brochets ont été capturés, puis relâchés, dont un spécimen record d'1,17 m, pris par une équipe irlandaise. Pour la première fois, l'équipe de France a été sacrée vice-championne du monde.



Photo 3 – Les championnats du monde d'aviron de 2015 ont lieu à Aiguebelette (© GRAIE)

Ce qu'il faut retenir

Fêtes des lacs, festivals musicaux, compétitions sportives participent à la mise en valeur culturelle des lacs. Compte tenu du très grand succès populaire de ces fêtes, les organisateurs, soucieux de l'empreinte environnementale de leurs événements, engagent leurs participants, le temps de leur séjour, à être éco-responsables.

Comment s'est développé le tourisme autour des lacs ?

► Christophe Gauchon, Université Savoie-Mont-Blanc, EDYTEM •

Dans son ouvrage sur Aix-les-Bains publié en 1898, Jules de Mouxy de Loche affirmait : « *Toute l'industrie locale d'Aix-les-Bains se résume dans l'exploitation de ses eaux thermales et dans le service des étrangers [...]. En dehors de cela, il n'existe rien pour occuper en hiver cette population si active, si laborieuse en été.* ». Est-ce à dire que les lacs eux-mêmes ne comptaient pour rien ? Le diagnostic ne valait-il que pour le lac du Bourget ? Et déjà à l'époque, n'était-il pas un peu réducteur par rapport à la réalité du tourisme ?

Le développement du tourisme

Dans leur contexte alpin, les trajectoires touristiques des grands lacs présentent certains points communs, mais les traits locaux dessinent des tableaux particuliers. Le thermalisme d'abord, a été le principal moteur autour d'Aix-les-Bains en Savoie, où les thermes Pellegrini accueillirent les premiers curistes en 1783.

À Évian-les-Bains aussi, les touristes vinrent d'abord pour prendre les eaux et le thermalisme (photo 1) ne favorisa pas toujours la fréquentation des lacs eux-mêmes. Les grands pôles urbains de Genève et Lausanne attiraient les voyageurs qui découvraient ainsi les horizons lacustres. Annecy, en revanche, ne joua qu'un rôle tardif, et le tourisme se développa plutôt à l'écart de la ville, comme en témoigne l'emplacement du palace l'Impérial. L'influence du romantisme fut sans doute exagérée, même si Rousseau et Byron donnèrent leurs lettres de noblesses au Léman et le souvenir de Lamartine reste pour toujours attaché au Bourget. Mais il en fallut davantage pour que s'estompent les représentations plutôt négatives des «eaux mortes», des «eaux profondes» sujettes à de dangereuses tempêtes.

Les grands monuments historiques qui se dressent sur les rives constituèrent des buts de promenade ou de croisière appréciés : le château de Duingt sur le lac d'Annecy, le château de Chillon (photo 2) et l'abbaye de Hautecombe furent des lieux d'excursion très courus.

Enfin, depuis le milieu du XIX^e siècle, la route, le rail et la voie d'eau se sont combinés pour rendre plus aisément accessibles les stations touristiques.



Photo 1 – Établissement thermal à Évian-les-Bains, buvette de la terrasse / Phototypie, Neuchâtel, vers 1900 (© Arch. dép. Haute-Savoie, 8 Fi Evian 394)



Photo 2 – Château de Chillon sur le Léman (© B. Mercier)

Aménagements et pratiques touristiques

La navigation sur les lacs fut la première modalité de leur fréquentation touristique : aux barques des pêcheurs se substituèrent les bateaux de passagers (voir question 9-03 : *Comment a évolué la navigation sur les lacs au fil des siècles ?*), dont le fameux *Couronne de Savoie*, offert en 1861 par Napoléon III pour le service du lac d'Annecy. L'aménagement des ports permet à la fin du XIX^e siècle l'organisation des premières régates, à la voile ou à l'aviron, en liaison avec la vie mondaine des stations.

Quant aux bains dans les lacs, ils restèrent longtemps réservés aux populations locales ou aux militaires, et les municipalités renâclèrent à favoriser leur développement. On se baignait donc à l'écart, ou au large depuis des embarcations.

Au début du XX^e siècle, les concours de natation se développèrent mais les premières plages modernes ne furent guère aménagées avant les années 1920-1930, Annecy ne disposant d'une plage digne de ce nom, qu'à partir de 1929, à Saint-Jorioz.

À la même époque, chaque lac se dote d'un téléphérique panoramique montant à l'assaut du Salève, du Mont-Veyrier (photo 3) et du Revard. Le projet de route tout autour du lac du Bourget n'aboutira pas, de même que le projet immobilier à la pointe de l'Ardre (Brisson-Saint-Innocent). Mais le long du Léman ou sur la rive ensoleillée du lac d'Annecy s'installèrent de luxueuses rivières. La marina de Port-Ripaille, dans le delta de la Dranse, est l'illustration la plus spectaculaire des aménagements touristiques du littoral.

La situation actuelle du tourisme

Les lacs sont bien installés parmi les destinations touristiques des Alpes du Nord et ont les honneurs de tous les guides. Yvoire fait partie de l'association des « plus beaux villages de France » et côté français, 11 communes sont aujourd'hui classées « stations de tourisme » (Talloires depuis 1921 par exemple), « stations hydrominérales » (Évian-les-Bains depuis 1919) ou « stations climatiques » (Annecy-le-Vieux), même si aucune n'est classée « station balnéaire ».

Le tourisme rencontre aujourd'hui de nombreux freins, au premier rang desquels la très forte pression foncière à proximité des grandes agglomérations. La fonction résidentielle rentre en concurrence avec les activités touristiques, d'autant plus que, depuis 1986, la loi littoral contraint fortement les règles de construction. Les espaces protégés (réserves naturelles, terrains du Conservatoire du Littoral) couvrent plusieurs secteurs des rives des grands lacs, invitant au développement d'un tourisme de nature permettant de mieux concilier les différents usages des lacs.

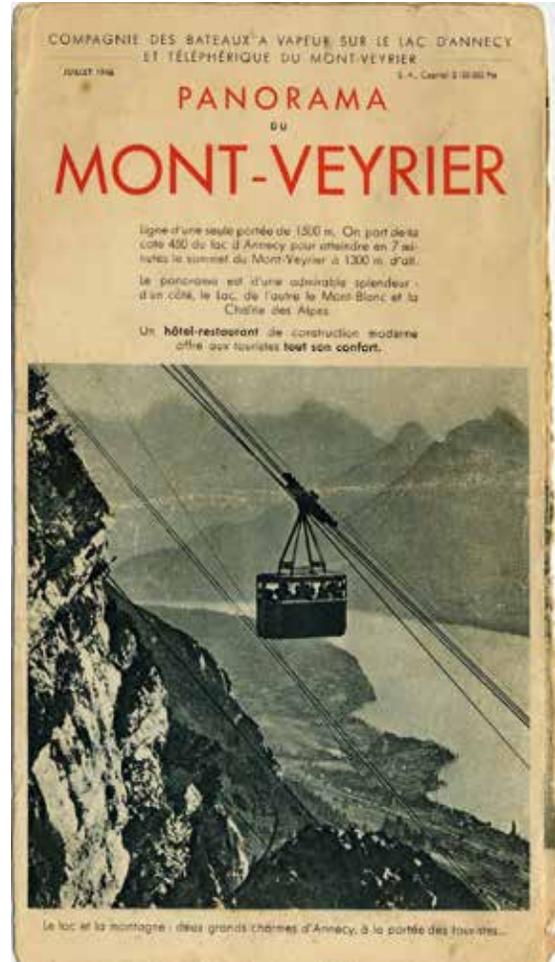


Photo 3 – Prospectus publicitaire pour le téléphérique du Mont-Veyrier, au-dessus du lac d'Annecy ; au dos sont publiés des panoramas de montagnes visibles depuis le sommet, juillet 1946, coll. particulière.

Ce qu'il faut retenir

À bien des égards, avec les palaces d'Évian-les-Bains, les grandes régates du Léman, les bateaux à passagers qui font le service de Hautecombe et la Fête du Lac à Annecy, le tourisme au bord des lacs alpins apparaît fixé dans une pratique de l'espace héritée de la période 1850-1950. Le tourisme se développe par « facettes », permettant de mettre en avant tous les atouts des territoires des lacs.

Existe-t-il une gastronomie spécifique sur le Léman ?

► Famille Plassat, restaurant Les Cygnes •

Féra, gardon, perche, truite, omble chevalier, brochet, lotte... sont autant d'espèces de poissons cuisinés depuis des générations par les riverains des lacs. Appréciations sur le Léman, les évolutions des pratiques culinaires, qui participent à la renommée de ce territoire lacustre.

Jusqu'aux années 1950, les locaux et plus particulièrement les pêcheurs professionnels, se sont révélés plus pragmatiques que gastronomes.

La littérature ancienne atteste l'importance du poisson dans la gastronomie locale. Dans les faits cependant, les populations lémaniques ne sont pas à l'origine d'une tradition culinaire spécifique.

La féra était cuisinée très simplement, entière, cuite au vin blanc ou au cidre, recouverte de légumes, surtout de l'oignon, et parfois accompagnée de tomates. Quoique modernisée, cette recette s'est maintenue, les légumes contribuant à attendrir la chair et à dissoudre les arêtes du poisson.

Le gardon et d'autres espèces de poissons blancs pouvaient être cuisinés ainsi, mais on les appréciait également cuits à la poêle et accompagnés d'oignons en abondance.

Avant de devenir le célèbre « filet » qui occulta ses qualités intrinsèques, la perche eut une histoire et de fidèles adeptes. Lorsqu'elle ne dépassait pas 10-15 cm, on la mangeait en friture. Cependant, la ménagère locale n'appréciait guère cette préparation qui donnait selon elle « un mauvais goût à l'huile ». Et les désirs de la cuisinière faisaient alors loi dans les assiettes ! Néanmoins, la préférence des habitants allait aux grosses perches. Elles étaient alors cuites au four et lorsqu'elles dépassaient 1 kg, tout simplement pochées ou cuites au beurre.

Toutefois, en matière de gastronomie, les goûts et les tendances tournent plus vite que les vents du Léman et les perches robustes, si prisées autrefois, se font rares désormais et n'attirent plus l'attention que des connaisseurs. Pour le plus grand nombre, ces dernières contiennent « trop d'arêtes ». Elles sont donc taillées en filets et on leur préfère systématiquement des perches de plus petites dimensions, celles-là même que l'on bradait autrefois et que surpassait le gardon.

La truite, l'omble chevalier et le brochet étaient toujours cuisinés au beurre ou au four. Ils pouvaient également être pochés lors d'un dressage sur plat. Ils constituaient alors une entrée froide et étaient servis les jours de fête.

Si les poissons « haut de gamme » semblent si peu mis en valeur par la gastronomie locale, c'est qu'ils étaient prioritairement vendus aux cuisines bourgeoises et expédiés à Genève ou à Lyon.

La cuisine des poissons du Léman sous influence du tourisme

La cuisine des poissons du Léman a rapidement évolué au cours des années d'après-guerre (post 1945), du fait notamment du tourisme et de l'attractive ville de Genève.



Photo 1 – Jules Plassat, pêcheur professionnel sur le Léman en 1935 (© Famille Plassat) ◀

Le filet de perche, produit incontournable de la région, fit son apparition dans les années 1950. La consommation de **poisson cru ou fumé** n'est pas récente mais s'est considérablement démocratisée à partir des années 1990. En outre, depuis 20 ans, le lac contient des **féras (ou corégones)** en abondance, ce qui permet aux restaurateurs de les cuisiner sous toutes les formes et d'en faire un produit à même de concurrencer l'indétrônable filet de perche. En effet, la gastronomie lémanique est consubstantiellement liée au lac, et celui-ci ne pouvant produire autant de perches que le souhaiteraient les consommateurs, elles sont très souvent importées. De plus, seule la féra se révèle un authentique produit local ayant permis le développement de recettes savoureuses et diversifiées.



Photo 2 – Yannick Moleins, arrière petit-fils de Jules Plassat et 4^e génération de restaurateurs sur les bords du Léman en 2014 (© Famille Plassat)

Cette espèce, déclinée au gré de l'inspiration des cuisiniers, a su regagner sa place aux tables des restaurants et s'impose désormais dans le paysage culinaire du Léman.

Quant aux **ombles chevalier, truites, brochets et lottes**, ils font toujours partie de la carte lémanique et sont le plus souvent cuisinés au beurre ou grillés.

Les tendances de la gastronomie des lacs du Bourget et d'Annecy

Les origines de la cuisine du poisson actuelle ne sont pas différentes de celles du Léman, bien que chaque région puisse avoir quelques différences dans sa préparation. Les conditions d'économie de subsistance étaient les mêmes pour les populations riveraines, les poissons nobles étant toujours vendus pour les riches cuisines bourgeoises. Le développement de la gastronomie moderne dans les restaurants a quelque peu varié.

À Annecy, c'est incontestablement l'omble chevalier qui est le roi, suivi de la féra du lac d'Annecy bien que concurrencée par celle du Léman.

Au lac du Bourget, c'est la friture de petites perches dites « perchaux » et le lavaret (ou féra) qui dominent. Ni au lac d'Annecy ni au lac du Bourget, le filet de perche n'a la renommée qu'il a au Léman, « proximité de la Suisse oblige ».



Photo 3 – Poêlée de filets de perche, jeunes pousses de printemps (© P. Marin – Restaurant Lamartine)

Ce qu'il faut retenir

Depuis toujours, la cuisine des poissons est importante pour la population locale. Au fil des années, on est passé d'une économie de subsistance à une véritable gastronomie d'un authentique produit du terroir.

Que nous enseignent les sites palafittiques ?

► Yves Billaud, MCC, DRASSM •

Des groupes de pieux ont été repérés depuis longtemps près des rives des grands lacs alpins, sous quelques mètres d'eau. Ils ont été interprétés en faisant successivement appel à des légendes, à un mythe, puis à une approche scientifique rigoureuse.



► Photo 1 – La « cité lacustre » sur plateforme au-dessus de l'eau, une vision romantique mais erronée (assiette commémorative de l'exposition universelle de 1889 à Paris) (© Y. Billaud – DRASSM)

Le mythe des cités lacustres

Quelques anciennes légendes concernent des groupes de pieux repérés sur les rivages des lacs alpins et leur confèrent une origine surnaturelle et même diabolique. L'approche scientifique débute au milieu du XIX^e siècle lors de baisses importantes du niveau de plusieurs lacs, mettant au jour de véritables « champs de pieux », les palafittes. Leur ancienneté est attestée par la découverte de tessons de céramiques et de nombreux objets en os ou en silex. Les palafittes sont alors interprétés comme les vestiges de villages préhistoriques installés sur des plateformes au-dessus du lac. Cette vision de la « cité lacustre » (photo 1) aura un fort retentissement dans l'imagerie populaire et sera représentée de multiples façons. Pourtant, les fouilles se multipliant, d'autres hypothèses vont être envisagées (bâtiments sur terre ferme ou en zone amphibie, au sol ou surélevés...) et faire l'objet de débats passionnés.

L'apport des sciences de l'environnement

Des palafittes sont recensés dans l'ensemble de l'arc alpin. Ils se rapportent au Néolithique et à l'âge du Bronze. Ils



▼ Photo 2 – Pieux en chêne d'une station palafittique du lac du Bourget, vestiges de bâtiments du Bronze final construits lors d'une baisse du niveau. Les analyses des bois permettent ici de dater leurs abattages de -845 à -812 av. J.-C. (© Y. Billaud – DRASSM)

sont une mine de renseignements pour les archéologues. L'enfouissement et la submersion ont permis la conservation d'objets périssables inconnus sur les fouilles terrestres (vannerie, récipients en bois, etc.). D'autres disciplines y trouvent également des sujets d'études et ont été d'un apport fondamental à la compréhension de ces sites. Les pieux eux-mêmes constituent un chronomètre d'une grande précision. L'étude de leurs cernes de croissance permet de les dater à l'année près.

L'analyse des sédiments et de leur contenu, en particulier les pollens, a montré que le niveau des lacs a notablement varié au cours des derniers millénaires en réponse à des modifications climatiques. Ainsi, c'est à plusieurs reprises que de -4000 à -800 av. J.-C., les hommes se sont installés sur les rivages lacustres durant les périodes de bas niveau consécutives de phases de réchauffement.

Une réalité multiple

Les fouilles mais aussi les apports de l'ethnographie et de l'archéologie expérimentale donnent maintenant une idée plus précise des habitats littoraux lacustres. Le schéma de la « cité lacustre » sur grande plateforme est totalement abandonné.

Si les pieux sont bien interprétés comme les vestiges de structures de bâtiments, les anciens débats sur un modèle unique sont clos par la démonstration d'une diversité d'adaptations architecturales selon les lieux et les périodes. Apparemment semblables d'un site à l'autre, les pieux dépassant du fond peuvent se rapporter à de petits hameaux néolithiques à vocation agricole mais aussi à de grands villages du Bronze final avec des activités artisanales. En revanche, la question du choix de l'occupation de ces domaines humides, pas particulièrement hospitaliers, reste ouverte (fonction défensive, pression démographique...) (fig. 1).

Vers -800 av. J.-C., une dégradation climatique majeure affecte l'ensemble du continent européen. Entraînant une remontée rapide et durable des niveaux lacustres, elle marque la fin des occupations palafittiques.

L'inscription par l'Unesco au patrimoine mondial de l'humanité

Un projet transnational prenant en compte plus de mille palafittes de la France à la Slovénie a été concrétisé en 2011 par l'inscription d'un ensemble de 111 d'entre eux au patrimoine mondial de l'humanité. Les lacs savoyards et hauts-savoyards en recèlent neuf, représentatifs de plusieurs phases d'occupation de -3842 à -805 av. J.-C. (photo 2).

Cette inscription implique un suivi avec une protection renforcée, et à moyen terme, une valorisation auprès du public, afin de rendre visible au plus grand nombre ce patrimoine exceptionnel mais, de fait, invisible.

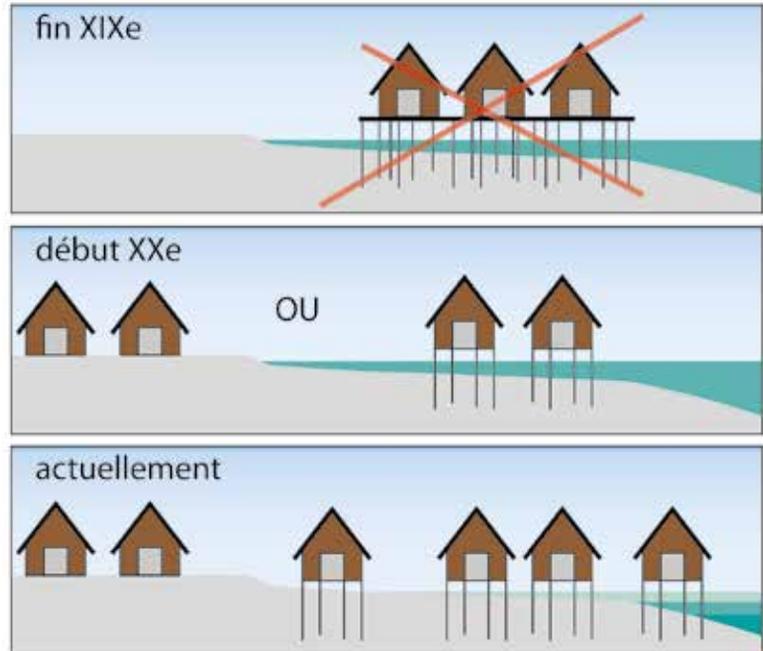


Fig. 1 – Evolution de l'interprétation des palafittes : xx^{e} siècle, « cité lacustre » sur plateforme ; début xx^{e} siècle, débat habitat terrestre/lacustre ; actuellement, vision plurielle (source : Y. Billaud – DRASSM)

Ce qu'il faut retenir

Les palafittes sont les vestiges de villages établis sur les rivages lacustres lors de différentes phases de réchauffement climatique entre -4000 et -800 av. J.-C. L'image traditionnelle des « cités lacustres » au-dessus de l'eau s'avère erronée. Les études récentes montrent différentes adaptations architecturales à ce milieu particulier selon les lacs et les époques : bâtiments au sol ou surélevés, en retrait ou sur le littoral.

Existe-t-il une spécificité architecturale et patrimoniale des lacs ?

► Arnaud Dutheil, CAUE 74 •

Le territoire des lacs alpins constitue un patrimoine environnemental de premier ordre, mais également culturel du fait de la forte présence humaine qui y a trouvé très tôt les éléments propices à son développement.

Des palafittes préhistoriques

L'inscription récente sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco de 111 sites palafittiques des Alpes (voir question 9-07 : *Que nous enseignent les sites palafittiques ?*) souligne le caractère exceptionnel de ce patrimoine. Les premières découvertes faites sur les rives des quatre lacs, il y a 150 ans, ont contribué à l'élaboration d'une image romantique des villages lacustres. Elle est remise en cause par l'exploitation scientifique des fouilles qui sont menées.

Du sublime au pittoresque

La présence de châteaux et d'abbayes n'est pas spécifique aux lacs alpins, mais la mise en scène de certains édifices en font des motifs paysagers emblématiques des pays de Savoie. La force de ces images doit moins à leurs histoires qu'à l'évocation qu'en ont fait les écrivains ou les peintres (voir question 9-01 : *Comment la culture et les arts ont-ils contribué à créer l'image contemporaine des lacs ?*).

La Maison de Savoie est évidemment implantée fortement sur les rives du lac du Bourget et du Léman par l'abbaye d'Hautecombe, les châteaux de Ripaille, d'Yvoire et de Chillon mais plus encore, dans notre inconscient collectif, sont présents Honoré de Balzac célébrant, dans *La Peau de chagrin*, la «sépulture des rois de Sardaigne prosternés devant la montagne», Alphonse de Lamartine méditant, dans *Raphaël*, sur «l'immensité lumineuse des eaux qui se fondaient avec la

lumineuse intensité du ciel», Jean-Jacques Rousseau, Georges Sand, Victor Hugo, Alexandre Dumas et Lord Byron... Le lac d'Annecy n'est pas en reste avec de nombreuses représentations autour du château de Duingt (photo 1) sur sa presqu'île, sentinelle entre Bauges et Aravis et du château de Menthon-Saint-Bernard, surplombant le lac de ses ajouts troubadours, façon Louis II de Bavière.



Photo 1 – Le lac d'Annecy et les châteaux de Duingt (© CAUE 74) ◀



Photo 2 – Buvette Cachat, Évian-les-Bains (© CAUE 74 / 2008) ◀

Les stations thermales du Second Empire

«Prendre les eaux» à Aix-les-Bains, Évian-les-Bains et Thonon-les-Bains a été un temps de villégiature mondaine où, sous couvert des bienfaits de la cure, toute une société s'adonne à de multiples distractions.

Des quartiers spécifiques voient le jour et autour d'un parc thermal soigneusement dessiné, s'articulent les thermes, les buvettes, les palaces, le casino et le théâtre (photo 2). L'expression architecturale est complètement libre, chaque bâtiment faisant assaut de monumentalité et d'exubérance. Coupoules, verrières et représentations allégoriques se succèdent

dans un éclectisme qui associe le néo-byzantin au classicisme. Cette activité voit sa consécration sous Napoléon III, qui visite les établissements d'Aix-les-Bains et d'Évian-les-Bains en 1860, année du rattachement de la Savoie à la France.

Les villégiatures : du contemplatif au ludique

Par leurs récits et représentations, les artistes et intellectuels susciteront l'engouement des élites pour les séjours au bord des lacs alpins. Une villégiature se développe sans lien avec l'urbanisation existante, les nouvelles résidences (photo 3) très espacées les unes des autres cherchent à occuper des sites aux caractéristiques précises. Si le ^{xix}^e siècle privilégie de légers promontoires permettant l'accès à la vue tout en gardant à distance les roselières, le ^{xx}^e siècle souhaitera la proximité avec l'eau. Les rives des lacs verront se construire maisons aristocratiques, castels et villas. Autant de catégories constituant des marqueurs sociaux qui jouent sur les dimensions, le parc et le style architectural. Celui-ci marie avec plus ou moins de réussite, le gothique et l'art nouveau, le classicisme et le régionalisme normand...

L'amélioration et la démocratisation des moyens de transport et l'accès facilité à la construction permettront la multiplication de résidences secondaires. Les aristocrates contemplatifs sont supplantés par des bourgeois sportifs, venus des métropoles régionales.



Photo 3 – Châtelet, Évian-les-Bains (© S. Duffard – CAUE 74/2007) ◀

Ce qu'il faut retenir

Les rives des lacs constituent des lieux de vie depuis l'époque néolithique, les sites palafittiques en sont la mémoire. Abbayes et châteaux construits bien plus tard participent à l'avènement du paysage romantique. La confirmation médicale au ^{xix}^e siècle des vertus curatives de certaines sources est le support du développement particulier des stations thermales. L'aristocratie s'installe aux bords des lacs dans des villas bourgeoises de style éclectique.

Les objets de la pêche professionnelle sur le Léman ont-ils une histoire ?

► Gilles Bondaz, association des musées du Chablais •

Les engins de la pêche professionnelle lémanique sont le résultat de créations multiples et ingénieuses répondant aux besoins immédiats des pêcheurs. Le nom de chaque objet vient du patois franco-provençal des riverains ou de termes maritimes employés parfois dans un sens différent.

La pêche au grand filet jusqu'à la fin du XIX^e siècle

Pendant des siècles jusqu'à la fin du XIX^e siècle, on pêchait au grand filet, une grande senne amenée par deux ou quatre hommes, puis de nouvelles techniques sont apparues avec l'invention des pics par Marie Lugin en 1888.

Les anciens filets étaient en chanvre, ils ne seront plus montés par les pêcheurs à partir de la fin du XIX^e siècle. Le coton va remplacer le chanvre un peu avant 1920. Les toiles sont fabriquées par les négociants en filets comme la maison Henri Martin (aujourd'hui André Huser) fondée en 1883 à Cressier, en Suisse.

Mais les contraintes sont lourdes : pour éviter le pourrissement, les filets sont trempés dans un bain de sulfate de cuivre, ce qui leur donne cette couleur verte. Ensuite apparaîtront à partir de 1954, les filets en nylon fabriqués en Italie, au Japon, en Chine, d'abord en fils torsadés puis monofil à partir des années 1960, quasiment invisibles dans l'eau. Les fabricants vendent la toile, les pêcheurs montent le « chalame », un cordage en nylon qui borde le haut du filet où sont accrochés les flotteurs appelés « bignets ». Ils installent en bas la « vêtre », cordage plombé pour lester la toile. L'aiguillette, un outil précieux pour les pêcheurs, a défié les âges : cette navette en bois, aujourd'hui en plastique ou en aluminium, est toujours utilisée pour raccommoder les filets déchirés.

Des techniques ancestrales qui se modernisent et révolutionnent aujourd'hui le monde de la pêche

Les pics filets présents sur les lacs à compter de 1888

La matière change mais les noms des filets demeurent : on les dénomme pics, menis, redalets, tramails, montes, selon le poisson qu'ils vont capturer. On parlera aussi de « marque », ce gros flotteur indiquant l'emplacement d'un engin de pêche sur lequel est inscrit, à la marque à feu autrefois et maintenant au feutre ou à la peinture, le nom du pêcheur. Les pics filets dérivants de 120 m de long utilisés pour la capture des féras, sont signalés avec un flotteur de grande dimension, nommé « escabelle », autrefois demi-tonneau fermé à chaque extrémité puis support en planche, aujourd'hui assemblage de tuyaux de plastique emboîtés. On y a installé une lampe falot et depuis 2000, un feu clignotant et un GPS pour retrouver plus facilement les filets, la nuit. À l'autre bout de ces filets se trouve un drapeau : c'est un gros flotteur muni d'une hampe d'un mètre portant un carré de tissu noir et lesté à sa base avec du plomb.



Photo 1 – Falot traditionnel sur escabelle
(© G. Bondaz)



Photo 2 – Pêcheurs sur le Léman en août 1938
(© Moille – Fonds écomusée de la pêche et du lac)

Les nasses à perches des années 1930

Les nasses à perches sont toujours de fabrication artisanale, façon pêcheurs : sur une monture en fer galvanisé, le professionnel tend un grillage d'abord en cuivre dans les années 1930 puis un vulgaire treillis et maintenant un grillage en inox. Rien ne change dans la forme et la fonction, sinon les matériaux de base.

Des canots à rame aux bateaux à moteur

Les canots ont la même forme que ceux créés à la fin du XIX^e siècle pour aller aux pics. Avant on utilisait des « naus », de lourdes embarcations à fond plat, actionnées par trois rames. Le bois a laissé la place au plastique et la sécurité a été renforcée par des caissons étanches, mais la forme des canots a très peu varié. Le système de propulsion a évolué : fini la voile et les rames. Les anciens moteurs hors-bords Archimède des années 1930, sans ralenti ni marche arrière, puis les Penta des années suivantes, ont fait place à des moteurs Honda ou Yamaha plus puissants, plus maniables, plus rapides.



Photo 3 – Pêcheur remontant ses pics à féras (© G. Bondaz)

Ce qu'il faut retenir

Depuis vingt ans, les techniques ont révolutionné le monde de la pêche : canots en plastique, filet monofil, GPS, moteurs rapides, les outils se sont adaptés à ces progrès. Mais les manières et les habitudes de pêche demeurent, même si certains tentent d'en sortir. Car le lac lui, n'a pas changé : aujourd'hui la féra abonde dans le Léman mais demain tout peut basculer. Cette mer intérieure appelée ainsi par certains auteurs, reste soumise au climat, au temps, aux courants, aux poissons, à la pollution. C'est pour cette raison que le Léman est toujours scruté et surveillé par les hommes qui l'entourent.