

## Le retour du lavaret : une action d'ingénierie écologique réussie à l'échelle d'un lac (Le Bourget)

**Les grands lacs alpins sont soumis à de multiples pressions anthropiques qui impactent leur fonctionnement et les nombreux services écosystémiques qu'ils peuvent rendre : tourisme, eau potable, pêche... Seules des actions fortes et un suivi sur le long terme permettent le maintien ou la restauration de ces services. À travers l'exemple des démarches mises en œuvre pour le lac du Bourget, cet article nous présente comment une action d'ingénierie écologique réussie a permis l'amélioration de la qualité des eaux et le retour d'une espèce emblématique du lac, le lavaret.**

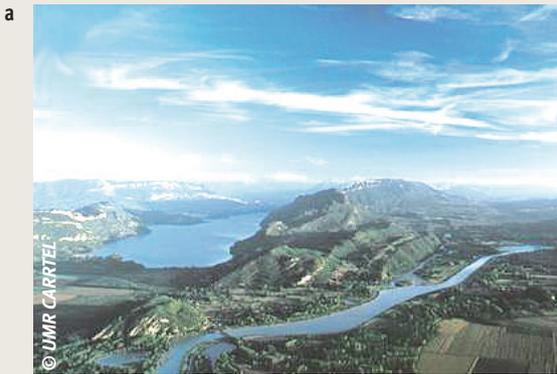
**L**es grands lacs alpins fournissent de nombreux services écosystémiques : supports (cycle des nutriments), approvisionnement (pêches, eau potable : le volume du lac du Bourget – 3,6 milliards de m<sup>3</sup> – équivaut à la consommation domestique annuelle française), régulation (climat local, flux hydrologiques), culturels (récréatif, esthétique, spirituel, éducatif). Ils sont des réceptacles naturels, soumis à des pressions anthropiques multiples et variables dans le temps, issues de leur bassin versant (flux de nutriments, polluants, démographie...) ou internes (gestion halieutique, développement algal, activités récréatives...). L'occupation des sols des bassins versants et les pratiques de gestion se modifient au fil du temps : développement démographique et touristique, croissance urbaine, développement industriel et routier, changements de pratiques agricoles. Ces changements modifient non seulement les flux qui sont transférés aux lacs, mais aussi leur composition chimique (nutriments, xénobiotiques). Les activités humaines directement liées au lac (tourisme, pêches) ont également un impact sur le fonctionnement de l'écosystème et sa biodiversité. En particulier, la pression de pêche, professionnelle et amateur, ainsi que les actions de rempoissonnement peuvent modifier la structure du peuplement piscicole. Dans le courant actuel de l'évaluation des services rendus par les écosystèmes, les lacs sont le parent pauvre de cette approche (Amigues et Chevassus Au Louis, 2011). En effet, très peu de travaux prennent en compte l'ensemble des services écosystémiques lacustres

et leurs interactions. Seules quelques analyses (essentiellement économiques) sur la ressource piscicole ou sur le tourisme sont réalisées. Le maintien ou la restauration des services rendus par les milieux lacustres de grande taille n'est possible que par des actions fortes et sur du long terme : leur taille, leur profondeur, le relativement faible taux de renouvellement de leurs eaux (environ 8,5 années pour le Bourget) impliquent une résilience longue. Au début des années 1950, les changements démographiques et les évolutions sociétales majeures qu'ont connus ces régions péri-alpines en ont fortement modifié la géographie. Les grands lacs alpins ont ainsi été soumis à des pressions anthropiques importantes, menaçant leur équilibre.

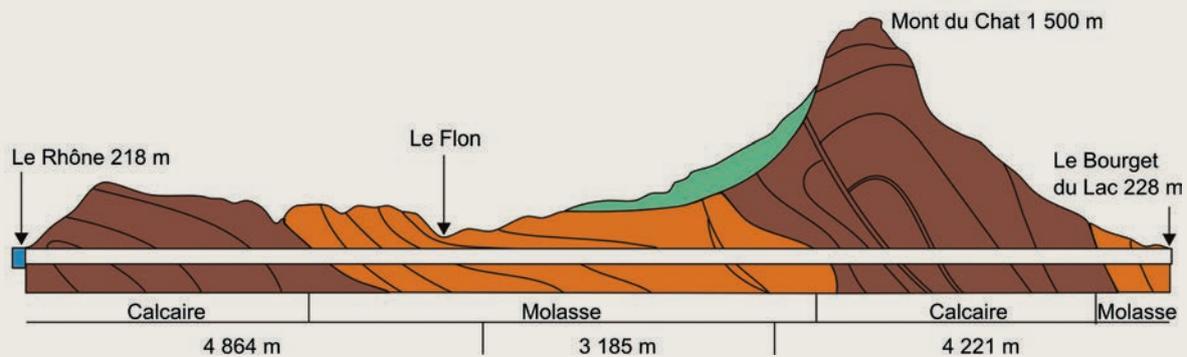
### La crise du lac du Bourget

D'une façon similaire au Léman, le lac du Bourget a été impacté dès les années 1950 par une forte charge en phosphore, issue des rejets domestiques liés à l'accroissement de la population riveraine et au changement de mode de vie (le bassin versant accueille environ deux cent mille habitants et a une croissance démographique forte et régulière, d'environ 1,2 % par an depuis trente ans). Cependant, à cette époque, il n'y avait pas de réel suivi de la qualité des eaux du lac. Des données de nature diverse témoignent toutefois des conséquences de cet état, par exemple au travers d'études directes de la chimie des eaux du lac. Récemment, des études sur l'ADN archivé dans des sédiments datant des années

- ❶ a) Le lac du Bourget et le Rhône, séparé par le massif de l'Épine ; b) Travaux de percement du tunnel de dérivation des eaux épurées ; c) Coupe géologique de la galerie d'évacuation des eaux résiduaires traitées.



c Coupe géologique de la galerie



1970, ont mis en évidence la présence de cyanobactéries du genre *Microcystis*, typiques des milieux eutrophes. Les premières mesures de suivi réalisées au début des années 1980 ont permis d'estimer la teneur en phosphore du lac à environ  $120 \mu\text{g}$  de  $\text{P-PO}_4/\text{L}$ , valeur qui confirmait l'état eutrophe du lac.

L'eutrophisation des eaux a eu trois conséquences principales qui ont été identifiées :

- essentiellement une prolifération algale, comme cela est classiquement le cas dans tous les milieux aquatiques eutrophes, réduisant la transparence des eaux, générant une odeur parfois désagréable (décomposition), entraînant ainsi une baisse de son attrait touristique (baignade, loisirs nautiques) et une gêne occasionnelle pour la pêche ;
- la décomposition microbienne de cette biomasse surabondante consomme l'oxygène dissous du milieu et génère ainsi des périodes d'anoxie près du fond, rendant certaines zones lacustres impropres à la vie piscicole, avec en particulier un impact notable sur les zones de frayères. En conséquence, les poissons emblématiques du lac du Bourget, l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) et le corégone (*Coregonus lavaretus*, appelé localement le lavaret) sont devenus de plus en plus rares, malgré des efforts de repoissonnement. Cette diminution était principalement liée à une mortalité accrue des stades œufs et embryonnaires induite par les conditions d'anoxie du milieu dans lequel ces stades se développent. Pendant presque trente ans (1960-1990), les pêches de ces deux espèces caractéristiques des écosystèmes oligotrophes

(Gerdeaux *et al.*, 2006) ont été très faibles, passant pour le lavaret de plus de quatre vingt tonnes à moins de cinq tonnes par an ;

- enfin, certaines de ces proliférations, dans les périodes antérieures au pic d'eutrophisation et lors de certaines périodes de la réoligotrophisation, étaient également liées à une cyanobactérie (*Planktothrix rubescens*, bactérie à pigment, souvent assimilée par erreur à une algue), susceptible de libérer des toxines. Cette cyanobactérie développe des efflorescences dans les conditions méso-eutrophes. Outre un impact visuel et une gêne à la pêche (obturation partielle des filets par les filaments), les prélèvements d'eau en vue de leur potabilisation sont également perturbés, la réglementation prévoyant l'interdiction de distribution au-delà d'un seuil de concentration de  $0,1 \mu\text{g}/\text{L}$  de microcystine, une des cyanotoxines les plus courantes produites par ces cyanobactéries.

### Les actions mises en œuvre

#### Ingénierie et assainissement

Pour contrer le phénomène d'eutrophisation de la masse d'eau, d'importants travaux ont été entrepris entre 1974 et 1980. Le parti retenu a été d'améliorer les stations d'épuration de Chambéry et d'Aix-les-Bains et d'exporter leurs eaux ainsi traitées vers un milieu capable de supporter le rejet. Pour son débit et sa proximité, le Rhône a été préféré à l'Isère et pour réaliser cette dérivation, un tunnel a été percé dans le massif de l'Épine (figure ❶).

▶ À l'époque, il s'agissait de la plus vaste entreprise de restauration lacustre jamais menée en France (coût d'environ 46 millions d'euros). Longue de 12,2 km, la galerie parcourt un dénivelé de 10 m avec une section de 5 m<sup>2</sup> et le débit rejeté au Rhône est en moyenne de 800 litres par seconde (28,8 m<sup>3</sup>/h). Les eaux épurées des trois stations d'épuration (Chambéry, Aix-les-Bains, Bourget-du-Lac) sont ainsi acheminées par des conduites jusqu'à l'entrée de la galerie qui se trouve sur la commune du Bourget-du-Lac.

### Pacage lacustre

Parallèlement à ces travaux d'épuration et afin de pallier à la chute de captures des salmonidés, les pêcheurs, accompagnés des services de l'État et des scientifiques de l'INRA (Institut national de la recherche agronomique), ont développé un mode de repeuplement propre à la gestion des pêcheries lacustres, le pacage lacustre. Il s'agissait de combler provisoirement les déficiences du recrutement naturel en pratiquant des relâchers de juvéniles de façon contrôlée et optimisée (sur les plans biologique, technique et économique) en fonction des objectifs de gestion définis. Cette opération a été coordonnée à l'échelle des trois lacs alpins par une association regroupant pêcheurs amateurs et professionnels, l'APERA (Association pour la mise en valeur des plans d'eau en Rhône-Alpes). Dans le cas du lac du Bourget, cette opération a été réalisée depuis 1989. Chaque année, des pêches exceptionnelles sont conduites sous le contrôle des gardes de l'Onema (Office national de l'eau et des milieux aquatiques) et depuis 2004 sous la coordination du CISALB (Comité intersyndical pour l'assainissement du lac du Bourget) en collaboration avec l'APERA. Ces pêches, réalisées pendant la période de reproduction des salmonidés, permettent de récupérer les ovules et la laitance de géniteurs d'omble et de lavaret afin de réaliser une reproduction artificielle. Une fois fécondés, les œufs sont transférés à la pisciculture domaniale de Rives (Thonon-les-Bains). Après éclosion,

les larves sont stockées dans des bassins spécifiques puis nourries avec une alimentation adéquate. Pendant plusieurs années, les alevins de lavaret étaient ensuite transférés dans des cages immergées dans le lac du Bourget afin de s'habituer progressivement à la nourriture naturelle du lac et d'optimiser leur survie. À la fin des années 1980, les déversements d'alevins de lavarets ont fortement varié au cours du temps, tant en quantité déversée qu'en stades de déversement concernés. Ils ont été d'un niveau d'environ 100 000 en 1990-91, puis entre 1992-98, ils ont varié entre 200 000 et 450 000, pour atteindre en 1999 un million d'alevins. Depuis 2004, les déversements sont essentiellement pratiqués au stade d'alevins démarrés, le passage par les cages ayant été progressivement abandonné à cause de la lourdeur de l'opération et les alevins sont déversés directement dans le lac au mois d'avril. Les alevins d'ombles, quant à eux, rejoignent le lac plus tardivement, au mois de juillet. Les objectifs de production sont fixés dans le cahier des charges de la location des droits de pêche, soit au minimum 100 000 estivaux d'ombles chevaliers et 500 000 juvéniles de lavarets. Il convient de souligner que l'alevinage d'omble est indispensable pour soutenir la pêche, mais aussi pour conforter le maintien de cette espèce, dont le recrutement naturel est très faible depuis une vingtaine d'années (la cause en est probablement multifactorielle : réduction de la fonctionnalité des frayères, prédatations, température...).

### Les résultats

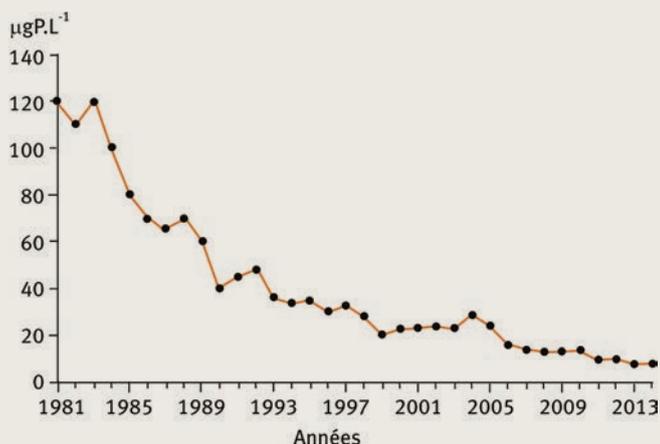
Ils ont été obtenus grâce à la conjonction de ces deux actions principales de restauration.

#### Sur le plan de la qualité chimique

Grâce aux travaux d'assainissement et de dérivation des eaux usées mis en service en 1980, la concentration de phosphore dans les eaux du lac a chuté de 120 à 40 µg/L en l'espace de dix ans, pour atteindre, dès le milieu des années 2000, des concentrations proches des 20 µg P/L (figure 2) entraînant une nette amélioration de la transparence de l'eau et l'amélioration de sa qualité biologique (Jacquet *et al.*, 2013), les rejets au lac passant de plus de 150 tonnes de phosphore par an dans les années 1980 à moins de 30 tonnes aujourd'hui. Ce seuil de 20 µg P/L est considéré comme limitant pour les proliférations d'algues et donc comme significatif d'une eau de bonne qualité. Mais malgré ces baisses significatives, dans les années 2000, des blooms répétés de *Planctothrix rubescens* sont survenus, perturbant les usages de l'écosystème (potabilité de l'eau, accumulation de toxines chez le poisson...). La poursuite des travaux d'assainissement sur le bassin versant ont ensuite permis d'atteindre la concentration actuelle d'environ 10 µg/l (figure 2). Une autre question est désormais posée : de telles valeurs, si elles persistent ou continuent de baisser, vont-elles avoir des conséquences sur le fonctionnement de l'écosystème, de ses fonctions, et au-delà, de ses services ? Y a-t-il un seuil de bascule en terme de P (ou de ratio N/P) qui impactera l'ensemble du réseau trophique et donc la production piscicole ?

Actuellement, et depuis la fin des années 2000, la cyanobactérie ne se développe plus de façon intensive, les conditions du milieu ayant franchi un seuil de qualité.

2 Évolution des teneurs en P-PO<sub>4</sub> dans les eaux du lac du Bourget. Le seuil DCE pour le mauvais état écologique est > 50 µg P-PO<sub>4</sub>/L et celle de très bon état est < 10 µg P-PO<sub>4</sub>/L (source Observatoire des Lacs Alpins : [www6.inra.fr/soere-ola](http://www6.inra.fr/soere-ola)).



### Sur le plan de la ressource piscicole

Les actions d'alevinage, réalisées en partenariat avec les pouvoirs publics, les collectivités locales et les gestionnaires de la pêche ont permis de maintenir pendant toute la période d'eutrophisation un stock de lavaret dans le Bourget. Si le repeuplement a permis de sauver la population de lavaret, il a fallu attendre les années 2000, avec une gestion halieutique adaptée et une meilleure qualité d'eau, pour retrouver un stock significatif : celui-ci a augmenté ensuite de façon spectaculaire. Le tonnage total pêché est passé de moins de 5 tonnes/an dans les années 1960-1970 à plus de 70 tonnes/an depuis 2012 (figure 3), le lavaret représentant moins de 5 % du tonnage dans les années 1990-2000 à plus de 80 % actuellement. Il a été montré que la contribution des poissons issus du repeuplement dans le stock de lavarets est passée de plus de 90 % au démarrage du projet à seulement quelques pourcents ces dernières années, la reproduction naturelle étant actuellement suffisante pour assurer le renouvellement du stock (Champigneulle et Cachera, 2004).

Il faut cependant noter que l'autre espèce emblématique, l'omble chevalier, dont la reproduction se déroule à des profondeurs de plus de 50 m, voit sa population stagner (figure 3), sans que l'on puisse à l'heure actuelle hiérarchiser de façon certaine les facteurs explicatifs de ce phénomène (compétitions inter-spécifiques, prédation accrue par le brochet, réchauffement des couches

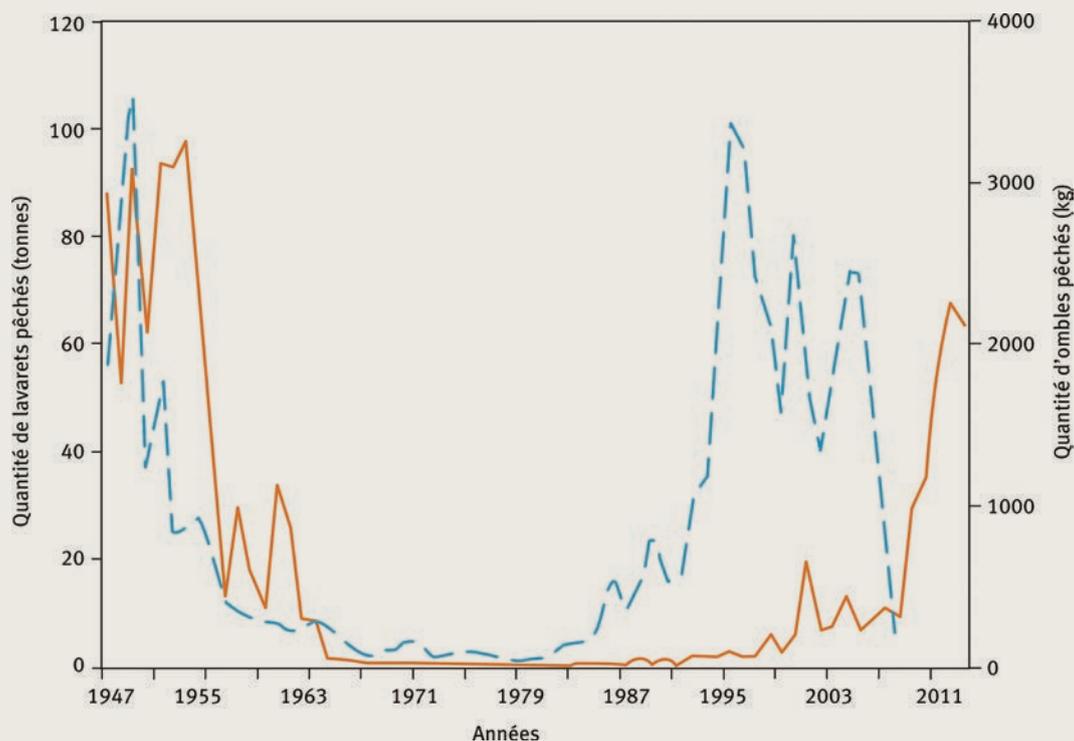
profondes, perturbations du comportement par des micro-polluants, retard dans la restauration des zones profondes, dérive génétique...). De ce fait, le stock d'omble chevalier dépend encore fortement du pacage lacustre, moins de 10 % du stock provenant de la reproduction naturelle.

En terme d'exploitation de cette ressource piscicole, les pêcheurs professionnels exercent leurs activités sur quatre lots de pêche représentant 80 % de l'ensemble du lac. Après avoir été près de 120 pêcheurs professionnels mais pluri-actifs (c'est-à-dire dont la pêche n'était pas l'activité unique) entre 1950 et 1980, leur nombre actuel est d'environ une dizaine de professionnels dont la pêche est l'activité unique. Deux lots sont spécifiquement réservés à la pêche amateur, avec un nombre de permis d'environ 1 500, qui représente un chiffre d'affaire global (carte de pêche, nuitées, matériel...) de plus de 1,8 millions d'euros par an.

### Conclusion

L'amélioration significative de la qualité des eaux du lac du Bourget a permis la restauration globale de la qualité des eaux de ce grand lac alpin, et en particulier le retour d'un poisson emblématique de ses eaux, le lavaret, caractéristique des lacs alpins oligotrophes. Ce retour est symbolique d'une amélioration nette de la qualité globale des eaux, qui permet ainsi à l'écosystème

3 Évolution des statistiques de pêche (pêche professionnelle) pour le lavaret (*Coregonus lavaretus*) (trait plein orange) et l'Omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) (trait bleu pointillé). Si les populations se sont effondrées en une dizaine d'année, il a fallu près de trente ans pour retrouver un bon stock de lavaret. L'omble est par contre toujours menacé. Depuis 2008, la consommation et la commercialisation de l'omble est interdite par arrêté préfectoral pour cause de contamination aux PCB.



▶ de rendre à nouveau ses nombreux services écosystémiques (potabilité, tourisme, pêches). Il témoigne aussi de plusieurs éléments caractéristiques de l'ingénierie environnementale :

- la lenteur de la dynamique de restauration d'un écosystème de la taille du Bourget. Pratiquement quarante années ont été nécessaires, depuis la mise en place des premières actions. Il convient de souligner que l'hystérésis liée à la nature et la taille d'un tel écosystème rendent difficile la prédiction d'une trajectoire de restauration ;
- la nécessité d'agir sur plusieurs leviers correspondant à plusieurs services fournis par l'écosystème et de façon multi-partenaire (associations, pouvoir publics...). C'est ainsi que la restauration des berges, notamment des roselières lacustres, est également un élément complémentaire indispensable à la récupération des potentialités lacustres (biodiversité, effet filtre). La régénération de ces milieux remarquables passe par une modification des consignes de régulation des niveaux du lac : un projet de baisse exceptionnelle automnale réalisée tous les quatre ans est en préparation ;
- la nécessité d'un suivi sur le long terme pour analyser et comprendre la résilience du système et pour évaluer les gains écologiques au regard des investissements consentis dans les opérations de restauration (rôle de l'observatoire des lacs alpins, un des observatoires de la zone atelier du bassin du Rhône – encadré ①). Si le suivi physico-chimique a été mis en place au début des années 1980, il n'a été progressivement étoffé par la prise en compte des paramètres biologiques qu'à partir du milieu des années 1990.

Cet effort de surveillance et d'action doit cependant être prolongé afin que d'autres facteurs de perturbations existants (micropolluants, compétition interspécifique, hypoxie partielle) ou en devenir (réchauffement global) ne viennent pas contrecarrer cette réussite qui reste fragile. ■

## ① SOERE, OLA ET ZABR

Le système d'observation, d'expérimentation sur le long terme et de recherche (**SOERE**) – Observatoire des lacs alpins (**OLA**) – [www6.inra.fr/soere-ola](http://www6.inra.fr/soere-ola) : cet observatoire (labellisé en 2010 en tant que SOERE) est dédié aux suivis et à l'étude des lacs alpins, tout particulièrement les trois grands lacs profonds que sont le Léman, le lac du Bourget et le lac d'Annecy.

La zone Atelier du bassin du Rhône (**ZABR**) : la ZABR est un groupement d'intérêt scientifique. Elle rassemble 21 établissements de recherche des régions Rhône-Alpes et Provence-Côte d'Azur. Elle est le support de programmes de recherches pluridisciplinaires apportant des éléments de connaissances en appui à la décision publique en matière de gestion durable des cours d'eau, des lacs et de leurs bassins versants.

### Les auteurs

**Jean GUILLARD, Alexis CHAMPIGNEULLE et Bernard MONTUELLE**

INRA – Uds – UMR 42 CARRTEL  
F-74203 Thonon-les-Bains Cedex – France

✉ [jean.guillard@thonon.inra.fr](mailto:jean.guillard@thonon.inra.fr)

✉ [alexis.champigneulle@thonon.inra.fr](mailto:alexis.champigneulle@thonon.inra.fr)

✉ [bernard.montuelle@thonon.inra.fr](mailto:bernard.montuelle@thonon.inra.fr)

**Sébastien CACHERA**

CISALB  
42 rue du pré Demaison  
F-73000 Chambéry Cedex – France  
✉ [sebastien.cachera@cisalb.fr](mailto:sebastien.cachera@cisalb.fr)

### EN SAVOIR PLUS...

📖 **AMIGUES, J.-P., CHEVASSUS-AU-LOUIS, B.**, 2011, *Évaluer les services écologiques des milieux aquatiques : enjeux scientifiques, politiques et opérationnels*, Éd. Onema, Coll. « Comprendre pour Agir », 172 p.

📖 **BAPTIST, F., POULET, N., SÉON-MASSIN, N.**, 2014, *Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation*, Éd. Onema, Collection « Comprendre pour Agir », 128 p.

📖 **COLLECTIF**, 2015, *Le tour des lacs alpins en 80 questions*, Coordination CLEMENS, A., MONTUELLE, B., Édition ZABR, 200 p.

📖 **GERDEAUX, D., ANNEVILLE, O., HEFTI, D.**, 2006, Fishery changes during re-oligotrophication in 11 peri-alpine Swiss and French lakes over the past 30 years, *Acta Oecologica*, n° 30, p. 161-177.

📖 **SALVETTI, M.**, 2013, *Les évaluations économiques en appui à la gestion de l'eau et des milieux aquatiques*, Éd. Onema, Coll. « Comprendre pour Agir », 172 p.

## ② POUR UNE GESTION DURABLE DE LA RESSOURCE PISCICOLE

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. Ce dispositif a contribué à restaurer le stock de lavaret (photo ①).



① Reproduction de corégone (*Coregonus lavaretus*), poisson emblématique des lacs alpins, sur la zone littorale du Léman.

© M. Baldeck (Onema)

### Des statistiques de pêche pour quantifier les quantités de poissons exploités

Les gestionnaires disposent des déclarations de captures des pêcheurs professionnels et amateurs, permettant ainsi d'avoir des indicateurs sur l'évolution des espèces exploitées dans le temps. Les données recueillies sont la quantité (en nombre et/ou en poids) de poissons pêchés par espèce et par période (jour, semaine ou mois), ainsi que l'effort de pêche mis en œuvre, nécessaire pour quantifier l'état des stocks.

### Des suivis halieutiques pour connaître les poissons capturés

Des échantillonnages sont effectués dans les captures des pêcheurs professionnels et amateurs pour compléter les données brutes de captures par des informations sur la structure en taille et en âge des poissons capturés.

Sur le lac du Bourget, une fois par mois, tous les corégones de la pêche du jour d'un pêcheur professionnel sont mesurés et des prélèvements d'écaillés sont réalisés pour la détermination de l'âge. En parallèle, des pêcheurs amateurs volontaires tiennent à jour un carnet de captures 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.

### 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 globale du peuplement piscicole du lac, aussi bien en termes de diversité spécifique que d'abondance.

Les gestionnaires ont pris conscience de l'intérêt de réaliser des études piscicoles annuelles standardisées, inscrites dans la continuité, ciblant l'ensemble des communautés piscicoles. Des campagnes scientifiques sont réalisées avec des pêches aux filets benthiques (de fond) et pélagiques (de pleine eau) posés de façon aléatoire sur le lac et des prospections par hydro-acoustique. 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'hydro-acoustique, permet d'obtenir une image quantitative et une répartition spatiale du peuplement piscicole, toutes espèces confondues.